

Analisis Rancangan Kestabilan Lereng *Sidewall* Tambang Batubara KUD Sinamar Sakato, Kabupaten Dhamasraya, Provinsi Sumatera Barat

Zulmy Rahmat I*, and Heriyadi Bambang I**

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

[*zulmyrahmat@gmail.com](mailto:zulmyrahmat@gmail.com)

[**bambangh@ft.unp.ac.id](mailto:bambangh@ft.unp.ac.id)

Abstrak. KUD Sinamar Sakato merupakan suatu perusahaan yang bergerak pada bidang pertambangan batubara yang berlokasi di Jorong Sinamar, Nagari Sinamar Kecamatan Asam Jujuhan, Kabupaten Dhamasraya. Pada lereng *sidewall* terdapat danau dengan luas area 32.058 m² dan kedalaman danau mencapai 30 meter. Tekanan air yang ada di danau menyebabkan meningkatnya gaya penggerak pada lereng *sidewall* tambang batubara KUD Sinamar Sakato. Akibat besarnya gaya penggerak dari pada gaya penahan akan menyebabkan terjadinya kelongsoran pada lereng *sidewall* tambang batubara KUD Sinamar Sakato. Maka itu diperlukan kajian geoteknik seperti uji sifat fisik dan sifat mekanik pada sampel batuan, nilai faktor keamanan aktual dari lereng *sidewall*, memberikan rekomendasi geometri lereng *sidewall* dengan ketentuan Kepmen 1827 K/ME/30/2018. Analisis faktor keamanan (FK) dan rekomendasi geometri lereng dengan metode bishop simplified. Hasil yang didapat dari penelitian, pertama dilakukan pemodelan didapatkan nilai faktor keamanan kritis pada lereng aktual *sidewall* di KUD Sinamar Sakato dengan menggunakan metode bishop simplified sebesar 1,041. Kedua, Setelah dilakukan permodelan pada lereng *sidewall* dengan melakukan resloping sudut overall sebesar 53 derajat, dengan geometri lereng terdiri dari 2 slope, memiliki sudut lereng tunggal sebesar 65, dari geometri tersebut didapatkan nilai faktor keamanan lereng *sidewall* menggunakan metoda bishop simplified sebesar 1,315. Ketiga, rekomendasi geometri lereng keseluruhan terdiri dari 3 slope dengan sudut overall sebesar 41 derajat, sudut lereng tunggalnya sebesar 65 derajat dan tinggi lereng tunggalnya sebesar 22 m, dengan menggunakan metoda bishop simplified didapatkan faktor keamanan lereng *sidewall* sebesar 1,302

Keywords: Kestabilan, Lereng *Sidewall*, Geometri Lereng, Faktor Keamanan, Bishop Simplifiet, Janbu Simplifiet.

1. Pendahuluan

KUD Sinamar Sakato merupakan suatu perusahaan yang bergerak pada bidang pertambangan batubara yang berlokasi di Jorong Sinamar, Nagari Sinamar Kecamatan Asam Jujuhan, Kabupaten Dhamasraya. KUD Sinamar Sakato melakukan kegiatan penambangan dengan menggunakan metode *open pit* (tambang terbuka).

Dalam kegiatan penambangan, masalah yang banyak dihadapi terkait dengan kestabilan lereng baik pada proses penambangan *open pit* dan pembuatan lereng timbunan.

Perubahan kestabilan lereng dapat diakibatkan oleh aktivitas pengangkutan, penimbunan, erosi, penggalian, dan aktivitas lain yang dilakukan pada area lereng. Lereng-lereng yang tidak stabil dapat mengganggu kegiatan produksi serta membahayakan keselamatan pekerja. Untuk mengatasi perubahan kestabilan lereng dapat dilakukan proses *degradasi* atau pengurangan beban pada lereng sampai mendapatkan keseimbangan yang baru.

Pada lereng *sidewall* KUD Sinamar Sakato terdapat lokasi bekas penambangan yang telah menjadi danau, memiliki titik koordinat x 0799897, y 9847499, elevasi 82

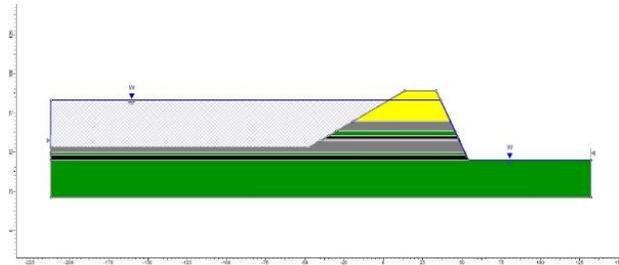
mdpl yang diambil dari permukaan danau. Jarak antara lereng *sidewall* dengan danau, yaitu 20 m, luas area 32.058 m² dan sesuai informasi yang penulis dapatkan dari kepala teknik tambang dan warga sekitar, kedalaman danau mencapai 30 m dari permukaan. Parit yang berada di antara lereng dengan danau memiliki lebar 4 m dan tinggi 3 m. Tekanan air yang ada di danau menyebabkan meningkatnya gaya penggerak pada lereng *sidewall* tambang batubara KUD Sinamar Sakato. Akibat besarnya gaya penggerak dari pada gaya penahan akan menyebabkan terjadinya kelongsoran pada lereng *sidewall* tambang batubara KUD Sinamar Sakato.

Objek utama dalam penelitian adalah lereng *sidewall* tambang batubara KUD Sinamar Sakato. Permukaan lereng *sidewall* berada di koordinat Easting 800004, Northing 9847599.993, dan Elevasi 90.308 yang tinggi 33 m dari permukaan hingga mencapai seam 2, sudut lereng 65° dan pembuatan lereng dilanjutkan hingga mencapai seam 3 dengan ketinggian keseluruhan 53 m. Jenis batuan pada lereng *sidewall* yaitu batu pasir, batu lempung dan batubara. Maka dari itu, perlu dilakukan perancangan geometri lereng dan berbagai macam uji laboratorium terhadap sampel masa batuan sebagai penyusun lereng tersebut.

Berdasarkan permasalahan di atas, Kepmen 1827 K/ME/30/2018 menyebutkan bahwa diwajibkan melakukan kajian geoteknik yang didalamnya termasuk uji laboratorium baik mekanika tanah dan mekanika batuan yang diperlukan dalam perencanaan tambang. Rancangan kestabilan lereng dilakukan dengan analisis geoteknik agar kegiatan penambangan dapat dilaksanakan dengan didukung data yang valid mengenai keamanan lereng. Romana (1993) menyatakan bahwa aturan lereng yang aman seperti, merancang tinggi jenjang, teras jenjang dan mengetahui sudut lereng aman agar didapat nilai Faktor Keamanan (FK) yang stabil sesuai dengan Kepmen 1827 K/ME/30/2018. Menurut Kepmen 1827 K/ME/30/2018, faktor keamanan (FK) lebih besar atau sama dengan 1.3 untuk mencapai lereng yang stabil.

Pada rencana untuk mendukung kestabilan lereng perusahaan KUD Sinamar Sakato, maka dibutuhkan suatu rekomendasi kajian geoteknik. Selanjutnya, diperlukan analisis kondisi lereng pada keadaan jenuh dan setengah jenuh. Hal ini belum dilakukan pada lereng *sidewall*, karakteristik lereng *sidewall* dan analisis kemungkinan longsor pada area lereng *sidewall*.

Didasarkan oleh hal tersebut, penulis ingin membahas lebih lanjut lalu menjadikan sebuah penelitian dengan judul: **Analisis Rancangan Kestabilan Lereng Sidewall Tambang Batubara KUD Sinamar Sakato Kabupaten Dhamasraya, Provinsi Sumatera Barat.**



Gambar 1. Permodelan Keadaan Lereng Aktual

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Kestabilan Lereng

Kemantapan lereng didefinisikan sebagai suatu kondisi atau keadaan yang mantap/stabil terhadap suatu bentuk dan dimensi lereng (Duncan, et al, 2004). Tanah dan batuan mempunyai sifat fisik dan sifat mekanik tertentu, seperti kohesi (c), sudut gesek dalam (*angle of internal friction*), kuat tarik, kuat tekan, modulus elastisitas, nisbah poisson, dan bobot isi serta sifat fisik dan mekanik lainnya yang sangat berperan dalam menentukan kekuatan tanah dan batuan yang juga mempengaruhi kestabilan lereng (Hoek and Bray (1981) dalam Irwandy 2015: 10-11). Faktor keamanan adalah perbandingan antara gaya penahan, dengan gaya penggerak lereng (Duncan, et al, 2004). Faktor ini merupakan suatu cara untuk menyatakan kestabilan suatu lereng batuan. Secara matematis faktor kestabilan lereng dinyatakan sebagai berikut:

$$F = \frac{R}{F_p} \dots \dots \dots (1)$$

- F = Faktor Kestabilan Lereng
- R = Faktor Penahan
- F_p = Faktor Penggerak

FK yang dimaksud sebagai kondisi standar untuk mengetahui kestabilan suatu lereng. Terdapat tiga kelas rentang faktor keamanan (*safety factor*) ditinjau dari intensitas kelongsorannya (Bowles,1989).

Dengan ketentuan:

- FK ≥ 1,25 : lereng dalam keadaan stabil.
- 1,07 < FK < 1,25 : lereng dalam keadaan kritis (akan longsor).
- FK < 1,07 : lereng dalam keadaan tidak stabil.

2.2 Kelongsoran

Longsoran lereng terjadi ketika gaya penggerak (yang menyebabkan material bergerak ke bawah), lebih besar daripada gaya penahan lereng. Beberapa jenis longsoran yang sering kali terjadi pada lereng tambang adalah

longsoran bidang, longsoran busur, longsoran baji, serta longsoran guling serta longsoran kombinasi dari keempat longsoran tersebut.

- 2.2.1. Longsoran Busur
- 2.2.2. Longsoran Bidang
- 2.2.3. Longsoran Baji
- 2.2.4. Longsoran Guling

2.3 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Faktor yang perlu diperhatikan dalam menganalisa kemantapan lereng adalah sebagai berikut:

2.3.1. Geometri Lereng

Semakin besar kemiringan dan tinggi lereng, kestabilan lereng akan semakin berkurang sehingga lereng cenderung semakin mudah longsor.

2.3.2. Aktivitas Manusia

Aktivitas manusia seperti pembentukan bendungan pembuatan jalan, penggalian, atau dapat mengurangi kestabilan lereng. Hal ini disebabkan aktivitas tersebut menyebabkan perubahan keseimbangan gaya-gaya dalam sehingga berpotensi menyebabkan bertambahnya gaya geser, yang berakibatkan terjadinya penurunan kestabilan lereng.

2.3.3. Struktur Geologi

Struktur geologi yang dimaksud adalah kekar (*joint*), sesar (*fault*), bidang perlapisan (*bedding plane*), perlipatan (*fold*), dan rekahan (*crack*).

2.3.4. Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

2.3.4.1. Bobot Isi

Nilai Bobot isi yang tinggi mengakibatkan gaya penggerak yang tinggi pula, hingga menurunkan kestabilan lereng.

2.3.4.2. Porositas

Material dengan porositas tinggi mampu menyerap air dalam jumlah yang lebih banyak sehingga bobot isi dari material tersebut akan menjadi lebih tinggi. Peningkatan bobot isi dapat menyebabkan lereng menjadi tidak stabil.

2.3.4.3. Kandungan Air

Kandungan air pada material akan mempengaruhi tekanan air pori pada material tersebut. Apabila tekanan air pori semakin besar maka kekuat geser akan menurun sehingga

lereng menjadi lebih rentan mengalami kelongsoran (*failure*).

2.3.4.4. Iklim

Temperatur yang berubah tak beraturan dapat mempercepat proses pelapukan dan mengakibatkan lereng mudah longsor.

2.4. Sifat fisik dan mekanik

2.4.1. Sifat fisik

Uji sifat fisik merupakan kegiatan pengujian sampel yang tidak menyebabkan kerusakan pada sampel (*non destructive*). Sifat batuan yang didapatkan dari pengujian sifat fisik batuan adalah bobot isi alami, bobot isi kering, bobot isi jenuh, angka pori, porositas, derajat kejenuhan, kadar air asli, *true specific gravity*, *apparent specific gravity*. (Rai, dkk. 2012). Bobot isi dibagi menjadi tiga kategori yaitu:

Bobot isi asli (*natural density*), yaitu *ratio* antara berat batuan asli dengan volume batuan.

$$\text{Bobot isi natural} = \frac{W_n}{W_w - W_s} \dots\dots\dots(1)$$

Bobot isi jenuh (*saturated density*), yaitu *ratio* antara berat batuan jenuh dengan volume batuan.

$$\text{Bobot isi jenuh} = \frac{W_w}{W_w - W_s} \dots\dots\dots(2)$$

Bobot isi kering (*dry density*), yaitu *ratio* antara berat batuan kering dengan volume batuan.

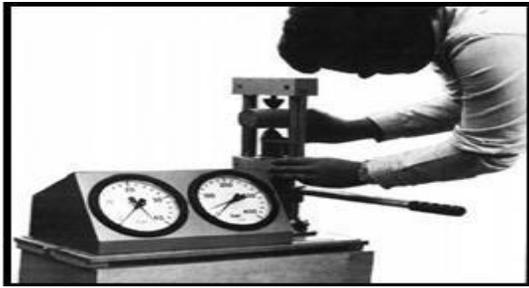
$$\text{Bobot isi kering} = \frac{W_o}{W_w - W_s} \dots\dots\dots(3)$$

2.4.2. Sifat mekanik

Uji sifat mekanik dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan karakteristik mekanik dari sampel, khususnya kekuatan batuan terhadap tekanan dan geseran yang merupakan bentuk beban yang sering dialami massa batuan pada konstruksi bawah tanah. Selain itu, uji sifat mekanik juga dapat memberikan gambaran mengenai karakteristik deformabilitas contoh batuan. (Wattimena, 2017). Penentuan sifat mekanik batuan dapat dilakukan dengan melakukan pengujian sebagai berikut:

2.4.2.1. Uji Point Load Indeks (PLI)

Pengujian PLI merupakan pengujian yang digunakan untuk memprediksi nilai UCS dari batuan secara tidak langsung di lapangan. Hal ini disebabkan prosedur pengujiannya sederhana, preparasi contohnya lebih mudah dan dapat dilakukan langsung di lapangan. (Astawa, dkk.2012).

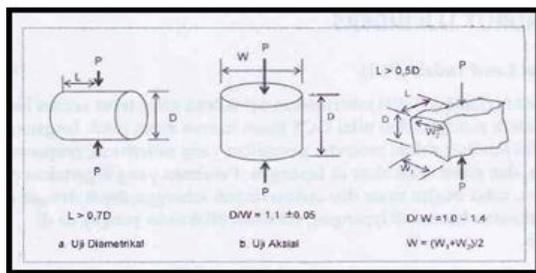


Sumber : B.H.D.Brady & E.T.Brown.(2005)
Gambar 1. Pengujian Point Load Index

Menurut Broch dan Franklin (1972) *Index poin load* (I_s) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$I_s = \frac{P}{D^2} \dots \dots \dots (4)$$

untuk sampel yang diameternya bukan 50 mm serta sampel tidak teratur (*irregular*) seperti gambar berikut:



Sumber: Made Astawa Rai dkk. (2010)
Gambar 2. Tipe dan Syarat Contoh Uji PLI

Dibutuhkan faktor koreksi (F). Greminnger menurunkan persamaan sebagai berikut:

$$F = \left(\frac{D}{50}\right)^{0,45} \dots (5)$$

Setelah faktor koreksi diperoleh maka factor koreksi dimasukkan kedalam Indeks point load (I_s):

$$I_s = F \frac{P}{D^2} \dots (6)$$

Sehingga jika Indeks point load telah didapat maka UCS dapat ditentukan dari persamaan:

$$\sigma_c = 23 \times I_s (7)$$

Keterangan:

- F: Faktor Koreksi
- D: Jarak antar konus penekan (cm)
- P: Beban maksimum contoh pecah (kg)
- D: Diameter Contoh (mm)

Sehingga jika Index Point Load telah didapatkan, maka besarnya nilai UCS dapat ditentukan menggunakan tabel hubungan PLI dan UCS berikut ini.

2.4.2.2. Uji Geser Langsung (Direct Shear Strength Test)

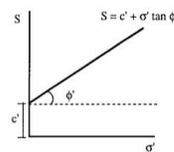
Kuat geser batuan merupakan gaya tolak internal batuan terhadap tegangan yang bekerja sepanjang bidang geser dalam batuan tersebut. Gaya dipengaruhi oleh karakteristik

intrinsik dan faktor luar. Kuat geser langsung berguna sebagai parameter rancangan kestabilan lereng. Kriteria keruntuhan geser yang paling banyak dipakai adalah kriteria mohr-coulomb yang ditulis dalam persamaan $\tau = c + \sigma_n (\tan \phi)$.

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat geser pada batuan pada tegangan normal tertentu. Hasil pengujian ditentukan dengan gambar di bawah:

$$S = c' + \sigma' \tan \phi' \dots (8)$$

Dimana:



- S = kuat geser batuan
- U = tekanan air pori
- σ = tegangan total
- ϕ = sudut geser dalam efektif
- c' = kohesi
- σ' = tegangan efektif

2.5. Metode Bishop Simplified

Metode ini merupakan metode yang berdasarkan prinsip kesetimbangan batas untuk mendapatkan nilai faktor keamanan (FK) dari suatu material yang memiliki potensi longsor. Metode ini memenuhi kesetimbangan gaya pada arah vertikal dan kesetimbangan momen pada titik pusat lingkaran runtuh. Gaya geser antar irisan diabaikan (Abramson, et al, 2002). faktor keamanan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

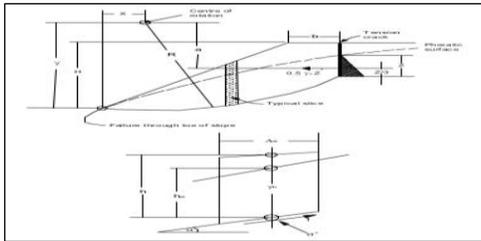
$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c' b_i + W_i (1 - r_u) \tan \phi) \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \tan \phi / F)}\right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \dots \dots \dots (9)$$

Dimana:

- b_i = lebar irisan ke-i (m)
- F = faktor aman
- h = tinggi irisan rata - rata (m)
- c' = kohesi tanah efektif (kN/m^2)
- μ = tekanan air pori (kN/m^2)
- ∂ = berat volume tanah (kN/m^2)
- θ_i = sudut ($^\circ$)
- ϕ' = sudut gesek dalam efektif ($^\circ$)
- μ_i = tekanan air pori irisan ke-i (kN/m^2)
- ru = rasio tekanan air pori
- W_i = berat irisan tanah ke-i (kN)

Ulangi faktor keamanan dengan menyelesaikan persamaan faktor keamanan dan memasukkan nilai faktor keamanan di sebelah kanan persamaan $F = 1.00$. Jika hasil perhitungan nilai faktor keamanan F di sebelah kiri berbeda dari asumsi faktor keamanan sebesar 0,001 atau lebih, ulangi perhitungan dengan faktor keamanan yang dihitung sebagai asumsi kedua F. dan seterusnya sampai selisih antara kedua F kurang dari 0,001. Nilai akhir merupakan faktor nilai keamanan yang paling sesuai dari bidang longsor yang

dibuat. Metode Bishop *simplified* ditunjukkan pada Gambar 7 di bawah ini.



Sumber: Abramson, et al 2002
Gambar 3. Metoda Bishop yang Disederhanakan

2.6. Metode Janbu yang Disederhanakan (Simplified Janbu Method)

Metode ini juga merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam analisis stabilitas lereng. Asumsi yang digunakan dalam metode ini adalah gaya geser antar irisan adalah nol. Metode ini memenuhi keseimbangan gaya vertikal pada setiap irisan dan keseimbangan gaya horizontal pada semua berkas, tetapi tidak memenuhi keseimbangan momen. Bentuk sewenang-wenang dari permukaan runtuh dapat dianalisis dengan metode ini. Metode ini dapat digunakan untuk menganalisis permukaan runtuh melingkar dan tidak melingkar.

Kesetimbangan gaya dalam arah vertikal dan gaya normal total (N) sama halnya dengan *simplified bishop method*, yakni:

$$N \cos \alpha + S_m \sin \alpha - W = 0 \dots\dots\dots (10)$$

Substitusi persamaan (9) ke (10) menghasilkan persamaan gaya normal total (N) sebagai berikut:

$$N = \frac{W - \frac{c' \beta \sin \alpha - u \beta \sin \alpha \tan \phi'}{\sin \alpha \tan \phi'}}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{F}} \dots\dots\dots (11)$$

Rumus kesetimbangan gaya dalam arah melintang untuk semua irisan adalah:
(12)

Berdasarkan prinsip aksi reaksi, maka didapat:

$$E_R[j - 1] = E_L[j] \dots\dots\dots (13)$$

j adalah nomor irisan. ambang batas untuk gaya normal antar slice pada sisi kiri slice ke-1 dan pada sisi kanan irisan ke-n adalah:

$$E_L[1] = 0 \dots\dots\dots (14)$$

$$E_R[n] = A \dots\dots\dots (15)$$

Menggunakan persamaan (13), (14), dan (15) maka persamaan (16) dapat ditulis sebagai berikut:

$$-A - \sum_{i=1}^n (N \sin \alpha - S_m \cos \alpha + kW) = 0 \dots\dots\dots (16)$$

Persamaan untuk menghitung FK didapatkan dengan mensubstitusi (16) ke persamaan sebelumnya, yaitu

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^n (c' \beta + (N - u \beta) \tan \phi') \cos \alpha}{\sum_{i=1}^n (N \sin \alpha + kW) + A} \dots\dots\dots (17)$$

Faktor keamanan (FK) terdapat pada kedua ruas dari persamaan pada (17) sehingga perhitungannya harus dilakukan dengan menggunakan aproksimasi berulang

hingga didapatkan nilai perbedaan dari F pada sisi kiri dan kanan lebih kecil dari nilai toleransi yang diberikan.

Nilai FK ditentukan dengan toleransi hingga perbedaan nilai FK pada sisi kanan dan kiri dari persamaan lebih kecil dari nilai toleransi. Nilai FK tersebut kemudian dikalikan dengan nilai f_0 yang berfungsi sebagai koreksi dari pengabaian gaya geser antar irisan.

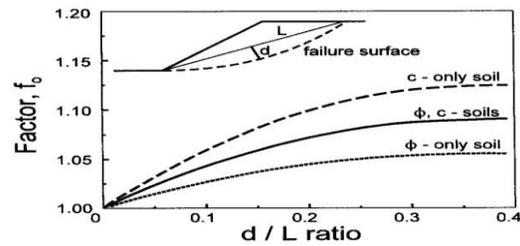
$$FK_{Janbu} = f_0 \times FK \dots\dots\dots (18)$$

$$f_0 = 1 + t \left(\frac{d}{L} - 1,4 \left(\frac{d}{L} \right)^2 \right) \dots\dots\dots (19)$$

Nilai t yang ditemukan berbeda beda tergantung dengan jenis tanah.

- t = 0,69 pada tanah dengan c ≠ 0 dan φ = 0.
- t = 0,31 pada tanah dengan c = 0 dan φ ≠ 0.
- t = 0,50 pada tanah dengan c ≠ 0 dan φ ≠ 0.

Seperti pada gambar 8 di bawah ini yaitu, faktor koreksi *simplified janbu method*.



Sumber: Sharma Tahun 2002
Gambar 4. Faktor Koreksi Simplified Janbu Method

3. Metodologi Penelitian

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian terapan (*applied research*) yang memberikan rekomendasi atas permasalahan yang ditemukan di lapangan dengan melakukan analisa data di lapangan untuk pemecahan masalah (A. Muri Yusuf, 2005). Penelitian ini sangat bergantung pada pengukuran dan pengujian sehingga tergolong penelitian kuantitatif.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Dengan tujuan mengumpulkan data data yang diperlukan untuk penelitian ini, penulis mendatangi langsung tempat penelitian dan mengambil data secara langsung. Namun, ada beberapa data yang tidak bisa didapatkan secara langsung sehingga penulis juga menggunakan data sekunder.

3.2.1. Data primer

Data Primer adalah data yang diambil langsung dari pengamatan lapangan, yaitu:

- a. Geometri Lereng Aktual
Merupakan data yang diambil yaitu pengukuran *strike* and *dip* batuan penyusun lereng.
- b. Sampel batuan untuk uji sifat fisik dan mekanik.
- c. Data hasil pengujian sifat fisik dan mekanik batuan.
- d. Data sifat fisik dan sifat mekanik batuan
Merupakan data yang diperoleh dari hasil uji laboratorium kemudian diolah dengan menggunakan bantuan *microsoft excel* untuk mengetahui nilai rata-rata, ukuran dispersi, dan distribusi data hasil uji.



Gambar 5. Kondisi Lereng KUD Sinamar Sakato

3.2.2. Data sekunder merupakan data yang didapatkan berdasarkan studi literatur dari berbagai referensi dan/atau arsip-arsip milik laporan perusahaan, seperti Peta topografi, Peta geologi regional, dan Data bor.

3.3 Teknik Analisis Data

3.3.1. Pembuatan Model Lereng

Model lereng dibuat dalam bentuk dua dimensi (2D) yang diolah menggunakan perangkat lunak (*Software*). Model perlapisan material penyusun lereng diambil dari data log bor.

3.3.2. Uji Laboratorium

Uji laboratorium dilakukan untuk memperoleh nilai sifat fisik dan sifat mekanik batuan.

3.3.2.1. Data Sifat Fisik Batuan

Pengujian bobot isi (γ) dilakukan untuk mendapatkan bobot isi tanah. Bobot isi didapatkan dari perbandingan antara berat batuan dalam keadaan basah dengan volumenya (gram/cc).

3.3.2.2. Data Sifat Mekanik Batuan

Sifat mekanik dari batuan batuan adalah berupa kuat Tarik, kuat tekan, *modulus elastisitas*, kuat geser, dan *poisson's ratio*. Sifat mekanik batuan didapatkan dengan uji laboratorium dengan metode Uji *PLI* dan *Direct Shear Test*,

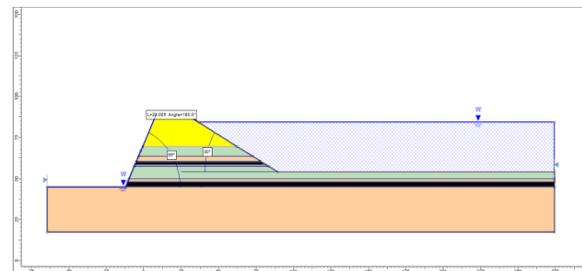
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Penelitian

4.1.1. Permodelan Geometri Lereng

Berdasarkan pengambilan data geometri lereng pada KUD Sinamar Sakato, tinggi lereng yang didapatkan adalah 20 m dengan sudut kemiringan lereng 65° di samping lereng *sidewall* terdapat danau sepanjang 246 m, lebar 130 m dan sudut lereng 30°. Kondisi lereng dapat dilihat pada gambar 5.

Berdasarkan pengambilan data di lapangan didapatkan tebal lapisan sandstone sebesar 19,50 m, siltstone sebesar 6 m, claystone sebesar 3 m, coal seam satu sebesar 2,30 m, claystone sebesar 0,89 m, siltstone sebesar 7,50 m, claystone sebesar 1,60 m, coal seam dua sebesar 3,30 m.



Gambar 6. Geometri Lereng Aktual di KUD Sinamar Sakato

4.1.2. Uji Sifat Fisik Batuan

Uji sifat fisik batuan bertujuan untuk mendapatkan bobot isi dari sampel batuan yang diuji. Pengujian ini dilakukan tanpa merusak sampel yang dimiliki (*non destructive test*). Sampel yang digunakan adalah conto batuan yang telah di gerinda menjadi bentuk kubus dengan panjang sisi 3 cm.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Sifat Fisik Batuan

Coal				
No	Wn (gr)	ww (gr)	ws (gr)	wo (gr)
1	71,63	83,2	28,87	57,65
2	56,17	62,06	21,31	45,86
3	82,06	96,16	34,21	67,91
Siltstone				
No	Wn (gr)	ww (gr)	ws (gr)	wo (gr)
1	66,47	69,14	37,39	55,6
2	67,75	71,34	38,97	57,4
3	66,86	69,62	37,73	56,2
Sandstone				
No	Wn (gr)	ww (gr)	ws (gr)	wo (gr)
1	70,6	79,62	48,46	55,87
2	77,87	87,06	52,45	61,12
3	78,76	88,37	53,83	63,65
Claystone				
No	Wn (gr)	ww (gr)	ws (gr)	wo (gr)
1	70,9	78,74	41,78	67,33
2	67,27	73,83	37,74	63,84
3	69,35	75,23	38,19	66,74

4.1.3. Uji Sifat Mekanik Batuan

4.1.3.1 Uji Point Load Index (PLI)

Nilai *Index Strength* batuan didapatkan berdasarkan uji beban titik pada sampel batuan. Uji beban titik yang dilakukan pada sampel pembentuk lereng adalah *box test*. Contoh batuan yang digunakan berbentuk *box test*. Jenis pengujian *box test* ini memiliki ketentuan perbandingan yaitu $0.3W < D > W$.

Pengujian *PLI* menggunakan sampel batu lanau (*Siltstone*), batu lempung (*claystone*) batu pasir (*Sandstone*) dan batubara (*coal*), dengan geometri sampel seperti tabel 3.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Beban Titik (*Point Load Index Test*)

Coal				
No conto	Jarak kosinus (cm)	Diameter (cm)	W (cm)	Beban P (kg)
1	2,9	3	4	18,65
2	2,6	3	4	15,72
3	2,8	3	4	20,58
rata-rata	2,767	3	4	18,317
Siltstone				
No conto	Jarak kosinus (cm)	Diameter (cm)	W (cm)	Beban P (kg)
1	2,8	3	4	10,7
2	3	3	4	12,85
3	2,9	3	4	9,76
rata-rata	2,9	3	4	11,103
Sandstone				
No conto	Jarak kosinus (cm)	Diameter (cm)	W (cm)	Beban P (kg)
1	2,9	3	4	74,56
2	3	3	4	84,75
3	2,9	3	4	72,63
rata-rata	2,933	3	4	77,313
Claystone				
No conto	Jarak kosinus (cm)	Diameter (cm)	W (cm)	Beban P (kg)
1	2,7	3	4	19,99
2	2,8	3	4	17,87
3	2,9	3	4	21,2
rata-rata	2,8	3	4	19,687

4.1.3.2 Uji Geser Lansung (*Direct Shear Test*)

Kuat geser pada batuan merupakan perlawanan internal batuan terhadap tegangan yang bekerja pada bidang geser dalam batuan tersebut yang dipengaruhi oleh sifat dari batuan itu sendiri ataupun faktor eksternal. Terdapat 2 jenis kuat geser batuan, yaitu kuat geser residu dan kuat geser puncak. *Direct Shear Test* dilakukan untuk mendapatkan kohesi dan sudut geser dalam.

Untuk mendapatkan kohesi dan sudut geser dalam diolah menggunakan excel dan ada grafiknya.

$$\text{Tegangan Normal} = \sigma_n = \frac{P_n}{A}$$

$$\text{Tegangan Puncak} = \tau_P = \frac{P_n^A}{A}$$

$$\text{Tegangan Residu} = \tau_R = \frac{P_n^A}{A}$$

4.2 Analisa Data

4.2.1 Analisa Data Uji Sifat Fisik

Menurut data pada tabel 4, Perhitungan dilakukan dengan 3 rumus berikut

4.2.1.1. Bobot isi asli

$$\gamma_n = \frac{W_n}{(W_w - W_s)}$$

$$\gamma_n = \frac{71,63}{(83,2 - 28,87)}$$

$$\gamma_n = 1,381 \text{ gr/cm}^3$$

4.2.1.2. Bobot isi kering

$$\gamma_n = \frac{W_o}{(W_w - W_s)}$$

$$\gamma_n = \frac{57,65}{(83,2 - 28,87)}$$

$$\gamma_n = 1,061 \text{ gr/cm}^3$$

4.2.1.3. *Bobot isi jenuh*

CLAYSTONE					
Tinggi	Diameter	Luas	Tegangan Normal	Tegangan Geser Residual	Tegangan Geser Puncak
cm	Cm	Cm	Mpa	Mpa	Mpa
12	6	26,28	0,129	0,246	0,337
12	6	26,28	0,255	0,302	0,420
12	6	26,28	0,381	0,346	0,481
COAL					
Tinggi	Diameter	Luas	Tegangan Normal	Tegangan Geser Residual	Tegangan Geser Puncak
cm	Cm	Cm	Mpa	Mpa	Mpa
12	6	26,28	0,129	0,155	0,197
12	6	26,28	0,255	0,219	0,275
12	6	26,28	0,381	0,275	0,341
SILTSTONE					
Tinggi	Diameter	Luas	Tegangan Normal	Tegangan Geser Residual	Tegangan Geser Puncak
cm	Cm	Cm	Mpa	Mpa	Mpa
12	6	26,28	0,129	0,270	0,324
12	6	26,28	0,255	0,357	0,411
12	6	26,28	0,381	0,417	0,493
SANDSTONE					
Tinggi	Diameter	Luas	Tegangan Normal	Tegangan Geser Residual	Tegangan Geser Puncak
cm	Cm	Cm	Mpa	Mpa	Mpa
12	6	26,28	0,129	0,248	0,296
12	6	26,28	0,255	0,330	0,393
12	6	26,28	0,381	0,402	0,476

$$\gamma_n = \frac{W_w}{(W_w - W_s)}$$

$$\gamma_n = \frac{83,2}{(83,2 - 28,87)}$$

$$\gamma_n = 1,531 \text{ gr/cm}^3$$

Perhitungan yang sama dilakukan pada masing – masing 3 sampel dari material yaitu batu lanau (*siltstone*), batu pasir (*sandstone*), dan batubara (*coal*), dapat dilihat pada lampiran F sehingga didapatkan hasil perhitungan pada tabel 5.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Sifat Fisik Batuan

Coal							
No	Wn (gr)	ww (gr)	ws (gr)	wo (gr)	Bobot asli (gr/cm3)	Bobot jenuh (gr/cm3)	Bobot kering (gr/cm3)
1	71,6 3	83,2	28,8 7	57,6 5	1,318	1,531	1,061
2	56,1 7	62,0 6	21,3 1	45,8 6	1,378	1,523	1,125
3	82,0 6	96,1 6	34,2 1	67,9 1	1,325	1,552	1,096
Rata-Rata					1,340	1,536	1,094
Siltstone							
No	Wn (gr)	ww (gr)	ws (gr)	wo (gr)	Bobot asli (gr/cm3)	Bobot jenuh (gr/cm3)	Bobot kering (gr/cm3)
1	66,4 7	69,1 4	37,3 9	55,6	2,094	2,178	1,751
2	67,7 5	71,3 4	38,9 7	57,4	2,093	2,204	1,773
3	66,8 6	69,6 2	37,7 3	56,2	2,097	2,183	1,762
Rata-Rata					2,094	2,188	1,762
Sandstone							
No	Wn (gr)	ww (gr)	ws (gr)	wo (gr)	Bobot asli (gr/cm3)	Bobot jenuh (gr/cm3)	Bobot kering (gr/cm3)
1	70,6	79,6 2	48,4 6	55,8 7	2,266	2,555	1,793
2	77,8 7	87,0 6	52,4 5	61,1 2	2,250	2,515	1,766
3	78,7 6	88,3 7	53,8 3	63,6 5	2,280	2,558	1,843
Rata-Rata					2,265	2,543	1,801
Claystone							
No	Wn (gr)	ww (gr)	ws (gr)	wo (gr)	Bobot asli (gr/cm3)	Bobot jenuh (gr/cm3)	Bobot kering (gr/cm3)
1	70,9	78,7 4	41,7 8	67,3 3	1,918	2,130	1,822
2	67,2 7	73,8 3	37,7 4	63,8 4	1,864	2,046	1,769
3	69,3 5	75,2 3	38,1 9	66,7 4	1,872	2,031	1,802
Rata-Rata					1,885	2,069	1,797

Tabel 5. Data Hasil Analisis Uji *Point Load Index* Batuan

4.2.2 *Analisa Data Uji Sifat Mekanik*

4.2.2.1. *Uji Point Load Index*

Pengujian *Point Load Index* bertujuan untuk mendapatkan nilai *index strenght* dan kuat tekan uniaksial dari batuan sampel, untuk perhitungannya menggunakan rumus berikut:

$$F = \left(\frac{D}{5}\right)^{0,45}$$

$$F = \left(\frac{3}{5}\right)^{0,45}$$

$$F = 0,795$$

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

$$IS = 0,795 \left(\frac{19,99}{2,7^2} \right)$$

$$IS = 2.18 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_c = 23 \times IS$$

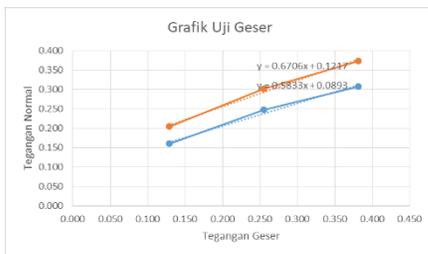
$$\sigma_c = 23 \times 2.18$$

$$\sigma_c = 50,14 \text{ kg/cm}^2 \times 0,098 = 4,914 \text{ MPa}$$

Perhitungan yang sama dilakukan pada sampel batu lanau (*siltstone*), batu pasir (*sandstone*), dan batubara (*coal*), dapat dilihat pada lampiran G sehingga didapatkan hasil perhitungan Tabel 6.

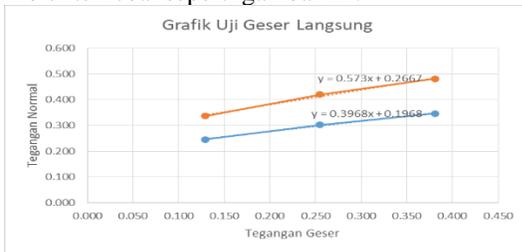
4.2.2.2. Analisis Uji Geser Langsung

Pengujian kuat geser langsung ditujukan untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (Φ) dalam. Berdasarkan data yang terdapat pada Tabel 4, didapatkan hasil grafik morh coloumb untuk claystone seperti gambar 11.



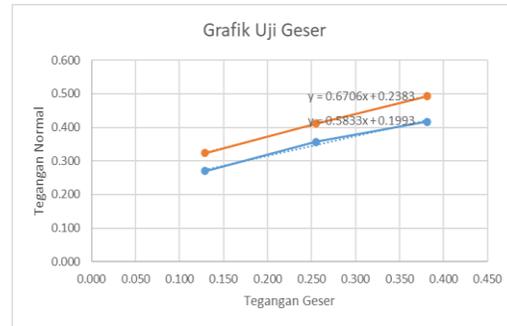
Gambar 7. Grafik Shear Test Claystone

Menurut data pada Tabel 4, didapatkan hasil grafik morh coloumb untuk coal seperti gambar 12.



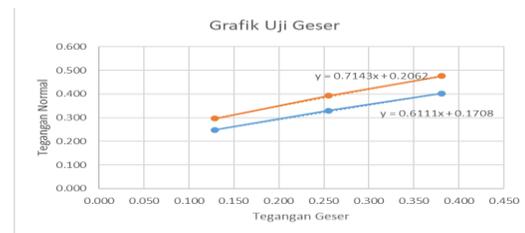
Gambar 8. Grafik Shear Test Coal

Menurut data pada Tabel 4, didapatkan hasil grafik morh coloumb untuk siltstone seperti gambar 13.



Gambar 9. Grafik Shear Test Siltstone

Menurut data pada Tabel 4, didapatkan hasil grafik morh coloumb untuk batu sandstone seperti gambar 14.



Gambar 10. Grafik Uji Geser Sandstone

Setelah grafik morh coloumb didapatkan selanjutnya adalah melakukan perhitungan dan mendapatkan kohesi dan sudut geser dalam dari masing-masing material batuan seperti tabel 7.

Tabel 6. Data Hasil Analisis Uji Point Load Index Batuan

COAL						
No conto	Jarak kosinus (cm)	Diameter (cm)	W (cm)	Beban P (kg)	Point load index, Is (Kg/cm ²)	Kuat tekan uniaksial (σ _c) (MPa)
1	2,9	3	4	18,65	1,762	3,975
2	2,6	3	4	15,72	2,402	5,418
3	2,8	3	4	20,58	2,920	6,587
rata-rata	2,767	3	4	18,317	2,362	5,327
SILTSTONE						
No conto	Jarak kosinus (cm)	Diameter (cm)	W (cm)	Beban P (kg)	Point load index, Is (Kg/cm ²)	Kuat tekan uniaksial (σ _c) (MPa)
1	2,8	3	4	10,7	1,085	2,446
2	3	3	4	12,85	1,702	3,839
3	2,9	3	4	9,76	1,337	3,016
rata-rata	2,9	3	4	11,103	1,375	3,100
SANDSTONE						
No conto	Jarak kosinus (cm)	Diameter (cm)	W (cm)	Beban P (kg)	Point load index, Is (Kg/cm ²)	Kuat tekan uniaksial (σ _c) (MPa)
1	2,9	3	4	74,56	7,045	15,890
2	3	3	4	84,75	11,224	25,317
3	2,9	3	4	72,63	9,951	22,444
rata-rata	2,933	3	4	77,313	9,407	21,217

CLAYSTONE						
No conto	Jarak kosinus (cm)	Diameter (cm)	W (cm)	Beban P (kg)	Point load index, Is (Kg/cm ²)	Kuat tekan uniaksial (σc) (MPa)
1	2,7	3	4	19,99	2,18	4,91
2	2,8	3	4	17,87	2,54	5,72
3	2,9	3	4	21,2	2,90	6,55
rata-rata	2,8	3	4	19,687	2,54	5,73

Tabel 7. Hasil Pengujian Uji Geser

CLAYSTONE		
Parameter	Nilai	
kohesi puncak	0,2667	MPa
kohesi residual	0,1968	MPa
sudut geser dalam puncak	29,812	DEGRESS
sudut geser dalam residual	21,643	DEGRESS
COAL		
Parameter	Nilai	
kohesi puncak	0,1253	MPa
kohesi residual	0,0949	MPa
sudut geser dalam puncak	29,743	DEGRESS
sudut geser dalam residual	25,463	DEGRESS
SILTSTONE		
Parameter	Nilai	
kohesi puncak	0,2383	MPa
kohesi residual	0,1993	MPa
sudut geser dalam puncak	33,82	DEGRESS
sudut geser dalam residual	30,255	DEGRESS
SANDSTONE		
Parameter	Nilai	
kohesi puncak	0,2062	MPa
kohesi residual	0,1708	MPa
sudut geser dalam puncak	35,54	DEGRESS
sudut geser dalam residual	31,42	DEGRESS

Persamaan yang digunakan untuk memperoleh nilai sudut geser dalam dan kohesi sebagai berikut: Sehingga, berdasarkan persamaan pada Gambar 27 didapat:

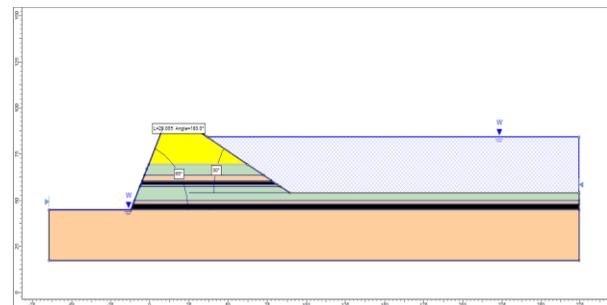
$$\begin{aligned} \tau &= \text{Sumbu } y \\ \sigma' &= \text{Sumbu } x \\ \tan \phi &= 0,4349 \\ C &= 1,6107 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 1,6107 \times 0,0980665 \\ &= 0,157 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Sudut Geser dalam } (\phi) = \tan^{-1} \times 0,4349 = 23,52^\circ$$

4.3 Pembahasan

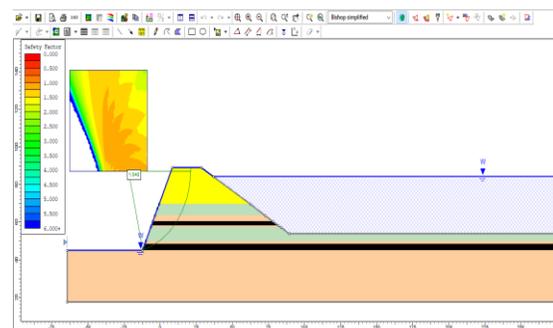
4.3.1. Kondisi Lereng Aktual

Kondisi lereng *sidewall* aktual di lapangan memiliki ketinggian 44 m, sudut lereng 65 derajat, dan muka air tanah setinggi 6 m dari permukaan lereng, dengan kedalaman danau 30 m, terlihat seperti gambar 15.



Gambar 11. Permodelan Lereng Aktual

Setelah dilakukan pemodelan pada lereng *sidewall* aktual didapatkan nilai *fk* dengan menggunakan metoda bishop simplifiet sebesar 1,041 seperti gambar 16.



Gambar 12. Hasil Permodelan Lereng Aktual dengan Metode Bishop

Berdasarkan permodelan di atas menurut kepmen 1827K/MEM/30/2018 lereng *sidewall* dikategorikan kondisi kritis, maka diperlukan analisis geoteknik serta permodelan lereng yang aman sesuai dengan kepmen

1827K/MEM/30/2018 untuk meningkatkan nilai FK lereng dalam mencegah kelongsoran.

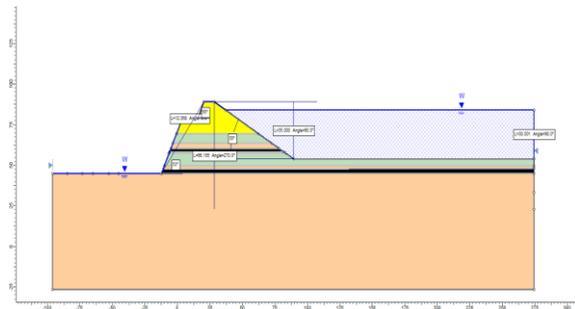
4.3.2. Rekomendasi Permodelan Lereng Sidewall

Pembuatan model lereng overall yang mempertahankan sudut actual di lapangan dan mensimulasikan lereng tunggal dalam keadaan jenuh sehingga didapatkan hasil seperti table di bawah.

Table 8. Permodelan aktual lereng tunggal

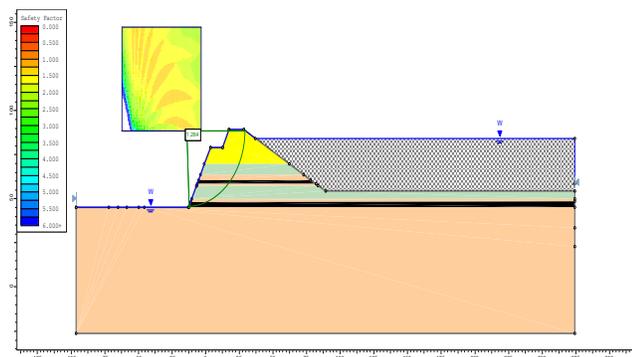
Tinggi	sudut	FK BISHOP
44	65	1,041
39	65	1,168
34	65	1,305
29	65	1,610
22	65	2,131

Setelah dilakukan permodelan pada lereng tunggal *sidewall*, maka dilanjutkan melakukan resloping sudut overall sebesar 53 derajat, dengan geometri lereng terdiri dari dua slope, memiliki sudut lereng tunggal sebesar 65 derajat dan ketinggian lereng tunggalnya sebesar 10 meter pada lereng tunggal satu dan 34 meter untuk tinggi lereng tunggal dua, seperti gambar 30.



Gambar 17 Permodelan Rekomendasi Lereng Aktual

Berdasarkan permodelan di atas didapatkan nilai faktor keamanan lereng *sidewall* menggunakan metoda bishop simplified sebesar 1,315 seperti gambar 33.



Gambar 18. Hasil Analisis Rekomendasi Aktual Metoda Bishop

Setelah dilakukan simulasi permodelan untuk mendapatkan factor keamanan sesuai kepmen 1827K/MEM/30/2018, setelah dilakukan simulasi permodelan maka didapatkan hasil seperti table di bawah.

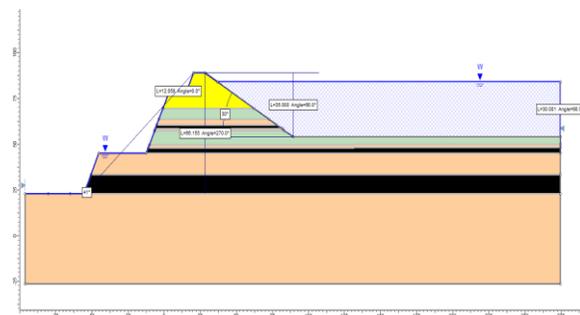
Table 8. Hasil simulasi lereng actual

MODEL	TINGGI	SUDUT	BENCH	FK BISHOP
TUNGGAL 1	10	65	-	3,889
TUNGGAL 2	34	65	-	1,305
OVERALL	44	53	12	1,315

Selelah didapatkan permodelan sesuai dengan table 10 maka di usulkan untuk mengalirkan air yang terdapat diatas lereng dengan menggunakan saluran pipa sampai ke settling pond.

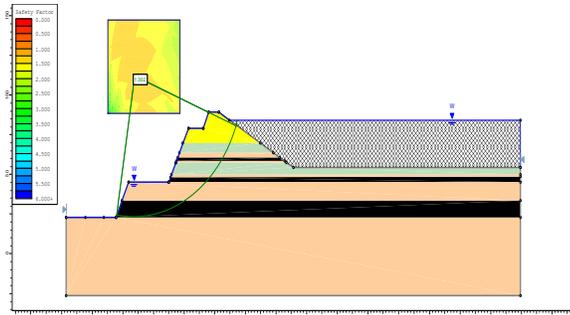
4.3.3. Rekomendasi Rancangan Lereng Sidewall Sampai Seam 3

Dalam melakukan penambangan batubara sampai seam 3 maka diperlukan rancangan lereng *sidewall* yang aman. Setelah dilakukan permodelan actual dilanjutkan sampai menuju seam 3. Geometri lereng rancangan terdiri dari satu slope dengan sudut tunggal sebesar 65 derajat dan tinggi lereng tunggalnya sebesar 22 meter, untuk lereng keseluruhan didapatkan geometri lereng terdiri dari tiga slope dengan sudut overall sebesar 41 derajat seperti gambar 32.



Gambar. 19. Permodelan Rekomendasi lereng rancangan

Berdasarkan permodelan diatas didapatkan nilai faktor keamanan lereng *sidewall* menggunakan metoda bishop simplified sebesar 1,302 seperti gambar 33.



Gambar 20. Hasil Analisis Rekomendasi lereng rancangan metoda Bishop

Setelah didapatkan permodelan actual yang aman sesuai dengan Kepmen 1827K/MEM/30/2018, maka dilanjutkan untuk rancangan geometri lereng sampai menuju seam 3, maka didapatkan hasil permodelan seperti table di bawah.

Table 9. Hasil permodelan rancangan sampai seam 3

MODEL	TINGGI	SUDUT	BENCH	FK BISHOP
TUNGGAL 1	10	65		3,889
TUNGGAL 2	34	65		1,305
TUNGGAL 3	22	65		1,387
OVERALL	66	41	32	1,302

5. Penutup

5.1. Kesimpulan

5.1.1. pengujian sampel di laboratorium mekanika batuan didapatkan hasil uji sifat fisik dan uji sifat mekanik batuan seperti di bawah

5.1.1.1. pengujian sifat fisik batuan didapatkan nilai bobot isi pada semua material batuan seperti:

5.1.1.1.1. batubara dengan bobot isi asli 1,84 gr/cm³, bobot isi kering 1,69 gr/cm³ dan bobot isi jenuh 1,90 gr/cm³.

5.1.1.1.2. batu lempung didapatkan nilai bobot isi asli 1,70 gr/cm³, bobot isi kering 1,42 gr/cm³, dan bobot isi jenuh 1,81 gr/cm³.

5.1.1.1.3. batu lanau didapatkan nilai bobot isi asli 1,18 gr/cm³, bobot isi kering 0,92 gr/cm³, dan bobot isi jenuh 1,37 gr/cm³.

5.1.1.1.4. batu pasir didapat nilai bobot isi asli 1,31 gr/cm³, bobot isi kering 1,07 gr/cm³, bobot isi jenuh 1,52 gr/cm³.

5.1.1.2. pengujian sifat mekanik batuan didapatkan nilai bobot isi pada semua material batuan seperti:

5.1.1.2.1. Hasil uji point load index batuan di lokasi penelitian pada lereng sidewall KUD Sinamar Sakato didapatkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 5,33 MPa untuk batubara, 3,1 MPa untuk batu lanau, 21,22 MPa untuk batu pasir dan 5,73 MPa untuk batu lempung.

5.1.1.2.2. Hasil uji geser langsung untuk tegangan puncak didapatkan nilai kohesi (c) 0,23 MPa dan sudut geser dalam 40,6⁰ untuk batu lempung, nilai kohesi (c) 0,058 MPa dan sudut geser dalam 50,25⁰ untuk batu bara, nilai kohesi (c) 0,165 MPa dan sudut geser dalam 42,55⁰ untuk batu lanau dan nilai kohesi (c) 0,144 MPa dan sudut geser dalam 47,77⁰ untuk batu pasir. Hasil uji geser langsung untuk tegangan residual didapatkan nilai kohesi (c) 0,17 MPa dan sudut geser dalam 32,29⁰ untuk batu lempung, nilai kohesi (c) 0,026 MPa dan sudut geser dalam 48,71⁰ untuk batubara, nilai kohesi (c) 0,144 MPa dan sudut geser dalam 37,09⁰ untuk batu lanau dan nilai kohesi (c) 0,109 MPa dan sudut geser dalam 44,08⁰ untuk batu pasir

5.1.1.3. Dari pemodelan didapatkan nilai faktor keamanan dari lereng actual *sidewall* di KUD Sinamar Sakato dengan menggunakan metode bishop simplifiet sebesar 1,041 dangan menggunakan metoda janbu simplified sebesar 1,074

5.1.1.4. Setelah dilakukan pemodelan didapatkan rekomendasi untuk lereng sidewall tambang batubara KUD sinamar sakato, untuk lereng sidewall actual dilakukan resloping dengan sudut overall 53 derajat.

5.1.1.5. Setelah didapatkan permodelan lereng actual maka dilanjutkan merencanakan geometri lereng sidewall pada penambangan batubara sampai seam tiga terdiri dari satu slope dengan sudut untuk lereng tunggalnya sebesar 65 derajat, untuk lereng keseluruhan didapatkan geometri lereng terdiri dari tiga slope dengan sudut overall sebesar 41 derajat.

5.2. Saran

5.2.1. Perlu dilakukannya perancangan geometri lereng yang baik sebelum kegiatan penambangan dilakukan yang sesuai dengan sifat fisik dan mekanik batuan pada lereng tersebut, serta

5.2.2. Pemantauan dan kontrol geoteknik terhadap aktivitas lereng, sehingga nantinya apabila ada potensi bahaya dapat diatasi sedini mungkin.

5.2.3. Perlunya ketelitian pada saat melakukan pengujian sampel di laboratorium agar hasil yang didapatkan lebih akurat.

Daftar Pustaka :

- [1]. Arif Irwandi. 2016. *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [2]. Broch, E dan Franklin, J.A. (1972). "The point-Load Strength Test. International journal of rock mechanics and mining Sciences", 9, 669-697
- [3]. Christian Obregon et.al. 2019. *Probabilistic approach for open pit bench slope stability analysis – A mine*

- case study*. Departemen Teknik Pertambangan dan Material, McGill University, Montreal H3A 0E8.
- [4]. Cramer, Duncan & Dennis Howitt. 2004. *The SAGE Dictionary of Statistic*. London: SAGE Publications Ltd
- [5]. Dasri Husien 2018. *Analisis Kestabilan Lereng Pit A1-Blok B di PT. Anugerah Alam Andalas Desa Muara Ketalo, Kelurahan Sungai Bengkal, Kecamatan Tebo Iilir, Kabupaten Tebo, Provinsi Jambi*. Padang, Universitas Negeri Padang.
- [6]. Hoek, E. and Bray, J.W. 1981. *Rock Slope Engineering, Revised 3rd edition*. The Institution of Mining and Metallurgy: London.
- [7]. Hustrulid, W., M. Kuchta, & R Martin. 2006. *Open Pit Mine Planning & Design*. 3rd. (ed). London: CRC Press.
- [8]. Jismon trihadi, 2017. *Analisis stabilitas lereng untuk mendukung kegiatan penambangan batubara di sector X PT. Asmin bara baronangkpuas tengah, kabupaten kapuas, kalimantan tengah*. Universitas Islam Bandung.
- [9]. Karyono. 2004. "Kemantapan Lereng Batuan". *Hand out*. Diklat Perencanaan Tambang Terbuka UNISBA.
- [10]. Made Astawa Rai., dkk. (2012) : *Mekanika Batuan, Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang Institut Teknologi Bandung, Bandung*.
- [11]. M.C. Dia et al. 2007. *Optimal evaluation of rock slope stability and design at an Antaibao open coal mine, China*. Institut Teknik Geoteknik, Universitas Pertambangan dan Teknologi China (Beijing), Jalan D11 Xuyuan, Distrik Haidian, Beijing 100083.
- [12]. McQuillan et.al. 2019. *Methods applied in Australian industry to evaluate coal mine slope stability*. Fakultas Teknik Sumber Daya Mineral dan Energi, UNSW Sydney.
- [13]. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2018. Kepmen ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018: Pedomam Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Lampiran II.
- [14]. Ning Fang et al. 2016. *Stability analysis of the sliding process of the west slope in Buzhaoba Open-Pit*. School of Art and Design, School of Mines, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008.
- [15]. Octovian Cherianto Parluhutan Rajagukguk, 2014. *Analisis kestabilan lereng dengan metode bishop (studi Kasus Kawasan Citralanf sta. 1000 m)*. Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [16]. Oktaviana Saputri. 2017. "Analisis Kestabilan Lereng untuk Sistem Penambangan *Overburden (Soil)* di Area IUP 412 Ha Bukit Tajarang Indarung PT. Semen Padang Sumatera Barat" Skripsi. Padang: Program Studi S1 Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
- [17]. Ridho Kresna Wattimena. (2017). *Mekanika batuan dan perancangan koonstruksi bawah tanah*. ITB Press
- [18]. Robert Travolta Butar-butur, 2013. *Evaluasi kestabilan lereng pada tambang terbuka di tambang batu bara*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha Bandung.
- [19]. Sharma, Sunil. 2002. *Slope Stability Concepts (Chap. 6)*. New York: John Wiley & Sons.
- [20]. Singgih. 2012. "Pengembangan Metode Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Karakterisasi Batuan di Tambang Terbuka Batubara". *Disertasi tidak diterbitkan*. Bandung: ITB.
- [21]. Thyac Korah, 2014. *Analisis kestabilan lereng dengan metode janbu (studi kasus : kawasan citraland)*. Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [22]. Tianwen et. al. 2017. *3D stability analysis method of concave slope based on the Bishop method*, School of Mines, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China.
- [23]. Wyllie, Duncan C., & Christopher W. Mah. 2004. *Rock Slope Engineering: Civil and Mining*. 4rd. (ed). New York: Spoon Press.