

Slope Stability Analysis at Pit 1 Limestone Mining PT Anugrah Halaban Sepakat, Lareh Sago Halaban Sub-District, Lima Puluh Kota Regency, West Sumatra Province

Juni Pratama^{1*}, Raimon Kopa^{1**}

¹Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

*junipratama1999@gmail.com

**raimon_unp@yahoo.co.id

Abstract. PT Anugrah Halaban Sepakat is one of the companies engaged in the mining sector and has invested in Fifty Cities Regency, West Sumatra Province. PT Anugrah Halaban Sepakat has two pits (pit 1 and pit 2), the slope characteristics of pit 1 are composed of homogeneous clay material which tends to be sticky in wet conditions, hard and cracked in dry conditions, has a geometry of 20 meters high, and a slope of 66°, which was made without taking geotechnical studies into account. Based on this, it is necessary to plan the research slope well so that the soil slope is in a stable condition. From the results of research and analysis carried out, the value of geotechnical parameters after testing the physical and mechanical properties of the slope material is the natural density of 15,77 kN/m³, the dry density of 14,14 kN/m³, and the saturated weight of 19,06 kN/m³. The cohesion value is 39,79 kN/m³, and the internal shear angle is 21,25°. The actual FK value in natural state using Bishop's method is 1,099, in dry state is 1,177 and saturated state is 0,985. Then the actual FK value using the Hoek and Bray method in dry conditions was obtained at 1,051 and in a saturated state of 0,720. The results of the analysis after modifying the single slope geometry from a slope of 66° to 46°, the FK value in the dry state is 1,562 and the saturated state is 1,319 by dismantling the soil as much as 4.262,076 m³. Then the results of the analysis after modifying the geometry of the overall slope made two single slopes each with a height of 7 and 13 meters and a bench width of 10 meters having a slope of 50°, the FK value in a dry state was 1,550 and in a saturated state of 1,315 by dismantling 2.514,35 m³ of soil.

Keywords: Slope Stability Analysis, *Bishop Simplified Method*, *Hoek and Bray Method*, Safety Factor (SF).

1. Pendahuluan

Kegiatan penambangan mineral serta batubara di ruang terbuka yang berbentuk penggalian serta penumpukan senantiasa mengalami kasus kestabilan lereng. Lereng bisa berbentuk lereng tambang aktif, lereng timbunan bijih/ batubara (*stockpile*), lereng timbunan tanah penutup, ataupun lereng bangunan infrastruktur semacam lereng jalur, lereng di dekat bangunan dan bendungan. Lereng- lereng tersebut butuh dianalisis kestabilannya, baik pada tahapan perancangan, tahapan penambangan, ataupun sesi pasca tambang buat menghindari bahaya longsor pada waktu yang hendak tiba sebab perihal ini menyangkut keselamatan kerja, keamanan perlengkapan serta fasilitas yang lain, dan keberlangsungan produksi^[1].

Kegiatan penambangan terbuka sangat dipengaruhi oleh kestabilan lereng, yang dapat mengakibatkan terjadinya penambangan terbuka yang tidak aman, yang dikenal dengan longsor lereng tambang. Longsor pada lereng pertambangan biasanya disebabkan oleh berbagai faktor seperti sifat fisik dan mekanik dari bahan galian,

geometri lereng, adanya bidang yang terputus-putus, air tanah, dan gempa/getaran^[12].

PT Anugrah Halaban Sepakat merupakan salah satu perusahaan di bidang pertambangan dan sudah berinvestasi di Kabupaten Lima Puluh Kota berdasarkan Surat Keputusan Gubernur Sumatra Barat Nomor 544 – 482 – 2017 Tentang Persetujuan Perpanjangan Pertama Usaha Pertambangan Operasi Produksi Batuan dan Perubahan Badan Usaha dari yang bernama PT Halaban Sepakat menjadi PT Anugrah Halaban Sepakat di Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatra Barat.

Hingga saat ini PT Anugrah Halaban Sepakat memiliki dua pit (pit 1 dan pit 2) untuk merencanakan melakukan bukaan tambang menggunakan metode tambang terbuka (*open cut mining*) dimana kegiatan yang akan dilakukan ialah pemotongan sisi lereng. Saat melakukan observasi, kegiatan produksi gamping di pit 1 menggunakan alat pemecah (*breaker*) yang dilakukan di area sekitar lereng penelitian yang belum dikaji secara

geoteknik sehingga stabilitas lereng perlu dianalisis untuk menghindari risiko keruntuhan atau longsor.

Karakteristik lereng pada pit 1 tersebut tersusun atas material lempung homogen yang cenderung lengket pada kondisi basah, dan keras serta retak-retak pada kondisi kering mempunyai geometri ketinggian 20 meter dan kemiringan lereng 66°, yang pembuatannya tanpa memperhitungkan kajian geoteknik sesuai standar Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018. Untuk lebih jelasnya, keadaan lereng dapat dilihat pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Kondisi Lereng Pit 1 PT Anugrah Halaban Sepakat

Oleh karena itu, penelitian ini sangat penting untuk dijalankan dengan melakukan perencanaan dan menganalisis lereng penelitian dengan baik agar lereng tanah tersebut berada dalam kondisi stabil. Tujuannya adalah merekomendasikan geometri lereng pada pit 1 yang ideal sesuai dengan nilai FK berdasarkan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018.

2. Kajian Pustaka

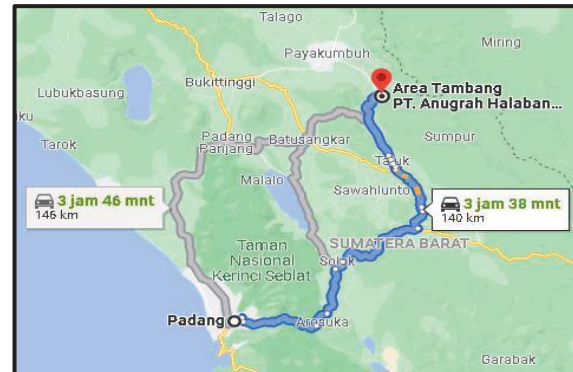
2.1. Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian

Lokasi penambangan batu gamping PT Anugrah Halaban Sepakat secara administrasi berlokasi di Jorong Atas Halaban, Nagari Halaban Kecamatan Lareh Sago Halaban, Provinsi Sumatera Barat. Koordinat batas IUP PT AHS dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Koordinat batas IUP PT Anugrah Halaban Sepakat

No.	Koordinat Bujur	Koordinat Lintang
1	100° 45' 31,83" BT	00° 20' 21,85" LS
2	100° 45' 31,83" BT	00° 20' 7,69" LS
3	100° 45' 46,87" BT	00° 20' 7,69" LS
4	100° 45' 46,87" BT	00° 20' 21,85" LS

Untuk mencapai lokasi, dari Kota Padang dengan menggunakan kendaraan roda dua menuju daerah Halaban, Kecamatan Lareh Sago Halaban dengan waktu tempuh sekitar ± 3,5 jam. Selanjutnya dari Halaban ke lokasi penambangan dengan melintasi jalan tanah dan bebatuan dengan waktu tempuh ± 15 menit pada kondisi jalan kering.

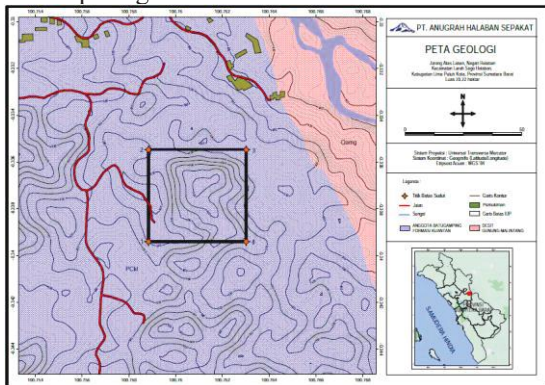


Gambar 2. Kesampaian Daerah Penelitian

2.2. Keadaan Geologi Daerah Penelitian

Daerah penambangan PT Anugrah Halaban Sepakat terletak di wilayah karst ialah suatu wujud permukaan bumi yang pada umumnya dicirikan dengan terdapatnya depresi tertutup, drainase permukaan serta gua. Wilayah karst tercipta oleh pelarutan batuan yang terjalin pada litologi lain, paling utama batuan karbonat lain misalnya dolomit dalam evaporit semacam gips serta halit dalam silika. Wilayah karst bisa pula terbentuk oleh proses cuaca, aktivitas hidrolik, pergerakan tektonik serta proses penggosongan batu cair (lava). Morfologi di tempat penambangan ini ada 2 unit morfologi, ialah morfologi perbukitan terjal serta morfologi lembah. Morfologi perbukitan terletak di sisi timur sebaliknya morfologi lembah terletak di sisi utara dari penambangan. Berikut

merupakan peta geologi daerah penelitian yang dapat dilihat pada gambar 3:



Sumber: Arsip PT Anugrah Halaban Sepakat

Gambar 3. Peta Geologi Daerah Penelitian

2.3. Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng lapisan tunggal dikendalikan oleh kondisi geologi setempat, bentuk keseluruhan lereng di daerah tersebut, kondisi air tanah setempat, dan teknologi penggalian yang digunakan untuk membangun lereng tersebut. Untuk situasi penambangan yang berbeda, faktor kontrol ini jelas sangat berbeda, sehingga sangat penting untuk memberikan aturan umum untuk menentukan ketinggian atau derajat kemiringan untuk memastikan stabilitasnya^[17].

Analisis stabilitas lereng digunakan untuk menilai tingkat suatu stabilitas lereng. Istilah stabilitas lereng dapat didefinisikan sebagai ketahanan blok di permukaan bidang miring terhadap runtuh (*collapsing*) dan gelinciran (*sliding*)^{[1][17]}.

2.4. Faktor Keamanan

Cara yang umum untuk menyatakan kestabilan suatu lereng adalah dengan faktor keamanan. Kestabilan lereng biasa dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK) yang didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya penahan total yang menjaga lereng tetap stabil dengan gaya penggerak total yang menyebabkan kelongsoran. Jika gaya penahannya lebih besar dari gaya penggerak, maka lereng tersebut dalam keadaan mantap. Berikut adalah rumus dari faktor keamanan^[1]:

$$\text{Faktor keamanan (FK)} = \frac{\sum \text{Gaya Penahan}}{\sum \text{Gaya Penggerak}} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana,

- FK < 1 : artinya lereng tidak stabil
- FK = 1 : artinya lereng pada keadaan kritis
- FK > 1 : artinya lereng dalam keadaan stabil

2.5. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

1. Geometri lereng
2. Aktifitas manusia
3. Struktur geologi dan keberadaan air

4. Sifat fisik material dan mekanik material lereng
5. Iklim atau cuaca
6. Gaya-gaya yang berasal dari luar

2.6. Jenis-Jenis Longsoran

Ada beberapa tipe longsoran yang sering terjadi dikarenakan kedudukan bidang lemahnya. Tipe longsoran tersebut diantaranya:

- a. Longsoran Busur (*Circular Failure*)
- b. Longsoran Bidang (*Plane Failure*)
- c. Longsoran Baji (*Wedge Failure*)
- d. Longsoran Guling (*Toppling Failure*)

2.7. Parameter Sifat Fisik dan Mekanik Tanah

2.7.1 Kadar air

$$\text{Kadar air} = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Dimana,

- Kadar air (%)
- W₁ = Berat Cawan + Tanah Asli (gr)
- W₂ = Berat Cawan + Tanah Kering (gr)
- W₃ = Berat Cawan (gr)

2.7.2 Bobot isi

Bobot isi dibedakan menjadi bobot isi natural, bobot isi kering dan bobot isi jenuh. Rumus untuk mencari bobot isi natural, kering dan jenuh:

$$\text{Bobot isi natural } (\gamma_n) = \frac{W_s}{V} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Bobot isi kering } (\gamma_d) = \frac{W_s}{V} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Bobot isi jenuh } (\gamma_{sat}) = \gamma_d (\omega + 1) \dots\dots\dots(5)$$

Dimana,

- W_s = W₂ - W₁ = Berat tanah (gr)
- W₁ = Berat cincin (gr)
- W₂ = Berat cincin + tanah asli/tanah kering (gr)
- V = Volume cincin (cm³)
- ω = Kadar air (%)

2.7.3 Berat jenis

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_2 - W_1) + (W_4 - W_3)} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana,

- G_s = Berat Jenis
- W₁ = Berat Piknometer (gr)
- W₂ = Piknometer + tanah (gr)
- W₃ = Piknometer + tanah + air (gr)
- W₄ = Piknometer + air (gr)

2.7.4 Kuat geser

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots(7)$$

Dimana,

- τ = kekuatan geser tanah (kN/m²)
- σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)
- c = kohesi tanah (kN/m²)
- ϕ = sudut geser dalam (°)

2.8. Metode Analisis Kestabilan Lereng

2.8.1 Metode *Bishop Simplified*

Metode *Bishop* yang disederhanakan adalah metode yang paling populer dalam analisis stabilitas lereng dikarenakan perhitungannya yang sederhana, cepat dan memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup teliti. Asumsi yang digunakan dalam metode ini adalah gaya geser antar lapisan adalah nol ($X = 0$) dan bidang keruntuhan berupa busur lingkaran. Kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi oleh metode ini adalah kesetimbangan gaya setiap irisan dalam arah vertikal dan kesetimbangan momen semua irisan di pusat lingkaran runtuh. Itu tidak dapat memenuhi kesetimbangan gaya horizontal^[19].

2.8.2 Metode *Hoek and Bray*

Metode *Hoek and Bray* adalah salah satu metode grafik yang menggambarkan kondisi air tanah yang tergantung pada^[1]:

- 1) Jenis tanah dan batuan dianggap homogen dan kontinu
- 2) Longsoran yang dapat terjadi menimbulkan busur lingkaran
- 3) *Hoek and Bray* membuat 5 kondisi diagram untuk tiap-tiap tinggi permukaan air tanah pada lereng antara lain:
 - a) Kondisi air tanah nomor 1 yaitu kering
 - b) Kondisi air tanah nomor 2 yaitu air permukaan 8 kali dari ketinggian lereng di belakang toe dari slope.
 - c) Kondisi air tanah nomor 3 yaitu air permukaan 4 kali dari ketinggian lereng di belakang toe dari slope
 - d) Kondisi air tanah nomor 4 yaitu air permukaan 2 kali dari ketinggian lereng di belakang toe dari slope
 - e) Kondisi air tanah nomor 5 yaitu jenuh

3. Metodologi Penelitian

3.1. Jenis Penelitian

Penelitian penulis bersifat kuantitatif, hal ini disebabkan karena dalam penelitian nantinya penulis menggunakan data berupa angka. Penelitian ini juga merupakan penelitian terapan (*applied research*), yang memecahkan masalah dengan menggabungkan teori dan data lapangan untuk memberikan solusi atas masalah di bidang ini. Dalam penelitian ini, pengukuran dan pengujian

memegang peranan penting, sehingga menurut format datanya berupa penelitian kuantitatif.

3.2. Teknik Pengumpulan Data

Pada saat melaksanakan penelitian, penulis menggabungkan teori dengan data lapangan untuk mendapatkan pemecahan masalah dari keduanya. Tahapan pengumpulan data penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Studi Literatur
Studi literatur bertujuan untuk mempelajari teori-teori yang berhubungan dengan materi yang akan dibahas di lapangan melalui referensi buku-buku, artikel, penelitian sebelumnya berupa skripsi serta laporan perusahaan.
- 2) Observasi Lapangan
Observasi di lapangan dilakukan dengan cara pengamatan secara langsung dan seksama untuk mengetahui masalah yang akan dibahas. Peninjauan lapangan untuk melakukan pengamatan langsung khususnya terhadap keadaan lereng pada pit 1. Data dikumpulkan langsung di lokasi sebagai salah satu elemen untuk mengidentifikasi masalah sehingga dapat diambil solusi yang tepat. Dalam penyelesaian masalah pada skripsi ini penulis melakukan pengambilan data antara lain: (1) Data primer pada penelitian ini meliputi geometri lereng aktual dan sampel tanah untuk pengujian fisik material dan sifat mekanik material di laboratorium. (2) Data sekunder untuk penelitian ini meliputi peta kesampaian daerah, peta lokasi penelitian dan peta geologi.

3.3. Teknik Pengolahan Data

Data-data yang terkumpul akan dilakukan pengolahan data dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

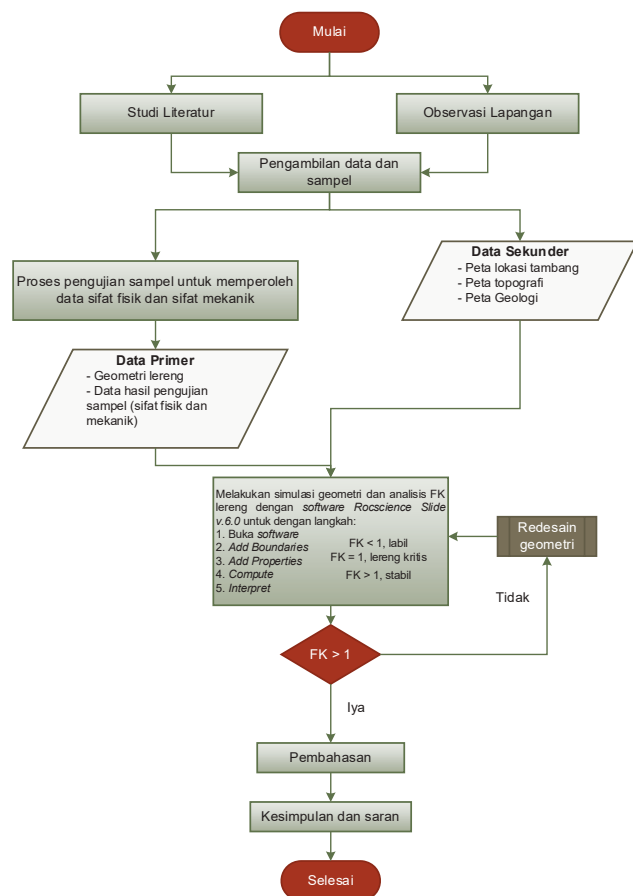
- 1) Pengujian sifat fisik dan mekanik sampel
Pengujian laboratorium ini dilakukan untuk mendapatkan:
 - a) Data sifat fisik sampel tanah
Data yang diperoleh dari pengujian sifat fisik adalah bobot isi natural (*natural density*), bobot isi kering (*dry density*), bobot isi jenuh (*saturated density*), kadar air asli (*natural water content*) dan berat jenis (*specific gravity*).
 - b) Data sifat mekanik sampel tanah
Data sifat mekanik dari tanah material penyusun lereng yang diperoleh dari pengujian kuat geser langsung adalah kohesi dan sudut geser dalam.
- 2) Pembuatan model lereng
Pembuatan model lereng dibuat berdasarkan geometri lereng aktual dan material propertis yang sudah diperoleh pada tahapan sebelumnya dalam dua dimensi yang diolah dengan bantuan perangkat lunak (*software*) *Rocscience Slide v6.0*. Dalam pembuatan model perlapisan material penyusun lereng diasumsikan homogen atau sejenis.

3.4. Teknik Analisis Data

Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu metode *Bishop Simplified* dan metode *Hoek and Bray*. Penyelesaian perhitungannya dibantu dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) *Rocscience Slide v6.0* dengan tahapan:

- a. Buka *software Rocscience Slide v.6.0*
- b. Pilih metode analisis yang akan digunakan pada tool *Project Setting*
- c. *Add Boundaries* untuk membuat model lereng dua dimensi
- d. *Add Properties* untuk memasukkan material properties
- e. *Compute* untuk menganalisis faktor keamanan lereng
- f. *Interpret* untuk menampilkan hasil analisis

Nilai faktor keamanan $FK \geq 1,3$ digunakan sebagai kriteria untuk menilai kestabilan model lereng yang dapat diterima. Jika $FK < 1,3$ maka model lereng belum cukup dianggap stabil dan melakukan pemodelan ulang lereng untuk mencapai FK yang stabil.



Gambar 4. Diagram Alir

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

4.1. Data Penelitian

4.1.1. Data Hasil Pengukuran di Lapangan

Penelitian dilakukan pada lereng Pit 1 PT Anugrah Halaban Sepakat yang terletak pada elevasi 529 mdpl sampai dengan 551 mdpl. Karakteristik lereng pada pit 1 tersebut tersusun atas material lempung homogen yang cenderung lengket pada kondisi basah, dan keras serta retak-retak pada kondisi kering mempunyai geometri ketinggian 20 meter dan kemiringan lereng 66°.

4.1.2. Data Hasil Pengujian Laboratorium

4.1.2.1 Pengujian Sifat Fisik

Sifat fisik material tanah diuji untuk mendapatkan nilai kadar air, berat jenis dan bobot isi dari sampel.

Tabel 2. Hasil Analisis Pengujian Kadar Air Tanah

No.	Sampel	Kadar Air (%)
1	A1	30,98
2	A2	55,79
3	A3	26,71
4	B1	20,36
5	B2	41,65
6	B3	35,44
7	C1	31,58
8	C2	37,09
9	C3	32,29
Rata-rata		34,77

Dari tabel di atas, nilai kadar air rata-rata diperoleh sebesar 34,77 %.

Tabel 3. Hasil Analisis Pengujian Berat Jenis

No.	Sampel	Specific Gravity
1	A1	2,163
2	A2	2,261
3	A3	1,754
4	B1	2,248
5	B2	2,831
6	B3	1,621
7	C1	1,788
8	C2	2,461
9	C3	1,808
Rata-rata		2,104

Dari tabel di atas, nilai berat jenis rata-rata diperoleh sebesar 2,104.

Tabel 4. Nilai Bobot Isi Natural

No.	Sampel	Bobot Isi (gr/cm ³)	Bobot Isi (kN/m ³)
1	A	1,548	15,171
2	B	1,672	16,381
3	C	1,609	15,764
Rata-rata		1,609	15,772

Dari tabel di atas, nilai bobot isi natural rata-rata diperoleh sebesar 1,609 gr/cm³ atau 15,772 kN/m³.

Tabel 5. Nilai Bobot Isi Kering

No.	Sampel	Bobot Isi (gr/cm ³)	Bobot Isi (kN/m ³)
1	A	1,386	13,588
2	B	1,507	14,773
3	C	1,436	14,070
Rata-rata		1,443	14,144

Dari tabel di atas, nilai bobot isi natural rata-rata diperoleh sebesar 1,443 gr/cm³ atau 14,144 kN/m³.

Tabel 6. Hasil Uji Bobot Isi Jenuh

No.	Sampel	Bobot Isi (gr/cm ³)	Bobot Isi (kN/m ³)
1	A	1,868	18,306
2	B	2,031	19,903
3	C	1,935	18,963
Rata-rata		1,944	19,057

Dari tabel di atas, nilai bobot isi natural rata-rata diperoleh sebesar 1,944 gr/cm³ atau 19,057 kN/m³

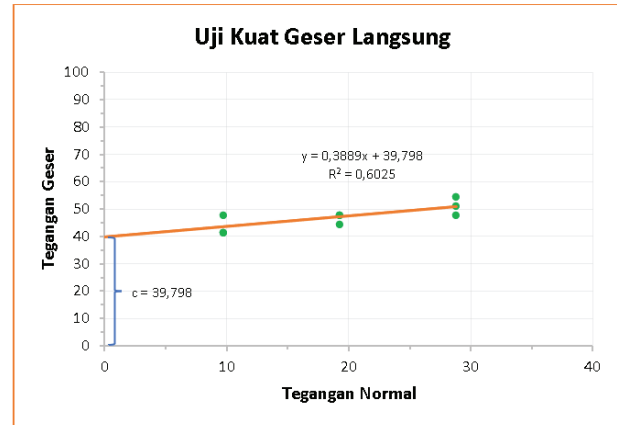
4.1.2.2 Pengujian Sifat Mekanik

Sifat mekanik material tanah diuji untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut gesek dalam.

Tabel 7. Hasil Analisis Uji Kuat Geser Langsung

No.	Sampel	Tegangan Normal (kN/m ²)	Tegangan Geser (kN/m ²)
1	A1	9,594	41,575
2	A2	19,189	47,971
3	A3	28,783	54,368
4	B1	9,594	47,971
5	B2	19,189	47,971
6	B3	28,783	51,169
7	C1	9,594	41,575
8	C2	19,189	44,773
9	C3	28,783	47,971

Untuk memperoleh nilai kohesi dan sudut gesek dalam, nilai tegangan normal dan nilai tegangan geser akan diplot ke dalam grafik dimana tegangan normal sebagai X dan tegangan geser sebagai Y yang dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan tegangan normal dengan tegangan geser

Pada *trendline* tegangan geser dan tegangan normal didapat persamaan $y = 0,3889x + 39,798$ Dari persamaan tersebut didapat nilai kohesi sebesar 39,798 kPa. Untuk nilai sudut gesek dalam diperoleh dengan cara,

$$\begin{aligned} \Phi &= \text{arc Tan}(0,3889) \\ &= 21,25^\circ \end{aligned}$$

4.1.2.3 Material Propertis

Material propertis meliputi bobot isi (natural, kering dan jenuh), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ). Nilai yang dipakai adalah nilai rata-rata dari data pengujian di laboratorium.

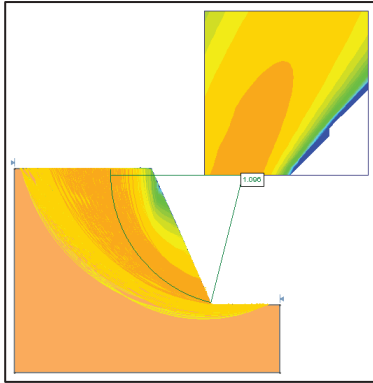
Tabel 8. Data Material Propertis

Litologi	Bobot Isi Natural (kN/m ³)	Bobot Isi Kering (kN/m ³)	Bobot Isi Jenuh (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut Geser Dalam (°)
Clay	15,77	14,14	19,06	39,79	21,25

4.2. Analisis Kestabilan Lereng Aktual dengan Metode *Bishop Simplified*

4.2.1 Kondisi Natural

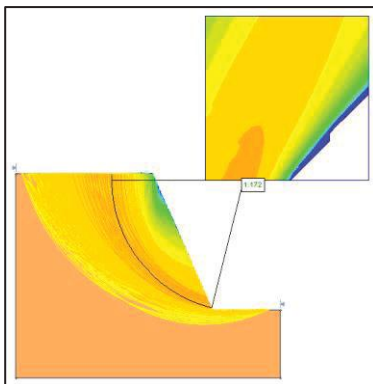
Dari analisis kestabilan lereng kondisi natural, diperoleh nilai FK sebesar 1,099. Artinya, lereng berada dalam keadaan tidak stabil seperti yang terlihat dalam gambar 6.



Gambar 6. FK lereng aktual kondisi natural

4.2.2 Kondisi Kering

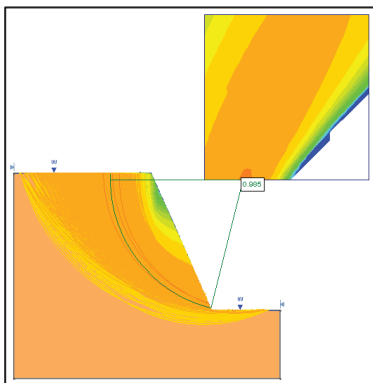
Hal yang sama untuk lereng dalam kondisi kering yang menunjukkan ketidakstabilan, nilai FK yang diperoleh adalah 1,177. Nilai FK tersebut juga menunjukkan lereng tunggal dalam kondisi yang relatif tidak aman seperti yang dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. FK lereng aktual kondisi kering

4.2.3 Kondisi Jenuh

Dalam kondisi jenuh pun demikian, nilai FK yang diperoleh sebesar 0,985. Nilai FK tersebut juga menunjukkan lereng tunggal dalam kondisi yang tidak stabil seperti yang bisa dilihat pada gambar 8.

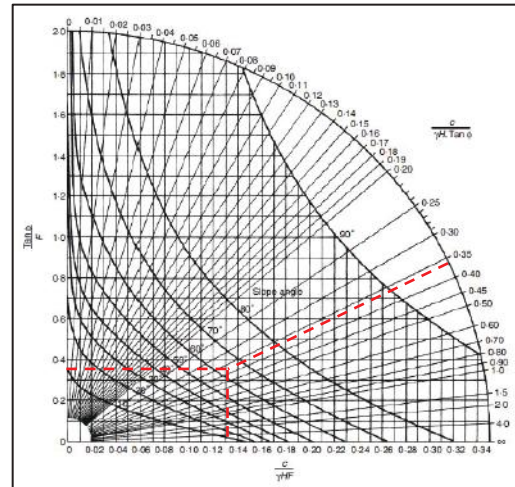


Gambar 8. FK lereng aktual kondisi jenuh

4.3. Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Hoek and Bray

Analisis kestabilan lereng dalam kondisi kering menggunakan chart 1 dan untuk kondisi jenuh menggunakan chart 5.

4.3.1 Analisis FK lereng kondisi kering (Chart 1)



Gambar 9. Analisis lereng kondisi kering menggunakan chart 1

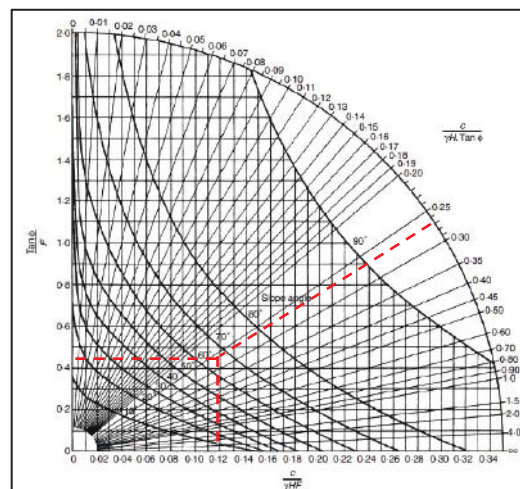
$$\frac{c}{\gamma_d \cdot H \cdot \tan \phi} = \frac{39,79}{14,14 \times 20 \times \tan(21,25^\circ)} = \frac{39,79}{109,97} = 0,36$$

$$\frac{c}{\gamma_d \cdot H \cdot F} = 0,133 \rightarrow \frac{39,79}{14,14 \times 20 \times F} = 0,133 \rightarrow$$

$$F = \frac{39,79}{14,14 \times 20 \times 0,133} = 1,057$$

$$\frac{\tan \phi}{F} = 0,37 \rightarrow \frac{\tan(21,25^\circ)}{F} = 0,37 \rightarrow F = \frac{\tan(21,25^\circ)}{0,37} = 1,051$$

4.3.2 Analisis FK lereng kondisi jenuh (Chart 2)



Gambar 10. Analisis lereng kondisi jenuh menggunakan chart 5

$$\frac{c}{\gamma_{sat} \cdot H \cdot \tan \phi} = \frac{39,79}{19,06 \times 20 \times \tan(21,25^\circ)} = \frac{39,79}{148,24} = 0,27$$

$$\frac{c}{\gamma_{sat} \cdot H \cdot F} = 0,119 \rightarrow \frac{39,79}{19,06 \times 20 \times F} = 0,119 \rightarrow$$

$$F = \frac{39,79}{19,06 \times 20 \times 0,119} = 0,877$$

$$\frac{\tan \phi}{F} = 0,43 \rightarrow \frac{\tan(21,25^\circ)}{F} = 0,43 \rightarrow F = \frac{\tan(21,25^\circ)}{0,43} = 0,904$$

Berdasarkan analisis faktor keamanan lereng dengan metode *Hoek and Bray* didapatkan faktor keamanan lereng aktual dalam kondisi kering menggunakan *chart 1* sebesar 1,051 dan dalam kondisi jenuh menggunakan *chart 2* sebesar 0,904 yang artinya lereng tidak aman atau berpotensi terjadinya kelongsoran.

4.4. Rekomendasi Geometri Lereng

4.4.1 Rekomendasi Geometri *Single Slope*

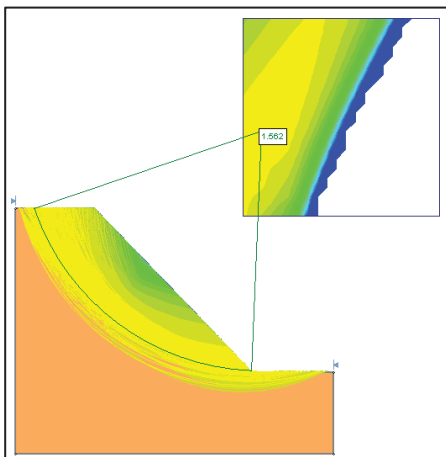
Rekomendasi ini dilakukan dengan mengubah sudut lereng hingga mendapatkan $FK \geq 1,3$ untuk kondisi kering dan jenuh. Simulasi geometri dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Rekomendasi Geometri *Single Slope*

No.	Ketinggian (m)	Kemiringan (°)	Faktor Keamanan	
			Kering	Jenuh
1	20	66	1,172	0,985
2		60	1,288	1,075
3		55	1,379	1,158
4		50	1,473	1,247
5		46	1,562	1,319
6		45	1,590	1,342

4.4.1.1 Kondisi Kering

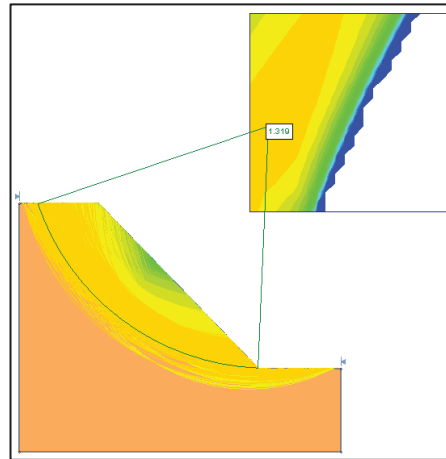
Hasil analisis rekomendasi *single slope* untuk memperoleh nilai FK yang aman dengan tinggi lereng 20 meter dan sudut kemiringan sebesar 46° diperoleh FK 1,562 dalam kondisi kering seperti pada gambar 11.



Gambar 11. FK *single slope* kondisi kering

4.4.1.2 Kondisi Jenuh

Hasil analisis rekomendasi *single slope* untuk memperoleh nilai FK yang aman dengan tinggi lereng 20 meter dan sudut kemiringan sebesar 46° diperoleh FK 1,319 dalam kondisi jenuh seperti pada gambar 12.



Gambar 12. FK *single slope* kondisi jenuh

4.4.2 Rekomendasi Geometri *Double Slope*

Modifikasi lereng ini untuk mendapatkan rekomendasi yang sesuai dengan mengubah model *single slope* menjadi model *double slope* dan membuat *bench*. Simulasi geometri dapat dilihat pada tabel 10, 11, dan 12.

Tabel 10. Simulasi *Single Slope 2* (bawah)

No	Kemiringan (°)	Ketinggian (m)	Faktor Keamanan	
			Kering	Jenuh
1	66	10	2,253	1,801
2		11	1,966	1,587
3		12	1,824	1,477
4		13	1,690	1,373
5		14	1,599	1,294

Tabel 11. Simulasi *Single Slope 1* (atas)

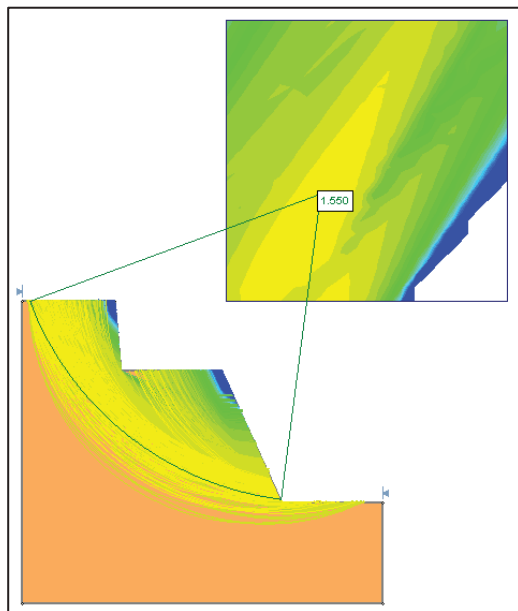
No	Ketinggian (m)	Kemiringan (°)	Faktor Keamanan	
			Kering	Jenuh
1	7	66	3,712	2,928
2		70	3,366	2,654
3		75	3,181	2,504
4		80	3,018	2,373
5		85	2,846	2,239

Tabel 12. Data Keseluruhan Hasil Simulasi Geometri *Overall Slope*

Percobaan	Lereng	Kemiringan (°)	Lebar jenjang (m)	Ketinggian (m)	Faktor Keamanan	
					Kering	Jenuh
1	<i>Single Slope 1</i>	85	7	7	2,846	2,239
	<i>Single Slope 2</i>	66		13	1,690	1,373
	Overall Slope	56		20	1,411	1,192
2	<i>Single Slope 1</i>	85	8	7	3,051	2,401
	<i>Single Slope 2</i>	66		13	1,681	1,378
	Overall Slope	54		20	1,458	1,234
3	<i>Single Slope 1</i>	85	9	7	3,238	2,550
	<i>Single Slope 2</i>	66		13	1,655	1,360
	Overall Slope	52		20	1,503	1,274
4	<i>Single Slope 1</i>	85	10	7	3,428	2,702
	<i>Single Slope 2</i>	66		13	1,655	1,360
	Overall Slope	50		20	1,550	1,315

4.4.2.1 Kondisi Kering

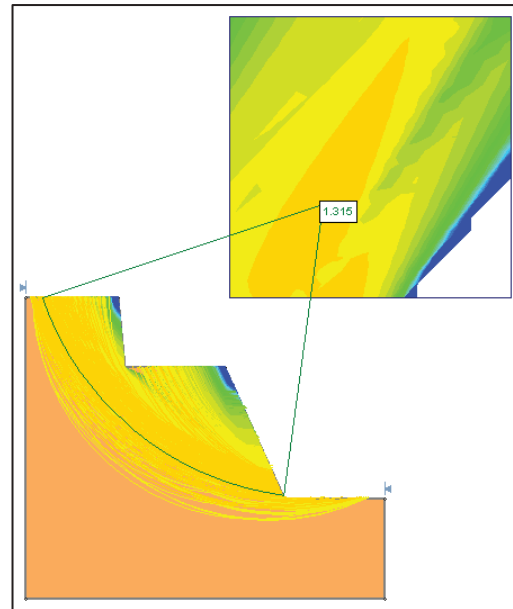
Hasil analisis rekomendasi *overall slope* untuk mendapatkan nilai FK yang aman dimana tinggi masing-masing *single slope* 7 dan 13 meter dengan sudut 85° dan 66°, lebar *bench* 10 meter serta untuk sudut *overall slope* sebesar 50° diperoleh FK 1,550 dalam kondisi kering seperti pada gambar 13.



Gambar 13. FK *overall slope* kondisi kering

4.4.2.2 Kondisi Jenuh

Hasil analisis rekomendasi *overall slope* untuk mendapatkan nilai FK yang aman dimana tinggi masing-masing *single slope* 7 dan 13 meter dengan sudut 85° dan 66°, lebar *bench* 10 meter serta untuk sudut *overall slope* sebesar 50° diperoleh FK 1,315 dalam kondisi jenuh seperti pada gambar 14.



Gambar 14. FK *overall slope* kondisi jenuh

4.5. Hasil Analisis Kestabilan Lereng

Berdasarkan hasil dari analisis yang dilakukan dengan memodifikasi geometri lereng untuk mendapatkan rekomendasi geometri lereng yang aman bisa dilihat pada tabel 13 dan 14.

Tabel 13. Data Hasil Rekomendasi Geometri *Single Slope*

Ketinggian (m)	Kemiringan (°)	FK		Volume Galian (m³)
		Kering	Jenuh	
20	46	1,562	1,319	4.262,076

Tabel 14. Data Hasil Rekomendasi Geometri *Overall Slope*

Kondisi Lereng	Kemiringan (°)	Lebar jenjang (m)	Ketinggian (m)	FK	Volume Galian (m³)
Kering	50	10	7	1,550	2.514,35
			13		
Jenuh	50	10	7	1,315	
			13		

4.6. Pembahasan

Berdasarkan hasil dari pengujian sifat fisik dan sifat mekanik sampel tanah yang diambil dari lereng di Pit 1 PT Anugrah Halaban Sepakat, diketahui bahwa sampel tanah memiliki nilai kadar air sebesar 34,77%, berat jenis 2,104, nilai bobot isi natural 15,77 kN/m³, bobot isi kering 14,14 kN/m³, dan bobot isi jenuh 19,06 kN/m³. Nilai kohesi sebesar 39,79 kPa dan besar sudut geser dalam adalah 21,25°.

Hasil dari analisis kestabilan lereng aktual dengan memiliki geometri lereng yaitu tinggi 20 meter dan kemiringan 66° menunjukkan bahwa lereng tersebut belum stabil. Nilai FK aktual dalam keadaan natural menggunakan metode *Bishop* yang diperoleh sebesar 1,099, dalam keadaan kering sebesar 1,177 dan keadaan jenuh sebesar 0,985. Kemudian nilai FK aktual menggunakan metode *Hoek and Bray* dalam kondisi kering diperoleh sebesar 1,051 dan dalam keadaan jenuh sebesar 0,904.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, diperlukan upaya atau solusi agar lereng tetap dalam keadaan stabil walaupun saat keadaan jenuh dengan melakukan modifikasi pada geometri lereng sehingga FK yang dihasilkan bisa menunjukkan $\geq 1,3$ baik itu untuk *single slope* ataupun *overall slope*.

Hasil setelah melakukan modifikasi geometri *single slope* dari kemiringan 66° menjadi 46° , diperoleh nilai FK dalam keadaan kering yakni sebesar 1,562 dan keadaan jenuh sebesar 1,319 dengan membongkar tanah sebanyak 4.262,076 m³. Kemudian hasil setelah melakukan modifikasi geometri *overall slope* (dua buah *single slope* masing-masing dengan ketinggian 7 dan 13 meter dan lebar *bench* 10 meter) memiliki kemiringan 50° , diperoleh nilai FK dalam keadaan kering sebesar 1,550 dan dalam keadaan jenuh sebesar 1,315 dengan membongkar tanah sebanyak 2.514,35 m³.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan yang telah dilakukan maka penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai parameter geoteknik setelah dilakukannya pengujian sifat fisik dan sifat mekanik sampel adalah bobot isi natural sebesar 15,77 kN/m³, bobot isi kering sebesar 14,14 kN/m³, dan bobot isi jenuh sebesar 19,06 kN/m³. Nilai kohesi adalah 39,79 kN/m³ dan sudut geser dalam sebesar $21,25^\circ$.
2. Nilai FK aktual
 - a. Kondisi Kering
Dengan menggunakan metode *Bishop Simplified*, nilai FK yang didapat adalah 1,177. Sedangkan menggunakan metode *Hoek and Bray*, nilai FK yang didapat adalah 1,051.
 - b. Kondisi Jenuh
Dengan menggunakan *Bishop Simplified*, didapatkan nilai FK sebesar 0,985. Sedangkan menggunakan metode *Hoek and Bray*, nilai FK yang didapat adalah 0,904.
3. Rekomendasi geometri lereng dilakukan dengan memodifikasi pada geometri lereng baik itu untuk *single slope* melakukan modifikasi geometri kemiringan 66° menjadi 46° ataupun *overall slope* membuat dua buah *single slope* masing-masing

dengan ketinggian 7 dan 13 meter dan lebar *bench* 10 meter.

a. *Single Slope*

Menggunakan metode *Bishop Simplified*: dalam keadaan kering sebesar 1,562 dan keadaan jenuh sebesar 1,319 dengan membongkar tanah sebanyak 4.262,076 m³.

b. *Overall Slope*

Menggunakan metode *Bishop Simplified*: dalam keadaan kering sebesar 1,550 dan keadaan jenuh sebesar 1,315 dengan membongkar tanah sebanyak 2.514,35 m³.

5.2 Saran

Saran yang ingin penulis berikan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Disarankan agar perusahaan mengubah geometri lereng, hal ini dilakukan dengan memodifikasi geometri lereng sesuai dengan rekomendasi desain yang sudah dibuat untuk menjaga kestabilan lereng dengan nilai $FK \geq 1,3$.
2. Sebelum melakukan kegiatan penambangan, terlebih dahulu harus dirancang geometri lereng sesuai dengan sifat fisik dan mekanik material serta pengendalian geoteknik dari aktifitas lereng tersebut, sehingga apabila dikemudian hari terdapat potensi bahaya dapat ditanggulangi sesegera mungkin.
3. Usahakan melakukan langkah pemeliharaan, pemantauan, dan penanganan pada lereng tambang karena sangat diperlukan menjaga agar lereng tetap dalam kondisi aman atau tidak membahayakan kegiatan penambangan.
4. Dengan menggunakan hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai media revisi untuk perusahaan dalam menghindari lereng terjadinya kelongsoran.

6. Daftar Pustaka

- [1] Arif, Irwandy. 2016. "Geoteknik Tambang Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng". Bandung. Gramedia Pustaka Utama.
- [2] Amri, N., Dharmawansyah, D., Raya Olat Maras, J., Alang-Moyo Hulu, B., & Sumbawa Nusa Tenggara Barat, K. (2021). Perbandingan Metode Bishop Dan Janbu Dalam Analisis Stabilitas Lereng Pada Oprit Jembatan Labu Sawo Sumbawa. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 2(1), 20–33.
- [3] Atiiqah, F., & Heriyadi, B. (2020). Analisis kestabilan lereng front IV pit limit di area penambangan batu kapur PT. Semen Padang Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 5(3), 29–38.
- [4] Darwis. (2018). Dasar-Dasar Mekanika Tanah. In *Buku Ajar Dasar-Dasar Mekanika Tanah*. <http://sinta2.ristekdikti.go.id/books/>

- [5] Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik. *Penerbit Erlangga*, 1–300.
- [6] Fikri, M. A., Heriyadi, B., & Prabowo, H. (2018). Analisis Stabilitas Lereng Pada Pit Tambang Air Laya Barat Section C-C'pt Bukit Asam (Persero) Tbk., Sumatera Selatan. *Bina Tambang*, 3(2), 835-849.
- [7] 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.
- [8] Hasibuan, S., & Heriyadi, B. (2020). Analisis Balik Kestabilan Lereng Bekas Disposal Area Dengan Menggunakan Metode Bishop di Tambang PT . *ISSN: 302-3333 Jurnal Bina Tambang, Vol. 5, No. 4, 5(4)*, 46–56.
- [9] Hoek, E. and Bray, J. W. 1981. Rock Slope Engineering. 3rd edition. Institution of Mining and Metallurgy, London.
- [10] Husien, D. (2018). Analisis Kestabilan Lereng Pit AI-Blok B di PT. Anugerah Alam Andalas Desa Muara Ketalo, Kelurahan Sungai Bengkal, Kecamatan Tebo Ilir, Kabupaten Tebo, Provinsi Jambi. *Jurnal Bina Tambang Vol 3, No 1 (2018)*, 3(1).
- [11] Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018
- [12] Lalitya, T. J., Indrawan, I. G. ., & Bassmantra, A. (2017). *Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara Dengan Metode Probabilitas Pada Highwall Dan Lowwall Pit Tania Panel 2, Pt. Kaltim Prima Coal, Kalimantan Timur. 1(September)*, 172–189.
- [13] Mahrip, A., Djamaluddin, D., & Nawir, A. (2019). Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Simplified Bishop Method Pada Pit Bara Tabang Di Pt Indonesia Pratama Kutai Kartanegara. *Jurnal GEOSAPTA*, 5(2), 77. <https://doi.org/10.20527/jg.v5i2.6409>
- [14] Marini, A. E., Anaperta, Y. M., & Saldy, T. G. (n.d.). *Analisis Kestabilan Lereng Area Highwall Section B Tambang Batubara PT . Manggala Usaha Manunggal Jobsite Pt . Banjarsari Selatan. 4(4)*, 80–89.
- [15] Metriani, R., Anaperta, Y. M., & Saldy, T. G. (2019). *Analisis Balik Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Bishop yang Disederhanakan Pada Area Blok Bukit. 5(4)*, 49–58.
- [16] Pasole, D., Patanduk, J., & Wong, I. L. K. (2020). Analisis Stabilitas Lereng Disposal Menggunakan Metode Bishop, Janbu, dan Ordinary. *Paulus Civil Engineering Journal*, 2(3), 144–153. <https://doi.org/10.52722/pcej.v2i3.148>
- [17] Prayogi, T., & Anaperta, Y. M. (2021). Analisis Kestabilan Lereng Jalan Tambang Menggunakan Metode Bishop Simplied Di Area Penambangan Bijih Besi. *ISSN: 2302-3333 Jurnal Bina Tambang Vol. 6 No.3, 6(3)*, 64–77.
- [18] Rafid, S. Al, & Anaperta, Y. M. (2020). Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop Pada Jalan Utama Menuju Penambangan Di Pt. Cahaya Bumi Perdana, Kota Sawah Lunto. *Jurnal Bina Tambang*, 6(2), 208–219.
- [19] Rinaldo, R., Heriyadi, B., & Prabowo, H. (2018). Analisis Pengaruh Parameter Geomekanika Batuan Terhadap Kegiatan Peledakan Pada Front Penambangan Blok A2 di CV. Triarga Nusatama, Kecamatan Lareh Sago Halaban, Kabupaten Lima Puluh Kota, Sumatera Barat. *Bina Tambang*, 3(3), 1163-1173.
- [20] Septian, R. (2018). Analisis Kestabilan Lereng Jalan Tambang Di Pt. Sumbar Calcium Pratama Jorong Atas Halaban, Nagari Halaban, Kecamatan Lareh Sago Halaban, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat.
- [21] Sudjianto, A. T. (2020). *Mekanika Tanah 1 "Konsep Dasar dan Pengukuran Laboratorium"*. Malang: Intimedia.
- [22] Zakaria, Z., Shopian, R. I., & Aulia, S. N. (2019). *Pengaruh Getaran Terhadap Kestabilan Lereng Untuk Rencana Pembangunan Embung Di Daerah Desa Cileles, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat. 3(5)*, 354–361.
- [23] Zudri, A. T., & Anaperta, Y. M. (2018). Analisis Kestabilan Lereng Jalan Tambang di Area Zona 4 PT . Bintang Sumatra Pasifik di Koto Alam Kabupaten 50 Kota. *ISSN : 2302-3333 Jurnal Bina Tambang Vol. 4 No.4, 4(4)*, 59–70.