

## **Analisis Geoteknik Kestabilan Lereng untuk Desain Sistem Tambang Terbuka Batubara PT Alamjaya Bara Pratama (ABP) Desa Jembayan Kecamatan Loa Kulu Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur**

<sup>1</sup>Muhammad Atik Bawazier, <sup>2</sup>Yuliadi, <sup>3</sup>Sriyanti

<sup>1,2,3</sup>*Prodi Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,  
Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116  
e-mail: muhammadbawazier007@gmail.com*

**Abstract:** Mining activities will always experience problems with slope stability. Slope design should be analyzed for its stability to eliminate erosion. PT Alamjaya Bara Pratama (ABP) undertake a Geotechnical study to support coal mining plans by optimizing the angle and height of the slopes. Using the Finite Element Method (FEM). Slope stability analysis in PT.ABP is done on highwall slopes, lowwall slopes, sidewall slopes, single slopes, and dump slope. The study was done by making geotechnical sections that are section A up to the cross section J. The result of the analysis on the highwall slope, on the B section elevation 81 m with the change from 41° to 28°. At cross section C elevation 96 m changed to 39° angle. At D section on elevation 101.6 m changed from 29° angle to 26° angle. At the F section the angle becomes 28°. On the cross section G slope 1 the angle changes to 41°. The result of the analysis on the lowwall slope, at cross section C and section D recommend a change of the angle from 16° to 12°. On the G section recommend a change of the angle from 19° to 17°. At the H section recommend a change of the angle from 19° to 14°. On the I section from 19° to 16°. The result of the analysis on the sidewall slope, on the A section on the elevation of 61 m indicates slope 1 angle condition changed to 30°, and on the J section the angle changed to 40°. The results of single slope analysis for angle variations of 40°, 50°, and 60° and 5 m, 10 m, and 15 m elevations shows safe conditions, so any model can be use for the slope planning. The result of the dump slope analysis on the southern side of section D changed to 13°. At the southern side of E sections recommend a change of the angle to 12°. The recommendation of the dump slope are 15° angle, with maximum height of 42 m, while for the angle of 20°, the maximum height is 30 M.

**Keywords:** Geotechnical Study, Slope Stability Analysis.

**Abstrak:** Aktivitas penambangan akan selalu menghadapi permasalahan dengan stabilitas lereng. Desain lereng harus dianalisis kemantapannya untuk mencegah terjadinya kelongsoran. PT Alamjaya Bara Pratama (ABP) melakukan kajian Geoteknik untuk mendukung rencana penambangan batubara dengan memaksimalkan sudut dan tinggi lereng untuk optimalisasi penambangan yang diperkirakan masih aman. Dengan menggunakan metode elemen hingga (FEM). Analisis kemantapan lereng di PT.ABP dilakukan pada lereng *highwall*, lereng *lowwall*, lereng *sidewall*, lereng tunggal, dan lereng timbunan. Kajian dilakukan dengan membuat beberapa penampang, yaitu penampang A sampai dengan penampang J. Hasil analisis pada kemantapan lereng *highwall*, penampang B elevasi 81 mdpl direkomendasikan sudut lereng 28°. Penampang C elevasi 96 mdpl direkomendasikan sudut 39°. Penampang D elevasi 101.6 mdpl direkomendasikan mengubah sudut dari 29° menjadi 26°. Penampang F direkomendasikan mengubah sudut menjadi 28°. Pada penampang G lereng 1 direkomendasikan mengubah sudut lereng dari 41° menjadi 35°. Hasil analisis lereng *Lowwall*, penampang C dan penampang D direkomendasikan mengubah sudut menjadi 12°. Lereng G direkomendasikan mengubah sudut dari 17°. Penampang H direkomendasikan mengubah sudut dari 19° menjadi 14°. Penampang I direkomendasikan mengubah sudut 19° menjadi 16°. Hasil analisis lereng *Sidewall*, penampang A elevasi 61 mdpl kondisi lereng 1 direkomendasikan mengubah sudut menjadi 30°, penampang J direkomendasikan mengubah sudut menjadi 40°. Hasil analisis lereng tunggal untuk variasi sudut 40°, 50°, dan 60° dan ketinggian 5 m, 10 m, dan 15 m menunjukkan kondisi aman, sehingga dalam merencanakan dapat menggunakan model yang mana saja. Hasil analisis lereng timbunan penampang D sisi selatan dengan tinggi 72 m direkomendasikan mengubah sudut menjadi 13°. Penampang E sisi selatan direkomendasikan mengubah sudut menjadi 12°. Rekomendasi lereng timbunan sudut 15°, tinggi maksimum 42 m, sedangkan untuk sudut 20°, tinggi maksimum 30 m.

**Kata kunci :** Kajian Geoteknik, Analisis Kemantapan Lereng.

## A. Pendahuluan

### Latar Belakang

Kondisi alam pada daerah tambang memiliki dinamika yang beragam, ditambah lagi aktifitas manusia dan alat yang membuat lereng pada daerah tambang tidak stabil dan rawan mengalami kelongsoran. Kondisi alam dapat berpengaruh dari sifat – sifat fisik dan mekanis dari batuan, juga dari kondisi muka air tanah. Sedangkan dari aktifitas manusia dan alat mempengaruhi karena adanya beban yang diberikan pada suatu lereng. Kestabilan lereng pada tambang harus dijaga karena merupakan hal yang sangat penting, produksi dapat terhenti jika lereng longsor, dan dapat mengakibatkan kerugian akibat alat tertimbun dan tambang dapat ditutup oleh pemerintah.

Dalam sistem tambang terbuka, analisis kestabilan lereng dilakukan pada lereng penambangan juga hasil proses penimbunan material penutup, yang kedua nya memiliki perlakuan dan kekuatan menahan yang berbeda. Oleh karena itu harus dilakukan analisis stabilitas lereng untuk desain lereng yang telah direncanakan pada pit 7 untuk evaluasi hasil desain lereng yang sudah direncanakan.

### Tujuan Penelitian

1. Melakukan evaluasi geometri lereng dengan FK lebih besar dari 1.3 pada desain lereng *highwall*.
2. Melakukan evaluasi geometri lereng dengan FK lebih besar dari 1.3 pada desain lereng *lowwall*.
3. Melakukan evaluasi geometri lereng dengan FK lebih besar dari 1.3 pada desain lereng *sidewall*.
4. Melakukan evaluasi geometri lereng dengan FK lebih besar dari 1.3 pada desain lereng tunggal.
5. Melakukan evaluasi geometri lereng dengan FK lebih besar dari 1.3 pada desain lereng timbunan.

## B. Landasan Teori

### Penyelidikan Geoteknik

Penyelidikan Geoteknik bertujuan untuk mendapatkan data geoteknik yang mewakili dari suatu area rencana penambangan. Persoalan geoteknik utama pada tambang terbuka adalah “stabilitas lereng bukaan tambang”.

Kegiatan utama dalam penyelidikan geoteknik untuk mendukung desain atau revisi desain tambang terbuka adalah “Pengeboran Geoteknik” dan “Pemetaan Geoteknik Permukaan”. Pemetaan geoteknik di permukaan dapat dilakukan pada area yang sudah tersingkap atau terbuka. pemetaan geoteknik permukaan bertujuan untuk mendapatkan data dan informasi tambahan tentang kondisi massa batuan di lapangan. Di samping itu, pemetaan geoteknik permukaan ini bisa juga dipandang sebagai usaha untuk memantau kondisi geoteknik massa batuan dalam rangka verifikasi data, apakah masih sesuai dan konsisten dengan parameter geoteknik yang digunakan pada saat desain dibuat. Jika diketahui terdapat perbedaan kondisi geoteknik yang signifikan, maka analisis ulang dengan menggunakan parameter yang baru perlu dilakukan, agar supaya dapat direkomendasikan kemungkinan adanya revisi desain.

### Deskripsi Inti Bor dan RMR Mapping

Deskripsi inti bor dan pemetaan permukaan bertujuan untuk mendapatkan data dan informasi tentang kondisi massa batuan yang akan digunakan untuk mendukung proses karakterisasi massa batuan.

Sebelum karakterisasi, massa batuan diklasifikasikan untuk mengetahui kualitas dari masing-masing lapisan (kelompok) massa batuan. Salah satu sistem klasifikasi yang aplikasinya cukup luas adalah sistem *Rock Mass Rating* (RMR). Sistem RMR adalah system pengelompokan kualitas massa batuan dengan cara memberi bobot atau *rating* pada parameter-parameter dasar batuan yang diamati. Selain sistem RMR, masih ada sistem klasifikasi yang lain dengan kebutuhan data agak berbeda dengan sistem RMR.

Pengambilan data khusus untuk mendukung RMR system (Bieniawski, 1989). Terdapat 5 (lima) parameter utama yang harus dikumpulkan untuk mendukung klasifikasi sistem ini, yaitu :

1. *Strength of Intact Rock* (Kekuatan batuan utuh)
2. *RQD (Rock Quality Designation)*
3. *Spacing of Discontinuities* (Spasi joint)
4. *Condition of Discontinuities* (Kondisi joint)
5. *Groundwater Condition* (Kondisi air tanah)

Deskripsi geoteknik inti bor biasanya bersamaan dengan kegiatan *sampling* (pengambilan contoh) geoteknik. Kegiatan *sampling* bertujuan untuk mendapatkan sampel tidak terganggu untuk kemudian diuji di laboratorium agar diperoleh sifat fisik dan mekanik batuan utuh. Agar sampel yang diambil dapat mewakili kondisi alamiahnya, maka harus diperhatikan prinsip-prinsip sebagai berikut :

1. Sampel diambil pada kedalaman yang dapat mewakili kondisi batuan,
2. Pengeboran menggunakan triple tube core barrel,
3. Sampel tidak banyak kontak dengan udara luar selama packing di lokasi pengeboran dan handling di laboratorium,
4. Sampel dikemas sedemikian hingga, menjaga kondisi alamiahnya, dan terlindung dari guncangan selama handling dan pengiriman ke laboratorium.

Jika tidak mengacu pada 5 prinsip diatas, maka sulit untuk menggunakan sample tersebut pada proses analisis data, karena besar kemungkinan terjadinya pencemaran sampel yang dapat mengakibatkan hasil analisa tidak sesuai dengan keadaan nyata di lokasi, oleh karena sampel yang sudah akan dilakukan pengujian di laboratorium baik itu pengujian sifat fisik atau sifat mekanis harus sesuai dan sama keadaan nya seperti pertama kali sampel itu diambil di lokasi penelitian agar hasil dari pengujian laboratorium pun menghasilkan data yang valid dan sesuai untuk memudahkan analisis data.

### **Pengolahan Data Geoteknik**

Dalam klasifikasi sistem RMR, salah satu parameter yang dibutuhkan adalah kuat tekan batuan utuh, yang dapat ditentukan dari uji laboratorium, dan juga dengan cara pendekatan "*index strength*" pada waktu deskripsi inti bor maupun pada waktu pemetaan geoteknik permukaan. Sehingga nampak dalam gambar di bawah bahwa, perlu ada saling kontrol dalam penentuan nilai  $\sigma_{ci}$ .

Penentuan parameter geoteknik massa batuan ( $c_M$ ,  $\Phi_M$ ,  $E_M$ , dan  $\sigma_{cM}$ ) dan  $\sigma_{tM}$  dapat juga ditentukan dengan *software Roclab* yang dikembangkan berdasarkan teori Hook and Brown, menggunakan GSI (*geological strength index*). Salah satu parameter yang dibutuhkan metode ini adalah  $E_i$  yaitu modulus elastisitas batuan utuh (*intact rock*). Hasil uji laboratorium dan hasil klasifikasi massa batuan kemudian dikompilasi untuk menentukan parameter input untuk pemodelan dan analisis stabilitas lereng.

## **C. Hasil Penelitian dan Penelitian**

### **Pemodelan dan Hasil Analisis Kemantapan Lereng *Highwall***

### **Penampang B**

Hasil pemodelan penampang B menunjukkan rencana geometri lereng bukaan akhir tambang pada elevasi -81 menunjukkan kondisi tidak aman, maka disarankan mengubah desain geometri lereng pada lereng 1 (*seam 12*) dengan pelandaian kemiringan lereng menjadi 28o nilai FK lereng pada penampang B menjadi 1,37 untuk yang tidak dipengaruhi material disposal dan 1,31 untuk lereng yang terpengaruh material disposal.

### **Penampang C**

Hasil pemodelan penampang C menunjukkan rencana geometri lereng bukaan akhir tambang pada elevasi -96 mdpl lereng yang dipengaruhi beban material disposal menunjukkan desain geometri lereng tidak aman hingga elevasi -60 Mdpl, maka disarankan pelandaian terhadap kemiringan lereng menjadi sudut kemiringan 39° nilai FK lereng pada penampang C menjadi 1,44, dan pada elevasi -80 Mdpl dengan sudut kemiringan lereng 1 (*seam 12*) memiliki nilai FK sebesar 1,43.

### **Penampang D**

Hasil pemodelan penampang D menunjukkan rencana geometri lereng bukaan akhir tambang pada elevasi -101,6 mdpl lereng yang dipengaruhi beban material disposal menunjukkan desain geometri lereng tidak aman hingga elevasi -60 mdpl, untuk mengatasi kondisi tersebut maka disarankan mengubah desain geometri lereng pada elevasi -101,6 mdpl dengan pelandaian kemiringan lereng keseluruhan (*overall slope*) dari sudut kemiringan 29° menjadi 26° nilai FK lereng pada penampang D menjadi 1,39.

### **Penampang E**

Hasil pemodelan penampang E menunjukkan geometri lereng desain akhir bukaan tambang pada elevasi -35,8 Mdpl dengan kemiringan lereng 34° menunjukkan kondisi aman baik yang tidak dipengaruhi material disposal maupun yang dipengaruhi oleh beban material disposal pada lereng *Highwall* di penampang E.

### **Penampang F**

Hasil pemodelan penampang F menunjukkan geometri lereng desain akhir bukaan tambang pada elevasi -30,6 Mdpl dengan kemiringan lereng 1 (*seam 11*) 30° lereng 2 (*seam 12*) 42° dan lereng 3 (*seam 13*) 30° menunjukkan lereng dalam kondisi aman baik kecuali pada lereng satu yang mengalami perubahan sudut dari 30° menjadi 28°, maka nilai FK mengalami perubahan juga dari 1.19 menjadi 1.31.

### **Penampang G**

Hasil pemodelan penampang G menunjukkan geometri lereng desain akhir bukaan tambang yang dipengaruhi oleh beban disposal pada elevasi -68,6 mdpl dengan kemiringan lereng 1 (*seam 11*) 41° lereng 2 (*seam 13*) 30° menunjukkan nilai FK lereng tidak termasuk kriteria aman yang telah ditetapkan maka dari itu untuk mengantisipasi hal tersebut dilakukan pelandaian pada lereng 1 (*seam 11*) dari 41 ° menjadi 35° sehingga nilai FK pada penampang G menjadi sebesar 1,32.

### **Penampang H**

Hasil pemodelan penampang H menunjukkan geometri lereng desain akhir bukaan tambang pada elevasi -78.5 mdpl dengan kemiringan lereng 40° menunjukkan lereng dalam kondisi aman dengan nilai FK 1,31. Lereng dalam kondisi aman karena

*Highwall* pada penampang H sesuai dengan desain akhir lereng tambang dan tidak dipengaruhi beban material disposal.

### **Penampang I**

Hasil pemodelan penampang I menunjukkan geometri lereng desain akhir bukaan tambang pada elevasi -78.5 Mdpl dengan kemiringan lereng  $33^\circ$  pada lereng 1 (*seam* 11) dan kemiringan lereng  $42^\circ$  (*seam* 13) menunjukkan lereng dalam kondisi aman dengan nilai FK 1,32. Lereng dalam kondisi aman karena *Highwall* pada penampang I sesuai dengan desain akhir tidak dipengaruhi beban material disposal.

### **Pemodelan dan Hasil Analisis Kemantapan Lereng *Sidewall***

Hasil pemetaan geoteknik yang dilakukan pada area pit 7, material penyusun yang berada pada lereng *sidewall* memiliki kondisi material jenuh, berdasarkan hasil pemetaan tersebut dilakukan pemodelan dan analisis kemantapan lereng *sidewall*. Pendekatan awal untuk analisis yang digunakan tidak dilakukan perubahan sudut lereng karena kemiringan mengikuti dip perlapisan, jika hasil analisis memiliki nilai atau kondisi tidak aman ( $FK < 1,3$ ) maka dilakukan optimasi yang bertujuan untuk mengurangi beban massa lereng dengan melakukan pelandaian.

### **Penampang A**

Hasil pemodelan pada penampang A sisi bagian *sidewall* menunjukkan desain akhir bukaan tambang pada elevasi -61 mdpl menunjukkan kondisi yang tidak aman apabila tidak dipengaruhi beban material disposal dengan nilai FK 1,2. Namun, desain akhir bukaan tambang bagian *sidewall* mengalami pembebanan dari material disposal sehingga menyebabkan kemantapan lereng *sidewall* menurun drastis dengan nilai FK 1,13. Dengan kondisi tersebut disarankan mengubah geometri lereng 1 (*seam* 12) dilakukan pelandaian sudut kemiringan dari  $40^\circ$  menjadi  $30^\circ$ .

### **Penampang J**

Desain akhir bukaan tambang *sidewall* pada penampang J hasil pemodelan menunjukkan desain akhir bukaan tambang pada elevasi -77 geometri lereng dalam kondisi tidak aman dengan nilai FK 1,21, oleh karena itu terdapat perubahan sudut menjadi  $40^\circ$  sehingga nilai FK berubah menjadi 1.32.

### **Pemodelan dan Hasil Analisis Kemantapan Lereng *Lowwall***

Hasil pemetaan geoteknik yang dilakukan pada area Pit 7, material penyusun yang berada pada lereng *Lowwall* memiliki kondisi material jenuh, berdasarkan hasil pemetaan tersebut dilakukan pemodelan dan analisis kemantapan lereng *Lowwall*. Pendekatan awal untuk analisis yang digunakan tidak dilakukan perubahan sudut lereng karena kemiringan mengikuti dip perlapisan, jika hasil analisis memiliki nilai atau kondisi tidak aman ( $FK < 1,3$ ) maka dilakukan optimasi yang bertujuan untuk mengurangi beban massa lereng dengan melakukan pelandaian.

### **Penampang B**

Hasil pemodelan penampang *Lowwall* B dengan kedalaman 106,1 m, lebar bukaan 448,3 m dan kemiringan lapisan  $15^\circ$  pada elevasi -81 (Desain ABP) memiliki nilai FK 1,5 (. Hasil FK penampang *Lowwall* B menunjukkan kondisi aman.

### **Penampang C**

Hasil pemodelan penampang *Lowwall* C dengan kedalaman 146,3 m, lebar bukaan 540 m dan kemiringan lapisan  $16^\circ$  pada elevasi -96 (Desain ABP) memiliki nilai FK 1,04. Hasil FK penampang *Lowwall* B menunjukkan kondisi tidak aman pada batas nilai minimum, namun perlu dilakukan perubahan sudut menjadi  $12^\circ$  sehingga FK menjadi 1.31.

### **Penampang D**

Hasil pemodelan penampang *Lowwall* D dengan kedalaman 162,6 m merupakan penampang *Lowwall* terdalam, lebar bukaan 571,4 m dan kemiringan lapisan  $16^\circ$  pada elevasi -101,6 (Desain ABP) memiliki nilai FK 1,02. Hasil FK penampang *Lowwall* D menunjukkan kondisi tidak aman. Upaya optimasi dengan melakukan pelandaian dengan menurunkan  $4^\circ$  dapat menaikkan nilai FK menjadi 1,38.

### **Penampang E**

Hasil pemodelan penampang *Lowwall* E dengan kedalaman 61 m, lebar bukaan 211 m dan kemiringan lapisan  $17^\circ$  pada elevasi -35,8 menunjukkan kondisi aman.

### **Penampang F**

Hasil pemodelan penampang *Lowwall* F dengan kedalaman 69.5 m, lebar bukaan 228,3 m dan kemiringan lapisan  $18^\circ$  pada elevasi -30,6 menunjukkan kondisi aman.

### **Penampang G**

Hasil pemodelan penampang *Lowwall* G dengan kedalaman 95.7 m, lebar bukaan 299,1 m dan kemiringan lapisan  $19^\circ$  pada elevasi -68,6 menunjukkan kondisi tidak aman dengan FK 1.19, oleh karena itu sudut perlu diubah menjadi  $19^\circ$  sehingga FK 1.34.

### **Penampang H**

Hasil pemodelan penampang *Lowwall* G dengan kedalaman 109.7 m, lebar bukaan 351,1 m dan kemiringan lapisan  $19^\circ$  pada elevasi -78,5 (Desain ABP) memiliki nilai FK 1,09 . Hasil FK penampang *Lowwall* G menunjukkan kondisi tidak, oleh karena itu sudut diubah menjadi  $19^\circ$  sehingga nilai FK menjadi 1.37.

### **Penampang I**

Hasil pemodelan penampang *Lowwall* I dengan kedalaman 107 m, lebar bukaan 336,6 m dan kemiringan lapisan  $19^\circ$  pada elevasi -78,5 (Desain ABP) memiliki nilai FK 1,11. Hasil FK penampang *Lowwall* I menunjukkan kondisi tidak aman, oleh karena itu sudut diubah menjadi  $16^\circ$ , sehingga nilai FK menjadi 1.34.

### **Penampang J**

Hasil pemodelan penampang *Lowwall* J dengan kedalaman 75 m, lebar bukaan 494,5 m dan kemiringan lapisan  $19^\circ$  pada elevasi -77 (Desain ABP) memiliki nilai FK 1,3. Hasil FK penampang *Lowwall* J menunjukkan kondisi aman.

### **Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (*Single Slope*)**

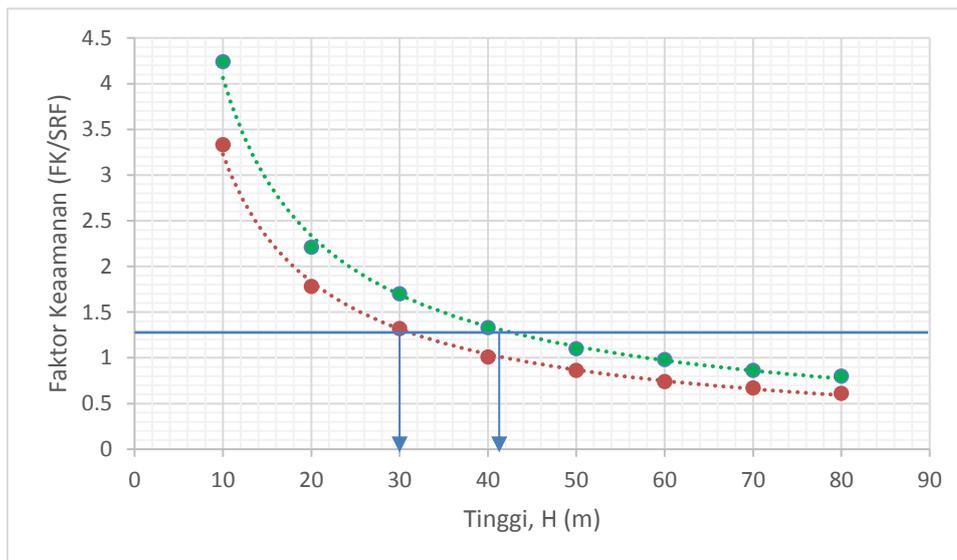
Lereng dimodelkan untuk 4 (tiga) jenis material, yaitu Mudstone, Siltstone, Sandstone, dan Batubara. Variasi model yaitu sudut  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ , dan  $60^\circ$ , dengan tinggi 5m, 10m, dan 15m. Kriteria kestabilan yang digunakan adalah  $FK \geq 1,3$  .

Hasil simulasi untuk variasi sudut dan ketinggian yang berbeda-beda,

menunjukkan bahwa semua model yang disimulasikan berada dalam kondisi stabil dengan  $FK \geq 1,3$ , sehingga dalam merencanakan bukaan tambang dapat menggunakan model yang mana saja. Gambar 3 adalah contoh output model lereng tunggal dengan tinggi ( $H$ )=15m dan sudut ( $\alpha$ ) =  $60^0$  untuk material Mudstone, Siltstone, Sandstone, dan Batubara.

### Analisis Kemantapan Lereng Timbunan

Untuk mengetahui alternatif desain. Dilakukan interpolasi kurva dengan memplot nilai FK kedua kurva ( $15^0$  dan  $20^0$ ). Hasil plotting sebagaimana pada Gambar 3 berikut.



**Gambar 1.** Kurva acuan penentuan desain lereng timbunan

## D. Kesimpulan

### Highwall

Hasil permodelan pada lereng highwall penampang B menunjukkan faktor keamanan desain lereng akhir pada elevasi -81 yaitu 1.13 yang berarti kemungkinan akan mengalami kelongsoran saat dipengaruhi oleh beban material timbunan.

Lereng highwall pada penampang C desain akhir lereng bukaan tambang pada elevasi -96 dengan kemiringan lereng 1 sebesar  $41^0$  tinggi 106,166 m mengalami kelongsoran dengan nilai FK 1,15 saat dipengaruhi oleh beban material timbunan. Lereng highwall pada penampang D dikarenakan desain lereng pada elevasi -101,6 yang telah direncanakan tidak aman dengan nilai faktor keamanan 1.16.

Lereng highwall pada lereng 2 penampang F memiliki nilai FK yang tidak aman yaitu 1.19.

Pada penampang G lereng yang desain lereng akhir yang direncanakan dipengaruhi beban material disposal memiliki nilai FK 1,23 yang berarti belum aman.

### Lowwall

Pada penampang C, faktor keamanan bernilai 1.04 yang menandakan lereng tidak aman. Penampang D, faktor keamanan bernilai 1.02 yang menandakan lereng tidak aman. Penampang G, faktor keamanan bernilai 1.19 yang berarti lereng tidak aman. Penampang H, faktor keamanan bernilai 1.09 yang berarti lereng tidak aman. Penampang I, faktor keamanan bernilai 1.11 yang berarti lereng tidak aman.

### Sidewall

Hasil pemodelan pada desain akhir lereng sidewall penampang A elevasi -61 Mdpl yang dipengaruhi beban material disposal memiliki nilai FK yang kritis yaitu 1.25.

Hasil pemodelan pada model penampang J menunjukkan lereng rencana desain akhir dalam kondisi tidak aman dengan nilai faktor keamanan 1.21 pada elevasi 77 mdpl.

### Lereng Tunggal

Lereng tunggal untuk variasi sudut  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ , dan  $60^\circ$  dan ketinggian 5m, 10m, dan 15m, menunjukkan bahwa semua model yang disimulasikan berada dalam kondisi stabil dengan  $FK \geq 1,3$ , sehingga dalam merencanakan bukaan tambang dapat menggunakan model yang mana saja.

### Timbunan

Penampang D sisi selatan dengan tinggi 72 m menunjukkan kondisi tidak aman dengan nilai FK 1.2, upaya optimasi dengan melandaikan sudut menjadi  $13^\circ$  dan menurunkan elevasi menjadi 69.245 m menunjukkan kondisi aman dengan nilai FK 1.36.

Penampang E sisi selatan dengan tinggi 91.367 m menunjukkan kondisi tidak aman dengan nilai FK 1.02, upaya optimasi dengan melandaikan sudut menjadi  $12^\circ$  dan menurunkan elevasi menjadi 77.496 m menunjukkan kondisi aman dengan nilai FK 1.3.

Rekomendasi lereng timbunan dengan Sudut ( $\alpha$ )= $15^\circ$ , tinggi maksimum (H)= 42 m, sedangkan untuk Sudut ( $\alpha$ )= $20^\circ$ , tinggi maksimum (H)= 30 m,

## E. Saran

### Highwall

Pada lereng *highwall* penampang B direkomendasikan perubahan desain lereng dengan mengubah sudut lereng dari  $41^\circ$  menjadi  $28^\circ$ . Pada lereng *highwall* penampang C direkomendasikan lereng lebih stabil pada elevasi -80, kemiringan  $30^\circ$  dengan tinggi 96.036 m Namun apabila ingin tetap pada elevasi -96 direkomendasikan mengubah sudut kemiringan sebesar  $39^\circ$ . Pada lereng *highwall* penampang D direkomendasikan mengubah sudut kemiringan  $29^\circ$  menjadi  $26^\circ$ . Pada lereng 2 *highwall* penampang F direkomendasikan perubahan sudut menjadi  $28^\circ$  sehingga FK 1.31. Penampang G direkomendasikan mengubah sudut kemiringan lereng 1 dari  $41^\circ$  menjadi  $35^\circ$ .

### Lowwall

Pada penampang C direkomendasikan perubahan sudut menjadi  $12^\circ$  agar didapat FK aman yaitu 1.31. Penampang D direkomendasikan perubahan sudut menjadi  $12^\circ$  agar didapat FK aman yaitu 1.38. Penampang G direkomendasikan perubahan sudut menjadi  $17^\circ$  agar didapat FK aman yaitu 1.34. Penampang H direkomendasikan perubahan sudut dari  $19^\circ$  menjadi  $14^\circ$  agar didapat FK aman yaitu 1.37. Penampang I direkomendasikan perubahan sudut dari  $19^\circ$  menjadi  $16^\circ$  agar didapat FK aman yaitu 1.34.

### Sidewall

Hasil pemodelan pada desain akhir lereng sidewall pada penampang A lereng 1 di lakukan pelandaian hingga sudut kemiringan  $30^\circ$ .

Hasil pemodelan pada model penampang J direkomendasikan dilakukan pelandaian sudut hingga  $40^\circ$ .

## Daftar Pustaka

- Giani, G.P. 1992. "Rock Slope Stability Analysis. Rotterdam", A.A. Balkema Publisher.
- Hoek, E and Bray, J, 1981. "Rock Slope Engineering". Institute of Mining and Metallurgy, London and New York.
- Hoek, J. & Bray, E. 1981. "Rock Slope Engineering". London, Institution of Mining and Metallurgy.
- Junaida Wally, 2014, "Pemodelan Terowongan Pada Batuan Dengan Metode Finite Element" Jakarta.
- Kliche, C.A. 1999. "Rock Slope Stability". Littleton, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.(SME).
- Made Astawa Rai, Dr. Ir. "Analisa Kemantapan Lereng : Proyeksi Stereografis dan Metode Grafis", Kursus Geoteknik dan Perencanaan Tambang Terbuka, 1993.
- Made Astawa Rai, Dr. Ir. dan Anung Dri Prasetya, Ir "Kemantapan Lereng Batuan", Kursus Pengawas Tambang, 1993.
- Maryanto. "Geoteknik Tambang". Diklat Perkuliahan. Universitas Islam Bandung, Bandung.