

Analisis Balik Kestabilan Lereng Bekas Disposal Area Dengan Menggunakan Metode Bishop di Tambang PT. Nusa Alam Lestari di Desa Salak, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat.

Syakinah Hasibuan^{1*}, Bambang Heriyadi^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, Indonesia

[*Syakinahhasibuan09@gmail.com](mailto:Syakinahhasibuan09@gmail.com)

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

Abstract. PT. Nusa Alam Lestari is a coal mine located in Salak village, Talawi sub-district, Sawahlunto city, West Sumatra Province. In 2006-2011, the mining system used was open pit mining, but at the end of 2011 mining continued with the underground mining system. Former mine open disposal used to be on the upper side of tunnel C2 which affected production from underground mines, is former disposal area slope condition (section A – A') unstable so that landslides occurred in December 2019 of soil and rock has weakened material are identified in the form of an avalanche arc. Slope geometry after landslide were slope height (H) = 35,7 meter, dip (α) = 70°, and bench width (L) = 13 meter. The method used in this research are the bishop method and hoek and bray method. The results from this research can conclude another thing follows. Data from laboratory tests were unit weight (γ_{dry}) = 18,06 kN/m³, unit weight (γ_{sat}) = 19,99 kN/m³, Cohesion (C) = 18 kN/m², and phi (ϕ) = 34°. And result from back analysis in landslide were (C) = 16 kN/m², (ϕ) = 30°, (γ) = 14 kN/m³. Safety factor value before landslide used material properties from test laboratory in dry condition FK = 0,702 and in saturated condition FK = 0,676, whereas base on back analysis in dry condition FK = 0,667 and in the wet condition FK = 0,607. Slope geometri recommendation by simplified bishop and safety factor value got are overall slope in the dry condition, H = 35,7 meter, L = 13 meter, α = 55° with FK = 1,382, and in the saturated condition FK = 1,331. On single slope in the dry condition (H) = 17 meter, L = 13 meter, α = 45° so FK = 1,432, whereas in the saturated condition (H) = 13,5 meter and α = 40° so FK = 1,380. Recommendation slope geometry (single slope) used hoek and bray method are in the dry condition (H) = 17 meter, L = 13 meter, α = 45° nilai FK = 1,46 and in the saturated condition (H) = 13,5 meter, L = 13 meter, α = 40° so FK = 1,33.

Keywords: Disposal Area, Slope Stability, Bishop Method, Safety Factors, Back Analysis

1. Pendahuluan

PT. Nusa Alam Lestari merupakan tambang batubara yang berlokasi di desa Salak, kecamatan Talawi, kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Pada tahun 2006-2011 sistem penambangan yang digunakan adalah tambang terbuka, akan tetapi pada akhir tahun 2011 penambangan dilanjutkan dengan sistem tambang awah tanah dengan metode *room and pillar* dikarenakan striping ratio yang semakin tinggi. Bekas *disposal area* tambang terbuka dahulu berada di sisi atas tunnel C2 yang mempengaruhi produksi dari tambang bawah tanah, yakni kondisi lereng bekas *disposal area* yang tidak stabil sehingga terjadi longsor pada bulan Desember 2019. Kejadian tersebut mengakibatkan 3 *tunnel* di area C1 tertimbun dan produksi tidak berjalan selama 1 bulan yakni hingga

akhir Januari 2020. Geometri lereng sebelum terjadi longsor yaitu dengan tinggi lereng 35,7 meter, sudut kemiringan lereng 70°, dan geometri setelah terjadinya longsor kemiringan menjadi 60° kondisi demikian dianggap curam.

Jenis material pada lereng bekas disposal area adalah tanah dan batuan sedimen (*siltstone*). Batu *siltstone* terletak pada bagian dasar yaitu sebagai (*base*) dan material tanah yang sudah tercampur dengan batuan terdapat di badan lereng. Curah hujan yang tinggi akan mempengaruhi kondisi material lereng, yang awalnya keras menjadi lunak. Selain itu, faktor lainnya yaitu di PT. Nusa Alam Lestari belum ada rancangan geoteknik dan penanggulangan yang baik untuk lereng bekas *disposal area*. Maka dari itu, penulis akan menganalisis balik kestabilan lereng bekas *disposal area* dengan menggunakan metode

Bishop. Selanjutnya menganalisis kestabilan lereng setelah longsor serta memberikan rekomendasi desain geometri lereng bekas *disposal area* agar nilai $FK > 1,3$ dengan menggunakan metode Bishop yang disederhanakan dan *Hoek and Bray*.

2. Kajian Teori

2.1. Lokasi Penelitian

Secara geografis wilayah penambangan PT. Nusa Alam Lestari terletak pada koordinat $101^{\circ}45'48''$ BT – $101^{\circ}46'48''$ BT dan $00^{\circ}36'45''$ LS - $00^{\circ}37'12''$ LS. Sementara itu, secara administratif konsesi penambangan PT. NAL termasuk dalam wilayah Tambahan, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto Propinsi Sumatera Barat. Lihat gambar 1.

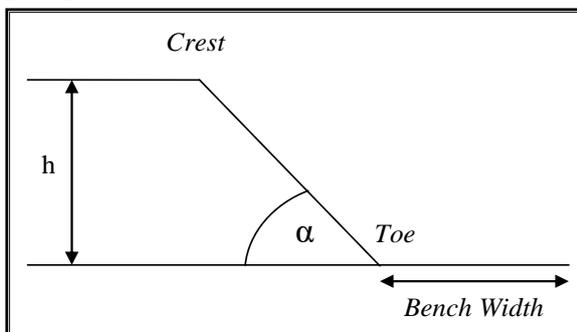


Gambar 1. Peta Kesampaian Daerah Lokasi PT. Nusa Alam Lestari

2.2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

2.2.1. Geometri Lereng

Geometri lereng mencakup tinggi lereng, sudut kemiringan lereng dan lebar jenjang, seperti terlihat pada gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Geometri Lereng

Kemiringan dan tinggi suatu lereng sangat mempengaruhi kestabilannya. Semakin besar kemiringan dan ketinggian suatu lereng, maka kestabilan semakin berkurang. Apabila suatu lereng mempunyai kemiringan yang tetap, maka perubahan ketinggian akan mengakibatkan perubahan kestabilan dari lereng yang bersangkutan karena berat material

lereng yang harus ditahan oleh kekuatan geser tanah/batuan semakin besar, sehingga semakin tinggi lereng maka sudut kemiringan lereng yang diperlukan akan semakin kecil.[2]

2.2.2. Penyebaran Batuan

Macam penyebaran dan hubungan antar batuan yang terdapat didaerah penyelidikan harus diketahui. Hal ini perlu dilakukan karena sifat fisis dan mekanis batuan berbeda sehingga kekuatan batuan dalam menahan bebannya sendiri juga berbeda. [11]

2.2.3. Relief Permukaan Bumi

Faktor ini mempengaruhi laju erosi, pengendapan, menentukan arah aliran air permukaan lebih besar dan mengakibatkan pengikisan yang lebih banyak. Akibatnya adalah banyak dijumpai singkapan-singkapan yang mempercepat proses pelapukan. Batuan akan mudah lapuk dan mempengaruhi kekuatan batuan. Pada akhirnya kekuatan batuan menjadi kecil sehingga kemandapan lereng berkurang.

2.2.4. Struktur Geologi Regional dan Lokal

Struktur geologi yang perlu diketahui adalah bidang diskontinuitas atau bidang lemah seperti sesar, kekar, perlapisan, bidang ketidakselarasan dan sebagainya. Struktur geologi ini merupakan bidang lemah dalam massa batuan dan dapat menurunkan kemandapan lereng.

Struktur Geologi ini juga mempengaruhi kekuatan batuan atau paling tidak merupakan tempat rembesan air sehingga akan mempengaruhi cepat lambatnya pelapukan dimana penentuan arah jurus dan kemiringan bidang tersebut merupakan bagian yang sangat penting dalam melengkapi data analisis.

2.2.5. Iklim dan Curah Hujan

Iklim berpengaruh terhadap kemandapan lereng karena iklim mempengaruhi perubahan temperatur. Temperatur yang cepat berubah akan mempercepat proses pelapukan batuan, yang jelas mengurangi gaya tahan dari lereng tersebut. Untuk daerah tropis pelapukan berlangsung lebih cepat dan kelongsoran pada lereng lebih cepat berlangsung. Adanya kandungan air pada pori batuan yang lebih besar dapat menyebabkan bertambahnya gaya penggerak untuk terjadinya kelongsoran.

Untuk masalah curah hujan diman air mempunyai fungsi sebagai pelarut dan sebagai media transportasi material pengisi celah rekahan dimana akibat adanya kehadiran air tersebut dapat menimbulkan tegangan air yang akan mengurangi tegangan normal sehingga akan memperkecil kekuatan geser.

2.2.6. Sifat Fisik dan Mekanik Batuan atau Tanah

Sifat fisik dan mekanik batuan atau tanah yang diperlukan sebagai data menganalisis kemandapan lereng adalah:

2.2.6.1. Bobot isi batuan atau tanah

Nilai bobot isi batuan atau tanah akan menentukan besarnya beban yang diterima pada permukaan bidang longsor, dinyatakan dalam satuan berat per volume. Bobot isi batuan juga dipengaruhi oleh jumlah kandungan air dalam batuan tersebut. Semakin besar bobot isi pada suatu lereng tambang maka gaya geser penyebab kelongsoran akan semakin besar, dengan demikian kestabilan lereng semakin berkurang. Bobot isi diketahui dari pengujian laboratorium. Nilai bobot isi batuan atau tanah untuk analisa kestabilan lereng terdiri dari 3 parameter yaitu nilai Bobot isi batuan pada kondisi asli, kondisi kering dan Bobot isi pada kondisi basah. [2]

2.2.6.2. Porositas batuan atau tanah

Batuan atau tanah yang mempunyai porositas besar akan banyak menyerap air. Dengan demikian bobot isinya menjadi lebih besar, sehingga memperkecil kestabilan lereng. Adanya air dalam batuan juga akan menimbulkan tekanan air pori yang akan memperkecil kuat geser batuan. Batuan yang mempunyai kuat geser kecil akan lebih mudah longsor.

2.2.6.3. Kandungan air

Semakin besar kandungan air dalam batuan, maka tekanan air pori menjadi semakin besar juga. Dengan demikian berarti bahwa kuat geser batuan menjadi semakin kecil, sehingga kestabilannya berkurang.

2.2.6.4. Kohesi (c) dan Sudut Geser Dalam (ϕ)

Kohesi (c) adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam batuan atau tanah, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Kohesi batuan atau tanah akan semakin besar jika kekuatan gesernya makin besar. Sudut geser dalam merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam batuan atau tanah.

Sudut geser dalam (ϕ) adalah sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material, maka kuat geser batuan juga akan semakin besar, dengan demikian batuan (lereng) akan lebih stabil dan material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya.

Nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) diperoleh dari pengujian laboratorium yaitu pengujian kuat geser langsung (*direct shear strength test*).

Untuk mengetahui nilai kohesi dan sudut geser dalam, dinyatakan dalam persamaan Mohr - Coulomb sebagai berikut :

$$\tau_{nt} = \sigma_n \tan \phi + c$$

Dimana :

τ_{nt} = tegangan geser

σ_n = tegangan normal

ϕ = sudut geser dalam

c = kohesi

Prinsip pengujian *direct shear strength test* adalah menggeser langsung contoh batuan atau tanah di bawah kondisi beban normal tertentu. Pergeseran diberikan terhadap bidang pecahnya. Beban normal yang diberikan diupayakan mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.

2.2.7. Gaya dari Luar

Gaya-gaya dari luar yang dapat mempengaruhi (mengurangi) kestabilan suatu lereng adalah getaran yang diakibatkan oleh gempa, peledakan dan pemakaian alat-alat mekanis yang berat di dekat lereng. Pemotongan dasar (*toe*) lereng, serta penebangan pohon-pohon pelindung lereng

2.3. 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 dantebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain: galian dan timbunan tanggul dan dinding tambang terbuka. [4]

Dilihat dari material penyusunnya, terdapat dua macam lereng, yaitu lereng tanah dan lereng buatan. Dalam analisis penentuan jenis tindakan pengamanannya, lereng tanah tidak dapat disamakan dengan lereng buatan karena parameter material dan jenis penyebab longsor kedua material pembentuk lereng tersebut sangat jauh berbeda.

2.4. Disposal Area

Dalam sistem tambang terbuka diperlukan suatu tempat untuk membuang material overburden yang disebut sebagai disposal. [5] Material penyusun *disposal* terdiri dari berbagai jenis, seperti tanah (*soil*), *siltstone*, *claystone*, *sandstone* dan jenis batuan lainnya. Adapun material yang telah disebut diatas merupakan material dalam kondisi *loss* (kembang) oleh karena itu, kepadatan material juga akan berkurang. *Disposal* tersebut, nantinya akan membentuk lereng-lereng yang berpotensi mengalami kelongsoran.

2.5. Konsep Kesabilan Lereng

Kestabilan lereng baik lereng alami maupun buatan (buatan manusia) serta lereng timbunan dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penahan dan gaya-gaya penggerak yang bertanggung jawab terhadap kestabilan lereng tersebut. Pada kondisi gaya penahan (terhadap longsor) lebih besar dari gaya penggerak, lereng tersebut akan berada dalam kondisi yang stabil (aman). Namun, apabila gaya penahan menjadi lebih kecil dari gaya penggeraknya, lereng tersebut akan menjadi tidak stabil dan akan terjadi longsor. Longsor merupakan suatu proses alamiah yang terjadi untuk mendapatkan kondisi kestabilan lereng yang baru (keseimbangan

baru), diman gaya penahan lebih besar dari gaya penggerakya.

Suatu cara yang umum untuk menyatakan kestabilan suatu lereng batuan adalah dengan faktor keamanan. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil, dengan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya longsor. Secara matematis faktor kestabilan lereng dinyatakan sebagai berikut:

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

Dimana:

F = faktor kestabilan lereng

R = gaya penahan, berupa resultan gaya-gaya yang membuat lereng tetap stabil

Fp = gaya penggerak, berupa resultan gaya-gaya yang menyebabkan lereng longsor

Pada keadaan:

F > 1,0 = lereng dalam keadaan stabil

F = 1,0 = lereng dalam keadaan seimbang
(akan longsor)

F < 1,0 = lereng dalam keadaan tidak stabil.

2.3 Metode Analisis Kestabilan Lereng

2.2.1 Metode Bishop

Metode kesetimbangan batas yang dipakai disini yaitu Metode Bishop yang sudah disederhanakan. Diantara metode irisan lainnya, metode Bishop yang disederhanakan merupakan metode yang paling populer dalam analisis kestabilan lereng. Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu besarnya gaya geser antar-irisannya sama dengan nol ($X = 0$) dan bidang runtuh berbentuk sebuah busur lingkaran. Kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi oleh metode ini adalah kesetimbangan gaya dalam arah vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh untuk semua irisan. Sedangkan kesetimbangan gaya dalam arah horisontal tidak dapat dipenuhi.^[1]

Faktor keamanan untuk metode ini dirumuskan sebagai berikut.

$$FS = \frac{\sum X / (1+Y/FS)}{EZ+Q} \dots\dots\dots (2)$$

2.2.2 Metode Hoek and Bray

Metode *Hoek and Bray* adalah salah satu metode grafik yang menggambarkan lima buah pola aliran tanah dari kondisi kering sampai kondisi jenuh. Longsoran busur dapat dianalisis menggunakan diagram yang dibuat oleh *Hoek and Bray*. Metode *Hoek and Bray* sendiri tergantung pada^[8] :

1. Jenis tanah dan batuan, dalam hal ini tanah dan batuan dianggap homogen dan kontinu.
2. Longsoran yang dapat terjadi menghasilkan bidang luncur berupa busur lingkaran.

3. Tinggi permukaan air tanah pada lereng

3. Metode Penelitian

3.1 Desain Penelitian

3.1.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif. Dimana, menurut A. Muri Yusuf (2005:50), "Penelitian tipe kuantitatif dapat digunakan apabila data yang dikumpulkan berupa data kuantitatif atau jenis data lain yang dapat dikuantitaskan dan diolah menggunakan teknik statistik"^[7]. Selain itu juga, penelitian ini termasuk penelitian terapan karena ditujukan untuk memberikan solusi atas permasalahan pada lereng bekas *disposal area*.

3.1.2. Waktu penelitian

Kegiatan observasi lapangan dilaksanakan pada tanggal 11-12 Februari 2020 dan kemudian akan dilanjutkan kegiatan pengambilan data yang dilakukan mulai tanggal 27 Februari sampai 19 Maret 2020.

3.1.3 Lokasi Penelitian

Pengambilan data dilakukan di wilayah penambangan yaitu di PT. Nusa Alam Lestari. Penelitian dibatasi dan difokuskan pada lereng bekas *disposal area* jalan utama tiga tunnel PT. Nusa Alam Lestari Desa Salak, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat.

3.2 Jenis Dan Sumber Data Penelitian

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini dikelompokkan atas dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer pada penelitian ini merupakan data hasil observasi dan pengujian laboratorium, yaitu geometri lereng aktual, sampel tanah untuk uji sifat fisik dan mekanik tanah. Sedangkan data sekunder bersumber dari laporan penelitian terdahulu, literatur dari berbagai sumber, data dari instansi yang terkait seperti peta geologi, peta topografi, peta geologi dan data curah hujan.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis akan menggabungkan antara berbagai data yang akan mendukung pada pemecahan masalah. Data – data yang dibutuhkan pada penyelesaian penelitian ini didapat dari hasil pengujian sampel material tanah di laboratorium, yaitu pengujian sifat fisik tanah untuk mendapatkan data bobot isi dan sifat mekanik tanah berupa data kohesi dan sudut geser dalam dari hasil uji geser langsung.

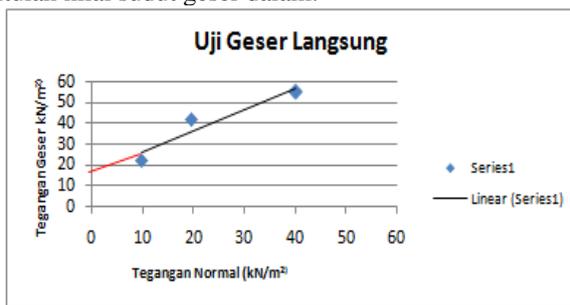
3.3.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Yaitu pengujian yang dilakukan untuk menentukan Berat Isi atau Bobot Isi Tanah Berat isi tanah. Bera isi merupakan perbandingan antara berat tanah basah dengan volumenya dalam satuan gram/cm³. Sedangkan

bobot isi tanah merupakan perbandingan antara berat tanah kering dengan volumenya dalam satuan gram/cm^3 .

3.3.2 Uji Geser Langsung Tanah

Uji geser langsung ini dimaksud untuk menentukan parameter geser tanah yaitu untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam. Pada pengujian ini, nilai kohesi diperoleh dari hasil korelasi antara tegangan normal (sumbu x) dan tegangan geser (sumbu y), kemudian garis korelasi atau regresi ditarik lurus sampai menyentuh sumbu y dan nilai yang menyentuh sumbu y disebut kohesi. Sedangkan untuk mendapatkan nilai sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk dari regresi antara tegangan geser dan tegangan normal, yaitu tarik garis lurus dari sumbu y kemudian ukur dengan busur sudut yang dibentuk dan itulah nilai sudut geser dalam.



Gambar 3. Grafik Uji Geser Langsung

3.4. Teknik Analisis Data

Setelah semua data yang ada diolah maka selanjutnya dilakukan analisis dengan tujuan memperoleh kesimpulan sementara. Selanjutnya kesimpulan sementara tersebut akan diolah lebih lanjut dalam bagian pembahasan, maka dari itu perlu adanya metode dalam menganalisa data agar data yang diperoleh dapat diolah sesuai dengan hasil tujuan yang akan didapatkan. Adapun inti dalam analisa data pada penelitian ini antara lain:

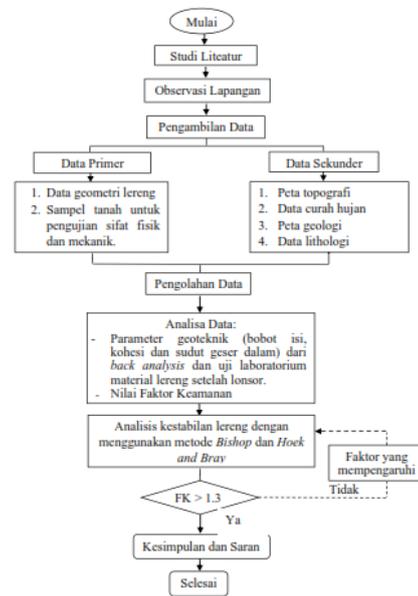
1. Melakukan analisis balik kestabilan lereng untuk mendapatkan parameter geoteknik.
2. Melakukan analisis tingkat kestabilan lereng dengan menggunakan menggunakan metoda Bishop dengan dibantu software Rosience Slide 6.0 dan metode grafik Hoek and Bray.

Dalam proses analisa kestabilan lereng melalui beberapa tahapan yaitu pemodelan lereng dengan menyesuaikan dengan geometri lereng dan penampang lereng. Kemudian menganalisa balik lereng bekas disposal sebelum longsor dengan metode Bishop dengan bantuan software Rocsience Slide 6.0 untuk mendapatkan parameter sebelum longsor dengan mengasumsikan $FK < 1$. Setelah parameter sudah didapatkan maka akan dilakukan analisa kestabilan lereng dan rekomendasi geometri lereng bekas disposal dengan menggunakan metoda Bishop Simplified dengan bantuan software Rocsience Slide 6.0 dan

metode grafik Hoek and Bray untuk memperoleh lereng yang stabil dengan nilai $FK = 1,3$.

Kriteria nilai faktor keamanan (FK) yang digunakan adalah $FK = 1,3$ untuk menilai stabilitas model lereng keseluruhan (overall pit slope) yang sesuai dengan Kepmen 1827 tahun 2018. Dalam analisa kestabilan lereng bekas disposal dengan menggunakan metoda Bishop Simplified dengan bantuan software Rocsience Slide 6.0.

3.5 Diagram Alir



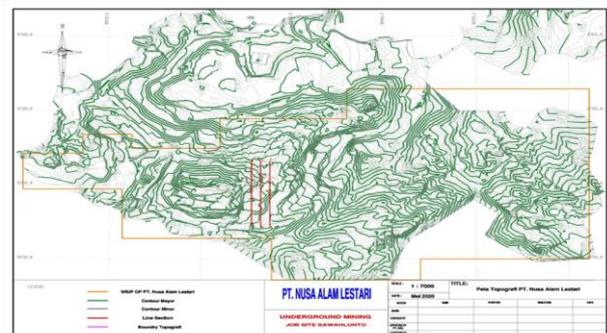
Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Penelitian

4.1.1 Data Hasil Pengukuran di Lapangan

Penelitian dilakukan pada titik koordinat $0^{\circ} 36' 59''$ LS $100^{\circ} 46' 11,45''$ BT (section A-A'). Untuk geometri lereng sebelum longsor yaitu tinggi lereng (H) = 35,7 m, kemiringan lereng (α) = 70° , lebar bench (L) = 13 meter, sedangkan untuk geometri lereng setelah longsor terjadi perubahan kemiringan lereng (α) = 60° . Berikut peta topografi PT. Nusa Alam Lestari.



Sumber : PT. Nusa Alam Lestari

Gambar 5. Lokasi Penelitian

4.1.2 Data Hasil Pengujian Sampel Tanah di Laboratorium

4.1.2.1 Uji Sifat Fisik Tanah

Pengujian sifat fisik tanah merupakan pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai bobot isi dari sampel tanah. Data hasil uji sifat fisik tanah dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai Rata-Rata Uji Sifat Fisik Batuan

Koordinat	Nomor Cincin	Berat Tanah Kering + Berat Cincin (gr) W2	Berat Cincin (gr) W1	Bobot Isi (gr/cm ³)
0° 37' 0,06" LS 100° 46' 11,35" BT	1	164,05	47,66	1,94
0° 36' 56,42" LS 100° 46' 8,54" BT	2	165,28	55,08	1,83
0° 36' 57,55" LS 100° 46' 10,25" BT	3	161,80	54,24	1,8

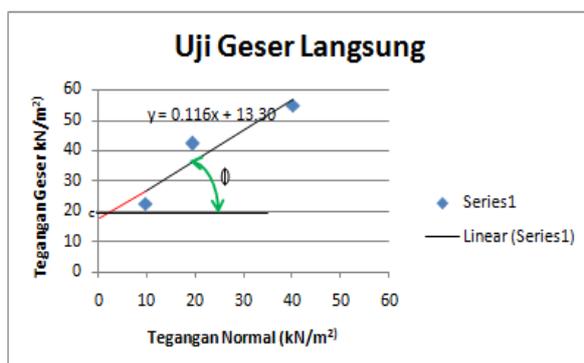
4.1.2.2 Uji Sifat Mekanik Tanah

Uji sifat mekanik tanah yang dilakukan adalah uji geser langsung, pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam. Berikut adalah data hasil uji geser langsung dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Uji Geser Langsung Tanah

No	Beban Normal (Kg)	Tegangan Normal (Kg/cm ²)	Pembacaan Dial	Beban Geser (Kg)	Tegangan Geser (Kg/cm ²)
1	3	0,10	15	7	0,23
2	6	0,20	28	13,1	0,43
3	12	0,41	36	16,8	0,56

Berdasarkan data pada tabel 2, penulis membuat sebuah grafik uji geser langsung yang digunakan untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam seperti pada gambar 6 :



Gambar 6. Analisa Uji Geser Langsung Tanah

Dari grafik di atas, nilai kohesi pada bidang vertikal (tegangan geser) adalah 18 kN/m³. Sedangkan

untuk nilai sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk antara tegangan geser dan tegangan normal yang diberi label tanda panah hijau yaitu sebesar 34°.

4.2 Analisis Kestabilan Lereng Disposal Area PT. Nusa Alam Lestari

Penulis melakukan analisa geoteknik melalui dua tahap yaitu back analysis untuk mengetahui parameter dari material tanah ketika longsor terjadi dan forward analysis untuk melakukan pemodelan kembali kestabilan lereng bekas disposal dengan parameter yang diperoleh dari hasil back analysis. Analisa kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode dari kesetimbangan batas yaitu metode bishop yang disederhanakan dan penyelesaian perhitungannya dibantu dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) yaitu *Rocsience Slide 6.0*. Nilai faktor keamanan yang digunakan yaitu FK = 1,3 sebagai kriteria menilai stabilitas model lereng keseluruhan (*overall slope*) yang dapat diterima. Jika FK < 1,3 maka lereng dianggap belum stabil.

4.2.1 Analisis Kestabilan Lereng Bekas Disposal dengan menggunakan Metode Bishop dibantu dengan Menggunakan software Rocsience Slide 6.0.

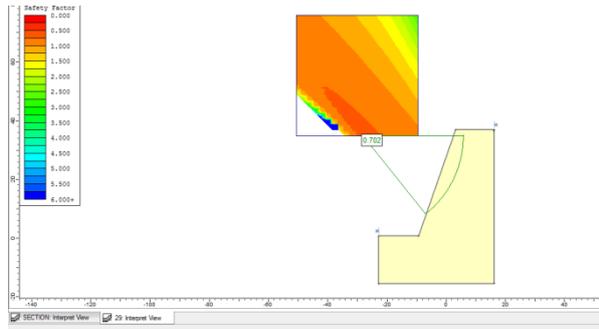
4.2.1.1 Back Analysis

Back analysis adalah analisis balik dengan memodelkan lereng pada kondisi longsor untuk memperoleh nilai parameter batuan (David, 2011:451). Permodelan dan analisis balik ini bertujuan untuk menentukan dan memverifikasi parameter geoteknik input yang mewakili dari suatu lereng bukaan tambang dengan cara memanfaatkan suatu kasus kelongsoran yang terjadi pada lereng bekas disposal. Parameter geoteknik yang digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng bekas disposal area (bobot isi, kohesi dan sudut geser dalam) dapat dilihat seperti tabel 3 berikut.

Tabel 3. Data Parameter Geoteknik Hasil Uji Laboratorium Material Setelah Terjadi Longsor

Material	Tanah			Friction Angel (°)
	Unit Weight (KN/m ³)	Cohesion (KN/m ²)		
Keterangan	Wet	Dry		
Mean	19,99	18,06	18	34

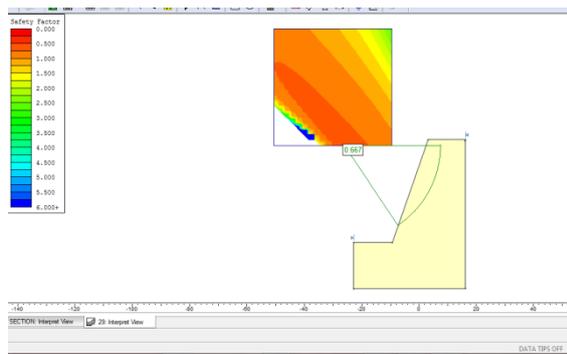
Dengan memodelkan lereng sesuai dengan data geometri lereng pada tabel 3 (sebelum terjadi longsor) dan *section A-A'* lalu memasukkan data input hasil uji sifat fisik (bobot isi tanah) dan uji geser langsung (kohesi dan sudut geser dalam) pada tabel 3 pada kondisi kering maka nilai FK pada *section A-A'* dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Nilai FK Lereng pada Kondisi Kering Sebelum Terjadi Longsor

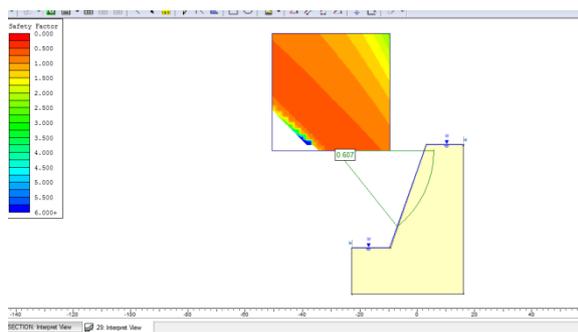
Sesuai dengan data geometri lereng pada tabel 3 yaitu tinggi 37,5 meter dengan sudut 60°, panjang lereng 50 meter dan lebar lereng 13 meter diperoleh nilai aktor keamanan dalam kondisi kering sebesar 0,702 sedangkan dalam kondisi jenuh sebesar 0,678. Kelongsoran yang terjadi pada *section A-A'* dikarenakan geometri yang belum sesuai yakni ketinggian lereng, sudut lereng, dan lebar *bench* serta kondisi material yang telah terjadi pelapukan.

Selanjutnya *back analysis* dilakukan bertujuan untuk mengetahui parameter nilai material *properties* dengan nilai $FK < 1$. Untuk lereng pada kondisi kering nilai FK dapat dilihat pada gambar 8 dan untuk kondisi jenuh dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 8. Nilai FK Lereng pada Kondisi Kering Setelah dilakukan Analisis Balik

Setelah dilakukannya analisis balik untuk mendapatkan $FK < 1$ untuk lereng pada kondisi kering didapatkan nilai FK 0,667.



Gambar 9. Nilai FK Lereng pada Kondisi Jenuh Setelah dilakukan Analisis Balik

Setelah dilakukannya analisis balik untuk mendapatkan $FK < 1$ untuk lereng pada kondisi jenuh didapatkan nilai FK 0,607. Dari kedua percobaan analisis balik diatas yakni dalam kondisi kering dan jenuh didapatkan nilai material properties atau parameter geotektik seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Data Hasil Analisis Balik

Material Name	Unit Weight (kN/m^3)	Cohesion (kN/m^2)	Phi ($^\circ$)
Soil	14	16	30

Berdasarkan percobaan analisis balik yaitu yang pertama parameter yang didapatkan dari uji laboratorium dan parameter yang didapat dengan percobaan pada software Rocscience Slide 6.0., maka penulis menggunakan data parameter uji laboratorium karena penulis sudah melakukan pengujian terlebih dahulu. Selanjutnya, untuk hasil dari nilai faktor keamanan dari kedua percobaan analisis balik tersebut dapat dilihat pada tabel 5.

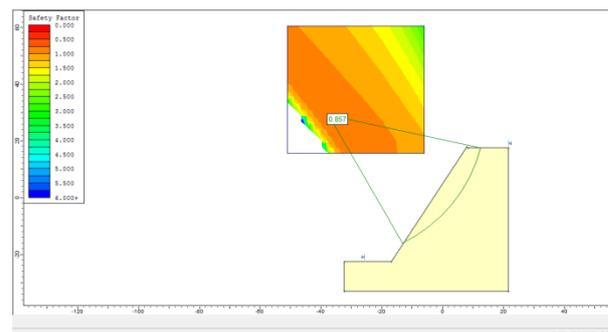
Tabel 5. Nilai FK dari Analisis Balik

FK	Berdasarkan Parameter dari Uji Laboratorium		Berdasarkan Parameter dari Analisis Balik jika $FK < 1$	
	Kering	Jenuh	Kering	Jenuh
	0,702	0,676	0,667	0,807

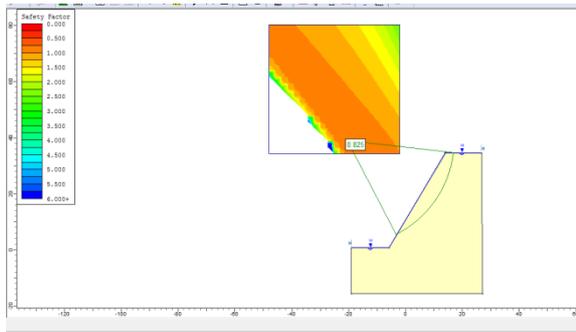
4.2.1.2 Back Analysis

Forward analysis dilakukan berdasarkan parameter material yang diperoleh dari data back analysis. Forward analysis dilakukan guna untuk membuat modifikasi geometri lereng untuk meningkatkan kestabilan lereng dari data hasil back analysis. Dalam penanggulangan kelongsoran lereng dapat dilakukan dengan memodifikasi geometri lereng untuk mengurangi gaya pendorong.

Setelah terjadinya longsor pada lokasi penelitian, diperoleh sudut atau kemiringan mengalami perubahan. Maka penulis melakukan analisis dengan menggunakan data kemiringan terbaru, nilai FK dalam kondisi kering dapat dilihat pada gambar 10 dan dalam kondisi jenuh dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 10. Nilai FK Lereng pada Kondisi Kering Setelah Terjadi Longsor



Gambar 11. Nilai FK Lereng pada Kondisi Jenuh Setelah Terjadi Longsor

Dari nilai faktor keamanan yang diperoleh dari *software Rocscience Slide 6.0* yaitu pada kondisi kering 0,857 dan pada kondisi jenuh 0,85 menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan lereng masih dalam keadaan tidak stabil karena $FK < 1,3$. Maka dari itu, penulis membuat rekomendasi geometri lereng agar lereng dalam keadaan stabil.

Rekomendasi untuk lereng bekas *disposal area* pada saat kondisi kering untuk mendapatkan FK aman yaitu $> 1,3$. Dalam hal ini, penulis merekomendasikan lereng yang awalnya *single slope* menjadi *overall slope*, sedangkan untuk rekomendasi *single slope* dengan metode bishop. Berikut data modifikasi yang digunakan untuk *overall slope*:

Diketahui:

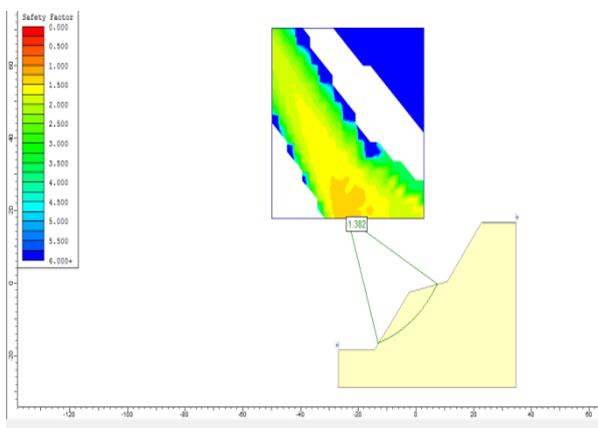
Ketinggian Lereng (H) = 17 meter per bench

Sudut Lereng (α) = 55°

Lebar *Bench* = 13 meter

Bobot Isi kering (γ_{dry}) = $18,06 \text{ KN/m}^3$

Untuk hasil analisa dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Rekomendasi Lereng Keseluruhan pada Saat Kondisi Kering

Rekomendasi untuk lereng keseluruhan pada saat kondisi jenuh untuk mendapatkan FK aman yaitu $> 1,3$, berikut data modifikasi yang digunakan:

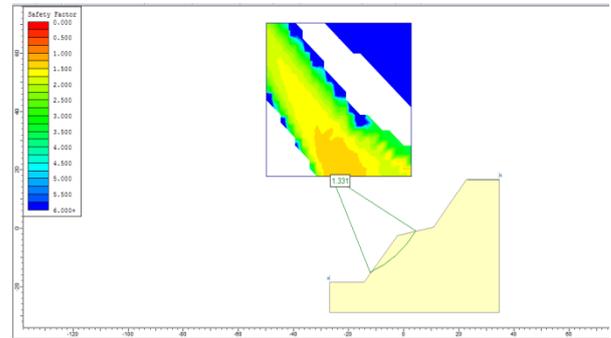
Diketahui:

Ketinggian Lereng (H) = 17 meter

Sudut Lereng (α) = 55°

Lebar *Bench* = 13 meter

Bobot Isi Jenuh (γ_{Sat}) = $19,99 \text{ KN/m}^3$



Gambar 13. Rekomendasi Lereng Keseluruhan pada Saat Kondisi Jenuh

Dari hasil analisa sesuai dengan rekomendasi pada data diatas maka diperoleh nilai FK dapat dilihat pada tabel 6 dibawah ini:

Tabel 6. Nilai FK dari Rekomendasi Geometri Lereng untuk $FK > 1,3$

Ket. Satuan	Bobot Isi	Kohesi	Sudut Geser Dalam	Tinggi Lereng	Sudut Lereng	Lebar Jenjang	FK
	(KN/m^3)	(KN/m^2)	($^\circ$)	(m)	($^\circ$)	(m)	
Jenuh	19,99	18	36	17	55	13	1.382
Kering	18,06	18	36	17	55	13	1.331

4.2.2 Analisis Kestabilan Lereng Bekas *Disposal Area* dengan menggunakan Metode *Hoek and Bray*

Analisis kestabilan lereng pada penelitian ini juga menggunakan metode grafis *Hoek and Bray* yaitu pada kondisi kering (*chart* nomor 1) dan kondisi jenuh (*chart* nomor 5)

4.2.2.1 Analisis Kestabilan Lereng pada Kondisi Kering

Pada analisis kestabilan lereng bekas *disposal* dengan menggunakan metode *Hoek and Bray* dalam kondisi kering digunakan parameter tanah dari hasil analisa labor pada tabel 7.

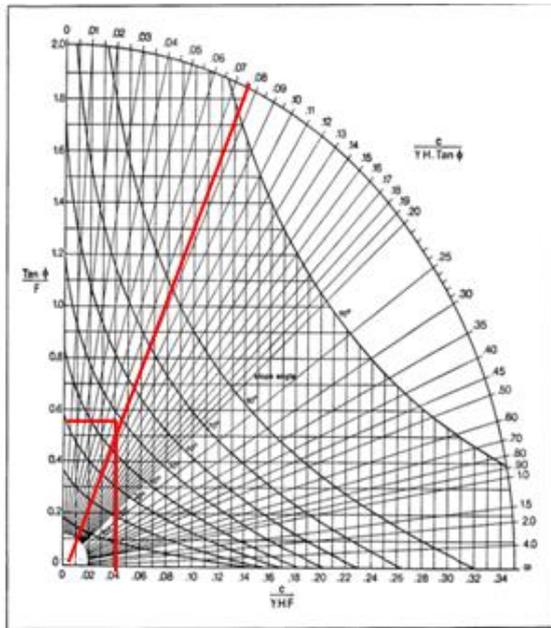
Diketahui:

Tinggi Lereng (H) = 17 meter

Kemiringan Lereng (α) = 45°

Bobot Isi Kering (γ_{Nat}) = $18,06 \text{ KN/m}^3$

Kohesi (C) = 18 KN/m^2



Gambar 14. Chart Nomor 1 Analisis Lereng dalam Kondisi Kering

$$\frac{c}{\gamma_{dry} H \tan \phi} = \frac{18}{18,06 \times 11 \times \tan 34} = 0,086$$

$$\frac{\tan \phi}{f} = \frac{\tan 34}{f} = 0,56$$

$$f = 1,19$$

$$\frac{c}{\gamma H f} = 0,04$$

$$\frac{18}{18,06 \times 17 \times f} = 0,04$$

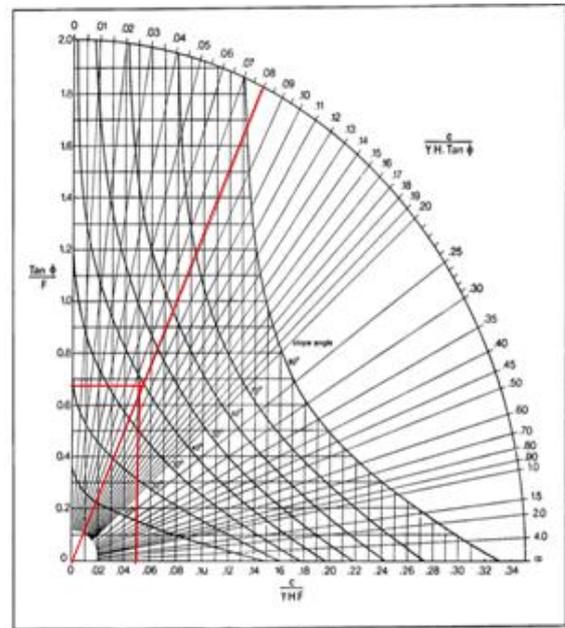
$$f = \frac{18}{12,28} = 1,46$$

4.2.2.1 Analisis Kestabilan Lereng pada Kondisi Kering

Pada analisis kestabilan lereng bekas disposal dengan menggunakan metode Hoek and Bray dalam kondisi jenuh digunakan parameter tanah dari hasil analisa labor pada tabel 7.

Diketahui:

- Tinggi Lereng (H) = 14 m
- Sudut Kemiringan Lereng (α) = 40°
- Bobot Isi Jenuh () = 19,99 KN/m³
- Kohesi (c) = 18 KN/m²
- Sudut Geser Dalam (ϕ) = 34°



Gambar 15. Chart Nomor 5 Analisis Lereng dalam Kondisi Jenuh

Untuk nilai FK dari hasil analisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode *Hoek and Bray*, dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Nilai FK dari Hasil Analisis Kestabilan Lereng dengan Menggunakan Metode *Hoek And Bray*

Ket. Satuan	Bobot Isi (KN/m ³)	Kohesi (KN/m ²)	Sudut Geser Dalam (°)	Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Lebar Jenjang (m)	FK
Jenuh	19,99	18	34	13,5	40	13	1,46
Kering	18,06	18	34	17	50	13	1,33

Berdasarkan beberapa analisa yang telah dipaparkan diatas, terdapat dua proses analisa balik untuk mendapatkan data parameter geoteknik (bobot isi, kohesi dan sudut geser dalam) yaitu pertama dengan melakukan pengujian sifat fisik (bobot isi), sifat mekanik (kohesi dan sudut geser dalam). Kedua dengan bantuan *software Rocscience 6.0* dapat dilakukan analisa kestabilan lereng sesuai dengan data geometri lereng dengan syarat $FK < 1$. Dari penjelasan diatas, maka penulis memakai data parameter geoteknik yang diperoleh dari uji laboratorium karena dari beberapa artikel ilmiah untuk material disposal nilai parameter lebih relevan hasil daripada parameter hasil analisis balik dengan bantuan *software Rocscience 6.0*.

Selanjutnya, untuk rekomendasi geometri lereng bekas disposal area (section A - A') menggunakan dua metode yang pertama dengan metode bishop (bantuan *software Rocscience Slide 6.0*) yaitu pada kondisi kering diperoleh nilai $FK = 1,382$ dan pada kondisi jenuh nilai $FK = 1,331$ dan sudah memenuhi aturan kepmen 1827 tahun 2018. Yang kedua dengan menggunakan metode *Hoek and Bray* pada kondisi kering nilai $FK = 1,46$ dan sedangkan pada kondisi

jenuh nilai FK = 1,33. Berikut adalah tabel hasil rekomendasi geometri lereng bekas *disposal area* dengan menggunakan metode *bishop* dan *hoek and bray*, dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Nilai Faktor Keamanan dengan Metode *Bishop* dan Metode *Hoek and Bray*

Keterangan	Nilai FK	
	Bishop	Hoek and Bray
Kering	1,38	1,46
Jenuh	1,33	1,33

Oleh karena itu, hasil dari nilai FK yang tidak aman sesuai dengan geometri awal, perlu di rekomendasikan geometri lereng agar nilai $FK > 1,3$. Berdasarkan kejadian longsor yang telah terjadi sebelumnya di lereng bekas disposal PT. Nusa Alam Lestari maka diperlukan upaya atau solusi agar lereng bekas disposal area tersebut tetap aman dan tidak mengganggu aktivitas penambangan, seperti melakukan pemantauan yang lereng secara berkala, tidak melakukan kegiatan penambangan saat musim hujan, membuat paritan sebagai aliran air agar lereng tidak dalam kondisi jenuh, serta melakukan modifikasi pada geometri lereng sehingga nilai $FK > 1,3$.

Pada *section A - A'*, dengan menggunakan metode *bishop* dapat dimodelkan geometri lereng *overall slope* dengan tinggi lereng 17 meter dengan model 2 jenjang dan sudut kemiringan lereng 55° dan diperoleh nilai $FK = 1,382$ pada kondisi kering dan nilai $FK = 1,331$ pada kondisi jenuh. Kemudian, rekomendasi geometri lereng juga dapat menggunakan metode *hoek and bray*, yaitu dengan analisa *single slope* pada kondisi kering ketinggian lereng 17 meter, kemiringan 45° maka didapatkan $FK = 1,46$, sedangkan pada kondisi jenuh ketinggian lereng 13,5 meter, kemiringan 40° dan nilai $FK = 1,33$.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan hasil analisa yang dilakukan pada lereng bekas disposal section A-A' di tambang PT. Nusa Alam Lestari, dapat diambil beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Data sifat fisik yang didapatkan dari pengujian sampel tanah di laboratorium adalah bobot isi kering $18,06 \text{ kN/m}^3$ dan bobot isi jenuh $19,99 \text{ kN/m}^3$. Kemudian untuk data sifat mekanik yang didapatkan adalah nilai kohesi 18 kN/m^2 dan sudut geser dalam $34^\circ.S00^\circ36'09,7''/E 100^\circ48'16,2''$ dengan tinggi lereng 30 m dan kemiringan lereng 63° .
2. Nilai FK berdasarkan nilai parameter uji sifat fisik (bobot isi) dan sifat mekanik (kohesi dan sudut geser dalam) tanah dengan geometri lereng sebelum terjadi longsor dalam kondisi kering 0,702 dan pada kondisi jenuh 0,676. Sedangkan untuk nilai

FK setelah terjadi longsor dalam kondisi kering 0,857 dan pada kondisi jenuh 0,825

3. Parameter yang diperoleh dari analisis balik dengan bantuan software Rocscience 6.0 adalah kohesi 16 kN/m^2 , sudut geser dalam 30° dan bobot isi 14 kN/m^3 dengan $FK < 1$ yaitu pada kondisi kering 0,667 dan pada kondisi jenuh 0,607.
4. Rekomendasi geometri lereng dengan menggunakan metode *Bishop* yang disederhanakan dan metode *Hoek and Bray* serta nilai FK yang didapatkan, yaitu:
 - a. Metode *Bishop*
 - 1) Kondisi Kering, tinggi lereng keseluruhan 35,7 meter, lebar *bench* 13 meter, sudut kemiringan lereng keseluruhan 55° maka nilai $FK 1,38$ dan tinggi lereng tunggal 17 meter, lebar *bench* 13 meter, sudut kemiringan tunggal 45° maka nilai $FK 1,432$.
 - 2) Kondisi Jenuh, tinggi lereng keseluruhan 35,7 meter, lebar *bench* 13 meter, sudut kemiringan lereng keseluruhan 55° maka nilai $FK 1,33$ dan tinggi lereng tunggal 17 meter, lebar *bench* 13 meter, sudut kemiringan tunggal 40° maka nilai $FK 1,33$.
 - b. Metode *Hoek and Bray*
 - 1) Kondisi Kering, tinggi lereng tunggal 17 meter, lebar *bench* 13 meter dan sudut kemiringan lereng 45° maka nilai $FK 1,46$.
 - 2) Kondisi Jenuh, tinggi lereng tunggal 13,5 meter, lebar *bench* 13 meter dan sudut kemiringan lereng 40° maka nilai $FK 1,33$.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perubahan Geometri Lereng
Hal ini dilakukan dengan memperbaiki geometri lereng yang ada dengan mengikuti rekomendasi desain yang telah dibuat untuk menjaga kestabilan lereng dengan nilai $FK > 1,3$.
2. Agar hasil lebih akurat perlunya ketelitian saat pengujian di laboratorium.
3. Perlunya langkah pemeliharaan, pemantauan, dan penanganan pada lereng tambang untuk menjaga agar lereng tetap dalam kondisi aman

Daftar Pustaka

- [1] Andriani, Tati., Zulfiadi Zakaria., dkk. 2018. "Analisis Stabilitas Lereng Area Timbunan Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas Pada Tambang Terbuka Batubara Daerah Purwajaya Kecamatan Kutai Kartanegara". repository.unpad.ac.id, diakses 21 Januari 2020.
- [2] Arif, Irwandy. (2016). Geoteknik Tambang. Bandung: ITB.
- [3] Haryanto, Lucky., Susanto Basuki. 2006. "Analisis Kestabilan Lereng Timbunan Overburden Studi Kasus Desa Kampung Baru

- Kecamatan Cempaka Banjarbaru”. Jurnal INFOTEKNIK Vol. 7 No. 1.
- [4] Metriani, Riri. 2019. “Analisis Balik Kestabilan Lereng dengan Menggunakan Metode Bishop yang disederhanakan pada Front II Existing Tambang Quarry PT. Semen Paang, Sumatera Barat”. Skripsi tidak diterbitkan. Padang: UNP.
- [5] Noorchayo, A., dkk. 2019. “Stabilitas Lereng Disposol Salero Selatan di PT. Bumi Merapi Energi”. Jurnal Pertambangan Vol. 3 No. 4.
- [6] Noor, Djauhari., Solihin. 2017. “Kajian Geoteknik Kestabilan Lereng di Daerah Quarry Hambalang Kecamatan Citeureup Kabupaten Bogor Jawa Barat”. Jurnal Teknologi Vol. 1, Edisi 29. Hlm. 34-42.
- [7] Pane, Riski Adelina. 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”. Skripsi tidak diterbitkan. Padang: UNP.
- [8] Rajagukguk, Octovian Cherianto Parluhutan., dkk. 2014. “ Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop”. Jurnal Sipil Statik Vol. 2 No. 3. Hlm. 139-147.
- [9] Saputri, Oktaviana. 2018. “Analisis Kestabilan Lereng Untuk Sistem Penambangan Overburden (Soil) di Area IUP 412 Ha Bukit Tajarang Indarung PT. Semen Padang Sumatera Barat”. Skripsi tidak diterbitkan. Padang: UNP.
- [10] Subianto., dkk. 2018. “Analisis Kestabilan Lereng Plan Disposol Pada Pit Mulia PT. Arutmin Indonesia Kecamatan Kintap Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan”. Jurnal GEOSAPTA Vol. 4 No. 2. Hlm. 75-83.
- [11] Triyadi, Seno Cendekia. 2015. “ Analisis Stabilitas Lereng dengan Menggunakan Program Software Rocscience Slide V. 60 di Area Tambang Terbuka Batubara PT. Sinamarinda Lintas Nusantara”. Skripsi tidak diterbitkan. Padang: UNP.
- [12] Yulikasari, Andriyan., dkk. 2017. “Analisis Stabilitas Lereng Tanah di Daerah Olak Alen Blitar”. Jurnal Teknik ITS Vol. 6 No. 2.