

# Kajian Teknis Stabilitas Lereng Timbunan pada *Waste Dump* Batupangah PT Meares Sopotan Mining Kecamatan Likupang Timur Kabupaten Minahasa Utara Provinsi Sulawesi Utara

Izqi Varkhan Djokdja\*, Maryanto, Indra Karna Wijaksana.

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

\*varkhandjokdja@gmail.com

**Abstract.** PT Meares Sopotan Mining uses waste mining material dumping techniques using the output dump method which is buried bottom up with a layer thickness that exceeds 1/3 the height of the conveyance and is not compacted using a compactor. Technical differences in hoarding that are not in accordance with the basic provisions applicable to the Minister of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia No. 1827 K / 30 / MEM / 2018, and the actual condition of the steep embankment slope so it is necessary to conduct a geotechnical study to get the optimal slope geometry but remain at safe limits (no landslides). The results of this study note that the characteristics of embankment rock material is a mixture consisting of coarse-textured material in the form of fresh basaltic-andesite, as well as fine-textured material in the form of volcanistic conglomerates and teraltered basaltic-andesite. The weight value of the embankment material is 18,13 - 21,85 kN / m<sup>3</sup> (or density 1,85 - 2,23 t / m<sup>3</sup>). Based on the test results it is known that the pile material's cohesion is 74.0 kN / m<sup>2</sup> - 91.24 kN / m<sup>2</sup> (KPa) and the deep shear angle is 24.02 ° - 35.16 °. Analysis of the stability of a single slope under saturated groundwater conditions on a slope geometry with a height of 15 meters and a slope of 25 ° produces FS values of 2.0 and PF = 0.0%. The single embankment slope has a FS value > 1.1 and PF < 5% so that the slope is said to be stable. The results of the analysis of overall slope stability in saturated groundwater conditions resulted in the northwest slope with a height = 45 m and a slope = 20 ° has a FS value of 1.215 and PF = 0.0%. North slope with height = 125 m and slope = 20 ° has FS = 0.874 and PF = 100%. East slope with height = 85 m and slope = 20 ° has FS = 0.957 and PF = 80.6%. And the southeast slope with height = 95 m and slope = 20 ° has FS = 0.914 and PF = 99.5%. North-West Slopes are said to be stable because they have FS values > 1.1 and PF < 5%, while North, East, and Southeast slopes are said to be unstable (potentially landslides) because FS values < 1.1 and PF > 5%. Stabilization of the embankment slope is by draining ground water to prevent the slope from being in saturated groundwater, carried out by making a Horizontal Drain Hole (HDH). Based on the simulation of the decrease in groundwater level from saturation, the result is that on the northern slope a 25 meter deep groundwater reduction is needed so that stability is achieved at FS = 1.144 and PF = 0.0%. East Slope required a decrease in groundwater as deep as 10 meters to obtain FS = 1.106 and PF = 1.1%. As well as the southeast slope it is necessary to reduce groundwater as deep as 15 meters to obtain FS = 1.149 and PF = 0.0%.

**Keywords: Dumps, Slope Stability, Safety Factors, Groundwater.**

**Abstrak.** Teknis penimbunan material *waste* hasil penambangan yang dilakukan oleh PT Meares Sopotan Mining menggunakan metode *outpit dump* yang ditimbun secara *bottom up* dengan tebal *layer* melebihi rasio 1/3 tinggi alat angkut dan tidak dilakukan pemadatan menggunakan alat *compactor*. Perbedaan teknis penimbunan yang tidak sesuai dengan dasar ketentuan yang berlaku pada Kepmen ESDM Republik Indonesia No. 1827 K/ 30/ MEM/ 2018, serta keadaan aktual lereng timbunan yang curam sehingga perlu dilakukan kajian geoteknik untuk mendapatkan geometri lereng timbunan yang optimal namun tetap berada pada batas aman (tidak longsor). Hasil dari kajian ini diketahui karakteristik material batuan penyusun timbunan merupakan campuran yang terdiri dari material bertekstur kasar berupa basaltik-andesit segar, serta material bertekstur halus berupa konglomerat vulkanistik dan basaltik-andesit teralterasi. Nilai bobot isi material timbunan berada pada angka 18,13 – 21,85 kN/m<sup>3</sup> (atau densitas 1,85 – 2,23 t/m<sup>3</sup>). Berdasarkan hasil uji diketahui nilai kohesi material timbunan berada pada angka 74,0 kN/m<sup>2</sup> – 91,24 kN/m<sup>2</sup> (KPa) dan sudut geser dalam sebesar 24,02° - 35,16°. Analisis stabilitas lereng tunggal dalam kondisi muka air tanah jenuh pada geometri lereng dengan tinggi 15 meter dan kemiringan 25° menghasilkan nilai FK = 2,0 dan PK = 0,0%. Lereng tunggal timbunan memiliki nilai FK >1,1 dan PK <5% sehingga lereng dikatakan stabil. Hasil analisis stabilitas lereng keseluruhan dalam kondisi muka air tanah yang jenuh menghasilkan pada lereng bagian Barat Laut dengan tinggi = 45 m dan kemiringan = 20° memiliki nilai FK = 1,215 dan PK = 0,0%. Lereng bagian Utara dengan tinggi = 125 m dan kemiringan = 20° memiliki FK = 0,874 dan PK = 100%. Lereng Timur dengan tinggi = 85 m dan kemiringan = 20° memiliki FK = 0,957 dan PK = 80,6%. Serta lereng bagian Tenggara dengan tinggi = 95 m dan kemiringan = 20° memiliki FK = 0,914 dan PK = 99,5%. Lereng Barat Laut dikatakan stabil karena memiliki nilai FK >1,1 dan PK <5%, sementara lereng Utara, Timur, dan Tenggara dikatakan tidak stabil (berpotensi longsor) karena nilai FK <1,1 dan PK >5%. Stabilisasi lereng timbunan adalah dengan penirisan air tanah guna mencegah lereng berada dalam kondisi muka air tanah yang jenuh, dilakukan dengan cara pembuatan *Horizontal Drain Hole* (HDH). Berdasarkan simulasi penurunan muka air tanah dari keadaan jenuhnya maka menghasilkan, pada lereng bagian Utara diperlukan penurunan air tanah sedalam 25 meter sehingga tercapai kestabilan pada FK = 1,144 dan PK = 0,0%. Lereng Timur diperlukan penurunan air tanah sedalam 10 meter sehingga diperoleh FK = 1,106 dan PK = 1,1%. Serta lereng Tenggara diperlukan penurunan air tanah sedalam 15 meter sehingga diperoleh FK = 1,149 dan PK = 0,0%.

**Kata Kunci: Timbunan, Stabilitas Lereng, Faktor Keamanan, Muka Air Tanah.**

## 1. Pendahuluan

Kegiatan penambangan di PT Meares Sopotan Mining (PT MSM) menggunakan metode tambang terbuka (*Surface Mining*) dengan luas wilayah usaha pertambangan sebesar 8.969 Ha. Kegiatan penambangan dilakukan dengan menggali dan memindahkan batuan penutup (*waste*) untuk kemudian diambil bahan galian bijihnya (*ore*). Adanya lokasi *waste dump* dengan luasan tertentu di luar bukaan tambang diperlukan sebagai tempat penimbunan material *waste* tersebut. Hal ini dimaksudkan agar kegiatan penambangan tidak terganggu, dengan semakin banyak *ore*

yang akan ditambang maka akan selaras dengan besar volume *waste* yang harus dikupas.

Teknis penimbunan material *waste* hasil penambangan yang dilakukan oleh PT Meares Sopotan Mining menggunakan metode *outpit dump* yang ditimbun secara *bottom up* dengan tebal *layer* melebihi rasio 1/3 tinggi alat angkut dan tidak dilakukan pemadatan menggunakan alat *compactor*. Hal tersebut bertolak belakang jika dikaitkan dengan dasar ketentuan yang berlaku pada Kepmen ESDM Republik Indonesia No. 1827 K/ 30/ MEM/ 2018. Perbedaan teknis penimbunan serta keadaan aktual lereng timbunan yang curam, sehingga perlu dilakukan kajian geoteknik untuk mendapatkan geometri lereng timbunan yang optimal namun tetap berada pada batas aman (tidak longsor).

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik material timbunan termasuk besar nilai parameter mekanik batuan?
2. Bagaimana tingkat kestabilan dari lereng tunggal timbunan?
3. Bagaimana tingkat kestabilan dari lereng keseluruhan timbunan?
4. Apa upaya stabilisasi terhadap lereng keseluruhan timbunan yang berpotensi longsor? Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan dalam pokok-pokok sbb.
  1. Mengetahui karakteristik dari material timbunan *waste dump*.
  2. Analisis stabilitas lereng tunggal dari timbunan.
  3. Analisis stabilitas lereng keseluruhan timbunan.
  4. Merekomendasikan upaya stabilisasi lereng keseluruhan timbunan.

## 2. Landasan Teori

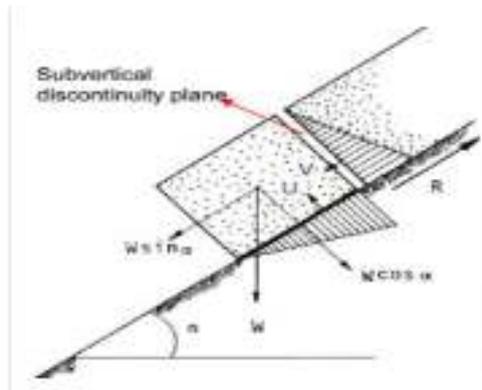
Lereng merupakan suatu permukaan tanah atau batuan yang menghubungkan antara permukaan yang lebih tinggi dengan permukaan yang lebih rendah dengan kemiringan dan sudut tertentu. Dalam poses keterbentukannya lereng dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Lereng alami, yaitu lereng yang terbentuk akibat aktivitas alam seperti erosi, gerakan tektonik, dan sebagainya.
2. Lereng yang dibuat manusia, akibat penggalian yang biasanya digunakan untuk keperluan konstruksi sipil seperti jalan, tanggul, irigasi, ataupun kegiatan penambangan bahan galian (industri pertambangan) terutama sistem tambang terbuka (*surface mining*).

Masalah kestabilan lereng akan ditemukan pada penggalian tambang terbuka (*open pit* dan *open cut*), tempat penimbunan material buangan (*tailing disposal*), penimbunan bijih (*stockyard*), bendungan, infrastruktur lainnya seperti jalan, fondasi jembatan, dan lereng di sekitar fasilitas seperti perumahan (Suyartono, 2003). Lereng merupakan sarana yang digunakan dalam proses penambangan terutama pada kegiatan produksi (kegiatan galian-muat serta jalur pengangkutan), maka jika lereng ini tidak stabil, akan mengganggu proses produksi dan penambangan bahkan dapat menyebabkan bencana yang serius apabila berdampak pada keselamatan pekerja dan peralatan. Oleh karena itu kajian/analisis kestabilan lereng merupakan aspek penting yang harus dilaksanakan sejak dari perancangan, tahap penambangan, sampai pasca tambang.

Berdasarkan jenis material penyusunnya, terdapat dua macam lereng, yaitu lereng tanah dan lereng batuan, walaupun kenyataan yang dijumpai pada lereng tambang selalu merupakan gabungan dari material tanah dan batuan. Dalam analisis dan penentuan jenis tindakan pengamanannya, lereng tanah tidak dapat disamakan dengan lereng batuan karena parameter material dan jenis penyebab longsor pada kedua material pembentuk lereng tersebut sangat jauh berbeda (Romana, 1993).

Prinsip dasar analisis kestabilan lereng secara sederhana meliputi peran dua hal, yaitu gaya-gaya penahan (kekuatan yang dimiliki lereng agar tidak longsor) dan gaya-gaya pendorong (gaya yang menyebabkan terjadinya longsor). Jika gaya penahan lebih besar dari gaya pendorong maka lereng akan stabil, begitu pula sebaliknya jika gaya pendorong lebih besar dari gaya penahan maka akan terjadi longsor. Dalam menentukan tingkat kestabilan lereng tersebut dikenal istilah faktor keamanan (*Safety Factor*).



**Gambar 1.** Ilustrasi Kelongsoran dengan Gaya Mekanik

Berdasarkan **Gambar 1.** secara sederhana faktor keamanan (FK) dipengaruhi oleh gaya berat dari material yang kemudian menghasilkan gaya penahanan dan gaya pendorong. Sehingga dapat dirumuskan bahwa faktor keamanan adalah perbandingan antara gaya penahan ( $W \cos \alpha$ ) dan gaya pendorong ( $W \sin \alpha$ ) atau dapat di rumuskan sebagai berikut:

$$\text{Faktor Keamanan (FK)} = \frac{\text{Gaya Penahan (Resisting Force)}}{\text{Gaya Pendorong (Driving Force)}}$$

Apabila nilai faktor keamanan suatu lereng  $> 1$  maka lereng dapat dinyatakan aman karena gaya penahan lebih besar dari gaya pendorong, sedangkan apabila faktor keamanan lereng  $< 1$  maka lereng dinyatakan tidak stabil dan kemungkinan akan terjadi longsor, karena gaya pendorong lebih besar dari gaya penahan.

Mengacu kepada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik, ditetapkan kriteria ambang Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK) untuk lereng tambang terbuka yang didasarkan pada 4 faktor, yaitu: keparahan longsor, FK statis minimum, FK dinamis minimum, dan PK maksimum, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1. (Kementerian ESDM, 2018).

**Tabel 1.** Klasifikasi Faktor Keamanan ESDM

| Jenis Lereng                              | Keparahan Longsor | FK Statis (min) | FK Dinamis (min) | PK (maks) PoF ( $\leq 1$ ) |
|---|-------------------|-----------------|------------------|----------------------------|
| Tunggal ( <i>Bench</i> )                  | Rendah-Tinggi     | 1,1             | Tidak ada        | 25-50%                     |
| Antar Jalan Tambang ( <i>Inter-ramp</i> ) | Rendah            | 1,15-1,2        | 1,0              | 25%                        |
|   | Menengah          | 1,2-1,3         | 1,0              | 20%                        |
|   | Tinggi            | 1,2-1,3         | 1,1              | 10%                        |
| Keseluruhan ( <i>Overall</i> )            | Rendah            | 1,2-1,3         | 1,0              | 15-20%                     |
|   | Menengah          | 1,3             | 1,05             | 5-10%                      |
|   | Tinggi            | 1,3-1,5         | 1,1              | 5%                         |

### 3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

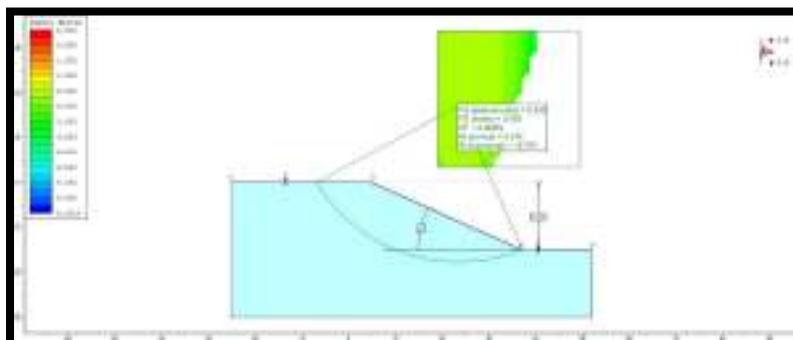
#### Karakteristik Material Timbunan

Material batuan sisa didominasi batuan lapuk, konglomerat vulkanistik, basaltik-andesit teralterasi, dan basaltik-andesit segar. Hasil *sampling* menunjukkan terdapat beberapa komposisi material lempung (*clay*), material ini muncul sebagai akibat dari proses alterasi yang terjadi pada batuan basaltik-andesit. Nilai bobot isi material timbunan berada pada nilai 18,13 – 21,85  $\text{kN/m}^3$  untuk kondisi natural di lapangan. Sementara berdasarkan hasil uji diketahui nilai kohesi material timbunan berada pada 74,0  $\text{kN/m}^2$  – 91,24  $\text{kN/m}^2$  dan sudut geser dalam sebesar 24,02° - 35,16°. Analisa besar kecil nilai bobot isi material timbunan dipengaruhi oleh distribusi ukuran butir yang dominan dari sampel, dimana jika distribusi ukuran butir cenderung berukuran

*boulder* maka akan semakin besar juga nilai bobot isinya. Hal ini dipengaruhi oleh kekompakan ukuran butir material tersebut, dimana jika semakin besar ukuran butir maka berat yang terakumulasi juga akan semakin besar.

#### **Analisa Stabilitas Lereng Tunggal**

Analisis stabilitas lereng tunggal dilakukan secara dua dimensi dengan dibantu *software Slide V.6.0* untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan (FK) lereng tunggal. Geometri lereng tunggal aktual memiliki tinggi 15 meter dan sudut lereng  $25^\circ$ .



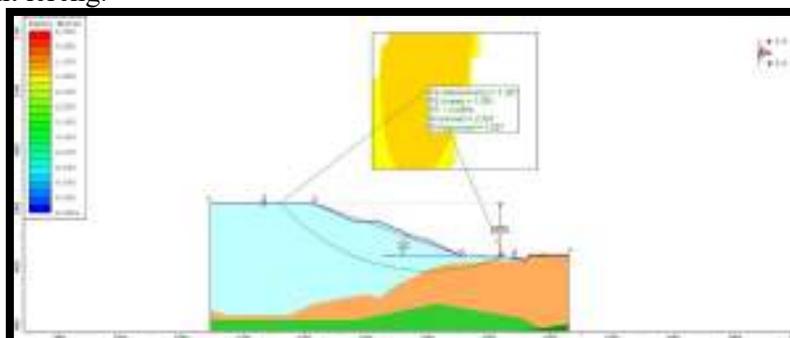
**Gambar 2.** Analisis Model Lereng Tunggal

Geometri lereng tunggal aktual yang digunakan sebagai acuan untuk konstruksi lereng keseluruhan pada simulasinya menunjukkan pada kondisi muka air tanah jenuh dan dalam keadaan seismik memiliki nilai keamanan yang stabil (FK = 2,0 dan PK = 0,0%), serta pada kondisi statis memiliki nilai FK = 2,822 dan PK = 0,0%.

Geometri lereng tunggal menjadi dasar acuan untuk konstruksi lereng secara keseluruhan. Sehingga dalam hal ini geometri lereng tunggal akan menentukan stabil tidaknya suatu lereng keseluruhan. Jika geometri lereng tunggal ini dianalisis untuk lereng keseluruhannya, maka hanya pada segment lereng bagian Barat Laut yang dapat dikatakan stabil, dan pada segment lereng lainnya berpotensi kelongsoran pada kondisi jenuh menurut nilai FK lerengnya. Geometri lereng tunggal yang stabil belum tentu memberikan kestabilan yang sama pada konstruksi lereng keseluruhannya, hal ini dipengaruhi juga oleh tinggi konstruksi lereng keseluruhan. Penentuan geometri lereng tunggal mempertimbangkan beberapa faktor seperti teknis pengerjaan yang dipengaruhi jangkauan alat, kestabilan konstruksi lereng keseluruhannya, serta estetika akhir lereng timbunan.

#### **Analisa Stabilitas Lereng Keseluruhan**

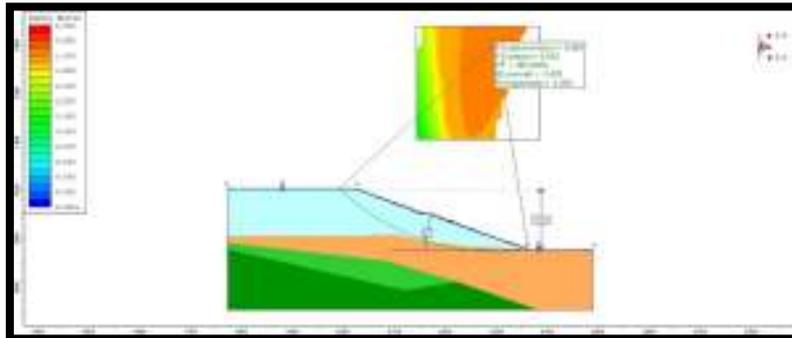
Analisis stabilitas lereng timbunan dilakukan secara dua dimensi dengan dibantu *software Slide V6.0* untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan (FK) lereng keseluruhan (*overall bench*) pada empat segment lereng.



**Gambar 3.** Analisis Model Lereng Keseluruhan pada Segment Lereng Barat

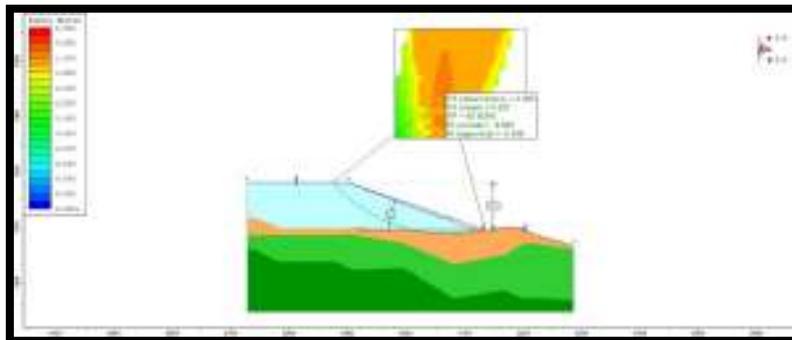
Lereng timbunan bagian Barat Laut dengan tinggi keseluruhan = 45 m dan sudut lereng =  $20^\circ$  dalam keadaan muka air tanah jenuh menghasilkan nilai FK = 1,255 dengan PK = 0,0%. Hal tersebut menunjukkan lereng tersebut dalam kondisi terburuknya masih dapat dikatakan

stabil.



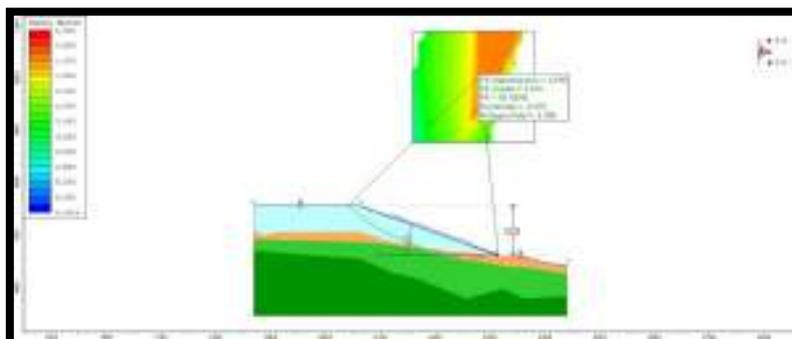
**Gambar 4.** Analisis Model Lereng Keseluruhan pada Segment Lereng Utara

Lereng timbunan bagian Utara dengan tinggi keseluruhan = 125 m dan sudut lereng =  $20^\circ$  dalam keadaan muka air tanah jenuh menghasilkan nilai FK = 0,874 dengan PK = 100,0%. Hal tersebut menunjukkan dengan nilai FK lereng yang berada dibawah standar acuan keamanan maka lereng tersebut dalam kondisi terburuknya dapat berpotensi terjadi longsoran.



**Gambar 5.** Analisis Model Lereng Keseluruhan pada Segment Lereng Timur

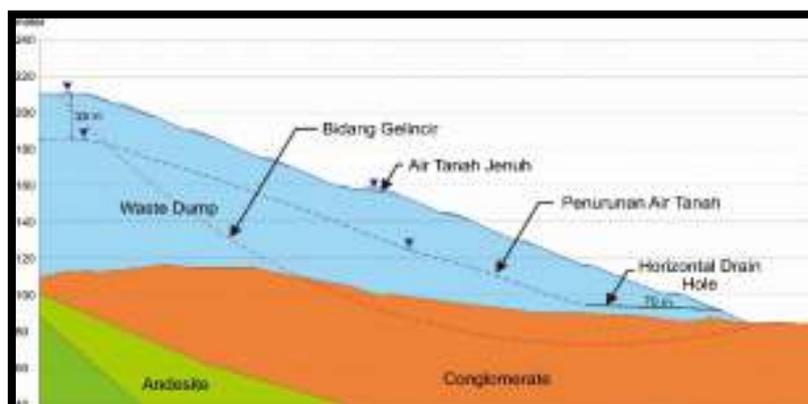
Lereng timbunan bagian Timur dengan tinggi keseluruhan = 85 m dan sudut lereng =  $20^\circ$  dalam keadaan muka air tanah jenuh menghasilkan nilai FK = 0,957 dengan PK = 80,6%. Hal tersebut menunjukkan dengan nilai FK lereng yang berada dibawah standar acuan keamanan maka lereng tersebut dalam kondisi terburuknya dapat berpotensi terjadi longsoran.



**Gambar 6.** Analisis Model Lereng Keseluruhan pada Segment Lereng Tenggara

Lereng timbunan bagian Tenggara dengan tinggi keseluruhan = 95 m dan sudut lereng =  $20^\circ$  dalam keadaan muka air tanah jenuh menghasilkan nilai FK = 0,914 dengan PK = 99,5%. Hal tersebut menunjukkan dengan nilai FK lereng yang berada dibawah standar acuan keamanan maka lereng tersebut dalam kondisi terburuknya dapat berpotensi terjadi longsoran.

Penurunan muka air tanah adalah bentuk upaya stabilisasi terhadap segment lereng timbunan yang berpotensi mengalami longsor dalam keadaan muka air tanah jenuh, upaya tersebut dapat dilakukan dengan pemasangan *Horizontal Drain Hole* (HDH). Analisis kestabilan lerengnya berdasarkan simulasi kondisi muka air tanah dengan penurunan per 5 meter dari kondisi jenuh hingga lereng mencapai angka kestabilannya menurut nilai FK lereng.



**Gambar 7.** Penurunan MAT Setelah Pemasangan HDH pada Lereng Timbunan

Rekapitulasi analisis stabilitas lereng setelah penurunan muka air tanah beserta nilai keamanan dan kemungkinan keruntuhannya (PK) secara keseluruhan ditampilkan dalam Tabel 2.

**Tabel 2.** Rekapitulasi Nilai FK Lereng Keseluruhan Setelah Penurunan Muka Air Tanah

| Segment Lereng | Kondisi Aktual       |        | Simulasi Penurunan Muka Air Tanah |        |       |        |       |        |       |        |
|----------------|----------------------|--------|-----------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|                | Muka Air Tanah Jenuh |        | -10 m                             |        | -15 m |        | -20 m |        | -25 m |        |
|                | FK                   | PK (%) | FK                                | PK (%) | FK    | PK (%) | FK    | PK (%) | FK    | PK (%) |
| Utara          | 0,874                | 100,0  | 1,006                             | 44,9   | 1,052 | 10,2   | 1,095 | 0,7    | 1,144 | 0,0    |
| Timur          | 0,957                | 80,6   | 1,106                             | 1,1    | -     | -      | -     | -      | -     | -      |
| Tenggara       | 0,914                | 99,5   | 1,072                             | 2,4    | 1,149 | 0,0    | -     | -      | -     | -      |

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan kajian keamanan lereng yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan terhadap beberapa hal seperti:

1. Karakteristik material batuan penyusun timbunan merupakan campuran yang terdiri dari material bertekstur kasar berupa basaltik-andesit segar, serta material bertekstur halus berupa konglomerat vulkanistik dan basaltik-andesit teralterasi. Nilai bobot isi material timbunan berada pada angka 18,13 – 21,85 kN/m<sup>3</sup> (atau densitas 1,85 – 2,23 t/m<sup>3</sup>). Berdasarkan hasil uji diketahui nilai kohesi material timbunan berada pada angka 74,0 kN/m<sup>2</sup> – 91,24 kN/m<sup>2</sup> (KPa) dan sudut geser dalam sebesar 24,02° - 35,16°.
2. Analisis stabilitas lereng tunggal dalam kondisi muka air tanah jenuh pada geometri lereng dengan tinggi 15 meter dan kemiringan 25° menghasilkan nilai FK = 2,0 dan PK = 0,0%. Lereng tunggal timbunan memiliki nilai FK >1,1 dan PK <5% sehingga lereng dikatakan stabil.
3. Hasil analisis stabilitas lereng keseluruhan dalam kondisi muka air tanah yang jenuh menghasilkan pada lereng bagian Barat Laut dengan tinggi = 45 m dan kemiringan = 20° memiliki nilai FK = 1,215 dan PK = 0,0%. Lereng bagian Utara dengan tinggi = 125 m dan kemiringan = 20° memiliki FK = 0,874 dan PK = 100%. Lereng Timur dengan tinggi = 85 m dan kemiringan = 20° memiliki FK = 0,957 dan PK = 80,6%. Serta lereng bagian Tenggara dengan tinggi = 95 m dan kemiringan = 20° memiliki FK = 0,914 dan PK =

99,5%. Lereng Barat Laut dikatakan stabil karena memiliki nilai  $FK > 1,1$  dan  $PK < 5\%$ , sementara lereng Utara, Timur, dan Tenggara dikatakan tidak stabil (berpotensi longsor) karena nilai  $FK < 1,1$  dan  $PK > 5\%$ .

4. Stabilisasi lereng timbunan adalah dengan penirisan air tanah guna mencegah lereng berada dalam kondisi muka air tanah yang jenuh, dilakukan dengan cara pembuatan *horizontal drain hole* (HDH). Berdasarkan simulasi penurunan muka air tanah dari keadaan jenuhnya maka menghasilkan, pada lereng bagian Utara diperlukan penurunan air tanah sedalam 25 meter sehingga tercapai kestabilan pada  $FK = 1,144$  dan  $PK = 0,0\%$ . Lereng Timur diperlukan penurunan air tanah sedalam 10 meter sehingga diperoleh  $FK = 1,106$  dan  $PK = 1,1\%$ . Serta lereng Tenggara diperlukan penurunan air tanah sedalam 15 meter sehingga diperoleh  $FK = 1,149$  dan  $PK = 0,0\%$ .

## 5. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, maka penulis mencoba memberi saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pemantauan muka air tanah dengan piezometer, sehingga lereng dapat dikontrol agar tidak berada pada kondisi jenuh.
2. Sesuai dengan hasil penelitian, maka pemasangan *Horizontal Drain Hole* perlu dilakukan agar lereng timbunan tidak dalam kondisi jenuh.
3. Perlu dilakukan pemantauan terhadap pergerakan permukaan lereng timbunan, untuk mengetahui ketidakstabilan lereng secara dini.
4. Perlu dilakukan pemadatan terhadap timbunan dengan *Compactor* untuk meningkatkan kepadatan lapisan timbunan.

## Daftar Pustaka

- [1] Anonim, Slide ver. 6 Software, Rockscience.
- [2] Andriyan, Syahril Huda, Hirnawan, Febri, Yuliadi, 2018, “*Stabilisasi Optimal Lereng Timbunan Overburden pada Area Disposal PT Insani Baraperkasa Tambang Loa Janan, Provinsi Kalimantan Timur dengan Rekayasa Geoteknik*”, Prosiding Spesia Teknik Pertambangan (Agustus 2018), ISSN : 2460-6499 ; P 391-397, Universitas Islam Bandung, Bandung.
- [3] Arif, I., 2016, “*Geoteknik Tambang*”, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [4] Bertuzzi, Robert., Durran, Alex., 2006, “*Waste Dumps*”, Pells Sullivan Meynink, Australia.
- [5] Coduto, Donald P., 2001, “*Foundation Design : Principles and Practices (2<sup>nd</sup> edition)*”, Prentice-Hall, Inc., California.
- [6] Das, Braja M., 2009, “*Principles of Geotechnical Engineering (5<sup>th</sup> Edition)*”, Cengage Learning, Washington.
- [7] Day, Robert W., 2001, “*Geotechnical Earthquake Engineering Handbook*”, McGraw-Hill Professional, California.
- [8] Dongalemba, Hosea V., 2018, “*Evaluasi Sudut Lereng berdasarkan Pendekatan Empiris dengan Klasifikasi Massa Batuan di PT Meares Sopotan Mining, Sulawesi Utara*”, Universitas Trisakti, Jakarta.
- [9] Effendi, Sidarto & Bawono, 1997, “*Peta Geologi Lembar Manado, Sulawesi Utara, Skala 1:250.000*”, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- [10] Freund, D. G., Rahardjo, H., 1993, “*Soil Mechanics for Unsaturated Soils*”, Wiley-Interscience, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- [11] Geotechnical Department, 2019, “*Geotechnical Study of Waste Dump*”, PT Meares Sopotan Mining, Manado.
- [12] Hoek, E., Bray, J. W., 1981, “*Rock Slope Engineering*”, Institution of Mining and Metallurgy, London.
- [13] Hustrulid, Williams., McCarter, M.K. & Van Jyl, D. J. A., 2001, “*Slope Stability in Surface Mining*”, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, inc., Colorado.
- [14] Irsyam, M., 2017, “*Peta Zonasi Gempa Indonesia*”, Kementrian Pekerjaan Umum, Jakarta.

- [15] Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 1827 K/ 30/ MEM/ 2018, tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik.
- [16] Mitchell, James K., 2005, “*Fundamentals of Soil Behavior (3<sup>rd</sup> edition)*”, Wiley, Cambridge.
- [17] Rai, M. A., Kramadibrata, S. & Kresna, R., 2014, “*Mekanika Batuan, 1st ed.*,” Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [18] Romana, 1993, “*A Geomechanical Classification for Slopes: Slopes Mass Rating*”, Universidad Politecnica de Valencia, Valencia.
- [19] SNI 03-6872-2002, 2002, “*Uji Kepadatan Tanah dan Batuan di Lapangan*”, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [20] Suyartono, 2003, “*Kebijakan Pemerintah tentang Kestabilan Lereng Penambangan di Indonesia*”, Direktur Jenderal Geologi dan Sumber Daya Mineral.
- [21] Wijaksana, Indra K., 2017, “*Analisis Hubungan Konstitutif pada Batuan Anisotrop*”, Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara vol. 13, no. 02, halaman 91 – 98, ISSN 1979-6560, Universitas Islam Bandung, Bandung.
- [22] Wood, David Muir., 1991, “*Soil Behavior and Critical State Soil Mechanics*”, Cambridge University Press, Cambridge.