

Analisis kestabilan lereng low wall Pit UCE di PT Jorong Barutama Grestone

Low wall slope stability analysis of UCE Pit at PT Jorong Barutama Grestone

Pranajaya Purba, Romla Noor Hakim, Adip Mustofa
Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
e-mail: *jayapurba97@gmail.com, romla@ulm.ac.id, adip@ulm.ac.id

ABSTRAK

PT Jorong Barutama Greston merupakan salah satu perusahaan pertambangan batubara. Dalam menjalankan kegiatan operasi produksi, perusahaan menghadapi masalah mengenai kestabilan lereng pada area lereng *low wall*. Ketidakstabilan lereng ini berpotensi menimbulkan longsor yang akan memberikan dampak yang signifikan dalam kegiatan penambangan. Selain menghambat kegiatan produksi, longsor juga dapat sewaktu waktu menimbulkan resiko kecelakaan pada pekerja. Kondisi lereng aktual dilapangan menunjukkan ketidakstabilan lereng dimana terbentuknya *tension crack* dan adanya pergerakan pada area lereng *low wall*.

Kondisi ketidakstabilan pada lereng ini memunculkan asumsi bahwa FK lereng *low wall* < 1 . Maka dilakukan analisis kestabilan lereng menggunakan perangkat lunak Rocscience Slide v6.0 yang bertujuan untuk mengetahui keselarasan hasil analisis dengan kondisi lereng aktual dilapangan. Metode yang digunakan adalah metode Mogenstern-Prince, dengan bidang kelongsoran diperkirakan adalah busur (circular), ketinggian muka air tanah berdasarkan hasil pengukuran piezometer, dan parameter awal yang digunakan merupakan kuat geser puncak (peak shear strength). Hasil analisis menunjukkan nilai FK lereng *low wall* $> 1,7$ yang dimana tidak selaras dengan kondisi aktual dilapangan. Maka dilakukan koreksi dengan menggunakan parameter kuat geser yang divariasikan dari nilai kuat geser puncak (peak shear strength) hingga nilai kuat geser sisa (residual shear strength). Hasil koreksi menunjukkan bahwa nilai kuat geser pada lereng *low wall* merupakan nilai kuat geser sisa (residual shear strength) dengan nilai FK terkecil = 0,943.

Kata-kata kunci: Kestabilan Lereng, Faktor Keamanan, Rocscience Slide v.6.0, *Sensitivity Plot*.

ABSTRACT

PT Jorong Barutama Greston is a coal mining company. In carrying out production operations, the company faces problems regarding slope stability in the low wall slope area. This slope instability has the potential to cause landslides which will have a significant impact on mining activities. In addition to hampering production activities, landslides can also at any time pose a risk of accidents to workers. The actual slope conditions in the field indicate slope instability where tension cracks form and there is movement in the low wall slope area.

The instability condition on this slope raises the assumption that the FK of the low wall slope is < 1 . Then a slope stability analysis was carried out using the Rocscience Slide v6.0 software which aims to determine the alignment of the analysis results with the actual slope conditions in the field. The method used is the Mogenstern-Prince method, where the landslide area is estimated to be circular, the groundwater level is based on piezometer measurements, and the initial parameter used is peak shear strength. The results of the analysis show the low wall slope FK value > 1.7 which is not in line with the actual conditions in the field. Then a correction is made using the shear strength parameter which is varied from the peak shear strength to the residual shear strength. The correction results show that the value of the shear strength on the low wall slope is the value of the residual shear strength with the smallest FK value = 0.943.

Keywords: *Slope Stability, Safety Factor, Rocscience Slide v.6.0, Sensitivity Plot.*

PENDAHULUAN

Secara umum, kestabilan dari suatu lereng pada kegiatan penambangan dipengaruhi oleh kondisi geologi daerah setempat, bentuk keseluruhan lereng pada lokasi tersebut, kondisi air tanah setempat, faktor luar seperti getaran akibat peledakan ataupun alat mekanis yang beroperasi dan juga dari teknik penggalian yang digunakan dalam pembuatan lereng. Faktor pengontrol ini jelas sangat berbeda untuk situasi penambangan yang berbeda dan sangat penting untuk memberikan aturan yang umum untuk menentukan seberapa tinggi atau seberapa landai suatu lereng untuk memastikan lereng itu akan tetap stabil.

PT Jorong Barutama Greston merupakan perusahaan yang bergerak dalam industry pertambangan batubara. Dalam menjalankan kegiatan operasi produksinya, perusahaan menghadapi masalah mengenai potensi terjadinya longsor pada lereng *low wall*. Potensi longsor yang akan timbul memberikan dampak yang signifikan dalam kegiatan penambangan. Selain

menghambat kegiatan produksi, longsor juga sangat mengganggu kenyamanan bekerja pada pit karena tingkat kekhawatiran para pekerja menjadi semakin meningkat. Dalam hal ini resiko keselamatan pekerja juga menjadi meningkat. Maka dari itu potensi longsor akan menimbulkan kerugian biaya yang tidak sedikit.

Untuk mencegah potensi resiko keselamatan kerja maupun kerugian lainnya, maka dilakukan analisis kestabilan lereng untuk mengetahui faktor keamanan pada area lereng *low wall*. Perbandingan antara kondisi aktual lereng dengan hasil analisis sangat penting dilakukan, sehingga dapat diketahui faktor penyebab ketidakstabilan lereng. Hasil analisis yang didapatkan menjadi acuan dalam kegiatan analisis selanjutnya terutama untuk kegiatan perbaikan faktor keamanan lereng. Perbaikan terhadap kestabilan lereng harus disesuaikan dengan faktor penyebab ketidakstabilan tersebut.

Lereng adalah bagian dari permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang

horizontal. Secara umum lereng ada dua jenis yaitu lereng alam dan lereng buatan. Lereng alam merupakan lereng yang terbentuk secara alamiah (natural slope) sedangkan lereng buatan merupakan lereng yang terbentuk oleh aktivitas manusia baik berupa galian maupun timbunan (engineered slope).

▪ **Jenis Longsor**

Menurut Varnes (1978, dalam Hansen, 1984) mendefinisikan tanah longsor sebagai pergerakan material kebawah dan lepas dari sebuah lereng dibawah pengaruh gravitasi. longoran (landslide) dapat diklasifikasikannya menjadi:

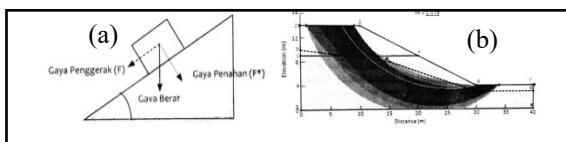
- ✓ Jatuhan (fall)
- ✓ Jungkiran (topple),
- ✓ Luncuran (slide) dan nendatan (slump),
- ✓ Aliran (flow), gerak bentang lateral (lateral spread),
- ✓ Gerakan majemuk (complex movement).

Sedangkan menurut Hoek, E. And Bray, J. (1981), Mah, C.W and Willie, D. C. (2004, dalam Rock Slope Engineering) longsor pada lereng batuan dapat dikelompokkan berdasarkan menjadi :

- ✓ Longoran Bidang (Plane Failure)
- ✓ Longoran Busur (Circular Failure)
- ✓ Longoran Baji (Wedge Failure)
- ✓ Longoran Guling (Toppling Failure)

▪ **Analisis Kestabilan Lereng**

Untuk menjaga agar benda lereng tidak jatuh (failure), diperlukan perhitungan terhadap kemiringan sesuai dengan faktor keamanan yang diinginkan. Faktor Kemanan (FK) dapat dirumuskan sebagai berikut:



Gambar-1. (a) Prinsip Faktor Keamanan; (b) Analisis Kestabilan Lereng Dengan Pola Longsoran Busur

$$\text{Faktor Keamanan} = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}}$$

$$\text{Faktor Keamanan} = \frac{C.A + W \cos \alpha \tan \phi}{W \sin \alpha}$$

Keterangan:

- C = Kohesi material (KPa)
- A = Luas bidang longsoran (m²)
- W = Berat material (kN/m³)
- α = Sudut kemiringan lereng (°)
- φ = Sudut geser dalam (°)

Di dalam menganalisis kemantapan lereng selalu berkaitan dengan perhitungan untuk mengetahui angka faktor keamanan sebagai indikasi performa suatu lereng. Berdasarkan rumus diatas untuk mendapatkan kemantapan lereng dapat didapatkan melalui cara menambah gaya penahan maupun mengurangi gaya penggeraknya.

▪ **Cara Cara Menstabilkan Lereng**

Untuk dapat menentukan metode penanggulangan lereng pada tambang terlebih dahulu perlu dipahami mekanisme terjadinya longoran. Pada suatu lereng tambang akan bekerja gaya pendorong dan gaya penahan. Gaya pendorong adalah gaya tangensial dari berat massa tanah dan batuan, sedangkan gaya penahan berupa tahanan geser tanah dan batuan. Lereng tambang akan runtuh apabila gaya pendorong lebih besar dari gaya penahan. Dengan demikian, prinsip penanggulangan keruntuhan lereng tambang adalah mengurangi gaya pendorong atau memperbesar gaya penahan.

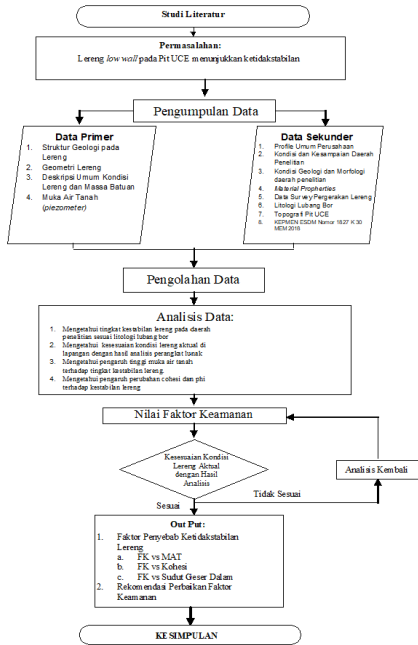
Sesuai dengan prinsip yang telah dijelaskan sebelumnya, penanggulangan keruntuhan lereng tambang dilakukan dengan mengurangi gaya pendorong atau memperbesar gaya penahan. Berdasarkan hal tersebut, Hoek dan Bray (1981) mengategorikan metode stabilisasi menjadi tiga, yakni:

- Metode penanggulangan longsoran dengan mengurangi gaya pendorong
 - ✓ Perubahan geometri lereng, dimana dapat dilakukan dengan penurunan ketinggian lereng, pengurangan kemiringan lereng, serta melakukan penjenjangan (benching) pada lereng.
 - ✓ Drainase permukaan, dimana bertujuan untuk mengendalikan air permukaan agar tidak menimbulkan genangan maupun limpasan air yang dapat mengganggu kestabilan lereng
- Metode Penanggulangan Longsoran dengan Memperbesar Gaya Penahan
 - ✓ Penirisan air rembesan (Subsurface Drainage) untuk mengendalikan air dibawah permukaan agar dapat mengontrol tekanan pori.
 - ✓ Penguatan dan Penyanggaan diberikan untuk meningkatkan tahanan geser sehingga dapat meningkatkan kestabilan lereng
- Proteksi terhadap jatuhnya atau lemparan batu

METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan analisis kestabilan lereng pada area lereng *low wall*. Kegiatan penelitian dimulai dengan melakukan pengamatan langsung dilapangan terhadap kondisi aktual lereng *low wall*. Kegiatan dilanjutkan dengan melakukan pemetaan terhadap area berpotensi longsor, baik pengukuran luas area terdampak, jenis material, kegiatan produksi disekitar area, pengukuran piezometer dan pemantauan terhadap perkembangan lereng.

Kemudian kegiatan analisis dilanjutkan dengan mengolah data yang telah diperoleh. Pengolahan data ini bertujuan untuk mempersiapkan data maupun parameter yang akan digunakan dalam kegiatan analisis. Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Rocscience Slide v6.0. Hasil analisis akan dibandingkan dengan kondisi lereng aktual dilapangan. Ketidakselarasan hasil analisis dengan kondisi lereng aktual akan dilanjutkan dengan koreksi terhadap parameter yang dimasukkan. Kegiatan analisis diakhiri dengan melakukan perbaikan terhadap faktor keamanan lereng.



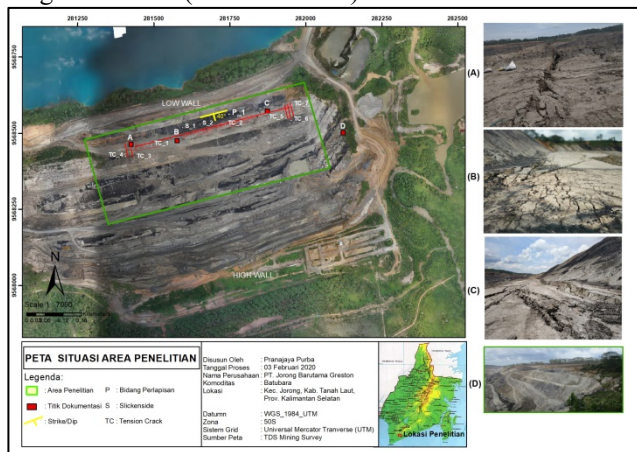
Gambar-2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN DISKUSI

DESKRIPSI DATA

Kondisi Area Penelitian

Penelitian dilakukan pada area *low wall* Pit UCE PT Jorong Barutama Greston, Kecamatan Jorong, Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan. Pit UCE merupakan pit aktif yang sedang dilakukan kegiatan penambangan. Luas area pit UCE berkisar ± 70Ha. Pada area *low wall* Pit UCE terjadi pergerakan dan menimbulkan munculnya *tension crack* pada permukaan lereng nya. Kondisi lereng terkini dalam kondisi buruk dimana banyak *crack* yang terbentuk disepanjang permukaan lereng. Potensi longsor diperkirakan adalah longsoran busur (*circular failure*).



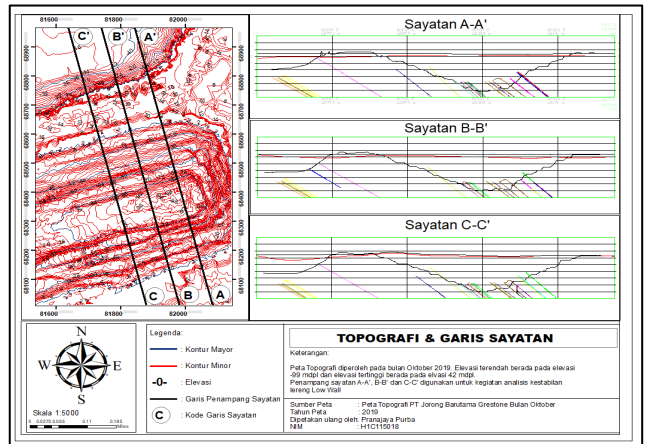
Gambar-3. Kondisi Area Penelitian

Geometri Lereng

Aktivitas penambangan pada Pit UCE telah mencapai kedalaman hampir –100 mdpl dengan kemiringan overall slope pada area *low wall* ± 22°. Sedangkan kemiringan setiap bench berkisar antara 35° - 40°. Dilakukan permodelan geometri lereng dengan metode *cross section*, masing masing diberi kode A-A', B-B' dan C-C'.

Tabel-1. Geometri Lereng

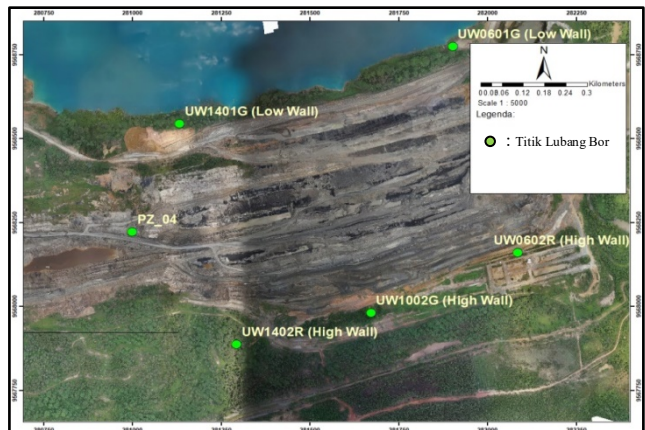
Geometri Lereng	ID	Face Angle (°)	Bench Width (m)	Bench Height (m)	Overall Slope Angle (°)	Overall Slope Height (m)
	A	35	20.00	11.20		
	B	35	16.30	5.10		
	C	24	9.30	21.00		
	D	37	11.50	18.70		
	E	37	31.00	20.00		
	F	28	30.00	19.60		



Gambar-4. Topografi dan Sayatan

Muka Air Tanah

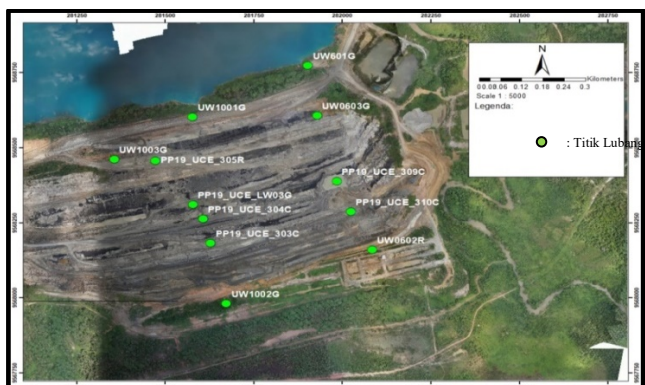
Ketinggian muka air tanah diperoleh dari pengukuran piezometer. Ketinggian muka air tabah kemudian divariasikan hingga kondisi lereng jenuh total.



Gambar-5. Titik pengukuran piezometer

Titik Pemboran dan Litologi

Secara umum litologi massa batuan pada area *low wall* tersusun oleh batupasir, batulanau, batulempung, dan batubara. Berdasarkan kondisi aktual dilapangan, batuan penyusun lereng *low wall* tersebut di dominasi oleh batupasir dengan kondisi material batupasir lepas dan perpaduan antara batupasir dan lanau maupun lempung.



Gambar-6. Titik Pemboran

Material Properties

Material properties yang digunakan merupakan hasil uji laboratorium. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel-2. Material Properties

Litologi	Total Unit Weight γ (T/m ³)	Shear Strength				Average	
		C _{peak} (kN/m ²)	ϕ _{peak} (degree)	C _{residual} (kN/m ²)	ϕ _{residual} (degree)	C _{avg} (kN/m ²)	ϕ _{avg} (degree)
Carbonaceous Claystone	1.88	107.35	34.37	71.75	13.91	89.55	24.14
Claystone	2.00	133.26	23.33	97.93	8.08	115.60	15.71
Clayey Sandstone	2.12	130.89	32.86	44.32	19.38	87.60	26.12
Clayey Siltstone	2.17	69.89	30.67	20.72	22.21	45.30	26.44
Coal	1.50	1,694.10	33.77	521.72	17.06	150.00	30.00
Loose Sand	2.13	10.91	37.66	8.58	33.38	9.75	35.52
Sandstone	2.20	148.69	32.07	57.64	18.46	103.12	25.26
Sandy Claystone	2.14	218.06	23.09	79.97	15.24	148.01	19.16
Sandy Siltstone	2.24	84.63	25.57	57.22	17.08	70.92	21.32
Siltstone	2.13	92.04	30.90	80.23	11.09	86.13	20.99
Silty Claystone	2.09	97.01	21.15	74.17	9.80	85.59	15.47
Silty Sandstone	2.17	132.93	26.40	74.69	15.39	103.81	20.89
Soft Clay	1.50	17.27	9.02	9.95	4.90	13.61	6.96

Analisis terhadap faktor keamanan lereng dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Rocscience Slide v 6.0.

Metode dan Input Parameter

Analisis terhadap faktor keamanan pada perangkat lunak slide dimulai dengan pengaturan proyek dan memilih metode yang akan digunakan. Metode yang digunakan adalah Mogenstern-Prince, Water Surface dan Surface Type (jenis permukaan longsor). Geometri lereng material properties, water table selanjutnya di input kedalam perangkat lunak Slide.

Analisis Faktor Keamanan Awal

- ✓ Penampang sayatan A-A', B-B' dan C-C',
- ✓ Parameter kuat geser *peak shear strength*,
- ✓ Ketinggian MAT berdasarkan pengukuran piezometer. Nilai FK yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Faktor Keamanan Awal

Penampang	Tinggi Lereng Overall (m)	Kemiringan Overall Lereng (°)	FK
A-A'	113	23	1.884
B-B'	114	22	1.870
C-C'	114	22	1.891

Perbandingan FK Awal dengan Kondisi Lereng Aktual

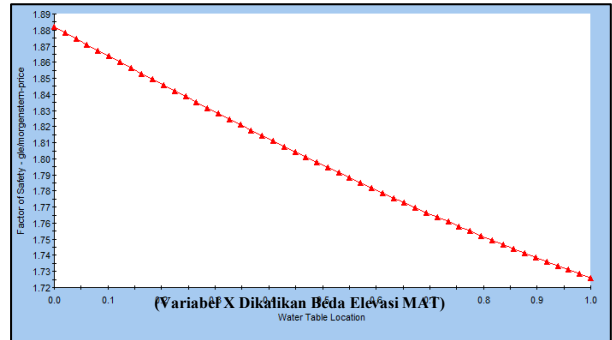
Kondisi lereng *low wall* aktual menunjukkan adanya pergerakan pada lereng dan munculnya *tension crack* pada permukaannya. Berdasarkan kondisi tersebut dapat diasumsikan bahwa FK aktual lereng adalah < 1. Sedangkan hasil analisis yang dihasilkan menunjukkan FK lereng 1.779 sampai 1.835. Ditemukan ketidaksesuaian antara hasil analisis dengan kondisi aktual dilapangan. Analisis dilanjutkan dengan melakukan koreksi terhadap parameter digunakan.

Pengaruh Ketinggian Muka Air Tanah Terhadap Faktor Keamanan

Untuk mengetahui pengaruh ketinggian muka air tanah terhadap faktor keamanan maka dilakukan variasi terhadap data elevasi water table, sedangkan geometri dan material properties tetap. Analisa dilakukan pada penampang sayatan B-B'.

Tabel-4. Pengaruh Ketinggian MAT Terhadap FK

Ketinggian MAT (MSL)	FK
Jenuh (+7)	1.723
+6	1.745
+5	1.780
+4	1.811
+3	1.839
Piezometric Record (+2)	1.870



Gambar-7. Grafik Statistic Sensitivity Plot Rocscience Slide v6.0

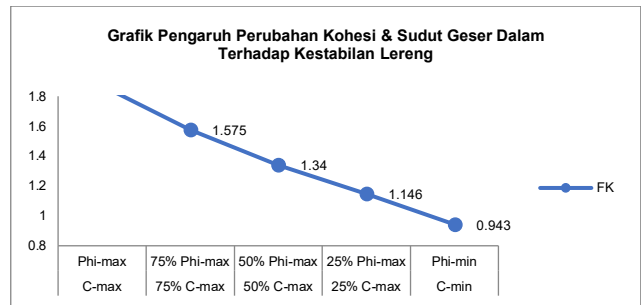
Pengaruh Kuat Geser Terhadap Faktor Keamanan

Untuk mengetahui pengaruh kohesi terhadap faktor keamanan maka parameter kohesi divariasikan. Nilai kohesi divariasikan dengan 2 cara yaitu:

- ✓ Secara manual; Dengan penurunan per 25% dari nilai kuat geser puncak (peak shear strength) hingga nilai kuat geser sisa (residual shear strength)
- ✓ Statistik; Dengan menggunakan *statistic sensitivity plot*, maka nilai kuat geser setiap material akan divariasikan secara otomatis dengan rentang data (range) nilai kohesi puncak (peak) hingga nilai kohesi sisa (residual) dan nilai sudut geser dalam puncak (peak) hingga nilai sudut geser dalam sisa (residual)

Manual

Dari hasil analisis dengan data variasi kuat geser, maka diperoleh hasil bahwa semakin tinggi nilai kuat geser maka semakin tinggi nilai Faktor Keamanan. Perubahan parameter kuat geser yang divariasikan dari nilai tertinggi (peak shear strength) hingga nilai terendah (residual shear strength) masing masing diberi kode kohesi (Cmax hingga Cmin) dan kode sudut geser dalam (Phi max hingga Phi min).



Gambar-8. Grafik Pengaruh Kuat Geser Terhadap FK

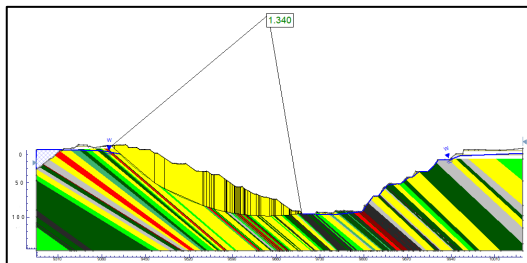
Tabel-5. Pengaruh Kuat Geser Terhadap FK

Variasi Kohesi dan Sudut Geser Dalam		FK
Kohesi	Sudut Geser Dalam	
C-max (peak)	Phi-max (peak)	1.870
75% C-max	75% Phi-max	1.575
50% C-max	50% Phi-max	1.340
25% C-max	25% Phi-max	1.146
C-min (residual)	Phi-min (residual)	0.943

▪ **Sensitivity Plot**

Sensitivity plot menganalisis perubahan setiap parameter secara individual (per litologi). Dimana nilai parameter material yang divariasikan merupakan nilai maximum hingga nilai minimum. Ketika analisis dilakukan, FK pertama yang dimunculkan merupakan FK berdasarkan parameter dengan nilai rata (mean) dan kemudian menyusul analisis berdasarkan range data maximum hingga minimum. Pada saat variasi maximum-minimum suatu material (litologi) dianalisa, parameter lain akan tertahan pada nilai rata ratanya. Sehingga nilai paling kritis tidak akan dihasilkan.

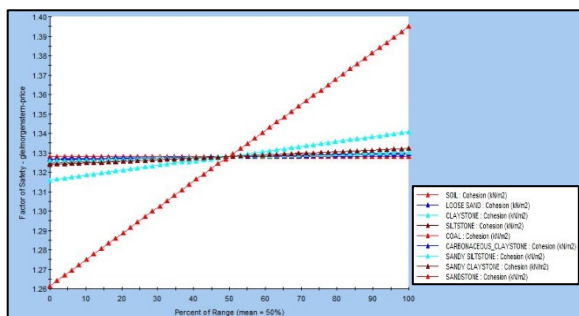
Analisis dilakukan dengan input parameter kuat geser rata rata, rentang data terhadap nilai terendah (rel.min) dan rentang data terhadap data tertinggi (rel.max). Sedangkan geometri dan ketinggian MAT tetap.



Gambar-9. Analisis Kestabilan Lereng

Dengan menggunakan statistic sensitivity plot, nilai faktor keamanan yang dihasilkan adalah 1.340. Untuk mengetahui pengaruh perubahan kohesi dan sudut geser dalam terhadap kestabilan lereng, maka diperoleh grafik *sensitivity plot* sebagai berikut.

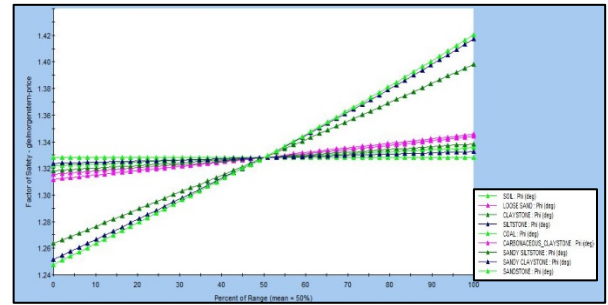
– Kohesi



Gambar-10. Sensitivity Plot Cohesion

Berdasarkan grafik diatas, diketahui bahwa perubahan nilai FK yang paling dominan ditunjukkan pada grafik litologi pasir (sandstone). Perubahan nilai kohesi *sandstone* dari 148,5kN/m² (peak) – 57,64kN/m² (residual) menunjukkan rentang perubahan nilai FK dari 1,395 - 1,261.

– Sudut Geser Dalam



Gambar-11. Sensitivity Plot Friction Angle

Berdasarkan grafik diatas, diketahui bahwa perubahan nilai FK yang paling dominan ditunjukkan pada grafik litologi pasir (sandstone), lempung (claystone) dan lanau (siltstone).

- ✓ Perubahan nilai sudut geser dalam *sandstone* dari 32,07° (peak) - 18,46° (residual) menunjukkan rentang perubahan nilai FK dari 1,420 – 1,248.
- ✓ Perubahan nilai sudut geser dalam *claystone* dari 23.33° (peak) - 8.08° (residual) menunjukkan rentang perubahan nilai FK dari 1,398 – 1,264.
- ✓ Perubahan nilai sudut geser dalam *siltstone* dari 30,90° (peak) - 11,09° (residual) menunjukkan rentang perubahan nilai FK dari 1,417 – 1,252.

Perbaikan Faktor Keamanan

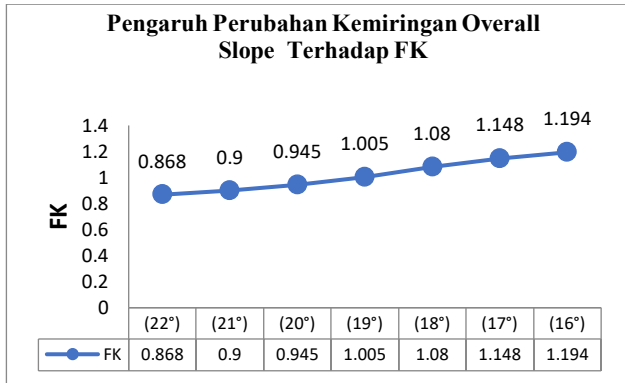
Dari kegiatan analisis yang telah dilakukan, diketahui bahwa faktor penyebab ketidakstabilan lereng terdiri dari perubahan MAT dan yang paling utama disebabkan oleh perubahan nilai kuat geser material. Maka untuk perbaikan nilai faktor keamanan diperlukan perlakuan terhadap material. Tindakan yang dapat dilakukan dapat berupa perkuatan, penyanggaan dan perubahan geometri lereng.

Dalam penelitian ini, maka dilakukan perubahan terhadap geometri lereng. Perubahan terhadap geometri lereng yang dilakukan adalah dengan merubah sudut kemiringan *overall slope*. Perubahan *overall slope* merupakan langkah dasar dalam memodelkan geometri lereng yang lebih kompleks.

Untuk mencegah resiko ketidakstabilan lereng lebih lanjut, maka analisis dilakukan dengan menggunakan parameter pada kondisi paling kritis. Dimana ketinggian MAT adalah pada kondisi jenuh (+7 MSL), parameter kuat geser adalah kuat geser sisa (residual shear strength), dan geometri lereng merupakan lereng tunggal. Sehingga diharapkan apabila hasil analisis perbaikan FK lereng diterapkan secara aktual, dapat bertahan dalam kondisi kritis tersebut.

Tabel-6. Pengaruh Kemiringan Overall Slope Terhadap Kemiringan

Variasi Kemiringan Overall Slope	FK
(22°)	0.868
(21°)	0.9
(20°)	0.945
(19°)	1.005
(18°)	1.08
(17°)	1.148
(16°)	1.194



Gambar-12. Grafik Pengaruh Perubahan Sudut Kemiringan Lereng Overall Slope Terhadap Kestabilan Lereng

KESIMPULAN

1. Nilai FK lereng *low wall* hasil analisis awal tidak sesuai dengan kondisi lereng aktual. Kondisi lereng dalam kondisi kritis dimana $FK < 1$ sedangkan hasil analisis menunjukkan FK pada masing masing penampang sayatan yang dianalisis: A-A' FK 1,805 ; B-B' FK 1.779 ; C-C' FK 1.835
2. Dari hasil analisis pengaruh perubahan ketinggian MAT terhadap FK diketahui bahwa semakin tinggi MAT (semakin jenuh) maka FK semakin rendah. Analisis berdasarkan variasi ketinggian MAT secara manual dan sensitivity plot menunjukkan rentang perubahan nilai FK (dari kondisi jenuh hingga ketinggian MAT berdasarkan *record* piezometer) yang sedikit berbeda.
3. Dari hasil analisis pengaruh perubahan nilai parameter kuat geser terhadap FK diketahui bahwa semakin tinggi nilai kuat geser maka semakin tinggi nilai FK lereng, dimana:
 - ❖ Berdasarkan variasi data secara manual menunjukkan perubahan nilai FK, seperti tertera pada tabel 5.
 - ❖ Berdasarkan grafik sensitivity plot maka, pengaruh nilai kuat geser dibagi menjadi 2 yaitu:
 - ✓ Kohesi; Perubahan nilai kohesi litologi pasir (sandstone) paling mempengaruhi perubahan nilai FK
 - ✓ Sudut geser dalam; Perubahan nilai sudut geser dalam litologi pasir (sandstone), lempung (claystone) dan lanau (siltstone) sangat mempengaruhi perubahan nilai FK
 - ❖ Berdasarkan grafik pengaruh perubahan kemiringan sudut lereng *overall slope* terhadap FK, diketahui bahwa semakin landai lereng maka nilai FK semakin tinggi. Berdasarkan KEPMEN ESDM Nomor 1827 K 30 MEM 2018, kriteria kestabilan lereng keseluruhan (*overall slope*) yang dapat diterima adalah $FK \geq 1,1$,yaitu pada sudut kemiringan lereng *overall slope* $< 18^\circ$.

Saran yang diberikan berdasarkan penelitian ini antara lain:

1. Perlu dilakukan perbaruan terhadap data parameter kuat geser baik dengan pengujian laboratorium atau

menggunakan data hasil analisis balik, dimana data tersebut akan digunakan dalam kegiatan analisis dalam perencanaan desain lereng berikutnya.

2. Perbaikan terhadap FK lereng dengan mengubah geometri lereng *low wall* dan mempertimbangkan penurunan MAT dengan metode yang tepat.
3. Pemantauan berkala terhadap lereng *low wall*, pemetaan luas area terdampak, pemasangan tanda rambu disekitar area potensial terdampak, menghindari penggunaan lereng *low wall* sebagai *hauling road*, membuat drainase permukaan untuk mencegah genangan air, serta menurunkan intensitas kegiatan disekitar area *toe low wall* sebelum diberikan upaya peningkatan faktor keamanan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anaperta Yoszi Mingsi. 2017. *Evaluasi Kestabilan Lereng Tambang Di Pit Tambang Air Laya (TAL) Barat Sekuen Januari 2017 Penampang C-C'*. Pt. Bukit Asam (Persero) Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Universitas Negeri Padang. Padang.
- [2] Arif, I. 2016. *Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. PT Gramedia Pustaka Utama. Hal. 4-6, 24-27, 105-106, 169-181, 134-135, 223-262. Jakarta.
- [3] Arief, Saifudin. 2008. *Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan*. Sorowako.
- [4] Das, B. M. 1993. *Mekanika Tanah. (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid I Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [5] Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Pd T-09-2005-B Rekayasa Penanganan Keruntuhan Lereng Pada Tanah Residual dan Batuan*. Departemen Pekerjaan Umum. Hal 13. Jakarta.
- [6] Hoek, E and Bray, J.W. 1983. *Rock Slope Engineering. The Institution of Mining and Metallurgy*. 3rd edition : London.
- [7] Rai, M. A, Kramadibrata S. dan Wattimena R. K.. 2011. *Mekanika Batuan*. Program Studi Teknik Pertambangan Institut Teknologi Bandung. Hal. 293-297. Bandung.
- [8] Takwin, G. A., Turangan A. E., dan Rondonuwu G.S.. 2017. *Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price (Studi Kasus: Diamond Hill Citraland)*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi. Hal. 68. Manado.
- [9] Wyllie, D. C. & Mah C. W.. 2004. *Rock Slope Engineering Civil and Mining (4th Edition)*. Spon Press Taylor & Francis Group. P. 188-191. New York.