

SEMINAR NASIONAL SAINS DAN TEKNIK FST UNDANA (SAINSTEK-IV)

Hotel Swiss-Belinn Kristal Kupang, Kupang - 25 Oktober 2019

Analisis Geometri Lereng Tambang Batubara *Pit 303* Di PT. Jembayan Muarabara, Desa Separi, Kecamatan Tenggaraong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, Propinsi Kalimantan Timur

Woro Sundari

Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Sains Dan Teknik, Universitas Nusa Cendana
Email. worosundari@gmail.com

ABSTRACT

This research maded at highwall pit slope 303 PT. Jembayan Muarabara in the Separi Village, Tenggaraong Seberang District, Kutai Kartanegara regency, East Kalimantan Province. The problem that happened that is unknown the characteristic of material and geometric design model at Pit 303 that suitable with company instruction.

Research method used that is indirect method just to do and take the data of company such as rainfall data, properties material data that is compressive strength of rock, unit weight and geotechnical drilling data. Based on analysis produce maded three section that is A-A', B-B' and C-C' using helping software Slide 6.0 with Fellinius Method. The analysis uses design slope PT.JMB of software Slide 6.0 for section A-A' has a safety factor value 1.2 is safe, but for section B-B' and C-C' obtained safety factor value 1.2 is the slope in an unsafe condition. Seeing this was done it is necessary to prevent and control the slope did not avalanche.

Landslide prevention recommendations is redesigning the geometry of the slope by changing the geometry for overall slope 44° , single slope 60° bench width 6 m, bench height 15 m and wide bench width after 45 m of height is 10 m. From the results of using the software Slide 6.0 running for every section safety factor value obtained after redesigning the geometry of the slope is 1.2 so that the geometry of the recommended slope declared safe.

Keywords: Geometry, Slope Stability

Author : Woro Sundari

ABSTRAK

Penelitian ini dilaksanakan pada lereng *highwall pit 303* PT. Jembayan Muarabara, Desa Separi, Kecamatan Tenggaraong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Permasalahan yang terjadi yaitu belum diketahui karakteristik material dan model rancangan geometri lereng pada *pit 303* yang sesuai dengan penetapan perusahaan.

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode tidak langsung yaitu hanya melakukan pengambilan data perusahaan berupa data curah hujan, data *properties material* yaitu hasil uji kuat tekan, *unit weight* () dan hasil pemboran geotek. Berdasarkan hasil analisis dibuat tiga penampang sayatan yaitu A-A', B-B' dan C-C' menggunakan bantuan *software slide 6.0* dengan metode fellinius. Hasil analisis menggunakan *software slide 6.0* untuk penampang A-A' *design* PT.JMB mempunyai nilai FK 1,2 aman tetapi pada penampang B-B' dan C-C' didapatkan nilai FK 1,2 yaitu lereng dalam kondisi tidak aman. Melihat hal tersebut perlu dilakukan pencegahan dan penanggulangan agar lereng tidak longsor.

Rekomendasi pencegahan longsor yaitu redesain geometri lereng menggunakan kemiringan lereng *pit* keseluruhan (*overall slope*) 44° , lereng tunggal (*single slope*) 60° , lebar *bench* 6 m, tinggi *bench* 15 m, dan lebar *bench* setelah ketinggian 45 m adalah 10 m. Dari hasil running menggunakan *software slide 6.0* nilai FK lereng yang didapat setelah redesain geometri lereng yaitu 1,2 sehingga rekomendasi dinyatakan aman.

Kata kunci: Geometri, Faktor Keamanan Lereng

Author : Woro Sundari

1. PENDAHULUAN

Dalam melakukan aktivitas penambangannya PT. JMB menggunakan sistem tambang terbuka (*open pit minning*), yang kegiatannya meliputi pembukaan lokasi tambang dan pembersihan lahan (*land clearing*), pengupasan lapisan tanah pucuk (*top soil*), pembongkaran tanah penutup (*overburden*) serta penggalian dan pengangkutan batubara ke tempat penyimpanan.

Sistem tambang terbuka (*open pit minning*) merupakan jenis tambang yang dilakukan dipermukaan bumi. Dalam kegiatan penambangannya menggunakan metode penambangan berbentuk jenjang (*bench*). Bentuk jenjang penambangan berkaitan erat dengan kestabilan lereng yang dipengaruhi oleh parameter-parameter geoteknik seperti sifat fisik dan mekanik batuan serta aktivitas penambangan berupa pomboran maupun peledakan, seperti yang pernah terjadi pada tahun 2013 di *pit* 201 dan *pit* 17 serta pada tahun 2014 di *pit* 4N (*North*).

Terganggunya kestabilan lereng, penetapan nilai Faktor Keamanan (FK) minimum dan rancangan geometri lereng *pit* yang tidak sesuai tentunya akan mengakibatkan kelongsoran. Untuk itu pada tahun 2014 PT. JMB merencanakan pembukaan *pit* baru yaitu *pit* 303 dengan FK minimum lereng 1,2. Penetapan FK minimum tersebut membutuhkan analisis kestabilan dengan metode yang sesuai, dimana salah satunya yang cukup dapat dipercaya sampai saat ini adalah metode Fellenius. Perhitungan lereng dengan metode Fellenius dilakukan dengan membagi massa longsor menjadi beberapa segmen agar dalam perhitungan luasan daerah gelincir lebih akurat dan teliti.

Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik material atau massa batuan lereng pada *pit* 303.
2. Mengetahui bentuk rancangan geometri lereng yang sesuai dengan penetapan standar FK minimum pada *pit* 303.
3. Mengetahui nilai FK yang aman untuk rancangan lereng *pit* 303 berdasarkan metode Fellenius.

2. MATERI DAN METODE

Materi

Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng yaitu:

1. Kekuatan Massa Batuan
Kekuatan massa batuan yang sangat berperan dalam analisis kestabilan lereng terdiri atas sifat fisik dan mekanik batuan tersebut. Sifat fisik batuan/tanah yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng adalah bobot isi, sedangkan sifat mekaniknya adalah kuat geser batuan yang dinyatakan dengan parameter kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ). Kekuatan geser batuan ini adalah kekuatan yang berfungsi sebagai gaya untuk melawan atau menahan gaya penyebab kelongsoran.
2. Geometri Lereng
Geometri lereng adalah tinggi (H) dan kemiringan lereng (α), baik itu secara individu (*single slope*) maupun secara keseluruhan (*overall slope*). Suatu lereng disebut lereng individu apabila dibentuk oleh satu jenjang saja dan disebut keseluruhan apabila dibentuk oleh beberapa jenjang. Sudut kemiringan lereng untuk jenjang untuk lereng keseluruhan diperoleh dengan menarik garis dari batas bawah (*toe*) jenjang terbawah ke batas atas (*crest*) jenjang teratas. Pada kondisi batuan/tanah yang sama dengan kemiringan yang tetap, penambahan tinggi lereng ini akan berpengaruh terhadap menurunnya kestabilan lereng tersebut, karena berat lereng yang harus ditahan oleh kekuatan geser batuan/tanah semakin bertambah besar. Oleh karena itu penambahan ketinggian lereng harus diikuti dengan pengurangan sudut lereng.
3. Struktur Geologi
Keadaan struktur geologi yang harus diperhatikan pada analisis suatu kestabilan lereng adalah bidang – bidang lemah dalam hal ini disebut bidang ketidakselarasan (*discontinuity*).
Ada dua macam bidang ketidakselarasan, yaitu:

- a. *Mayor Discontinuity*, seperti sesar.
- b. *Minor Discontinuity*, seperti kekar dan bidang-bidang pelapisan.

Struktur geologi ini sangat mempengaruhi kekuatan batuan atau paling tidak merupakan tempat-tempat rembesan air sehingga akan mempengaruhi cepat atau lambatnya proses pelapukan

4. Kondisi Air Tanah

Kondisi air tanah yang dimaksud di sini adalah ketinggian level air tanah yang berada di bawah permukaan lereng. Pengaruh air tanah terhadap kestabilan lereng yaitu adanya tekanan ke atas dari air pada bidang-bidang lemah yang secara efektif mengurangi kekuatan geser dan mempercepat proses pelapukan dari batuan.

5. Iklim

Iklim berpengaruh terhadap kemantapan lereng karena iklim mempengaruhi jumlah curah hujan di suatu daerah. Curah hujan yang tinggi menyebabkan jumlah air yang nantinya menjadi air tanah menjadi bertambah.

6. Gaya Luar

Gaya luar dapat mempengaruhi kemantapan suatu lereng. Gaya ini berupa getaran-getaran yang berasal dari sumber-sumber yang berada di dekat lereng tersebut

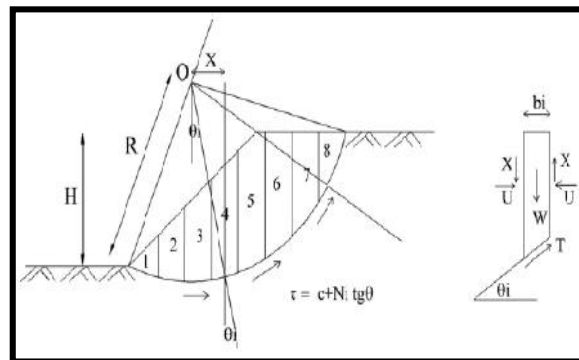
7. Hasil Kerja manusia

Selain faktor alamiah, manusia juga memberikan andil yang tidak kecil. Misalnya suatu lereng yang awalnya mantap karena manusia menebangi pohon pelindung, pengolahan tanah yang tidak baik, saluran air yang tidak baik, penggalian / tambang

Metode Analisis Kestabilan Lereng

Metode kesetimbangan batas merupakan metode yang sangat populer dan rutin dipakai dalam analisis kestabilan lereng untuk longoran tipe gelinciran translasional dan rotasional. Asumsi lainnya yaitu geometri dari bentuk bidang runtuh harus diketahui atau ditentukan terlebih dahulu. Kondisi kestabilan lereng dalam metode kesetimbangan batas dinyatakan dalam indek faktor keamanan.

$$F = \frac{G}{G} \frac{p}{aP} \frac{L}{ha} \frac{L}{L} \tag{1}$$



Gambar 1 Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Setiap Segmen (Metode Fellenius)

Analisis stabilitas lereng cara Fellenius (1927) menganggap gaya – gaya yang bekerja pada sisi kanan – kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsornya.

Materi

Studi Literatur

Studi literatur dilakukan guna memperoleh data yang tidak dapat diperoleh dari penelitian lapangan maupun laboratorium secara langsung (data sekunder), seperti : keadaan geologi daerah penelitian, topografi daerah penelitian, kondisi vegetasi, besarnya curah hujan, teori-teori tentang kestabilan lereng serta metode-metode perhitungan yang dapat digunakan.

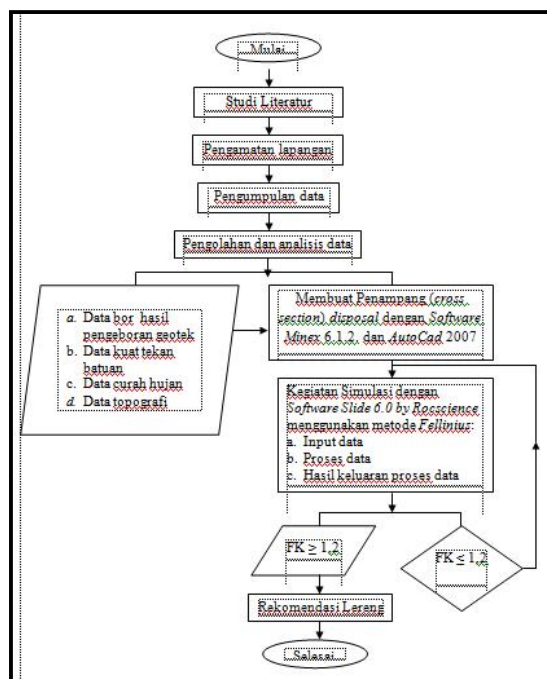
Pengambilan Data

Dalam penelitian ini, data yang diambil merupakan data sekunder yaitu berupa data yang diambil perusahaan, yaitu berupa data bor hasil pengeboran geotek BH-01, BH-4 dan BH-05, data curah hujan, data kondisi geologi, morfologi dan topografi pada daerah penelitian, peta lubang bor *pit*, peta rencana penambangan (*mine plan*), dan data hasil uji kuat tekan batuan yang diperoleh dengan cara melakukan pengujian terhadap sampel batuan hasil pemboran inti.

Analisis dan Pengolahan Data

- Data geoteknik berupa data hasil pemboran geoteknik (GSI) dan data hasil pengujian laboratorium (kuat tekan batuan) yang telah diperoleh dianalisis untuk menentukan *properties material*.
- Selanjutnya membuat sayatan atau penampang (*Cross Section*) dari peta rencana penambangan (*mine plan*) *design* PT.JMB dimana posisi sayatan tegak lurus terhadap dinding *high wall* menggunakan bantuan program *minex 6.1.2*. dan *AutoCad 2007*. Sayatan yang dibuat berupa: sayatan A-A' *design* JMB, sayatan B-B' *design* JMB, dan sayatan C-C' *design* JMB.
- Setelah *properties material* dan sayatan diperoleh selanjutnya dianalisis untuk mengetahui nilai Faktor Keamanan (FK) lereng *design* JMB menggunakan metode fellinius dengan program geoteknik yaitu *Software Slide 6.0 by Rocscience*.

Nilai Faktor Keamanan (FK) *design* JMB yang telah diperoleh selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan rekomendasi *design* pembentukan PIT 303 dengan merubah kemiringan lereng tunggal (*single slope*) menggunakan metode fellinius dengan program geoteknik yaitu *Software Slide 6.0 by Rocscience*. Adapun sayatan rekomendasi yang dibuat berupa: sayatan A-A' rekomendasi *design*, sayatan B-B' rekomendasi *design* dan sayatan C-C' rekomendasi *design*.



Gambar 2 Diagram Alir Metode Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Material Lokasi Penelitian

Karakteristik material penyusun lereng yaitu sifat fisik dan sifat mekanik. Untuk mengetahui karakteristik material dilokasi penelitian baik batubara maupun material penutup maka dilakukanlah pemboran geoteknik dengan metode *full coring*.

Tabel 1. Hasil Uji Sifat Fisik

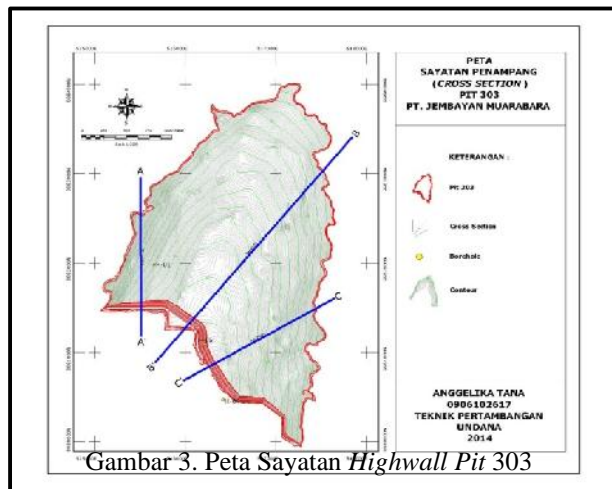
| No | Kode sampel | Kedalaman(m) | Litologi | ρ_s (gr/cm^3) | ρ_t (gr/cm^3) | ρ_b (gr/cm^3) | S % | N % | e |
|----|--------------|--------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------|--------|------|
| 1 | BH.01 SPL 02 | 55.70-55.00 | Batu pasir | 2,25 | 1,94 | 2,22 | 81,36 | 37,94 | 0,61 |
| 2 | BH.01 SPL 03 | 66.95-70.25 | Batu lumpur pasir | 2,02 | 1,53 | 2,19 | 49,38 | 34,2 | 0,32 |
| 3 | BH.04-02 | 19.05-19.35 | Batu pasir | 2,3 | 2,2 | 2,4 | 50 | 20,45 | 0,26 |
| 4 | BH.04-03 | 28.07-28.37 | Batu lumpur | 2,05 | 1,99 | 2,08 | 64,25 | 9,63 | 0,1 |
| 5 | BH.04-07 | 77.65-77.95 | Batu pasir | 2,09 | 2,22 | 2,42 | 33,33 | 20,57 | 0,26 |
| 6 | BH.05 SPL 02 | 19.60-19.90 | Batu lumpur | 2,18 | 2,16 | 2,26 | 21,74 | 10 | 0,11 |
| 7 | BH.05 SPL 03 | 41.00-41.30 | Batu pasir | 2,3 | 2,12 | 2,32 | 89,36 | 20,89 | 0,26 |

Sumber: Olahan Penulis, 2019

Dari hasil pengujian laboratorium pada tabel 1.1 dapat dilihat bahwa pada lubang bor BH.01 SPL 02 dengan litologi batu pasir memiliki porositas tertinggi yaitu 37,94% sedangkan porositas terendah terdapat pada lubang bor BH.05 SPL 02 yaitu 10% dengan litologi batu lumpur.

Rancangan Geometri Lereng

Untuk analisis kestabilan lereng, dari peta rencana penambangan (*mine plan*) dibuat penampang dimana penampang tersebut dibagi menjadi 3 bagian yang dibuat tegak lurus terhadap *highwall*. Dari masing-masing sayatan ini dianalisis kestabilan lereng design PT. JMB, dimana nilai FK yang digunakan PT. Jembayan Muarabara yaitu 1,20



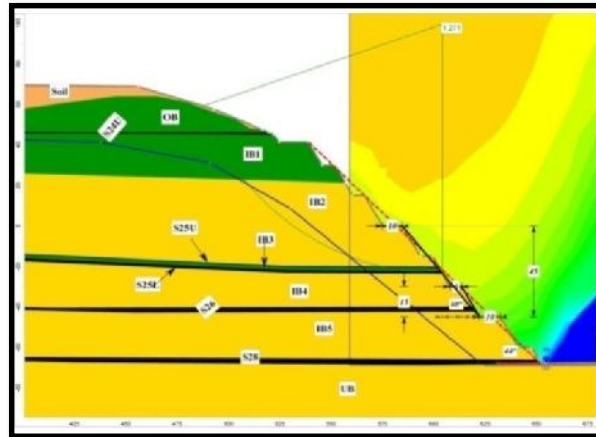
Gambar 3. Peta Sayatan *Highwall Pit 303*

a. Analisa Lereng *Pit Section A-A'*

Berdasarkan analisis, diketahui bahwa *design PT.JMB Section A-A'* berada pada kondisi lerengnya yang aman yakni dengan FK 1,510 dengan kemiringan lereng *pit* keseluruhan (*overall slope*) 53° , lereng tunggal (*single slope*) 70° , lebar *bench* 6 m, tinggi *bench* 15 m, dan lebar *bench* setelah ketinggian 45 m adalah 10 m

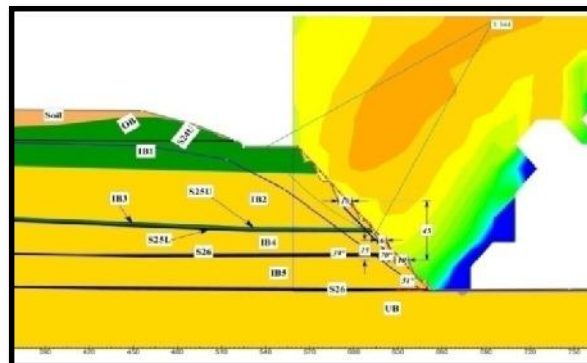
b. Analisa Lereng *Pit Section B-B'*

Untuk analisis lereng *design PT. JMB* kondisi lereng dalam keadaan tidak stabil yaitu dengan FK 1,144 dengan kemiringan lereng *pit* keseluruhan (*overall slope*) 51° , lereng tunggal (*single slope*) 70° , lebar *bench* 6 m, tinggi *bench* 15 m, dan lebar *bench* setelah ketinggian 45 m adalah 10 m seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4. Geometri lereng *pit* 303 analisis *section B-B'* design PT.JMB

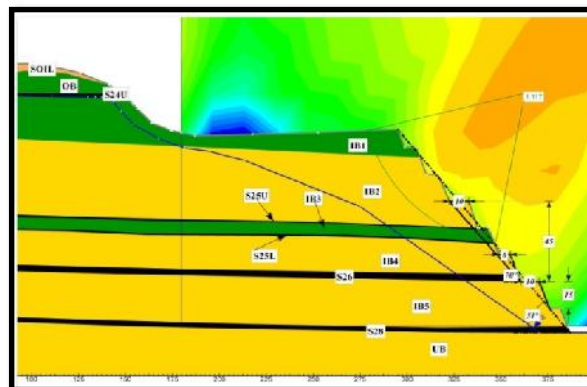
Perbaikan geometri lereng *pit* dilakukan dengan merubah geometri lereng.. Rekomendasi geometri lereng dalam upaya untuk perbaikan *pit* dilakukan untuk mendapatkan nilai FK yang $> 1,20$ sesuai dengan ketentuan perusahaan. Hasil analisis untuk perbaikan geometri menunjukkan kondisi lereng dalam keadaan stabil yaitu FK 1,271 dengan kemiringan lereng *pit* keseluruhan (*overall slope*) 44° , lereng tunggal (*single slope*) 60° , lebar *bench* 6 m, tinggi *bench* 15 m, dan lebar *bench* setelah ketinggian 45 m adalah 10 m, dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Rekomendasi geometri lereng *pit* 303 analisis *section B-B'*

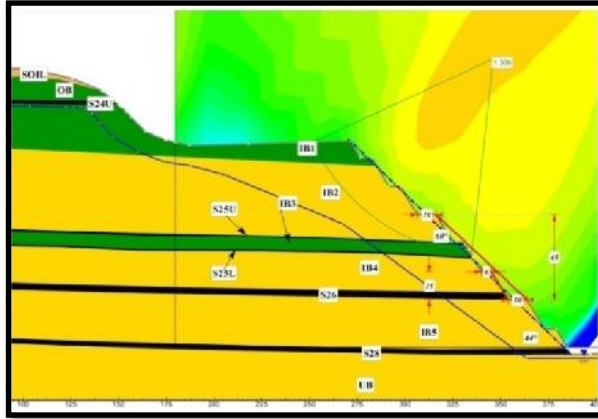
c. Analisa Lereng *Pit Section C-C'*

Untuk analisis lereng *design* PT. JMB kondisi lereng dalam keadaan tidak stabil yaitu dengan FK 1,109 dengan kemiringan lereng *pit* keseluruhan (*overall slope*) 51° , lereng tunggal (*single slope*) 70° , lebar *bench* 6 m, tinggi *bench* 15 m, dan lebar *bench* setelah ketinggian 45 m adalah 10 m, dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Geometri lereng *pit* 303 analisis *section C-C' design* PT.JMB

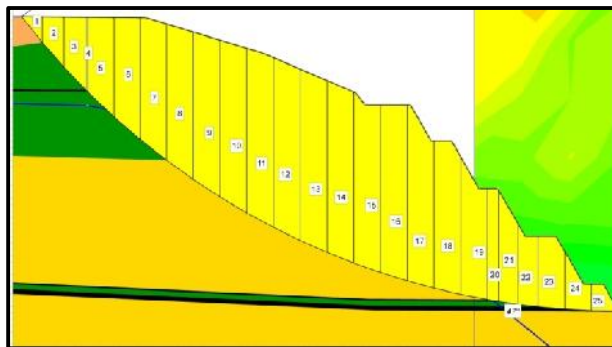
Rekomendasi geometri lereng dalam upaya untuk perbaikan *pit* dilakukan untuk mendapatkan nilai FK yang > 1,20. Hasil analisis untuk perbaikan geometri menunjukkan kondisi lereng dalam keadaan stabil yaitu FK 1,306 dengan kemiringan lereng *pit* keseluruhan (*overall slope*) 44° , lereng tunggal (*single slope*) 60° , lebar *bench* 6 m, tinggi *bench* 15 m, dan lebar *bench* setelah ketinggian 45 m adalah 10 m, dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Rekomendasi geometri lereng *pit* 303 analisis *section C-C'*

Perhitungan Nilai FK Berdasarkan Metode Fellenius

Perhitungan lereng dengan metode Fellenius dilakukan dengan membagi massa longsor menjadi segmen-segmen seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Rekomendasi *design pit* 303 penampang B-B' (segmen 1 – segmen 25)

Berikut adalah contoh perhitungan manual menggunakan metode fellenius untuk rekomendasi *design* lereng *pit* 303 penampang B-B' sebagai berikut:

1. Perhitungan Berat Segmen Tanah (W)

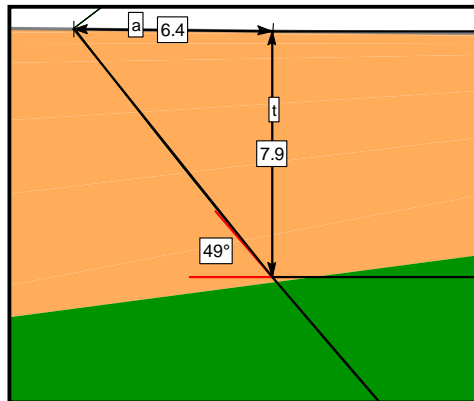
Perhitungan segmen 1.

Untuk perhitungan luas segmen menggunakan perhitungan luas bangun ruang, segmen 1 merupakan bangun ruang segitiga (Gambar 9.1) sehingga perhitungan menjadi :

$$\text{Luas segitiga} = \frac{1}{2} a \cdot t \quad (2)$$

dimana a = alas dan t = tinggi

$$L = \frac{1}{2} 6,4 \times 7,9 = 25,28 \text{ m}^2$$



Gambar 5.9. Rekomendasi *design pit* penampang B-B' (segmen 1)

Untuk mengetahui berat segmen maka hasil perhitungan luas segmen dikalikan dengan bobot isi material. Material dari segmen 1 merupakan tanah (*soil*) sehingga bobot isi tanah yaitu 18 kN/m^3 Maka berat segmen untuk segmen 1 yaitu:

$$\begin{aligned} W &= \text{Luas} \times \text{bobot isi ()} \\ &= 25,28 \text{ m}^2 \times 18 \text{ kN/m}^3 \\ &= 455,04 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan cara perhitungan yang sama untuk segmen 2 sampai segmen 25 dapat dilihat pada lampiran E .

2. Perhitungan Panjang Total Busur Gelincir (L)

Perhitungan segmen 1.

$$\text{rad} = \text{rad } 49^\circ = 0.86$$

$$L = \frac{b}{\cos \dagger}$$

$$= \frac{6.4}{c \text{ (0.6)}}$$

$$= 9,76 \text{ m}$$

Selanjutnya dilakukan cara perhitungan yang sama untuk segmen 2 sampai segmen 25.

3. Perhitungan Nilai Faktor Keamanan (FK) Lereng

Perhitungan segmen 1.

$$\text{rad} = \text{rad } 49^\circ = 0.86$$

$$\text{Sin} = \sin (49) = 0,75$$

$$\text{Cos} = \cos(49) = 0,66$$

Untuk segmen 1 nilai sudut geser dalam() yaitu 5^0 maka $\tan = 0,09$

Untuk segmen 1 nilai kohesi (cu) yaitu $16,00 \text{ kN/m}^2$ sehingga:

$$\begin{aligned}
cu \times L &= 16,00 \text{ kN/m}^2 \times 9,76 \text{ m} \\
&= 156,08 \text{ kN/m} \\
W/bi \times \cos \alpha \times \tan(\alpha) &= 455,04 \text{ kN/m}^2 \times \cos(49) \times \tan(49) \\
&= 26,12 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

Karena pada segmen 1 ini tidak ada pengaruh tekanan air (u) maka

$$\begin{aligned}
(u \times l) \times \tan(\alpha) &= 0 \times 9,76 \times 0,09 = 0 \\
W/bi \sin \alpha &= 455,04 \text{ kN/m} \times \sin(49) \\
&= 343,42 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan cara perhitungan yang sama untuk segmen 2 sampai segmen 25. Untuk menghitung nilai faktor keamanan (FK) lereng menggunakan persamaan (3.33) :

$$\begin{aligned}
FK &= \frac{c L + (Wc - u) \tan(\alpha)}{W s \alpha} \\
FK &= \frac{3,7 + (4,4 - 7,6) \text{ k/m}}{6,2 \text{ k/m}} \\
FK &= 1,2998 = 1,30
\end{aligned}$$

Karena nilai FK > 1,20 yaitu 1,30 maka untuk rekomendasi lereng sayatan B-B' dinyatakan dalam kondisi stabil atau aman.

4. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan hasil rancangan yang dilakukan pada lokasi rencana penambangan di PT. Jembayan Muarabara, dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Dari hasil yang diperoleh maka karakteristik material di lokasi penelitian didominasi oleh batu pasir dan batu lumpur dimana kuat tekan batuan berkisar antara 0,98 Mpa sampai 10,63 Mpa sehingga kekuatan batuan di daerah penelitian tergolong sangat lemah.
2. Bentuk rancangan geometri lereng yang sesuai untuk Pit 303 yaitu kemiringan lereng keseluruhan (*overall slope*) 44° , lereng tunggal (*single slope*) 60° , lebar *bench* 6 m, tinggi *bench* 15 m, dan lebar *bench* setelah ketinggian 45 m adalah 10 m.
3. Berdasarkan analisis perhitungan lereng pada Pit 303 dengan menggunakan metode Fellinius maka diperoleh nilai FK yang aman adalah 1,30 (FK > 1,20) dengan kemiringan lereng keseluruhan (*overall slope*) 44° , lereng tunggal (*single slope*) 60° , lebar *bench* 6 m, tinggi *bench* 15 m, dan lebar *bench* setelah ketinggian 45 m adalah 10 m.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M., (1985), "Principles Of Geotechnical Engineering Jilid 1", PWS Publisher.
- Foni, Silvia (2014), Analisis Kestabilan Lereng Disposal SWD2 WEST PT. Jembayan Muarabara Desa Separi Kec. Tenggarong Seberang Kab. Kutai Kartanegara Kalimantan Timur, Skripsi, Teknik Pertambangan, Fakultas Sains Dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang.
- Hoek, Evert (2002), "Hoek-Brown Failure Criterion". Canada
- Jurusan Teknik Pertambangan UPN Veteran Yogyakarta, (1999), "Modul Analisis Kestabilan lereng BAB IV", Laboratorium Simulasi & Komputasi Jurusan Teknik Pertambangan UPN Veteran Yogyakarta, Yogyakarta.

- Mahendra, Arif, (2012), *Kajian Teknis Kestabilan Lereng Disposal Inpit L PT. Jembayan Muarabara Kec. Tenggara Seberang Kab. Kutai Kartanegara Kalimantan Timur, Skripsi*, Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.
- Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Mercu Buana, (2007), *Modul Stabilitas Lereng*, Jakarta, hal 1-2.
- Saputra,Putu, (2012), *Rancangan Geometri Lereng Highwall Tambang Batubara Blok Barat PT. Duta Tambang Rekayasa Kab. Nunukan Kalimantan Timur, Skripsi*, Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.
- Wyllie, Duncan C. & Mah, Christopher W.,(2004), *Rock Slope Engineering Civil and Mining*, 4th Edition Taylor & Francis Group, London and New York.