

## PENGARUH MUKA AIR TANAH TERHADAP KESTABILAN LERENG TAMBANG X

Marcella Vickyla<sup>1\*</sup>, Irvan Sophian<sup>1</sup>, Dicky Muslim<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

Marcellavickyla30@gmail.com

### ABSTRAK

Daerah penelitian berada di Provinsi Sumatera Selatan, termasuk ke dalam Formasi Muaraenim dengan cadangan batubara yang ekonomis. Daerah ini dikembangkan untuk penambangan batubara terbuka di masa akan datang. Penelitian geoteknik tentang kestabilan lereng penting dilakukan. Muka air tanah pada lereng dapat mengakibatkan lereng longsor. Lereng dengan tekanan air tinggi akan mengurangi kekuatan geser dan faktor keamanan lereng. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengeboran geoteknik, pengambilan sampel tanah dan batuan, pengujian laboratorium untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik dari tanah/batuan, pengolahan data lapangan, analisa dan pelaporan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh tinggi muka air tanah terhadap kestabilan lereng dan mengetahui kondisi geologi dan geoteknik daerah penelitian. Berdasarkan hasil penelitian, litologi di daerah penelitian didominasi oleh batulempung. Kekerasan batuan mulai dari sangat lemah sampai sedang, dan memiliki nilai GSI 64 sampai dengan 68. Daerah penelitian merupakan daerah dengan topografi bergelombang. Lereng *highwall* dinyatakan aman apabila memiliki tingkat kejenuhan rata-rata 50% atau kondisi muka air tanah berada pada posisi setengah dari tinggi lereng dengan kemiringan lereng yang relatif landai atau kurang dari 30°.

Kata Kunci : Kestabilan Lereng, Geoteknik, Muka Air Tanah

### ABSTRACT

*The area was developed for open coal mining in the future. Geotechnical research on slope stability is important. Groundwater on the slopes can lead to slope landslides. Slopes with high water pressure will reduce the shear strength and slope safety factor. Stages performed in this research are geotechnical drilling, soil and rock sampling, laboratory testing to determine physical and mechanical characteristics of soil/rock, field data processing, analysis, and reporting. The purpose of this study to determine the effect of water table height on the stability of the slope and to know the geological and geotechnical conditions of the study area. Based on the results of research, lithology in the research area is dominated by claystone. the hardness of rocks ranging from very weak to medium, and has a GSI value of 64 to 68. The study area is an area with wavy topography. The study area is divided into 2 parts. The research area is undulating topography. The slopes of the highwall are declared safe if they have an average saturation level of 50% or groundwater conditions are at half the height of the slope with a relatively sloping slope or less than 30°.*

**Keywords:** *Slope Stability , Geotechnics , Groundwater Level*

### 1. PENDAHULUAN

Dalam operasi penambangan, masalah kestabilan lereng akan ditemukan pada tambang terbuka (*open pit, open cut*). Jika lereng yang terbentuk sebagai akibat dari proses penambangan (*pit slope*) dan

yang merupakan sarana penunjang operasi penambangan itu tidak stabil, kegiatan produksi akan terganggu dan mengakibatkan ketidaksinambungan produksi. Faktor kestabilan lereng menjadi faktor yang harus diperhatikan dengan

serius karena desain lereng berkaitan dengan kegiatan produksi. Oleh karena itu, analisis kemantapan lereng, baik pada tahap perencanaan maupun tahap penambangan dan pasca tambang, merupakan suatu bagian yang terpenting dan harus dilakukan.

Indonesia merupakan negara yang memiliki curah hujan yang cukup tinggi. Namun memiliki persebaran curah hujan yang berbeda-beda tiap wilayahnya. Terdapat daerah dengan skala frekuensi hujan yang tinggi sekali, ada pula daerah yang sedikit sekali mendapat hujan.

Kondisi air tanah merupakan salah satu parameter yang penting dalam kestabilan lereng. Karena sering terjadi longoran yang diakibatkan oleh naiknya muka air tanah yang menyebabkan tegangan pori berlebih.

Maksud penelitian ini untuk mengetahui kondisi geoteknik daerah penelitian dan pengaruh tinggi muka air tanah terhadap faktor kestabilan lereng pada tambang.

Secara Administratif penelitian berada di Provinsi Sumatera Selatan (lihat Gambar 1.)



**Gambar 1** Peta Lokasi Penelitian

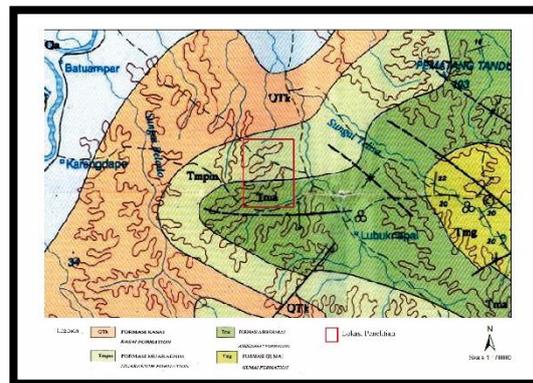
## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Geologi Regional

Daerah penelitian termasuk dalam peta geologi lembar Sarolangun (Suwarna, dkk, 1992).

Stratigrafi daerah penelitian disusun oleh Formasi Airbenakat berumur Miosen Tengah-Akhir, Formasi Muaraenim Miosen Akhir-Pliosen Akhir, Formasi Kasai Pliosen Akhir-Pleistosen Awal.

Struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian berupa antiklorium Palembang yang berarah barat laut-tenggara. Berikut adalah formasi-formasi yang terdapat di daerah penelitian dari umur tua ke muda.



**Gambar 2** Peta Geologi Regional Sarolangun

(Suwarna, dkk.,1992)

### Formasi Muaraenim (Tmpm)

Formasi Muaraenim diendapkan secara selaras di atas Formasi Airbenakat dengan lingkungan laut dangkal, delta, dan non-marin. Penciri dari formasi ini adalah adanya lapisan menerus dari batubara di bagian atas dan bawah formasi dengan sisipan-sisipan batubara di dalam formasi ini. Formasi Muaraenim terdiri dari batupasir, perselingan batupasir tufan dan batulempung, sisipan batubara ; di bagian atas mengandung material gunungapi. Bagian atas dan bawah dari formasi ini didefinisikan oleh keterjadian lapisan batubara secara lateral di bagian atas dan bawah. Ketebalan lapisan di sekitar area Muara Enim sekitar 500-700 meter, dimana sekitar 15% merupakan batubara. Lapisan batubara yang semakin menipis dan kemudian menghilang, menunjukkan bahwa tingkat penurunan berperan penting dalam pengendapan dan pemampatan batubara.

### Formasi Airbenakat (Tma)

Formasi Airbenakat, diendapkan secara selaras di atas Formasi Gumai

dan merupakan awal terjadinya fase regresi dengan variasi ketebalan antara 100-1300 meter dan diendapkan pada Miosen Tengah-Miosen Akhir dengan lingkungan pengendapan merupakan laut dangkal. Formasi ini merupakan satuan batuan yang tertua di daerah penelitian. Formasi Air Benakat (Spruyt, 1956) adalah nama lain dari Formasi Palembang Bawah. Penyebaran satuan ini tidak luas, terdapat di sungai Kiahaan, Sungai Liling dan sungai Lengi singkapan yang jelas sukar ditemukan.

Batuannya mengalami pelapukan yang sangat kuat, sehingga dilapangan mengalami kesulitan dalam membedakan dengan Formasi lainnya untuk membedakan dengan Formasi lain ialah adanya sisipan batuan yang bersifat gampingan dalam Formasi Air Benakat (contoh batupasir gampingan yang terdapat di Sungai Kiahan dan sungai Selingsing). Formasi Air Benakat terdiri dari serpih, batulanau, napal, batupasir yang sebahagian bersifat gampingan, serpih berwarna kelabu terang-kehijauan, berlapis baik kadang kadang bersifat gampingan. Batulanau dan batulempung merupakan perselingan berwarna kelabu terang-kekuningan, coklat, kuning, karbonatan, glaukonitan, gampingan. Batupasir merupakan sisipan berbutir halus, berwarna kelabu kehijauan, pemilahan baik, kesarangan jelek sampai sedang. Komponen terdiri dari kuarsa, felspar, glaukonit dan mika. Fasies pengendapan dari Formasi ini ialah litoral.

#### **Tanah dan Batuan**

Tanah merupakan massa partikel diskrit atau butiran yang terbentuk secara natural, tidak saling mengikat, tersusun dari batuan *insitu* atau yang sudah tertransportasi, dengan atau tanpa campuran unsur organik, yang hanya mengalami sedikit litifikasi.

Menurut Shower & Shower (1967, dalam Zakaria, 2010) Batuan Batuan merupakan

material kerak bumi yang terdiri atas mineral penyusun bertekstur, berstruktur, memiliki sifat padu,  $q_u$  (*unconfined compressive strength*)  $> 200$  psi, bila terdiri dari satu butir ukuran butirnya  $\geq 256$  mm (*boulder*) dengan berat  $> 40$ kg.

#### **Klasifikasi Tanah dan Batuan**

Klasifikasi tanah merupakan cara dalam menentukan jenis tanah untuk mengetahui karakteristik sifat fisik tanah dalam menentukan klasifikasi tanah, salah satu caranya ialah USCS. USCS (*Unified Soil Classification System*) ini diusulkan oleh A. Cassagrande pada tahun 1942, dengan berdasarkan ukuran butir yang dibagi dalam tiga kelompok yaitu tanah organik, tanah berbutir halus, dan tanah berbutir kasar. Tanah berbutir halus adalah yang lolos saringan 200 *mesh* sebanyak lebih dari 50% sedangkan tanah berbutir kasar jika lebih dari 50% materialnya mempunyai ukuran  $> 200$  *mesh*.

Dalam keteknikan batuan dibedakan menjadi 3, yaitu *intact rock*, batuan terdekomposisi, *non-intact rock*.

Batuan *intact* atau batuan utuh adalah blok batuan yang masih utuh dan belum mengalami kerusakan. Sebagian besar diklasifikasikan berdasarkan kekerasan batuan, pelapukan, dan tidak adanya bidang diskontinuitas.

Batuan terdekomposisi merupakan batuan yang terbentuk karena adanya pelapukan sehingga batuan lebih permeabel dan lemah. Hal ini menyebabkan batuan tersebut mengalami perubahan komposisi mineral dari batuan asalnya.

Batuan *non-intact* batuan ini terbentuk ketika batuan terbagi menjadi beberapa blok atau tidak adanya keselarasan karena adanya struktur geologi, seperti patahan, sesar, dan kekar. Hal ini menunjukkan batuan tersebut memiliki bidang lemah, dan pada umumnya batuan terpisahkan oleh adanya kekar.

#### **Longsor**

Menurut Hoek & Bray (2005), longsor yang terjadi di tambang terbuka dapat dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu:

### **Longsor Bidang**

Longsor ini akan terjadi jika *strike* bidang luncur mendekati atau searah terhadap jurus bidang permukaan lereng.

### **Longsor Baji**

Longsor baji terjadi apabila terdapat dua bidang lemah atau lebih berpotongan sedemikian rupa sehingga membentuk baji terhadap lereng.

### **Longsor Guling**

Longsor ini terjadi pada lereng yang terjal dan pada batuan yang keras dengan struktur bidang lemahnya yang berbentuk kolom. Longsor ini terjadi apabila bidang-bidang lemah yang hadir dilereng mempunyai kemiringan yang berlawanan dengan kemiringan lereng.

### **Longsor Busur**

Longsor busur mempunyai bentuk dasar longsor yang berupa busur dan umumnya terjadi pada lereng yang material pembentuknya adalah tanah, batuan yang sangat terkekarkan (*heavily jointed rock mass*), atau batuan terkekarkan yang lapuk. Pada lereng tambang longsor jenis ini sering terjadi pada lereng bagian atas dimana batuan sudah berubah menjadi tanah.

### **Kestabilan Lereng**

Setiap lereng baik lereng yang terbentuk secara alami maupun lereng hasil rekayasa keteknikan (buatan) manusia, memiliki nilai kestabilannya masing-masing. Nilai kestabilan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, dimana faktor tersebut terdiri dari adanya gaya penggerak dan gaya penahan, sebagai dua komponen yang pasti terdapat pada lereng alami maupun lereng buatan.

Lereng akan dalam keadaan stabil apabila gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak. Sebaliknya, jika gaya penahan lebih kecil daripada gaya penggerak, maka lereng tersebut menjadi tidak stabil dan mengakibatkan longsor.

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

### **Faktor - Faktor Yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng**

Terdapat berbagai faktor atau variabel yang akan mempengaruhi kestabilan lereng,

dalam hal ini diidentikkan dengan ketidakstabilan lereng. Ketidakstabilan pada lereng akan menyebabkan terjadinya longsor pada tubuh lereng, yang memiliki kecenderungan untuk membentuk kondisi kestabilan baru. Kestabilan lereng akan berubah tiap waktunya. Hal ini disebabkan oleh adanya usim hujan dan musim kemarau sehingga dapat merubah permukaan air tanah atau terjadi penurunan kekuatan geser material yang diakibatkan oleh proses pelapukan.

Kestabilan lereng pada umumnya dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya:

1. Jenis Material
2. Sifat Fisik dan Material
3. Muka Air Tanah
4. Geometri Lereng
5. Iklim
6. Gempa dan Getaran

### **Faktor - Faktor Yang Memperbesar Gaya Penggerak**

Gaya penggerak umumnya dipengaruhi oleh gravitasi, sehingga berat daripada beban atau bagian lereng yang bersangkutan merupakan salah satu gaya penggerak terjadinya longsor.

#### **Bobot Isi**

Batuan dengan bobot isi yang besar akan memberikan beban/gaya yang lebih besar pada lereng.

#### **Penambahan Kandungan Air Tanah**

Kandungan air tanah pada lereng akan memperbesar gaya penggerak karena akan menambah berat satuan material penyusun lereng sehingga memberikan beban pada lereng.

#### **Sudut Kemiringan Lereng**

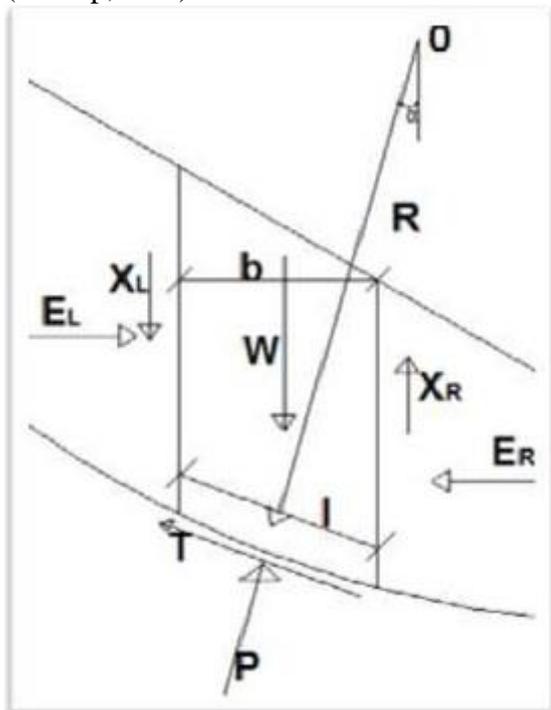
Sudut lereng yang curam akan memberikan volume material/batuan besar, yang merupakan beban lereng yang lebih besar.

#### **Vibrasi Atau Getaran**

Getaran atau gelombang dapat menghasilkan energi besar, contohnya peledakan (*blasting*), yang apabila mempunyai arah yang sama dengan permukaan suatu lereng dapat menambah beban dan mengakibatkan terjadinya longsor.

### Metode Bishop

Metode Bishop dipakai untuk menganalisis permukaan gelincir (*slip surface*) yang berbentuk lingkaran. Dalam metode ini diasumsikan bahwa gaya-gaya normal total berada/bekerja dipusat alas potongan dan bisa ditentukan dengan menguraikan gaya-gaya pada potongan secara vertikal atau normal. Persyaratan keseimbangan dipakai pada potongan-potongan yang membentuk lereng tersebut. Metode Bishop menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal (Bishop, 1955).



**Gambar 3** Gaya-gaya yang bekerja pada suatu potongan

Keterangan :

W = Berat total pada irisan EL,

ER = Gaya antar irisan yang bekerja secara horisontal pada penampang kiri dan kanan XL, XR = Gaya antar irisan yang bekerja secara vertikal pada penampang kiri dan kanan

P = Gaya normal total pada irisan

T = Gaya geser pada dasar irisan

b = Lebar dari irisan

l = Panjang dari irisan

$\alpha$  = Sudut Kemiringan lereng Dengan memperhitungkan seluruh keseimbangan gaya maka rumus untuk faktor keamanan Fk metode Bishop diperoleh sebagai berikut (Anderson dan Richards, 1987):

$$Fk = \frac{c'l + (P - ul) \tan \phi'}{W \sin \alpha}$$

### Faktor Keamanan

Menurut Bowles (1984) jika lereng memiliki nilai FK  $\geq 1,25$  maka lereng dalam keadaan stabil gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak. Tetapi, jika lereng dengan nilai  $1,07 < FK \leq 1,25$  maka lereng kritis. Namun, jika  $FK \leq 1,07$  maka lereng dinyatakan labil maka gaya penahan lebih kecil daripada gaya penggerak. (lihat tabel 3)

Nilai Faktor Keamanan	Intensitas Longsor
F < 1,07	Lereng Labil
F antara 1,07 - 1,25	Lereng Kritis
F > 1,25	Lereng Relatif Stabil

### Pemboran Geoteknik

Pemboran geoteknik bertujuan untuk mengetahui kondisi batuan bawah permukaan, variasi jenis batuan penyusun daerah tambang batubara, dan mengetahui kondisi keteknikan batuan seperti *Rock Quality Designation* (RQD), tingkat pelapukan, kondisi diskontinuitas, spasi diskontinuitas. Pemboran dilakukan dengan cara *full coring* agar dapat dilakukan pengambilan contoh batuan inti dari hasil pemboran untuk keperluan analisis di laboratorium mekanika batuan.

### Penelitian Laboratorium

Penelitian di laboratorium meliputi pengujian sifat keteknikan/mekanika batuan dari sample inti bor dan pengambilan contoh tanah tak terganggu (*Undisturbed soil samples*). Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian sifat fisik dan sifat mekanika yang diambil dari beberapa contoh batuan inti bor hasil pemboran geoteknik. Jenis uji

laboratorium untuk menemukan sifat mekanika tanah dan / atau batuan adalah uji kuat tekan uniaksial (*Uniaxial Compression Strength*), uji triaxial (*Triaxial Compression Test*), Uji kuat geser langsung (*Direct Shear Test*) dan uji sifat fisik tanah dan/atau batuan (*Basic Properties*).

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Isi Hasil dan Pembahasan

#### Analisis Kestabilan Lereng

Dari hasil analisis kestabilan lereng menggunakan *software* akan diperoleh nilai faktor keamanan (FS). Dilakukan analisis kestabilan lereng dengan kondisi muka air tanah berada pada kondisi muka air tanah kering, setengah kering dan jenuh serta variasi ketinggian koefisien gempa mempertimbangkan koefisien gempa (*seismic load*). Besaran koefisien getaran gempa di daerah penelitian (koefisien gempa di daerah penelitian (koefisien gempa *seismic load*) horizontal sebesar 0,05g dan vertikal 0,025g.

Dari hasil data pemboran, penulis mengelompokkan lapisan tanah dan batuan menjadi 5 kelompok untuk digunakan dalam analisis kestabilan lereng tambang, yaitu tanah, batulempung, batulempung karbonan, batulanau, batupasir, dan batubara.

#### Geologi Daerah Penelitian

Dari hasil penelitian lapangan berdasarkan 7 titik pemboran geoteknik. Litologi yang terdapat di daerah penelitian adalah batulempung, batulempung karbonan, batulanau, batupasir dan batubara. Karena tidak ditemukan singkapan di daerah penelitian maka peneliti melakukan identifikasi litologi melalui hasil inti bor.

#### Geoteknik Daerah Penelitian

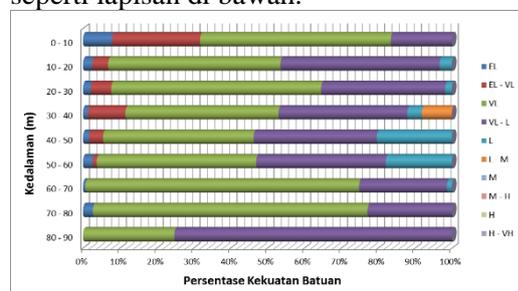
Dari akuisisi data lapangan dan pengujian laboratorium dari area penelitian di dapatkan 7 titik bor, dimana didapatkan informasi data berupa jenis tanah dan jenis

batuan di daerah penelitian. Aspek yang akan dibahas adalah sifat fisik dan mekanik tanah/batuan terhadap kondisi kestabilan lereng tambang yang dituangkan kedalam hasil perhitungan nilai Faktor Keamanan (FK).

#### Sifat Fisik dan Mekanik

Berdasarkan data lapangan, kekuatan batuan di daerah penelitian diklasifikasikan dalam kelompok batuan berkisar 0.03-5 MPa. Berdasarkan Brown (1981) maka masuk kedalam kategori *Extremely low-very low*.

Berdasarkan Gambar 3, dapat diinterpretasikan bahwa kondisi material di daerah penelitian memiliki karakteristik material yang cenderung memiliki nilai UCS yang kecil. Nilai UCS yang berada dilapisan paling bawah relatif memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan lapisan di atasnya, hal ini diakibatkan lapisan material di bawah menerima tekanan dari batuan di atasnya sehingga lapisan batuan di bawah lebih terkompaksi dan padat, selain itu lapisan di bawah belum mengalami pelapukan yang besar seperti lapisan di bawah.

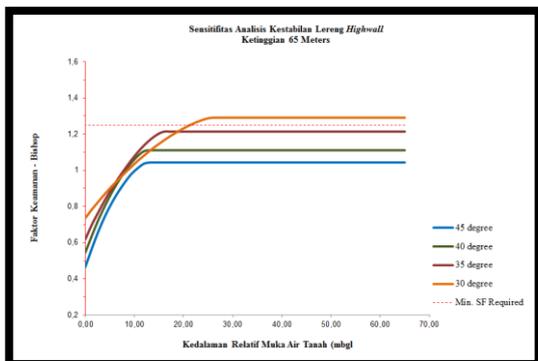


Gambar 3 Persentase Kekuatan Batuan Daerah Penelitian

#### Kestabilan Lereng *highwall*

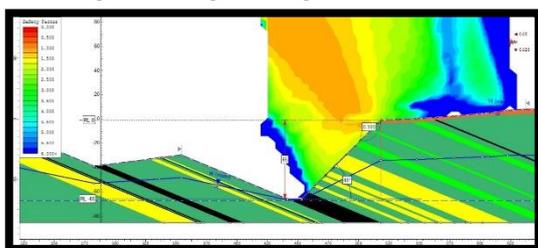
Berdasarkan pada penampang geoteknik dan data terdahulu dapat diperoleh suatu model penyusun lapisan yang terdiri dari tanah, batulempung, batupasir. ketiga material inilah yang dianggap dominan sebagai penyusun lapisan batubara di daerah penambangan. Analisis kestabilan lereng dibuat dengan kondisi gempa (*seismic load*). Analisis kestabilan lereng ini berdasarkan pada keadaan muka air tanah kering, setengah lereng sampai jenuh. Dengan memperhitungkan koefisien getaran dari

gempa maupun alat berat bertujuan untuk mengantisipasi kondisi terburuk ketika terjadi gempa. Hasil analisis kestabilan lereng highwall (lihat Gambar 4.)

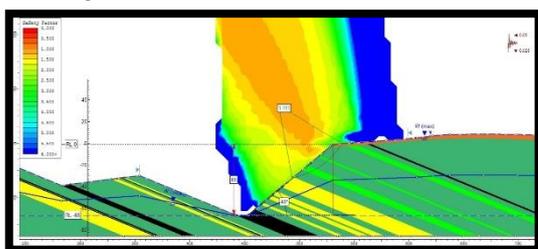


**Gambar 4** Grafik Sensitifitas Analisis Kestabilan Lereng Highwall A Ketinggian 65 Meter

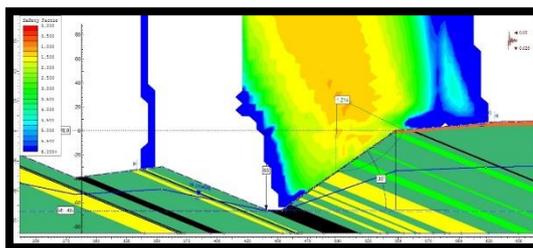
Hasil analisis kestabilan lereng *highwall* dengan tinggi lereng *pit* 65, 60 dan 55 meter dengan kondisi muka air tanah kering, setengah lereng dan jenuh diperoleh faktor keamanan (FS) dari 0,5 sampai 1,3. Lereng labil pada keadaan muka air tanah kering, setengah lereng maupun jenuh dengan ketinggian lereng 65, 60 dan 55 meter. Lereng akan stabil jika keadaan muka air tanah berada pada kondisi setengah lereng dengan sudut kemiringan lereng kurang dari 30°.



**Gambar 5** Analisis Kestabilan Lereng Highwall A 65 Meter Sudut 45°



**Gambar 6** Analisis Kestabilan Lereng Highwall A 65 Meter Sudut 40°



**Gambar 7** Analisis Kestabilan Lereng Highwall A 65 Meter Sudut 35°

## 5. KESIMPULAN

Dalam menentukan rekomendasi geometri lereng bukaan tambang batubara yang aman dan ekonomis, diperlukan nilai faktor keamanan stabil, pada berbagai macam keadaan muka air tanah. Selain itu perlu dipertimbangkan kondisi dari getaran alat berat dan gempa (*seismic load*) pada percepatan horisontal lokal puncak di daerah penelitian di  $a_{hor} = 0,05$  g untuk mengantisipasi kondisi terburuk saat terjadi gempa.

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis kestabilan lereng dapat disimpulkan bahwa lereng *highwall* dengan tinggi lereng *pit* 65, 60 dan 55 meter dikategorikan aman pada kondisi muka air tanah berada di setengah lereng dengan kemiringan lereng kurang dari 30°.

Penambahan air tanah pada pori-pori atau celah-celah tanah dan/atau batuan akan menambah berat satuan material dan memperbesar beban pada lereng. Maka akan relatif memperbesar gaya penggerak yang dapat mengakibatkan longsor pada lereng. Kondisi air tanah dalam kondisi jenuh akan menaikkan tegangan pori pada tanah dan batuan sehingga mengakibatkan lereng lebih mudah longsor. Dari hasil simulasi dan analisis kestabilan lereng terlihat bahwa pada setiap simulasi yang dibuat nilai faktor keamanan lereng memiliki nilai lebih besar pada kondisi muka air tanah kurang dari setengah lereng. Hal ini disebabkan air yang terdapat pada lapisan tanah dan/atau batuan akan meningkatkan tekanan pori pada lapisan tanah dan/atau batuan tersebut yang

mengakibatkan menurunkan kekuatan geser dari lapisan tersebut, selain itu kondisi air tanah jenuh pada lereng akan menambah beban lereng sehingga lereng lebih mudah longsor.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, M.G., Richard K.S., 1987. *Slope Stability, Geotechnical Engineering and Geomorphology*, John Wiley and Sons.
- Bishop, A.W. 1955. *The Use Of Slip Surface In The Stability Of Analysis Spelos*. Vol 5. London. Geotechnique.
- Hoek, E. & Bray, J. W. 2005. *Rock Slope Engineering Civil and Mining (4th Edition)*. London and New York. Spon Press. Taylor & Francis Group.
- N.Suwarna, Suharsono, S.Gafoer, T.C.Amin, Kusnama dan B.Hermanto 1992, Geologi Lembar Sarolangun, Sumatra proyek Pemetaan Geologi, dan Geofisika, Bidang Pemetaan Geologi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Rajagukguk, Octavia Cherianto Parluhutan; A.E, Turangan; Monintca, Sartje. 2014. *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop*. Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.3 (hal 139-147) ISSN 2337-6732.
- Spruyt, J. N, 1956, *Subdivisions and nomenclature of the Tertiary sediments of the Djambi Palembang area*, Pertamina Internal Report.
- Zakaria, Z. 2009. Analisis Kestabilan Lereng Tanah. Bandung. Laboratorium Geologi Teknik Universitas Padjadjaran. Dapat diunduh pada <http://blogs.unpad.ac.id/zufialdizakaria>.
- Zakaria, Z. 2010. Praktikum Geologi Teknik. Bandung. Laboratorium Geologi Teknik Universitas Padjadjaran. Dapat diunduh pada <http://blogs.unpad.ac.id/zufialdizakaria>.