

Analisis Kestabilan Lereng Pada Penambangan Batu Gamping Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga Pada Blok Puncak II CV. Tekad Jaya

Jualifa Pradisti Gayatri^{1*}, Bambang Heriyadi^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Indonesia

*jpradisti@gmail.com

**bambangh@ft.unp.ac.id

Abstract. CV. Tekad Jaya is one of the Business Entities in the context of Domestic Investment (PMDN) which is engaged in mining, especially limestone mining, the stages of mining licensing owned by CV. Tekad Jaya is a Production Operation Mining Business Permit (IUP) for limestone excavation on a 6.5 hectare land area located in Jorong Bulakan, Nagari Tanjung Gadang, Lareh Sago Halaban District, Lima Puluh Kota Regency, West Sumatra Province. In the Puncak Block II area in CV. Tekad Jaya, researchers found a single slope with a height of 67 meters and a slope of 79° , and there are many joints that become weak areas (*discontinuous*). The slope conditions have the potential to cause landslides that are dangerous for workers and hamper production activities. The purpose of this study is to recommend a good slope geometry design with safety factor (SF) and minimize the occurrence of landslides on the slopes of Puncak Block II CV. Jaya's determination. The results of testing the physical properties and mechanical properties of the rock obtained the original bulk density value of 25.115 kN/m^3 , saturated bulk density 25.615 kN/m^3 , dry density 24.546 kN/m^3 , cohesion value of 0.5406 MPa , and internal shear angle of 48.01° . Analysis and recommendations using the finite element method. The results of the study, namely, the potential for landslides that may occur in the area of Puncak Block II CV. Tekad Jaya is in the form of a wedge failure with 21.86% probability of landslide occurring with landslide direction of $N 280^{\circ} E/79^{\circ}$. Through the analysis carried out using Phase II software, the results obtained are recommendations for overall slope geometry with a double bench model, a height of 67 m, bench width of 6 m and overall slope of 76° with a value of safety factor (SF) in a natural state according to the finite element method, namely 1.37, while in a saturated state it is 1.34 and in a dry state it is 1.4. Based on the results of the analysis, the slopes are in a safer and more stable condition.

Keywords: Slope Geometry, Wedge Sliding Failure, Slope Stability Analysis, Safety Factor (SF).

1. Pendahuluan

CV. Tekad Jaya merupakan salah satu Badan Usaha dalam rangka Penanaman Modal Dalam Negeri (PMDN) yang bergerak dibidang pertambangan, khususnya pertambangan batu gamping dan telah berinvestasi di Kabupaten Lima Puluh Kota sejak tanggal 03 November 2016. Tahapan perizinan pertambangan yang dimiliki oleh CV. Tekad Jaya adalah Izin Usaha Pertambangan (IUP) Operasi Produksi untuk bahan galian batu gamping pada areal lahan seluas 6,5 hektar yang berlokasi di Jorong Bulakan, Nagari Tanjung Gadang, Kecamatan Lareh Sago Halaban, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat. CV. Tekad Jaya dalam kegiatan penambangannya menggunakan sistem tambang terbuka dengan metode *quarry*. Proses penambangan batu gamping ini dilakukan dengan cara peledakan (*blasting*) dan dibantu dengan alat pemecah batuan seperti *hydraulic breaker*. Dalam kegiatan penambangannya banyak ditemukan masalah kestabilan lereng akibat pengaruh dari batuan yang tidak kompak, iklim dan cuaca, serta aktivitas peledakan.

Berdasarkan hasil pengamatan saat melakukan kegiatan observasi yang dilakukan pada tanggal 17 Juni – 22 Juni 2021 di CV. Tekad Jaya, peneliti menemukan bahwa lereng tersebut merupakan lereng tunggal (*single slope*) yang terdiri dari jenis material pembentuk yaitu

batu gamping. Dengan ketinggian 67 meter dan kemiringan 79° , serta terdapat banyak kekar yang menjadi bidang lemah (*diskontinu*) pada lereng. Kondisi lereng tersebut berpotensi dapat menimbulkan kelongsoran yang membahayakan bagi pekerja dan menghambat kegiatan produksi. Keadaan lereng tambang hasil observasi yang peneliti lakukan dapat dilihat seperti pada gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Kondisi Lereng Pada Area Blok Puncak II CV. Tekad Jaya

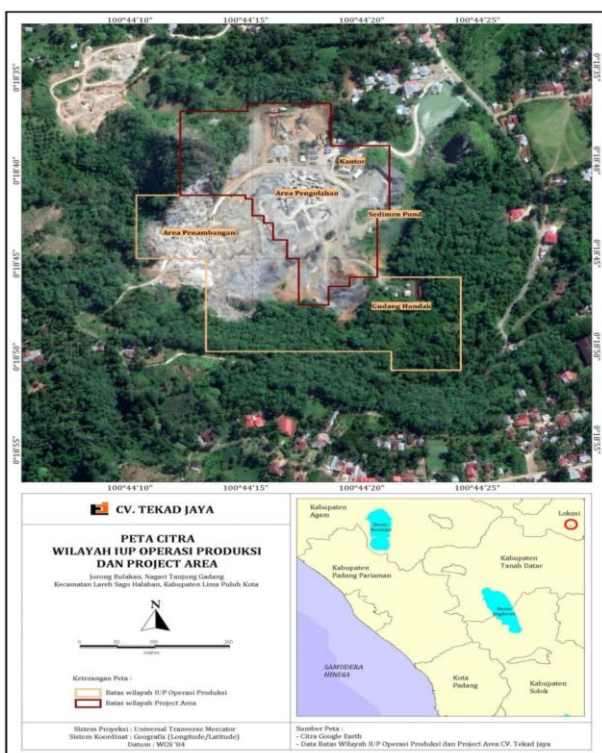
Secara Geografis lereng ini berada pada elevasi 657 – 700 mdpl dengan titik koordinat $100044^{\circ}11,9'' \text{ LS}$ dan $00018^{\circ}45,6'' \text{ BT}$. Berdasarkan informasi yang didapat dari perusahaan belum pernah dilakukannya

kajian geoteknik mengenai kestabilan lereng pada lereng tersebut. Sehingga foreman yang berada di lapangan dalam pembuatan lereng tambang bekerja berdasarkan perencanaan *mine plan* saja dan pada penerapannya di lapangan lereng yang dibentuk cenderung tidak beraturan dan terjal, serta tidak memperhitungkan kestabilan dari lereng tersebut. Akibatnya daerah sekitar lereng pada Blok II Puncak Jaya mengalami kelongsoran. Dan diketahui bahwa disekitar lereng terdapat tempat untuk kegiatan pengangkutan bahan material batu gamping serta alat berat yang digunakan dalam proses penambangan.

Berdasarkan hal tersebut, pada lereng Blok Puncak II ini peneliti berasumsi bahwa kelongsoran yang terjadi dikarenakan minimnya pengkajian geoteknik mengenai kestabilan lereng secara berkala. Jika tidak dilakukan analisis kestabilan lereng serta penanganan maksimal terhadap lereng tersebut, akan menyebabkan kerugian bagi perusahaan seperti kegiatan penambangan yang terganggu atau terhenti, bahkan dapat menyebabkan kerugian korban jiwa.

2. Lokasi Penelitian

CV. Tekad Jaya adalah sebuah perusahaan yang bergerak dalam bidang pertambangan dan perdagangan Batu Gamping. CV. Tekad Jaya berada di Jl. Raya Payakumbuh-Lintau, Km 17 tepatnya di Jorong Bulakan Nagari Tanjung Gadang dengan areal luas lahan 6,5 hektar yang berlokasi di Kec. Lareh Sago Halaban Kab. Limapuluh Kota, Provinsi Sumatera Barat. Lokasi pertambangan dan perdagangan Batu Gamping. CV. Tekad Jaya dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Peta Lokasi Wilayah IUP CV. Tekad Jaya

3. Kajian Teori

3.1 Kestabilan Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia, Lereng yang terbentuk secara alami misalnya: lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain: galian dan timbunan, tanggul dan dinding tambang terbuka (Irwandi Arief, 2016)^[1] Berdasarkan material penyusunnya, lereng terbagi atas dua macam, yaitu lereng tanah dan lereng batuan, walaupun kenyataan yang dijumpai pada lereng tambang selalu merupakan gabungan dari material tanah dan batuan. Dalam analisis dan penentuan jenis tindakan pengamanannya, lereng tanah tidak dapat disamakan dengan lereng batuan. Hal ini dikarenakan parameter material. Selain itu, penyebab longsor kedua material pembentuk lereng ini juga berbeda^[1].

Kestabilan lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penahan dan gaya-gaya penggerak. Apabila gaya penahan lebih besar daripada gaya penggerak, lereng tersebut dapat dikatakan stabil (aman). Namun apabila gaya penahan lebih kecil daripada gaya penggeraknya, lereng tersebut akan menjadi tidak stabil dan dapat menyebabkan 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 penggeraknya^[2].

3.2 Konsep Faktor Keamanan

Kestabilan lereng secara sederhana dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK), yang didefinisikan sebagai berikut:

$$F = \frac{\sum \text{Gaya Penahan}}{\sum \text{Gaya Penggerak}}$$

Misalkan suatu blok terletak diatas suatu bidang miring, maka satu-satunya gaya yang bekerja pada blok yaitu gaya gravitasi atau berat blok. Gaya berat bekerja pada arah vertikal ke bawah dan dapat diuraikan ke dalam dua komponen gaya, yakni searah dengan kemiringan bidang runtuh dan tegak lurus terhadap bidang runtuh.

3.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

3.3.1 Faktor-faktor Pembentuk Gaya Penahan

3.3.1.1 Jenis Batuan

3.3.1.2 Kekuatan Batuan

3.3.1.3 Penyebaran Batuan

3.3.2 Faktor-faktor Pembentuk Gaya Penggerak

3.3.2.1 Geometri Lereng

- 3.3.2.2 Kandungan air tanah (u)
- 3.3.2.3 Bobot Isi

3.3.3 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Gaya Penahan

- 3.3.3.1 Proses pelapukan
- 3.3.3.2 Bidang lemah
- 3.3.3.3 Iklim
- 3.3.3.4 Air

3.3.4 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Gaya Penggerak

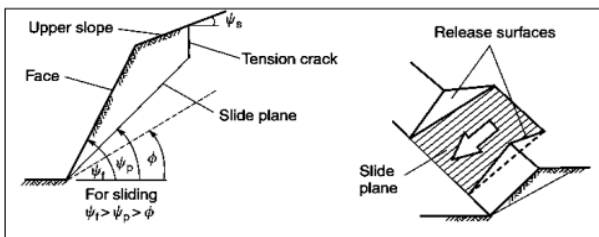
- 3.3.4.1 Aktivitas tektonik
- 3.3.4.2 Gempa atau sumber getaran yang lain
- 3.3.4.3 Penambahan beban akibat penimbunan
- 3.3.4.4 Penambahan air tanah
- 3.3.4.5 Pengeringan waduk

3.4 Jenis-Jenis Longsor Pada Lereng Tambang

Berdasarkan proses teradi longsorannya, longsor batuan dapat dibedakan menjadi empat macam, yaitu:

3.4.1 Longsor Bidang (Plane Failure)

Longsor bidang merupakan suatu longsor batuan yang terjadi sepanjang bidang luncur yang dianggap rata. Bidang luncur tersebut dapat berupa sesar, kekar (*joint*) maupun bidang perlapisan batuan. Ilustrasi geometri longsor bidang dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini.

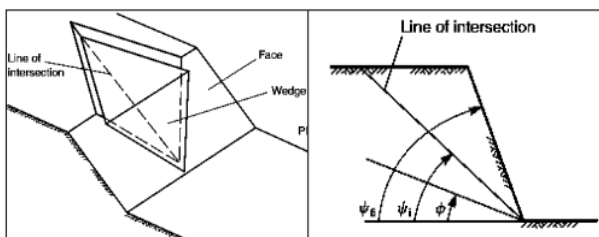


Sumber: Wyllie & Mah, 2004

Gambar 3. Geometri Longsor Bidang (*Plane Failure*)

3.4.2 Longsor Baji (Wedge Failure)

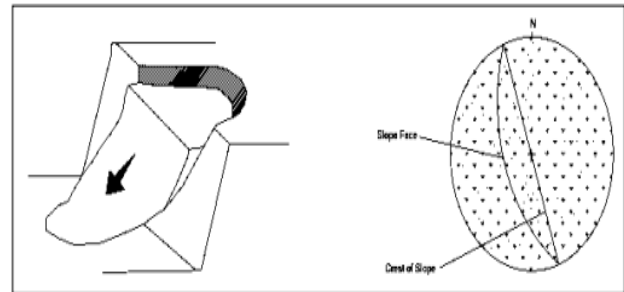
Longsor baji dapat terjadi pada suatu batuan jika terdapat lebih dari satu bidang lemah yang bebas dan saling berpotongan. Sudut perpotongan antara bidang lemah tersebut harus lebih besar dari sudut geser dalam batuan. Ilustrasi geometri longsor baji dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini.



Sumber: Wyllie & Mah, 2004

Gambar 4. Geometri Longsor Baji (*Wedge Failure*)

Longsor busur hanya terjadi pada tanah atau material yang bersifat seperti tanah. Longsor busur juga dapat terjadi pada batuan yang sangat lapuk serta banyak mengandung bidang lemah maupun tumpukan (timbunan) batuan hancur. Ilustrasi geometri longsor busur dapat dilihat pada gambar 5 berikut ini.

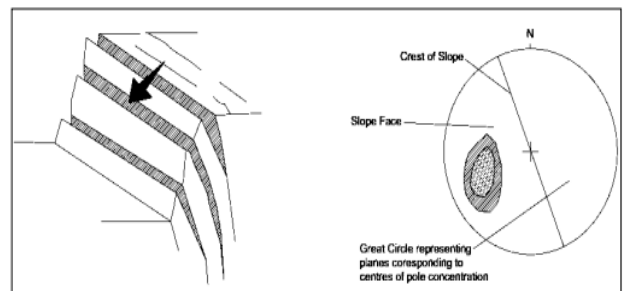


Sumber: Hoek & Bray, 1981

Gambar 5. Geometri Longsor Busur (*Circular Failure*)

3.4.4 Longsor Guling (Toppling Failure)

Longsor guling terjadi apabila bidang-bidang lemah yang hadir di lereng mempunyai kemiringan yang berlawanan dengan kemiringan lereng dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom. Ilustrasi geometri longsor guling dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini.



Sumber: Hoek & Bray, 1981

Gambar 6. Geometri Longsor Guling (*Toppling Failure*)

3.5 Klasifikasi Massa Batuan Dengan Rock Mass Rating (RMR)

Sistem klasifikasi massa batuan RMR menggunakan enam parameter berikut ini, dimana rating setiap parameter dijumlahkan untuk memperoleh nilai total dari RMR :

3.5.1 Kuat Tekan Batuan Utuh (*Strength of Intact Rock Material*)

Kuat tekan batuan utuh dapat diperoleh dari Uji Kuat Tekan Uniaksial (*Uniaxial Compressive Strength, UCS*) dan Uji Point Load (*Point Load Test, PLI*). Pada penelitian ini penulis menggunakan uji point load index (PLI). PLI menggunakan mesin tekan untuk menekan

sampel batuan pada satu titik. Bieniawski mengusulkan sampel yang digunakan berdiameter 50 mm. Hubungan antara nilai point load strength index (Is 50) dengan UCS yaitu $UCS = 23 Is 50$. Faktor koreksi digunakan apabila diameter sampel tidak 50 mm.

$$F = \left(\frac{D}{50} \right)^{0.45}$$

Dimana : F = Faktor koreksi nilai Is
D = Diameter sampel

Untuk mendapatkan nilai *index strength* (Is) batuan, dapat menggunakan rumus

$$Is = F \left(\frac{P}{D^2} \right)$$

Dimana : F = Faktor koreksi nilai Is
D = Jarak Konus
P = Beban Yang Diberikan

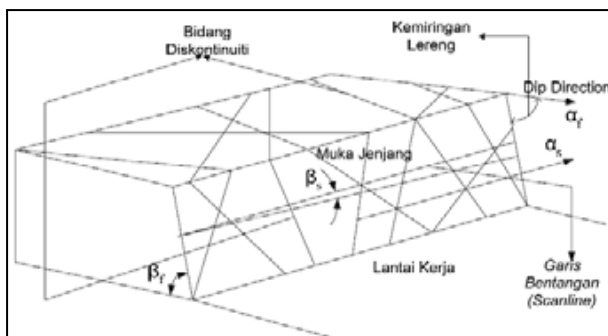
3.5.2 Rock Quality Designation (RQD)

RQD didefinisikan sebagai persentasi dari perolehan inti bor (*core*) yang secara tidak langsung didasarkan pada jumlah bidang lemah dan jumlah bagian yang lunak dari massa batuan yang diamati dari inti bor (*core*). Hanya bagian yang utuh dengan panjang lebih besar dari 100 mm (4 inchi) yang dijumlahkan kemudian dibagi panjang total pengeboran (*core run*) (Deere, 1967). Diameter inti bor (*core*) harus berukuran minimal NW (54,7 mm atau 2,15 inchi) dan harus berasal dari pemboran menggunakan *double-tube core barrel*.

$$RQD = \frac{\sum \text{Length of core pieces} > 10\text{cm length}}{\text{Total length of core run}} \times 100\%$$

3.5.3 Spasi Ketidakmenerusan (Spacing of Discontinuities)

Rekahan (kekar) cenderung akan memperburuk kekuatannya, karena sebagai salah satu bidang diskontinu (ketidakmenerusan). Karakteristik mekanik massa batuan bergantung pada jarak serta orientasinya. Spasi bidang diskontinu adalah jarak tegak lurus antara bidang-bidang diskontinuitas yang berarah sama dan berurutan sepanjang garis pengukuran, berikut ilustrasinya dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini.



Sumber : Bieniawski, 1989

Gambar 7. Spasi Ketidakmenerusan

3.5.4 Kondisi Ketidakmenerusan (Condition of Discontinuities)

Kondisi ketidakmenerusan merupakan parameter yang sangat kompleks dan terdiri dari sub-sub parameter seperti kemenerusan bidang (*persistence*), kekasaran permukaan (*roughness*), material pengisi (*filling*), pelapukan (*weathered*), dan jarak antar kekar.

3.5.5 Kondisi Air Tanah (Ground Water Condition)

Kondisi air tanah atau debit aliran air tanah akan sangat mempengaruhi kekuatan massa batuan. Oleh sebab itu, perlu diperhitungkan dalam klasifikasi massa batuan. Kondisi air tanah ditentukan dengan mengamati dinding batuan secara visual, kemudian dinyatakan dengan parameter umum seperti kering, lembab, air menetes atau mengalir.

3.5.6 Orientasi Ketidakmenerusan (Orientation of Discontinuities)

Kekar (*joint*) adalah rekahan-rekahan pada batuan yang berbentuk lurus, planar, dan tidak terjadi pergeseran. Pasangan kekar (*joint set*) adalah kumpulan kekar pada suatu batuan yang memiliki ciri khas yang dapat dibedakan dengan pasangan kekar lainnya, (Bieniawski, 1984).

Terkadang beberapa kekar saling berpotongan, membagi sebuah batuan besar menjadi balok-balok yang saling terpisah. Jika lereng menembus bidang lemah seperti kekar dengan arah sejajar kedudukannya dan kemiringan curam, serta kemiringan bidang yang berlawanan dengan arah kemajuan dan kemiringan yang curam maka hal tersebut akan sangat merugikan kestabilan lereng dan menyebabkan terjadinya kelongsoran. Jika arah lereng searah dengan arah kemiringan struktur maka disebut *drive with dip*, dan jika arah lereng berlawanan dengan arah kemiringan struktur maka disebut *drive against dip*.

3.6 Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Elemen Hingga

Pada metode Elemen Hingga domain dari daerah yang akan dianalisis dibagi ke dalam sejumlah zona yang lebih kecil yang dinamakan elemen. Elemen-elemen tersebut dianggap saling berkaitan pada sejumlah titik simpul. Perpindahan pada setiap titik simpul dihitung terlebih, kemudian dengan sejumlah fungsi interpolasi yang diasumsikan, perpindahan pada sembarang titik dapat dihitung berdasarkan nilai perpindahan pada titik-titik simpul. Selanjutnya regangan yang terjadi pada setiap elemen dihitung berdasarkan besarnya perpindahan pada masing-masing titik simpul. Berdasarkan nilai regangan tersebut dapat dihitung tegangan yang bekerja pada setiap elemen (Arif, 2015).

Terdapat dua pendekatan yang umum digunakan dalam analisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode Elemen Hingga yaitu:

3.6.1 Metode Pengurangan Kekuatan Geser

Prinsip metode ini ialah kekuatan geser materi yang nilainya dikurangi secara bertahap sampai terbentuk suatu mekanisme keruntuhan pada lereng. Pengurangan parameter kohesi (C) dan sudut gesek dalam (ϕ) dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_f = \frac{C}{SRF} \quad \phi_f = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi}{SRF} \right)$$

Keterangan:

SRF = faktor reduksi kekuatan geser Faktor keamanan (F) besarnya sama dengan nilai SRF pada saat tepat terjadi keruntuhan

3.6.2 Metode Penambahan Gravitasi

Prinsip dari metode penambahan gravitasi yaitu nilai gravitasi dinaikkan secara bertahap sampai terbentuk suatu mekanisme keruntuhan pada lereng. Faktor keamanan dalam pendekatan ini didefinisikan sebagai berikut:

$$(FS)_{gi} = \frac{g_{limit}}{g_{actual}}$$

Keterangan:

g_{actual} = konstanta gravitasi ($9,81 \text{ kN/m}^3$)

g_{limit} = nilai gravitasi yang tepat menyebabkan terjadi suatu keruntuhan pada lereng.

3.7 Dasar Hukum Geoteknik Tambang

Dasar hukum dalam kestabilan lereng berpedoman terhadap Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018 yaitu seperti pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang

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 \leq 1)
Lereng tunggal	Rendah s.d. Tinggi	1,1	Tidak ada	25-50%
	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
Inter-ramp	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 : KEPMEN Nomor 1827, (2018; Halaman 57)

4. Metode Penelitian

Kegiatan observasi lapangan dilaksanakan pada tanggal 17 Juni – 22 Juni 2021. Yang kemudian dilanjutkan dengan kegiatan pengambilan data pada

tanggal 22 Juni – 22 Agustus 2021. Pengambilan data dilakukan pada wilayah izin usaha pertambangan operasi produksi dan proyek area CV. Tekad Jaya. Lokasi penelitian difokuskan pada Blok Puncak II CV. Tekad Jaya, Nagari Tanjung Gadang, Kecamatan Lareh Sago Halaban, Kabupaten Lima Puluh Kota.

Berdasarkan jenisnya, penelitian ini termasuk kedalam jenis penelitian kuantitatif dimana sumber data yang digunakan adalah data berupa angka yang selanjutnya diolah dan dianalisis secara matematik dan kinematik. Pengambilan data di lapangan digunakan untuk mengetahui permasalahan yang ada sehingga dapat dikaji dan memberikan solusi terbaik. Data yang diambil terdiri dari data primer dan data sekunder.

4.1 Data Primer

Data primer adalah data yang diambil langsung dari pengamatan di lapangan yaitu:

4.1.1 Geometri lereng aktual

4.1.2 Sampel batuan untuk dilakukan pengujian sifat fisik dan sifat mekanik

4.1.3 Data hasil pengujian sifat fisik dan sifat mekanik batuan

4.1.4 Data pengukuran bidang lemah batuan pada lokasi penelitian

4.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang didapat berdasarkan dari literature, berbagai referensi, serta arsip-arsip laporan perusahaan, seperti:

4.2.1 Peta Kesampaian Lokasi Dan Daerah Penelitian

4.2.2 Peta Wilayah IUP Perusahaan

4.2.3 Peta Geologi Regional

5. Hasil dan Pembahasan

5.1 Data Penelitian

5.1.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di CV. Tekad Jaya dengan izin usaha pertambangan (IUP) Operasi Produksi untuk bahan galian batu gamping pada areal lahan seluas 6,5 hektar yang berlokasi di Jorong Bulakan, Nagari Tanjung Gadang, Kecamatan Lareh Sago Halaban, Kabupaten 50 Kota. Dilihat dari peta geologi regional daerah lokasi penelitian, lereng disusun oleh batu gamping formasi Kuantan. Lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 8 berikut ini:



Gambar 8. Lokasi Penelitian
5.1.2 Kondisi Lereng

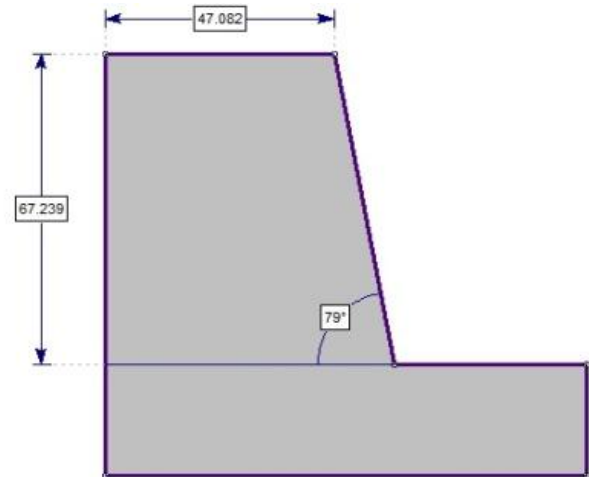
Penelitian ini dilakukan pada area blok II puncak jaya CV. Tekad Jaya yang terletak pada elevasi 657 mdpl - elevasi 700 mdpl. Secara umum lapisan penyusun lereng terdiri dari batuan gamping formasi Kuantan. Pada lokasi lereng tersebut, lereng merupakan lereng tunggal (*single slope*) dengan ketinggian 67 meter dan kemiringan 79° . Bentuk lereng yang cenderung tidak beraturan dan terjal mengakibatkan daerah sekitar lereng pada Blok II Puncak Jaya mengalami kelongsoran. Kondisi lereng pada puncak jaya dapat dilihat pada gambar 9 dibawah ini:



Gambar 9. Kondisi Lereng Daerah Penelitian

5.2 Pemodelan Lereng

Pemodelan lereng pada Blok II Puncak Jaya CV. Tekad Jaya dilakukan untuk mengetahui kemantapan lereng yang didesain berdasarkan data parameter geoteknik yang didapatkan dari pengujian sampel batuan pada daerah penelitian yang berguna untuk mengetahui kondisi aktual dari lereng tersebut. Pemodelan 2D dari kondisi geometri aktual lereng pada daerah penelitian dapat dilihat pada gambar 10 dibawah ini.



Gambar 10. Geometri Aktual Lereng Blok Puncak II CV. Tekad Jaya

5.2.1 Parameter Pengujian Batuan

5.2.1.1 Sifat Fisik Batuan

Pengujian sifat fisik batuan bertujuan untuk mengetahui berapa nilai dari kekuatan alami batuan. Dalam pengujian sifat fisik batuan yang dilaksanakan, didapat nilai sifat fisik batuan, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai bobot isi asli, bobot isi kering dan bobot isi jenuh batuan. hasil pengukuran bobot isi batuan seperti tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2. Hasil Pengujian Sifat Fisik Batuan

No Sampel	Berat Asli (Wn) gr	Berat Jenuh (Ww) gr	Berat Tergantung (Ws) gr	Berat Kerin (Wo) gr	Bobot Isi Asli (gr/cm ³)	Bobot Isi Jenuh (gr/cm ³)	Bobot Isi Kering (gr/cm ³)
1	73,19	68,33	65,98	57,96	2,525	2,575	2,503
2	74,67	69,58	67,12	59,02	2,571	2,618	2,508
3	45,68	43,00	41,38	36,62	2,563	2,608	2,498
4	72,57	66,68	64,31	56,12	2,587	2,635	2,505
5	73,19	68,33	65,98	57,96	2,559	2,622	2,502
Rata - Rata					2,561	2,612	2,503

5.2.1.2 Sifat Mekanik Batuan

Pengujian sifat mekanik batuan ini dilakukan dalam dua bentuk pengujian, yaitu yang pertama pengujian point load index (PLI) dan yang kedua pengujian kuat geser langsung batuan. Pengujian sifat mekanik ini dilakukan di Laboratorium Teknik Pertambangan Universitas Negeri Padang.

5.2.1.2.1 Uji Point Load Index (PLI)

Pada pengujian *point load index* (PLI) batuan yang dilakukan di Laboratorium Teknik Pertambangan Universitas Negeri Padang didapatkan data berupa diameter sampel batuan, jarak antara dua konus penekan (D) dan beban maksimum hingga sampel batuan pecah (P). Tipe pengujian PLI yang dilakukan adalah uji aksial dengan syarat sampel batuan yaitu $D/W = 1.1 \pm 0.05$. Hasil pengujian beban titik (Point Load Index) dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini:

Tabel 3. Hasil Pengujian Point Load Index (PLI)

No	Diameter (cm)	Jarak Konus (D) (cm)	P (kg)	Is (kg/cm ²)	Is (MPa)
1	5,48	6,8	1686	37,993	3,723
2	5,48	6,3	1662,20	43,638	4,276
3	5,48	6,3	1659,10	41,801	4,096
Rata-Rata				41,144	4,032

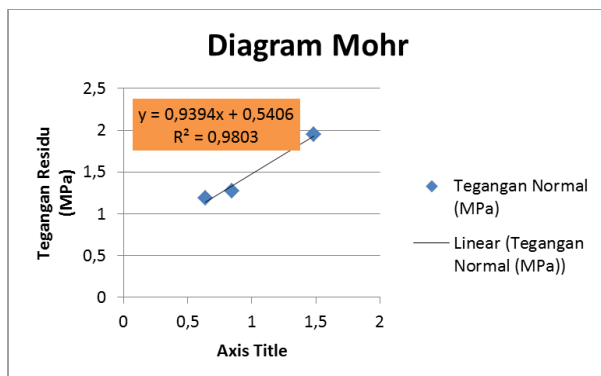
5.2.1.2.2 Uji Kuat Geser Langsung Batuan

Pengujian kuat geser langsung ditujukan untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (Φ) dalam bentuk nilai puncak (*peak*) dan residual. Perhitungan nilai kuat uji geser langsung batuan membutuhkan data uji labor yang didapat dari pembacaan dial alat kuat geser langsung. Hasil pengujian kuat geser langsung sampel batuan dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini:

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Geser Langsung

No	Tegangan Normal (σ_n) (MPa)	Tegangan Geser Residual (MPa)
1	0,636	1,187
2	0,848	1,272
3	1,484	1,951

Dari hasil perhitungan berdasarkan tabel 4 diatas, diperlukan kembali perhitungan untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) dalam bentuk nilai residual yang akan dipergunakan untuk mendapatkan persamaan dalam bentuk grafik. Pada pengujian ini, nilai kohesi dan sudut geser dalam didapat dari korelasi atau regresi antara tegangan normal (sumbu x) dan tegangan geser residu (sumbu y). Nilai kohesi dan nilai sudut geser dalam didapat dari pengolahan dengan menggunakan *software microsoft excel*. Nilai yang dihasilkan dari garis regresi berupa persamaan garis $y = ax + b$. Nilai b menunjukkan nilai kohesi sedangkan arcus tangen dari a adalah nilai sudut geser dalam. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 11 dibawah ini:



Gambar 11. Grafik Hasil Uji Kuat Geser

Dari persamaan yang didapat berdasarkan gambar 11 diatas diketahui nilai kohesi dan sudut geser dalam berbentuk nilai residu dari batuan seperti berikut:

Tabel 5. Hasil Uji Kuat Geser

<i>Lythology</i>	Tegangan Geser	Kohesi MPa	Sudut Geser Dalam ($^{\circ}$)
<i>Limestone</i>	Residu	0,5406	48,011

5.2.2 Material Properties

Material Properties pada penelitian ini menggunakan material batu gamping (*limestone*). Data yang digunakan meliputi bobot isi asli, bobot isi jenuh, bobot isi kering, nilai kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan nilai percepatan gravitasi (g) untuk mengetahui pengaruh adanya getaran terhadap kestabilan lereng. Nilai percepatan gravitasi didapatkan dari Peta Potensi Gempa Dan Pergerakan Batuan Di Indonesia. Nilai yang dipakai sebagai data awal material properties adalah nilai rata-rata yang didapatkan dari hasil pengujian di laboratorium. Untuk material batuan parameter kohesi dan sudut geser dalam digunakan nilai residu dari hasil pengujian sifat mekanik batuan.

Tabel 6. Input Data *Material Properties*

<i>Lythology</i>	Bobot Isi Asli (kN/m ³)	Bobot Isi Jenuh (kN/m ³)	Bobot Isi Kering (kN/m ³)	Kohesi MPa	Sudut Geser Dalam ($^{\circ}$)	Percepatan Gravitasi (g)
<i>Limestone</i>	25,115	25,615	24,546	0,5406	48,011	0,25 g

5.3 Klasifikasi Massa Batuan

Pada penelitian ini, klasifikasi massa batuan berdasarkan dengan metode Rock Mass Rating (RMR). Dalam penerapannya klasifikasi ini membutuhkan beberapa parameter yang telah diketahui berapa jumlah bobot yang dijumlahkan sehingga total bobot tersebut dapat menentukan kelas massa batuan berdasarkan teori Bieniawski.

Berdasarkan hasil perhitungan klasifikasi massa batuan diatas maka diketahui nilai Rock Mass Rating (RMR) di area penelitian yaitu sebesar 57 dengan kategori kualitas massa batuan yaitu sedang. Berdasarkan dari tabel diatas arti nilai Rock Mass Rating (RMR) tersebut dapat dilihat pada tabel 7 dan 8 dibawah ini:

Tabel 7. Klasifikasi Massa Batuan

Parameter Klasifikasi RMR Sistem			
No	Parameter	Rating	
1	<i>Point Load Index</i>	7	
2	RQD	20	
3	<i>Spasi Diskontinuitas</i>	5	
4	Kondisi Bidang <i>Diskontinuitas</i>	Kekerasan	3
		Kemenerusan	6
		Lebar Rongga	1
		Tingkat Pelapukan	3
		Material Pengisi	2
5	Muka Air Tanah	10	
6	<i>Strike dan Dip Of Joint Set</i>	0	
Total Rating		57	
Nomor Kelas Massa Batuan		III	

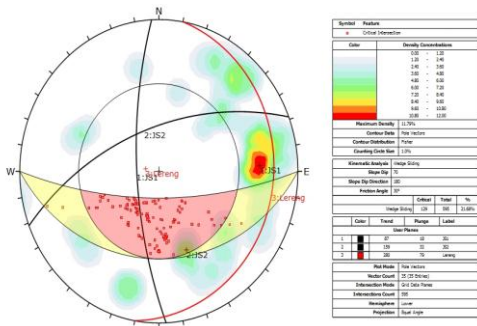
Tabel 8. Kelas Batuan Menurut Metode RMR

Parameter	Bobot				
Nilai RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	< 21
Nomor Kelas RMR	I	II	III	IV	V
Nilai GSI	76-95	56-75	36-55	21-35	< 20
Kualitas Massa Batuan	Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk

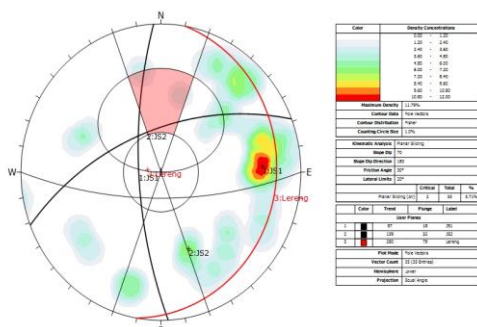
5.4 Pengolahan Data Kekar Untuk Metode Stereografis Analisa Kinematik

Data yang dibutuhkan dalam melakukan analisa kinematik ini adalah data berupa *strike, dip, dip direction* dan kondisi bidang discontinu menggunakan metode *scanline* yang didapat pada pengukuran langsung di lapangan. pengolahan data ini membutuhkan bantuan *Software Rocscience Dips* untuk melihat orientasi penyebaran bidang diskontinuitas pada stereonets. Tujuan utama dari pengolahan data diskontinuitas ini adalah untuk melihat orientasi mayor dan minornya.

Hasil plot bidang diskontinuitas didapat potensi longsoran yang mungkin terjadi pada daerah penelitian yaitu berupa longsoran baji (*wedge failure*) dengan tingkat kemungkinan terjadi menurut stereonets dips adalah 21,68 %, dan longsoran bidang (*planar sliding failure*) dengan tingkat kemungkinan terjadi menurut stereonets dips adalah 5,47%. Dapat dilihat seperti pada gambar 12 dan 13 dibawah ini:



Gambar 12. Potensi Longsoran Baji (*Wedge Failure*)



Gambar 13. Potensi Longsoran Bidang (*Planar Failure*)

Berdasarkan plot data tersebut maka longsoran yang mungkin akan terjadi pada Blok Puncak II CV. Tekad Jaya adalah longsoran baji dengan (*wedge failure*) dengan tingkat kemungkinan terjadi adalah 21,68 %, hal ini dikarenakan potensi longsoran baji memiliki

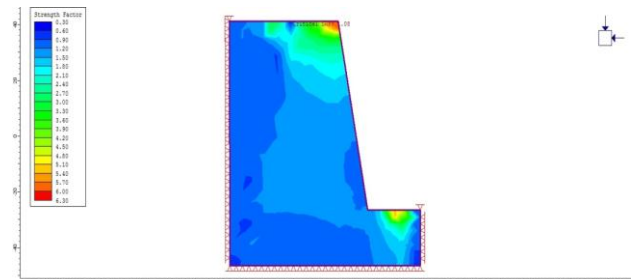
presentase yang lebih tinggi dibandingkan dengan longsoran bidang.

5.5 Analisis Kestabilan Lereng

5.5.1 Analisis Kestabilan Lereng Aktual

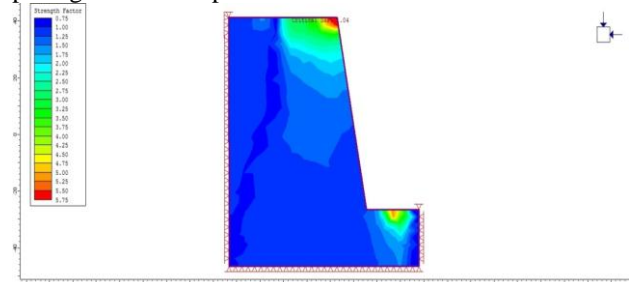
Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) dimana penggambaran disajikan dalam bentuk tabel atau grafik. Serta penyelesaian perhitungan dibantu dengan menggunakan perangkat lunak (*Software Rocscience Phase II*). Nilai faktor keamanan statis minimum berdasarkan pada Kepmen ESDM No. 1827 tahun 2018 untuk menilai stabilitas model lereng tunggal (*single slope*) yang dapat diterima adalah $FK \geq 1,1$.

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan oleh peneliti pada bulan Juli 2021, diketahui geometri aktual lereng Blok Puncak II CV. Tekad Jaya memiliki ketinggian lereng tunggal (*single slope*) yaitu 67 m dengan sudut kemiringan sebesar 79° . Hasil analisis lereng dalam keadaan natural menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) nilai faktor keamanan (FK) didapat sebesar 1,08 Hasil pengolahan analisis lereng untuk lereng dalam keadaan natural dapat dilihat pada gambar 14 dibawah ini.



Gambar 14. Hasil Analisis Lereng Aktual Kondisi Natural

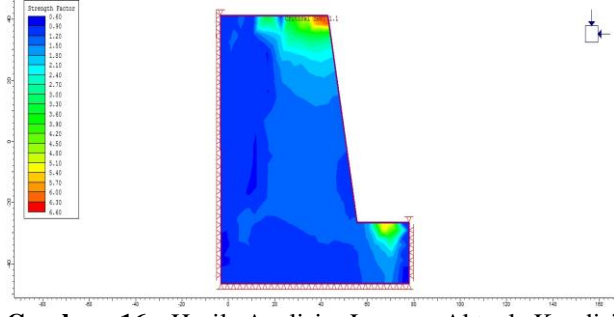
Setelah dilakukan analisis lereng aktual dalam kondisi natural, maka dibutuhkan juga analisis lereng aktual dalam kondisi jenuh dan kondisi kering. Hasil analisis lereng aktual dalam kondisi jenuh dapat dilihat pada gambar 15 seperti dibawah ini.



Gambar 15. Hasil Analisis Lereng Aktual Kondisi Jenuh

Berdasarkan hasil analisis lereng aktual dalam keadaan jenuh menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) nilai dari faktor keamanan (FK)

didapat sebesar 1,04. Sedangkan hasil analisis lereng aktual dalam kondisi kering dapat dilihat pada gambar 16 seperti dibawah ini.



Gambar 16. Hasil Analisis Lereng Aktual Kondisi Kering

Berdasarkan hasil analisis lereng aktual dalam kondisi kering menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) nilai dari faktor keamanan (FK) didapat sebesar 1,1.

Dari hasil analisis kestabilan lereng aktual didapatkan bahwa lereng memiliki nilai faktor keamanan aktual yang dapat dilihat pada tabel 9 berikut ini.

Tabel 9. Nilai Faktor Keamanan (FK) Lereng Aktual

Metode	Ketinggian	Sudut Lereng	Nilai Faktor Keamanan (FK)		
			Natural	Jenuh	Kering
Elemen Hingga	67 m	79°	1,08	1,04	1,1

Melihat dari keadaan ketiga lereng ini dan analisis yang dilakukan kondisi lereng pada keadaan natural, keadaan jenuh, dan keadaan kering berada dalam kondisi yang kritis. Hal ini dikarenakan nilai faktor keamanan yang didapatkan $\leq 1,1$ dan sangat berkemungkinan terjadinya longsor. Oleh sebab itu, pada geometri lereng diperlukan adanya perbaikan agar faktor keamanan (FK) pada lereng berada dalam keadaan yang aman dan stabil.

5.5.2 Analisis dan Rekomendasi Geometri Lereng

Analisa kestabilan lereng pada daerah penelitian diperlukan agar keadaan lereng tersebut menjadi lebih aman dan stabil. Oleh sebab itu, dilakukan analisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) yang dibantu dengan program *software Phase 2*. Metode elemen hingga (*finite element method*) ini digunakan karena metode ini didasarkan pada hubungan tegangan regangan, dimana potensi bidang kelongsoran dengan mencari titik /bidang lemah di dalam batuan dengan cara mengurangi kuat geser batuan (*Shear Strength Reduction*) secara bertahap. Prinsip dari metode ini yaitu kekuatan geser material nilainya dikurangi secara bertahap sampai berbentuk suatu mekanisme keruntuhan pada lereng. Pengurangan parameter kohesi (C) dan sudut geser dalam (ϕ). Metode penanganan potensi kelongsoran lereng untuk pencegahan atau supaya stabilitas lereng adalah mengurangi beban di puncak lereng dengan cara

melakukan pemangkasan lereng baik mengurangi sudut kemiringan maupun pembuatan *bench* (Zakaria,2009).

5.5.2.1 Lereng Tunggal (Single Slope)

Berdasarkan dari analisis kestabilan lereng aktual yang telah dilakukan nilai faktor keamanan yang didapatkan $\leq 1,1$ dan sangat berkemungkinan terjadinya longsor. Maka dari itu perlu dilakukan perubahan pada geometri lereng dan analisis kestabilan lereng tunggal. Berikut ini adalah tabel simulasi nilai faktor keamanan (FK) pada lereng tunggal (*single slope*). Analisis simulasi dilakukan dengan cara menurunkan ketinggian lerengnya dan dapat dilihat pada tabel 10 berikut ini.

Tabel 10. Nilai Simulasi Faktor Keamanan Lereng Tunggal 2

Ketinggian	Sudut Lereng	Nilai Faktor Keamanan (FK)		
		Natural	Jenuh	Kering
67 m	79°	1,08	1,04	1,1
65 m	79°	1,12	1,09	1,18
60 m	79°	1,19	1,16	1,24
55 m	79°	1,24	1,21	1,29
50 m	79°	1,3	1,24	1,33
49 m	79°	1,31	1,25	1,34
47 m	79°	1,33	1,27	1,36
45 m	79°	1,35	1,31	1,39
44 m	79°	1,37	1,32	1,4
43 m	79°	1,38	1,34	1,41

Dilihat dari tabel diatas, apabila dengan rekomendasi ketinggian 45 m dan sudut lereng 79° maka nilai faktor keamanan (FK) untuk setiap kondisi $\geq 1,3$. Hal ini menandakan, ketinggian lereng yang aman dan stabil yaitu berada pada ketinggian 45 m, namun untuk penerapan pekerjaannya dilapangan model lereng tunggal ini tidak direkomendasikan karena akan memakan biaya yang cukup besar.

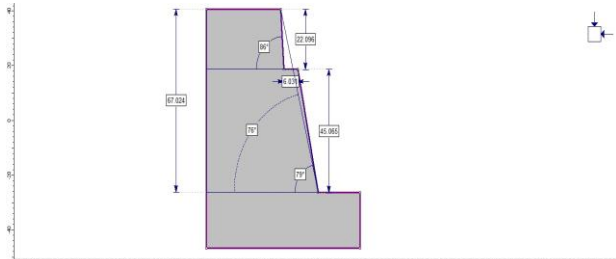
Oleh sebab itu, untuk membuat desain lereng yang aman dan stabil serta tidak memakan biaya yang besar maka desain lereng yang direkomendasikan adalah model *double bench* atau *overall slope*. Berikut ini adalah tabel simulasi nilai faktor keamanan (FK) pada lereng tunggal (*single slope*) yang analisis simulasinya dilakukan dengan cara merubah sudut lerengnya.

Tabel 11. Nilai Simulasi Faktor Keamanan Lereng Tunggal 1

Ketinggian	Sudut Lereng	Nilai Faktor Keamanan (FK)		
		Natural	Jenuh	Kering
22 m	79 ⁰	1,68	1,64	1,7
	80 ⁰	1,63	1,61	1,67
	81 ⁰	1,6	1,57	1,62
	82 ⁰	1,56	1,52	1,59
	83 ⁰	1,5	1,48	1,53
	84 ⁰	1,47	1,43	1,5
	85 ⁰	1,4	1,37	1,44
	86 ⁰	1,36	1,32	1,38
	87 ⁰	1,31	1,28	1,34
88 ⁰	1,27	1,24	1,31	

5.5.2.2 Lereng Double Bench (Overall Slope)

Lereng *double bench* atau *overall slope* merupakan solusi yang sangat peneliti rekomendasikan untuk membuat kondisi lereng menjadi lebih stabil dan aman. Berikut ini adalah gambar pemodelan 2D pada lereng model *double bench*:



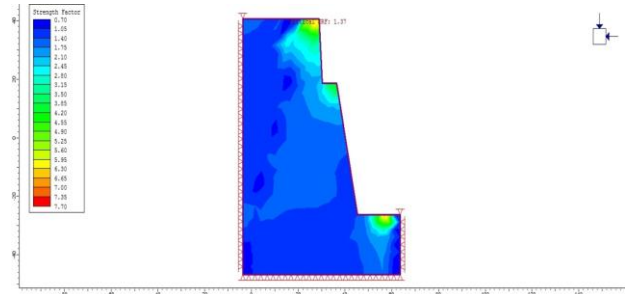
Gambar 17. Pemodelan 2D Lereng *Double Bench* (*Overall Slope*)

Nilai faktor keamanan statis minimum berdasarkan pada Kepmen ESDM No. 1827 tahun 2018 untuk menilai stabilitas model lereng keseluruhan (*overall slope*) yang dapat diterima adalah FK 1,3 untuk mendapatkan rancangan lereng optimum, lereng dianalisis dengan target $FK \geq 1,3$. Berikut ini adalah tabel simulasi nilai faktor keamanan (FK) pada lereng model *double bench*:

Tabel 12. Simulasi Nilai Faktor Keamanan Lereng *Double Bench*

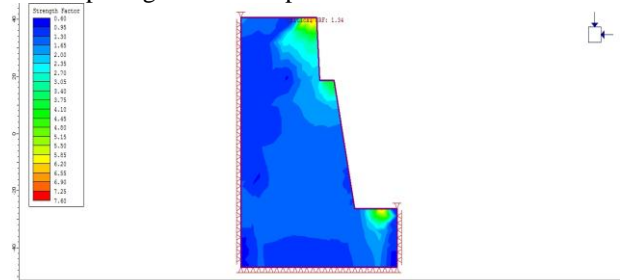
Lereng	Ketinggian	Sudut Lereng	Nilai Faktor Keamanan (FK)		
			Natural	Jenuh	Kering
Tunggal 1	22 m	86 ⁰	1,36	1,32	1,38
Tunggal 2	45 m	79 ⁰	1,35	1,31	1,39
<i>Overall Slope</i>					
<i>Double Bench</i>	67 m	76 ⁰	1,37	1,34	1,4

Berdasarkan simulasi rekayasa geometri lereng tambang yang telah dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan software *phase II*, maka didapatkan nilai faktor keamanan (FK) yang aman bagi lereng dalam kondisi natural dengan lebar *bench* 6 meter dan kemiringan sudut lereng *overall* 76⁰ yaitu sebesar 1,37. Hasil input data untuk kondisi natural pada lereng dapat dilihat pada gambar 18 seperti dibawah ini:



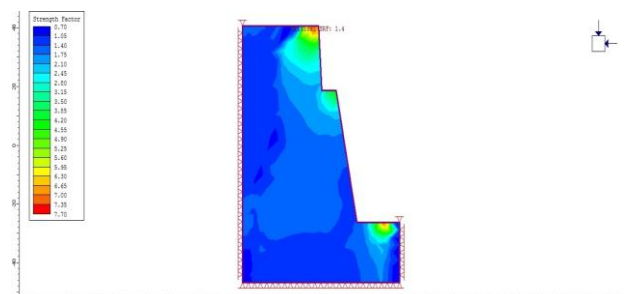
Gambar 18. Hasil Rekomendasi Lereng *Double Bench* Dalam Kondisi Natural

Selanjutnya pada simulasi rekayasa geometri lereng tambang yang telah dilakukan, maka didapatkan nilai faktor keamanan (FK) yang aman bagi lereng dalam kondisi jenuh dengan lebar *bench* 6 meter dan kemiringan sudut lereng *overall* 76⁰ yaitu sebesar 1,34. Hasil input data dengan kondisi jenuh pada lereng dapat dilihat pada gambar 19 seperti dibawah ini:



Gambar 19. Hasil Rekomendasi Lereng *Double Bench* Dalam Kondisi Jenuh

Dan pada simulasi rekayasa geometri lereng tambang yang telah dilakukan, maka didapatkan nilai faktor keamanan (FK) yang aman bagi lereng dalam kondisi kering dengan lebar *bench* 6 meter dan kemiringan sudut lereng *overall* 76⁰ yaitu sebesar 1,4. Hasil input data dengan kondisi kering pada lereng dapat dilihat pada gambar 20 seperti dibawah ini:



Gambar 20. Hasil Rekomendasi Lereng *Double Bench* Dalam Kondisi Kering

5.6 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik dan mekanik sampel batuan pada lereng Blok Puncak II CV. Tekad Jaya diketahui bahwa sampel batuan memiliki nilai bobot isi asli 25,115 kN/m³, bobot isi jenuh 25,615 kN/m³, bobot isi kering 24,546 kN/m³, nilai kohesi sebesar 0,5406 MPa, dan sudut geser dalam sebesar 48,011⁰. Dan berdasarkan pengelompokan kelas massa

batuan yang dilakukan melalui metode *rock mass rating* (RMR) untuk mengetahui klasifikasi massa batuan diperoleh hasil kelas batuan berada pada kelas III yang menunjukkan kualitas massa batuan dalam golongan sedang.

Hasil pengolahan dari orientasi bidang diskontinu menggunakan analisis stereografis arah dan tipe longsoran diketahui bahwa jenis potensi longsoran yang mungkin terjadi pada lereng daerah penelitian adalah longsoran baji (*wedge failure*) dengan tingkat kemungkinan terjadi menurut *stereonet's dips* adalah 21,68 % dan longsoran bidang (*planar sliding failure*) dengan tingkat kemungkinan terjadi menurut *stereonet's dips* adalah 5,47%.

Hasil analisis kestabilan lereng aktual dengan ketinggian lereng yaitu 67 meter dan kemiringannya 79° , maka didapat nilai faktor keamanan (FK) aktual lereng dalam keadaan natural menurut metode elemen hingga (*Finite Element Method*) yaitu sebesar 1,08, sedangkan untuk nilai faktor keamanan (FK) aktual lereng dalam keadaan jenuh didapatkan yaitu sebesar 1,04. Dan untuk nilai faktor keamanan (FK) aktual lereng dalam keadaan kering didapatkan yaitu sebesar 1,1.

Berdasarkan hasil tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa lereng dalam keadaan natural, keadaan jenuh, dan keadaan kering menunjukkan kondisi yang tidak aman dan tidak stabil. Menurut KEPMEN No. 1827 tahun 2018 diketahui bahwa faktor keamanan lereng tunggal (*single slope*) agar stabil memiliki nilai faktor keamanan (FK) sebesar 1,1. Namun pada penelitian ini, peneliti tidak mengkaji tentang probabilitas kelongsoran sehingga untuk menghindari resiko kelongsoran, peneliti merekomendasikan pembuatan lereng keseluruhan (*overall slope*) dengan model *double bench*. Nilai faktor keamanan (FK) untuk lereng keseluruhan (*overall slope*) agar stabil dan aman memiliki nilai FK sebesar 1,3. Untuk itu dilakukan pemodelan ulang geometri lereng dengan cara pembuatan *bench* dengan model *double bench* dan memiliki nilai faktor keamanan (FK) $\geq 1,3$.

Melalui analisis yang dilakukan menggunakan *software rockscience phase II* maka didapatkan hasil rekomendasi geometri lereng dengan lebar *bench* 6 meter dan kemiringan lereng *overall* sebesar 76° , dengan nilai faktor keamanan (FK) dalam keadaan natural menurut metode elemen hingga (*finite element method*) didapatkan yaitu sebesar 1,37. Sedangkan nilai faktor keamanan (FK) dalam keadaan jenuh didapatkan yaitu sebesar 1,34, dan nilai faktor keamanan (FK) dalam keadaan kering didapatkan yaitu sebesar 1,4.

Pada analisis faktor keamanan (FK) untuk memberikan rekomedasi perencanaan dan desain geometri lereng, peneliti menggunakan metode elemen hingga. Metode elemen hingga (*finite element method*) ini digunakan karena metode ini didasarkan pada hubungan tegangan regangan, dimana potensi bidang kelongsoran dengan mencari titik/bidang lemah di dalam batuan dengan cara mengurangi kuat geser batuan (*Shear Strength Reduction*) secara bertahap. Berikut ini tabel hasil analisis rekomendasi geometri lereng keseluruhan (*overall slope*).

Tabel 13. Rekomendasi Geometri Lereng *Double Bench* (*Overall Slope*)

Ketinggian (m)	Koehsi (MPa)	Sudut Geser Dalam ($^{\circ}$)	Sudut Lereng ($^{\circ}$)	Metode	Faktor Keamanan		
					Natural	Jenuh	Kering
67	0,5406	48,011	76	Elemen Hingga (<i>Phase II</i>)	1,37	1,34	1,4

6. Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan hasil analisa yang dilakukan pada lokasi penelitian area Blok Puncak II pada CV. Tekad Jaya, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

6.1.1 Hasil pengujian sifat fisik dan mekanik batuan

6.1.1.1 Pengujian sifat fisik batuan

6.1.1.1.1 Nilai rata-rata bobot isi asli yaitu sebesar $25,115 \text{ kN/m}^3$

6.1.1.1.2 Nilai rata-rata bobot isi kering yaitu sebesar $25,615 \text{ kN/m}^3$

6.1.1.1.3 Nilai rata-rata bobot isi jenuh yaitu sebesar $24,546 \text{ kN/m}^3$

6.1.1.2 Pengujian sifat mekanik batuan

6.1.1.2.1 Nilai Index Strength (Is) adalah 4,032 MPa

6.1.1.2.2 Nilai kohesi (c) adalah 0,5406 MPa

6.1.1.2.3 Nilai sudut geser dalam (ϕ) adalah $48,011^{\circ}$

6.1.2 Berdasarkan 6 parameter klasifikasi massa batuan dengan metode *Rock Mass Rating* (RMR), maka didapatkan nilai total pembobotan yaitu 57 yang artinya batuan ini tergolong pada kelas III dengan kualitas batuan sedang.

6.1.3 Potensi longsoran yang mungkin terjadi pada daerah penelitian berdasarkan arah *strike, dip*, dan *dip direction* bidang diskontinu, menunjukkan adanya potensi longsoran baji (*wedge failure*) dengan presentase kemungkinan terjadi adalah 21,68 % dan longsoran bidang (*planar sliding failure*) dengan tingkat kemungkinan terjadi menurut *stereonet's dips* adalah 5,47%.

6.1.4 Hasil analisis kestabilan lereng aktual dengan ketinggian lereng yaitu 67 meter dan kemiringannya 79° didapat nilai faktor keamanan (FK) aktual lereng dalam keadaan natural menurut metode elemen hingga (*finite element method*) yaitu sebesar 1,08, sedangkan nilai faktor keamanan (FK) aktual lereng dalam keadaan jenuh yaitu sebesar 1,04. Dan nilai faktor keamanan (FK) aktual lereng dalam keadaan kering yaitu sebesar 1,1.

6.1.5 Hasil rekomendasi lereng berupa:

6.1.5.1 Rekomendasi pembuatan lereng keseluruhan (*overall slope*) model *double bench* dengan lebar *bench* 6 meter dan kemiringan sudut lereng *overall* 76° , maka didapatkan nilai

- faktor keamanan (FK) yang aman bagi lereng dalam kondisi natural yaitu sebesar 1,37.
- 6.1.5.2 Rekomendasi pembuatan lereng keseluruhan (*overall slope*) model *double bench* dengan lebar *bench* 6 meter dan kemiringan sudut lereng *overall* 76^0 , maka didapatkan nilai faktor keamanan (FK) yang aman bagi lereng dalam kondisi jenuh yaitu sebesar 1,34.
- 6.1.5.3 Rekomendasi pembuatan lereng keseluruhan (*overall slope*) model *double bench* dengan lebar *bench* 6 meter dan kemiringan sudut lereng *overall* 76^0 , maka didapatkan nilai faktor keamanan (FK) yang aman bagi lereng dalam kondisi kering yaitu sebesar 1,4.

6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini, yaitu:

- 6.2.1 Desain lereng aktual yang ada di lapangan sebaiknya disesuaikan dengan desain Rencana Kerja dan Anggaran Perusahaan untuk meminimalisir suatu waktu terjadinya bahaya akibat longsor yang terjadi akibat lereng yang tidak stabil.
- 6.2.2 Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan maka perlu dilakukannya tindakan pencegahan dengan perubahan geometri lereng terutama pada kemiringan lereng, untuk menaikkan nilai faktor keamanan (FK) sehingga lereng menjadi lebih aman dan stabil.
- 6.2.3 Pengontrolan, pemeliharaan, dan pengawasan terhadap keadaan sekitar lereng harus selalu diperhatikan untuk mengurangi dan menghindari adanya gangguan atau hal yang dapat menghambat proses penambangan.
- 6.2.4 Pada saat melakukan percobaan di laboratorium dibutuhkan ketelitian dan pemahaman teori dalam proses pengolahan data agar hasil yang diperoleh lebih maksimal dan akurat.

Daftar Pustaka

- [1] Arief, Saifuddin. 2007. "Konsep Dasar & Metode-metode dalam Analisis Kestabilan Lereng". *Buku kompilasi tidak diterbitkan*.
- [2] Arief, Saifuddin. 2008. "Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan". *Buku kompilasi tidak diterbitkan*.
- [3] Arif, Irwandy. 2015. "Geoteknik Tambang". Bandung: ITB. Azizi, Masagus A. & Rr Harminuke Eko Handayani. 2011. "Karakterisasi Parameter Masukan untuk Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (Studi Kasus di PT. Tambang Batubara Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan)". Paper. Prosiding Seminar Nasional AvoER Ke-3.
- [4] Azizi, Masagus Ahmad, dkk. 2011. "Karakterisasi Parameter Masukan Untuk Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (Studi Kasus Di PT. Tambang Batubara Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan)". ISBN: 9795873954. Universitas Sriwijaya
- [5] Bieniawski, 1973. "Klasifikasi geomekanika (RMR-System)"
- [6] Barton, Lien, dan Lunde. 1974. "Q sistem"
- [7] Deere, 1967. "Klasifikasi Rock Quality Designation (RQD)".
- [8] Hoek and Brown, 1980 (dalam Astawa Rai, 2013)
- [9] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2018. Kepmen ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018: Pedoman Pelaksanaan.
- [10] Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Lampiran II. Hal 57
- [11] Manoppo, Fabian J., dkk. 2018. "Analisis Kestabilan Lereng Batu Kapur (Studi Kasus: Bangunan Hotel Tasangkapura Di Kota Jayapura)". ISSN: 23376732, Vol. 6 No. 8 Agustus 2018.
- [12] Pane Adelina Riski & Yoszi M. Anaperta. 2019. "Karakterisasi Massa Batuan dan Analisis Kestabilan Lereng Untuk Evaluasi Geometri Lereng di Pit Barat Tambang Terbuka PT. AICJ (Allied Indo Coal Jaya) Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat". Jurnal. Bina Tambang Vol 4 No 3.
- [13] Rahim Azhary, Bambang Heryadi & Yoszi M. Anaperta. "Analisis Kestabilan Lereng Untuk Menentukan Geometri Lereng Pada Area Penambangan PIT Muara Tiga Besar Selatan PT. Bukit Asam (persero) TBK, Tanjung Enim, Sumatera Selatan.". Jurnal tidak diterbitkan. Padang: UNP.
- [14] Rizaldi, Bambang Heriyadi, 2020. "Analisis Balik Kestabilan Lereng Pada Area Blok Bukit Tambun PT. Cahaya Bumi Perdana, Kota Sawahlunto". Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang
- [15] Sandra H & Yoszi M. Anaperta. "Analisis Kestabilan Lereng Studi Kasus Area Tambang Rakyat di Bukit Tui S0 28'43.15" E100 24'16.24"- S0 28'43.15" E100 24'15.28" Kecamatan Padang Panjang ". Jurnal. Bina Tambang Vol 3, No.4

- analysis. Thurber Consultants, dan University of British Columbia, Canada : Canadian Geotechnical Journal.
- [16] Santoso, Eko, dkk.2016.“Slope Stability Analysis Based on Rock Mass Characterization in Open Pit Mine Method”. ISSN: 2442-7764, Vol 8 No. 1 Juni 2016.
- [17] Saputri, Oktaviana, Bambang Heriyadi & Yoszi Mingsi Anaperta. 2017. “Analisis Kestabilan Lereng Untuk Sistem Penambangan Overburden (Soil) Di Area Iup 412 Ha Bukit Tajarang Indarung Pt. Semen Padang Sumatera Barat”. Padang: UNP.
- [18] Stini, 1950. “Seni Penerowongan Karena Konsep Yang Diperkenalkan Lebih Relevan Dalam Penentu Tipe Dan Jumlah Penyangga Terowongan”
- [19] Swana, Galih W,dkk. 2012. “Desain Lereng Final dengan Metode RMR, SMR, dan Analisis Kestabilan Lereng pada Tambang Terbuka, di Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan”. Fakultas Geologi Universitas Padjajaran.
- [20] Syam, Muhammad Amin. 2018. “Analisis Kestabilan Lereng Berdasarkan Nilai Slope Mass Rating Di Desa Sukamaju, Tenggara Seberang, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur”. ISSN: 25795546 Vol. 2 No. 2 Oktober 2018.
- [21] Wickham, Tiedemann, dan Skinner. 1972, 1974. “Rock Structure Rating (RSR)”. Amerika Serikat.
- [22] Husein, D., Heriyadi, B., & Anaperta, Y. M. 2018. “Slope Stability Analysis at Pit Al-Blok B PT. Anugrah Alam Andalas Muara Ketalo Village, Sungai Bengkal, Tebo Ilir Subdistrict, Tebo District, Jambi Province”, Bina Tambang, 3(1), 504-523
- [23] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2018. Kepmen ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018: Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Lampiran II.
- [24] Putra Suryadi & Bambang Heriyadi. 2018. “Analisis Balik Kestabilan Lereng Penampang A Dan Penampang B Area Lowwall Tambang Batubara Pada Pit X PT. Kideco Jaya Agung Kecamatan Batu Sopang Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur”. Jurnal.Bina Tambang Vol 4 No 1
- [25] Byrne P.M, Oldric Hungr, F.M Saalgado. 2011. 10. Evaluation of a Threedimensional method of slope stability