

Analisis Kestabilan Lereng pada Blok Timur Tambang Muara Tiga Besar Utara PT. Bukit Asam Tbk, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan

Andryan Febriadi^{1,*}, Yoszi Mingsi Anaperta^{1**}.

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*andryanfebriadi110@gmail.com

**yosziperta@ft.unp.ac.id

Abstract. PT Bukit Asam Tbk is a coal mining industrial sector corporation which is located in Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Pit of Muara Tiga Besar Utara (MTBU) utilized *open pit* mining system which needs a calculation and analysis of slope stability. Slope stability analysis was used to find out the actual condition of this slope area and to evaluate sequence design of mining plan. This slope stability analysis applied limit equilibrium method (Morgenstern-Price) and Monte Carlo's simulation for probabilistic analysis. Then sensitivity analysis is also performed to find out the influential parameter in slope stability. In this research, the slope stability was conducted by implementing A-A' and B-B' cross sections which represent the condition of highwall, lowwall and sidewall. Results of slope stability based on the actual topography condition were FS 1.34 and PF 1.9% for overall slope highwall, FS 2.28 and PF 0% for overall slope lowwall, FS 1.89 and PF 0% for overall slope sidewall. Then, the result of sensitivity analysis showed that saturated density parameter, phi and water table are the influential parameter to the slope stability. Meanwhile, cohesion doesn't have any significant influence. The result of probability and sensitivity analysis obtained that slope is safe and appropriate with slope stability threshold value.

Keywords: MTBU, Slope stability, Probability analysis, Morgenstern -Price, Monte Carlo

1 Pendahuluan

PT Bukit Asam Tbk merupakan Badan Usaha Milik Negara yang bergerak di bidang industri pertambangan batubara yang berpusat di Tanjung Enim, Sumatera Selatan. PT Bukit Asam Tbk memiliki tiga lokasi penambangan pada Unit Penambangan Tanjung Enim (UPTE) yaitu Tambang Air Laya (TAL), Muara Tiga Besar Utara (MTBU), dan Penambangan Bangko Barat (PBB).

Lokasi penelitian dilakukan di penambangan Muara Tiga Besar Utara (MTBU) yang menggunakan sistem penambangan *open pit*, dimana penambangan *open pit* sangat membutuhkan perlakuan dari perhitungan dan analisis kestabilan lereng. Hal ini disebabkan karena kegiatan penambangan yang berkaitan dengan peningkatan produksi mengakibatkan adanya pelebaran dan pendalaman penggalan. Sehingga semakin lebar dan dalam tambang terbuka maka resiko ketidakpastian faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng juga akan bertambah besar. Maka secara langsung akan memberikan gangguan terhadap massa batuan yang

awalnya stabil, sehingga membutuhkan analisis perhitungan yang baik agar menghindari terjadinya kelongsoran.

Kondisi aktual lereng-lereng pada blok timur dibulan berdasarkan pantauan alat monitoring *Robotic Total Station (RTS)* terdapat beberapa kali terjadinya pergerakan. Umumnya pergerakan yang terjadi termasuk ke dalam katategori Siaga 3 dan Siaga 2 dengan pergerakan 0 - 50 mm/hari dan 50 mm/hari - 50 mm/10 jam. Adanya pergerakan pada lereng tambang merupakan suatu indikasi akan terjadinya longsor.

Area *lowwall* yang berhubungan langsung dengan *front* penambangan terdapat beberapa kali adanya pergerakan. Selain itu terdapat lereng *single slope* yang cukup tinggi yaitu ± 60 meter dan pada *crest* lereng ini merupakan jalan angkut utama bahan galian (*ramp*). Kondisi *Lowwall* blok timur tambang MTBU dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Kondisi *Lowwall* Blok Timur Tambang MTBU

Untuk lereng *sidewall* berdasarkan alat monitoring RTS juga terpantau beberapa kali terjadi pergerakan sehingga memerlukan analisa terhadap kestabilan lereng. Sedangkan untuk sisi *highwall* masih terpantau stabil karena dari hasil monitoring periodik pada sisi ini tidak ada terjadi pergerakan yang mengindikasikan akan terjadinya longsor. Kondisi *Sidewall* dan *Highwall* blok timur tambang MTBU dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 berikut.



Gambar 2. Kondisi *Sidewall* Blok Timur Tambang MTBU



Gambar 3. Kondisi *Highwall* Blok Timur Tambang MTBU

Stabilitas lereng menjadi sesuatu yang sangat penting untuk diketahui karena berhubungan langsung dengan aktivitas penambangan setiap harinya. Longsornya lereng yang terdapat jalan angkut utama di dalamnya dan juga adanya aktivitas penggalian material baik itu *overburden* maupun batubara dapat mempengaruhi kelancaran aktivitas produksi penambangan bahkan dapat membahayakan jiwa dan merusak peralatan yang ada.

Dalam usaha untuk mendukung tercapainya produksi batubara dan menjamin keamanan kerja pada tambang MTBU khususnya pada blok timur, maka dibutuhkan rekayasa geoteknik untuk perancangan lereng *highwall*,

lowwall, dan *sidewall* yang stabil. Perancangan lereng memuat nilai Faktor Keamanan (*Safety Factor*) dan Probabilitas Kelongsoran (*Probability of Failure*). Dengan menggunakan metode probabilistik nilai faktor keamanan desain lereng dapat dioptimasi oleh probabilitas kelongsoran sehingga dapat memberikan keyakinan terhadap desain lereng tersebut.

2 Kajian Teori

2.1 Kestabilan Lereng

Dalam keadaan tidak terganggu (alamiah), massa batuan berada pada kesetimbangan gaya. Namun dengan adanya aktivitas penggalian mengakibatkan terjadinya perubahan gaya. Longsor merupakan salah satu akibat dari perubahan gaya serta suatu reaksi dalam mencari kesetimbangan baru, hal tersebut terjadi karena gaya-gaya yang cenderung menyebabkan material lereng untuk bergerak kebawah (gaya penggerak) seperti gaya gravitasi, gaya tekan oleh air maupun adanya pembebanan pada permukaan lereng, lebih besar dari pada gaya-gaya penahan terjadinya longsor seperti gaya gesek, kohesi atau kekuatan material.^[1,2]

Untuk menyatakan atau memberikan bobot (tingkat) kestabilan suatu lereng, dikenal istilah Faktor Keamanan (*Safety Factor*). Faktor keamanan diperlukan untuk mengetahui kemantapan suatu lereng dalam mencegah bahaya longsor di waktu-waktu yang akan datang. Kestabilan lereng secara sederhana dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK), yang didefinisikan sebagai berikut :

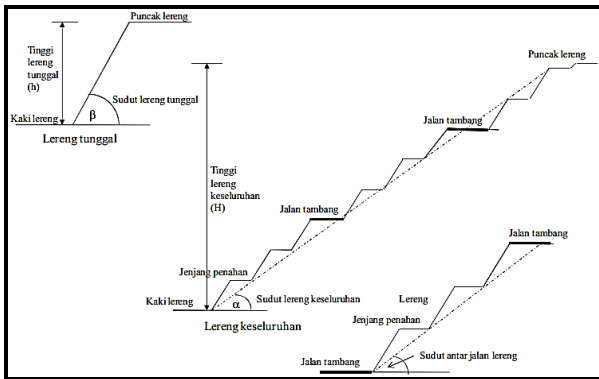
$$\text{Faktor Keamanan (FK)} = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \quad (1)$$

2.2 Kelongsoran Lereng

Adanya penggalian untuk penambangan menyebabkan terjadinya distribusi tegangan baru. Hilangnya *overburden* juga akan menyebabkan berkurangnya tegangan vertikal, munculnya rekahan akibat penghilangan tegangan, dan terbukanya kekar-kekar sehingga nilai kohesi dan sudut gesek dalam tanah dan batuan menurun. Air tanah juga dapat dengan mudah melewati rekahan-rekahan yang ada dan menyebabkan turunnya tegangan normal efektif pada bidang-bidang yang berpotensi runtuh. Semakin dalam tambang digali, zona tanpa tegangan ini akan semakin besar sehingga runtuh dapat menjadi lebih buruk.^[3]

Tambang terbuka tersusun atas sekumpulan lereng yang terdiri dari lereng tunggal (*single slope*) dan lereng keseluruhan (*overall slope*) dengan dimensi tinggi dan sudut tertentu. Tinggi lereng adalah jarak vertikal dari bidang kaki (*toe*) hingga puncak lereng (*crest*), sedangkan sudut lereng adalah sudut yang dibuat antara garis yang menghubungkan kaki dan puncak lereng dengan garis horizontal. Pada lereng keseluruhan juga terdapat daerah yang menghubungkan antar lereng

dikenal dengan jenjang penahan (*catch berm*) dan bagian lereng untuk jalan tambang yang disebut *ramp*.^[3-4]

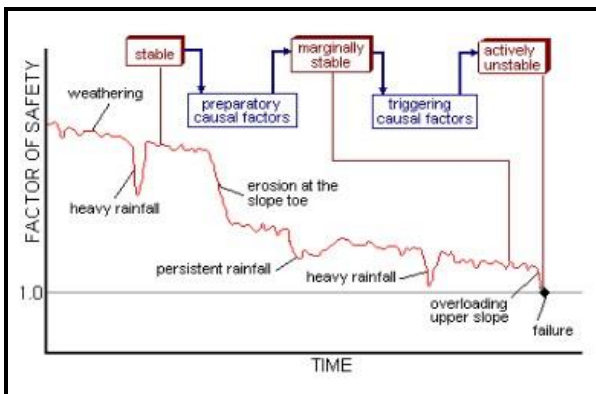


Gambar 4. Bagian-bagian Lereng pada Tambang Terbuka

2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng akan bervariasi sepanjang waktu. Hal ini antara lain disebabkan adanya musim hujan dan musim kering sehingga terdapat perubahan musiman dari permukaan air tanah atau terjadi perubahan kekuatan geser material yang diakibatkan oleh proses pelapukan. Penurunan kestabilan lereng juga dapat terjadi secara drastis apabila terjadi perubahan yang tiba-tiba, seperti hujan lebat dengan intensitas yang tinggi, erosi pada kaki lereng atau pembebanan pada permukaan lereng.^[5]

Ilustrasi terhadap adanya variasi atau perubahan kondisi kestabilan lereng dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah berikut.



Gambar 5. Variasi dari Faktor Keamanan Terhadap Waktu

2.3.1 Geometri Lereng

Geometri lereng mencakup tinggi dan sudut kemiringan lereng. Semakin besar kemiringan dan tinggi lereng, kestabilan lereng akan semakin berkurang sehingga lereng cenderung semakin mudah longsor.^[6]

2.3.2 Aktivitas Manusia

Aktivitas seperti pengalihan, pembuatan jalan tambang, dan bendungan menyebabkan perubahan keseimbangan gaya-gaya dalam sehingga akan menyebabkan

bertambahnya gaya geser dan mengurangi kestabilan lereng.

2.3.3 Struktur Geologi

Struktur yang dimaksud meliputi sesar (*fault*), kekar (*joint*), perlipatan (*fold*), bidang perlapisan (*bedding plane*), dan rekahan (*crack*). Struktur merupakan bidang-bidang lemah sekaligus sebagai tempat merembesnya air sehingga dapat menurunkan kestabilan lereng.

2.3.4 Keberadaan Air

Keberadaan air, terutama air tanah (*ground water*) sangat mempengaruhi kestabilan suatu lereng. Air tanah memiliki tekanan air pori (*pore water pressure*) yang dapat menimbulkan gaya angkat (*uplift force*) sehingga menurunkan kekuatan geser dan mengakibatkan lereng mudah longsor.

2.3.5 Sifat Fisik dan Mekanik Tanah dan Batuan

2.3.5.1 Sifat Fisik

Sifat fisik yang mempengaruhi kestabilan lereng antara lain bobot isi, porositas, dan kandungan air.

2.3.5.1.1 Bobot Isi

Bobot isi mempengaruhi besarnya beban pada permukaan bidang longsor. Semakin besar bobot isi, semakin besar gaya penggerak yang menyebabkan lereng tidak stabil.

2.3.5.1.2 Porositas

Material yang memiliki porositas besar memiliki kemampuan besar untuk menyerap air sehingga mengalami peningkatan bobot isi. Peningkatan bobot isi akan menurunkan kestabilan lereng.

2.3.5.1.3 Kandungan Air

Kandungan air berpengaruh terhadap tekanan air pori. Semakin besar kandungan air, tekanan air pori akan semakin besar sehingga menurunkan kekuatan geser dan mengakibatkan lereng mudah longsor.

2.3.5.2 Sifat Mekanik

Selain dipengaruhi oleh sifat fisik, kestabilan lereng juga dipengaruhi oleh sifat mekanik tanah dan batuan, seperti kuat tekan, kuat tarik, dan kuat geser. Semakin besar kekuatan tanah dan batuan, maka lereng akan semakin stabil dan tidak mudah longsor.

2.3.6 Gaya-gaya Luar

Gaya-gaya dari luar yang umum mempengaruhi kemantapan lereng antara lain gaya yang diakibatkan oleh gempa, aktivitas peledakan, dan pembebanan.

Adanya gaya-gaya dari luar akan memperbesar tegangan geser dan menurunkan kondisi kestabilan lereng.

2.3.7 Iklim

Iklim berpengaruh pada perubahan temperatur. Temperatur yang cepat sekali berubah akan mempercepat proses pelapukan dan mengakibatkan lereng mudah longsor.

2.4 Ketidakpastian dalam Desain Lereng

Kesulitan dalam menentukan sudut lereng yang bisa diterima disebabkan oleh adanya ketidakpastian yang berkaitan dengan stabilitas lereng. Ketidakpastian tersebut diakibatkan adanya variabilitas acak dari aspek yang dianalisis atau ketidaktahuan terhadap aspek tersebut. Pengambilan data lapangan dan penyelidikan lokasi digunakan untuk mengurangi ketidakpastian dan mengetahui variabilitas alami.^[7]

Tabel 1 berikut menyajikan sumber- sumber utama ketidakpastian desain lereng, yang dipertimbangkan selama proses disain lereng dan beberapa pendekatan yang berbeda.

Tabel 1. Sumber-sumber Ketidakpastian dalam Lereng

Aspek Lereng	Sumber Ketidakpastian
Geometri	Topografi, Geologi/Struktur, Muka air tanah (MAT)
Karakteristik	Kuat Geser, Deformasi, Konduktivitas Hidraulik
Beban (Gaya Pengganggu)	Tegangan insitu, peledakan, gempa Bumi
Prediksi Kelongsoran	Reliabilitas model

2.5 Jenis Longsoran Lereng

2.5.1 Longsoran Bidang (Plane Failure)

Longsoran bidang merupakan suatu longsoran batuan yang terjadi sepanjang bidang luncur yang dianggap rata. Bidang luncur tersebut dapat berupa bidang kekar, rekahan (*joint*) maupun bidang pelapisan batuan.^[9-10]

2.5.2 Longsoran Baji (Wedge Failure)

Longsoran baji dapat terjadi pada suatu batuan jika terdapat lebih dari satu bidang lemah yang saling berpotongan. Sudut perpotongan itu harus lebih besar dari sudut geser dalam batuanannya tetapi lebih kecil dari sudut kemiringan lereng.

2.5.3 Longsoran Guling (Toppling Failure)

Longsoran guling umumnya terjadi pada lereng terjal dan batuan keras dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom. Longsoran guling terjadi apabila bidang-bidang lemah yang ada berlawanan dengan kemiringan bidang longsor.

2.5.4 Longsoran Busur (Circular Failure)

Longsoran busur berbeda dengan tipe longsoran lain yang dikontrol oleh struktur geologi seperti adanya bidang pelapisan dan joint. Batuan dengan tingkat alterasi dan pelapukan tinggi serta memiliki orientasi bidang diskontinu acak cenderung longsor dalam bentuk busur. Longsoran busur umumnya terjadi pada material tanah atau batuan yang terlapukkan.^[3,8]

2.6 Metode Analisis Kesetimbangan Batas Morgenstern-Price

Metode Morgenstern-Price merupakan salah satu metode kesetimbangan batas yang dikembangkan terlebih dahulu daripada metode kesetimbangan batas umum. Metode ini dapat digunakan untuk semua bentuk bidang runtuh dan telah memenuhi semua kondisi kesetimbangan. Metode Morgenstern-Price menggunakan asumsi yang sama dengan metode kesetimbangan batas umum yaitu terdapat hubungan antara gaya geser antar-irisan dan gaya normal antar-irisan, yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.^[5]

$$X = \lambda f(x) E \quad (2)$$

Dimana : X = Gaya geser antar irisin
 λ = Faktor skala
 f(x) = Sebuah fungsi yang diasumsikan
 E = Gaya normal antar irisan

Prinsip dari perhitungan faktor keamanan dalam metode Morgenstern-Price adalah mencari pasangan nilai faktor keamanan dan faktor skala, sehingga syarat batas pada irisan terakhir dapat dipenuhi. Persyaratan lainnya yang harus dipenuhi adalah tidak ada gaya normal pada dasar irisan yang mempunyai nilai negatif dan semua titik kerja gaya antar irisan harus berada di dalam massa gelincir.

2.6 Analisis Probabilitas Kelongsoran Simulasi Monte Carlo

Metode probabilitas kelongsoran merupakan suatu pendekatan yang mempertimbangkan seluruh variasi yang ada pada parameter masukan yang menghasilkan nilai FK tertentu. Hal ini didasarkan bahwa nilai seluruh parameter masukan acak tersebut memiliki peluang yang sama dalam menghasilkan FK tertentu akibat adanya ketidakpastian dari seluruh parameter masukan. Cara ini lebih merepresentasikan nilai variasi alami yang dimiliki masing-masing parameter masukan mengingat dalam pengambilan data parameter masukan tersebut sangatlah minim dengan pertimbangan biaya uji yang mahal.^[1,3,7]

Probabilitas Kelongsoran juga dinilai memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan FK. Karena FK bersifat kasuistis dan tidak dapat diberlakukan untuk kondisi lereng yang lain. Hasil analisis balik dari beberapa lereng yang diteliti oleh Hoek & Bray bahwa masih terdapat lereng batuan yang longsor meskipun memiliki nilai FK di atas ambang batas.^[7]

Pada metode kesetimbangan batas, nilai FK merupakan rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak, dimana masing-masing parameter merupakan fungsi dari variabel acak yang bersifat taktentu dan berdistribusi probabilitas tertentu, maka sangat cocok penggunaan simulasi monte carlo untuk menyelesaikan permasalahan ketidakpastian pada nilai FK. Metode ini sangat berguna dalam pemecahan permasalahan yang berkaitan dengan variabel acak, selain sederhana juga lebih fleksibel dalam menggabungkan suatu varietas distribusi probabilitas yang cukup besar tanpa banyak penafsiran, hingga didapatkan nilai probabilitas kelongsoran

Probabilitas Kelongsoran (PK) didefinisikan sebagai rasio antara jumlah lereng longsor hasil analisis (FK<1) dengan jumlah total analisis (sampel atau simulasi) yang dinyatakan dalam persen.

$$PK = \frac{\text{numfailed (FK}<1)}{\text{numtotal}} \times 100\% \quad (3)$$

2.7 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas digunakan untuk mengetahui parameter-parameter yang paling berpengaruh terhadap kestabilan lereng. Hal ini perlu diketahui dikarenakan adanya pengaruh ketidakpastian atau variabelitas dari nilai input yang digunakan. Pada analisis sensitivitas, hanya satu variabel yang bervariasi pada satu waktu sedangkan variabel lain dibuat konstan pada satu waktu.

Analisis ini digunakan untuk melihat parameter masukan yang memiliki pengaruh paling dominan terhadap perubahan nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran. Hal ini berguna dalam proses penanganan lereng untuk perencanaan lereng jangka pendek dan jangka panjang.^[7]

3 Metode Penelitian

Penelitian mengenai analisis kestabilan lereng blok timur tambang Muara Tiga Besar Utara PT. Bukit Asam Tbk dilakukan pada bulan November s/d Desember 2019.

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian terapan (*applied research*), yaitu salah satu jenis penelitian yang bertujuan untuk menerapkan ilmu-ilmu yang sudah ada sebelumnya untuk dapat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang ada di lapangan.^[11]

3.2 Tahap Pengumpulan Data

3.2.1 Studi Literatur

Tahap ini dilakukan dengan mempelajari bahan-bahan pustaka yang menunjang diperoleh dari instansi yang terkait, buku-buku, jurnal yang berhubungan dengan penelitian, dan laporan yang relevan.

2.5.2 Observasi Lapangan

Kegiatan observasi lapangan bertujuan untuk mengetahui kondisi lapangan secara langsung. Dari kegiatan observasi di lapangan didapatkan data primer berupa jenis dan karakteristik material lereng, kondisi lereng aktual dan juga muka air tanah (MAT) dari lereng yang akan diteliti. Selanjutnya untuk data yang tidak bisa didapatkan langsung maka penulis menggunakan data sekunder yang didapat dari perusahaan. Meliputi data litologi batuan, data topografi, peta geologi, penampang (*cross section*), data-data geoteknik meliputi bobot isi, kohesi, sudut geser dalam, beban dinamis, muka air tanah, dan getaran hasil peledakan.

3.3 Teknik Analisis Data

Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode kesetimbangan batas yaitu dengan metode Morgenstern-Price. Penyelsaian perhitungan dibantu dengan menggunakan perangkat lunak (*software*), dengan batasan nilai Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK) yang mengacu pada Kepmen ESDM No. 1827 Tahun 2018.

4 Hasil Dan Pembahasan

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada blok timur tambang Muara Tiga Besar Utara yang mana pada lokasi ini terdapat tiga sisi lereng yakni *highwall*, *lowwall*, dan *sidewall* timur. Analisis kestabilan lereng ini dilakukan untuk mengetahui kondisi aktual dari lereng situasi November 2019.

4.2 Hasil Monitoring Lereng

Kegiatan monitoring lereng pada tambang Muara Tiga Besar Utara dilakukan secara periodik dan *real-time*. Lereng *highwall* pada lokasi penelitian di monitor secara periodik sedangkan pada *lowwall* dan *sidewall* di monitor secara *real-time* menggunakan *Robotic Total Station (RTS)*. Alat RTS ini digunakan untuk dapat mengetahui adanya perubahan atau pergerakan dari struktur permukaan lereng akibat adanya kegiatan penambangan.

Hasil monitoring RTS diklasifikasikan atas tiga kategori berdasarkan atas tingkat defromasi yang terjadi. Secara lebih rinci klasifikasi hasil pengukurannya RTS dapat dilihat pada Tabel 2. Kemudian untuk resume hasil monitoring lereng *lowwall* dan *sidewall* blok timur tambang MTBU bulan November 2019 dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 2. Klasifikasi Tingkat Aman RTS

Kategori	Siaga 3	Siaga 2	Siaga 1
Ambang Batas Deformasi	0 - 50 mm/hari	50 mm/hari - 50 mm/10 jam	50 mm/10 jam atau 5 mm/jam atau 4 mm/jam atau 3 mm/15 menit
Tindakan	Monitoring secara berkala sesuai kecepatan pergerakan dan melakukan upaya stabilisasi	Monitoring setiap jam dan memasang rambu waspada longsor	Evakuasi keluar dari area longsor

Tabel 3. Hasil Monitoring RTS Bulan November 2019

No.	Tanggal	Waktu	Area	Kondisi	Status
1.	31 Oktober - 1 November 2019	18.00 - 06.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 3	Aman
2.	3 November - 3 November 2019	06.00 - 18.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 3	Aman
3.	3 November - 4 November 2019	18.00 - 06.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 3	Aman
4.	5 November - 6 November 2019	18.00 - 06.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 3	Aman
5.	6 November - 7 November 2019	18.00 - 06.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 3	Aman
6.	10 November - 11 November 2019	18.00 - 06.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 3	Aman
7.	11 November - 12 November 2019	18.00 - 06.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 3	Aman
8.	13 November - 13 November 2019	06.00 - 18.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 3	Aman
9.	13 November - 14 November 2019	18.00 - 06.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 3	Aman
10.	14 November - 15 November 2019	18.00 - 06.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 3	Aman
11.	15 November - 16 November 2019	18.00 - 06.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 2	Waspada
12.	18 November - 19 November 2019	18.00 - 06.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 3	Aman
13.	20 November - 20 November 2019	18.00 - 06.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 3	Aman
14.	21 November - 21 November 2019	06.00 - 18.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 3	Aman
15.	21 November - 21 November 2019	18.00 - 06.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 3	Aman
16.	22 November - 23 November 2019	18.00 - 06.00	Lowwall	Siaga 2	Waspada
			Sidewall	Siaga 2	Waspada
17.	24 November - 24 November 2019	06.00 - 18.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 3	Aman
18.	29 November - 30 November 2019	18.00 - 06.00	Lowwall	Siaga 3	Aman
			Sidewall	Siaga 3	Aman

4.3 Permodelan Lereng

Permodelan lereng yang akan dianalisis menggunakan parameter-parameter masukan berupa geometri, sifat fisik dan mekanik batuan, muka air tanah, beban seismik, dan beban dinamis dari alat berat. Permodelan lereng diharuskan dapat menggambarkan dan mewakili keadaan lereng sebenarnya (aktual) di lapangan. Adapun parameter-parameter masukan dalam analisis kestabilan lereng terdiri sebagai berikut.

4.1.1 Penampang Lereng (Cross Section)

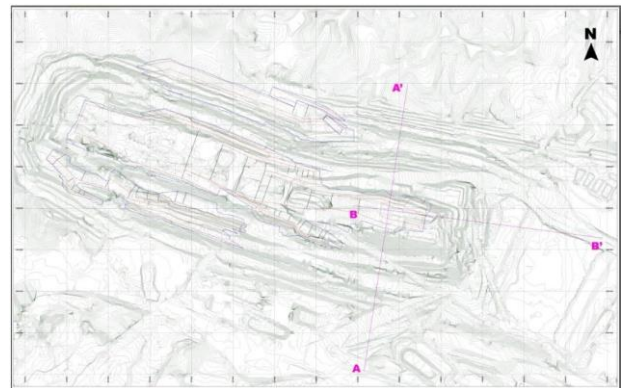
Analisis kestabilan lereng memerlukan data penampang (*cross section*) yang digunakan sebagai bentuk permodelan untuk dapat mengetahui geometri lereng dan lapisan-lapisan material pada lereng. Kemudian data penampang ini disesuaikan dengan inspeksi geoteknik di lapangan.

Pada penelitian ini penampang yang digunakan yakni penampang A-A' dan penampang B-B'. Penampang A-A' Penampang A-A' ini meliputi sisi *highwall* dan sisi *lowwall* sedangkan untuk penampang B-B' memuat sisi *sidewall* timur tambang MTBU. Koordinat kedua penampang ini dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Koordinat *Cross Section*

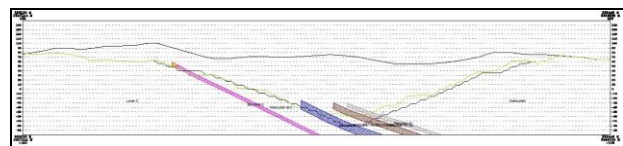
No	Penampang	Koordinat
1	Penampang A-A'	358230 E / 9587214 N - 358440 E / 9589598 N
2	Penampang B-B'	358179 E / 9588012 N - 259378 E / 9587856 N

Peta topografi dan lokasi penampang A-A' dan B-B' dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.

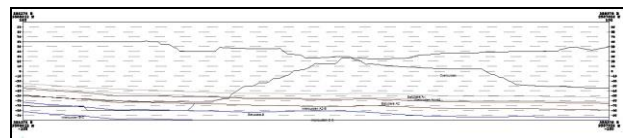


Gambar 6. Peta Topografi dan Lokasi Penampang

Berdasarkan hasil eksplosasi yang dilakukan oleh PT. Bukit Asam, litologi batuan pada area penampang ini terdiri dari *Overburden (Clay Siltstone)*, *Seam A1 (Coal)*, *Interburden A1-A2 (Tuffaceous Sandstone)*, *Seam A2 (Coal)*, *Interburden A2-B (Sandy Silty Claystone)*, *Seam B (Coal)*, *Interburden B-C (Silty Sandstone)*, *Seam C (Coal)*, *Lower C (Sandy Silty Claystone)*, dan material timbuan. Litologi batuan dapat dilihat pada penampang A-A' Gambar 7 dan penampang B-B' Gambar 8 berikut.



Gambar 7. Penampang A-A'



Gambar 8. Penampang B-B'

4.1.2 Sifat Fisik dan Mekanik Material

Parameter sifat fisik dan sifat mekanik material yang digunakan untuk mengetahui kestabilan lereng didapatkan dari hasil pengujian laboratorium mekanika tanah PT. Bukit Asam Tbk. Dimana sampel yang digunakan merupakan material hasil pengeboran coring geoteknik.

Pada penelitian ini nilai parameter yang digunakan ialah nilai bobot isi jenuh batuan (γ_w) dengan satuan kN/m^3 , nilai kohesi (c) puncak (*peak*) dan residual dengan satuan kpa, dan nilai sudut geser dalam (ϕ) puncak (*peak*) dan residual dengan satuan derajat ($^\circ$). Nilai kohesi dan sudut geser dalam residual digunakan untuk material batubara sedangkan untuk material selain batubara menggunakan nilai kohesi dan sudut geser dalam puncak (*peak*).

Nilai-nilai parameter sifat fisik dan mekanik ini kemudian diolah dengan menggunakan bantuan *software* Microsoft-Excel untuk mendapatkan nilai *statistic descriptive* dari data yang akan digunakan. Hasil analisis statistik deskriptif bobot isi jenuh material dapat dilihat pada Tabel 5 berikut. Kemudian hasil analisis statistik deskriptif kohesi dan sudut geser dalam material dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7 berikut.

Tabel 5. Analisis Statistik Deskriptif Bobot Isi Jenuh Material

Statistik Deskriptif	Material										
	OB	S A1	IB A1-A2	S A2	IB A2-B	S B	IB B-C	S C	LC	TR	
Bobot Isi Jenuh (kN/m^3)	N	27	4	11	11	9	6	5	2	5	1
	Rata-Rata	19,63	12,01	19,28	12,11	19,66	12,20	21,33	12,32	21,00	18
	Minimum	16,28	11,89	16,28	11,96	18,40	12,07	20,83	12,24	12,15	-
	Maksimum	21,87	12,10	21,11	12,25	20,34	12,40	21,79	12,41	22,84	-
	Std. Deviasi	1,21	0,09	1,33	0,09	0,58	0,11	0,40	0,12	2,51	-

*warna pada tabel merupakan kode warna material

Tabel 6. Analisis Statistik Deskriptif Kohesi Material

Statistik Deskriptif	Material										
	OB	S A1	IB A1-A2	S A2	IB A2-B	S B	IB B-C	S C	LC	TR	
Kohesi (kpa)	N	13	2	9	8	9	5	4	2	5	1
	Rata-Rata	133,18	623,70	243,96	826,02	188,08	652,13	155,00	528,05	138,10	14,50
	Minimum	75,60	502,85	181,70	451,36	97,00	386,61	133,00	267,26	89,00	-
	Maksimum	206,00	744,55	280,30	1091,30	392,00	970,95	186,00	788,84	226,92	-
	Std. Deviasi	47,05	170,91	43,23	241,20	91,87	214,20	22,26	368,81	55,68	-

Tabel 7. Analisis Statistik Deskriptif Sudut Geser Dalam

Statistik Deskriptif	Material										
	OB	S A1	IB A1-A2	S A2	IB A2-B	S B	IB B-C	S C	LC	TR	
Sudut Geser Dalam ($^\circ$)	N	13	2	9	8	9	5	4	2	5	1
	Rata-Rata	23,58	31,39	20,66	23,45	24,41	24,12	22,30	31,75	24,67	17,50
	Minimum	17,50	29,85	10,20	15,70	11,90	20,11	20,70	25,19	19,95	-
	Maksimum	28,90	32,93	29,03	34,02	33,50	31,98	24,90	38,31	29,78	-
	Std. Deviasi	3,77	2,18	6,46	6,52	7,45	4,67	1,98	9,28	3,95	-

Dari ketiga tabel di atas dapat diketahui bahwa material batubara memiliki bobot isi jenuh (*saturated weight density*) yang lebih rendah dari pada material lain yakni pada batubara *seam* A1 dengan nilai $12,01 \text{ kN/m}^3$. Sedangkan untuk kohesi dan sudut geser dalam, material timbunan residual memiliki nilai yang paling rendah dengan nilai masing-masing $14,5 \text{ kpa}$ dan $17,5^\circ$.

Kemudian dari data-data diatas nantinya akan digunakan sebagai nilai *input* parameter *material*

properties dalam perhitungan untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan serta Probabilitas Kelongsoran. Parameter *material properties* dapat dilihat pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Parameter *Properties Material*

Material	Kode Warna	Bobot Isi Jenuh	Kohesi	Sudut Geser Dalam
		γ_w (kN/m^3)	c (kpa)	ϕ ($^\circ$)
Overburden		19,63	133,18	23,58
Seam A1		12,01	623,70	31,39
Interburden A1-A2		19,28	243,96	20,66
Seam A2		12,11	826,02	23,45
Interburden A2-B		19,66	188,08	24,41
Seam B		12,20	652,13	24,12
Interburden B-C		21,33	155,00	22,30
Seam C		12,32	528,05	31,75
Lower C		21,00	138,10	24,67
Material Timbunan		18	14,50	17,50

Dari Tabel 7 di atas dapat diketahui bahwa material batubara memiliki bobot isi jenuh (*saturated weight density*) yang lebih rendah dari pada material lain yakni pada batubara *seam* A1 dengan nilai $12,01 \text{ kN/m}^3$. Sedangkan untuk kohesi dan sudut geser dalam, material timbunan memiliki nilai yang paling rendah dengan nilai masing-masing $14,5 \text{ kpa}$ dan $17,5^\circ$. Hal ini disebabkan karena material ini merupakan material hasil penggalian yang telah mengalami pemebaran baik melalui alat gali maupun hasil dari peledakan.

4.1.3 Pengukuran Muka Air Tanah

Keberadaan air tanah pada suatu lereng dapat menjadi pemicu berkurangnya kekuatan geser batuan karena terjadinya penyerapan air, sehingga membuat lapisan material penyusun lereng menjadi jenuh. Oleh karena itu dilakukanlah pengukuran secara berkala guna mengetahui tinggi muka air tanah dari permukaan pada lereng yang akan diteliti. Pengukuran muka air tanah dilakukan dengan menggunakan alat *piezometer*.

Pada penelitian analisis kestabilan lereng kondisi aktual dilakukan dengan menggunakan muka air tanah rata-rata pada bulan November 2019. Hasil pengukuran tinggi muka air tanah pada bulan November 2019 dapat di lihat pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Hasil Pengukuran MAT Bulan November 2019

No	Tanggal Pegukuran	Tinggi Muka Air Tanah dari Permukaan (meter)
1	11 November 2019	9,98
2	25 November 2019	17,45
3	28 November 2019	14,44

4.1.4 Getaran Seismik (*Seismic Load*)

Beban seismik yang diterima pada lereng tambang MTBU diakibatkan dari adanya aktivitas peledakan yang

diperuntukkan untuk pemeraihan batuan. Karena tidak adanya pengukuran geteran hasil peledakan (*ground vibration*) secara langsung dilapangan, pada penulisan ini penulis menggunakan nilai acuan yang digunakan oleh PT. Bukit Asam dalam melakukan analisis kestabilan lereng. Nilai *seismic load* yang digunakan oleh PTBA adalah 0.05 g.

4.1.5 Beban Dinamis

Beban tambahan (*surchage load*) yang diterima pada lereng tambang diakibatkan dari alat angkut yang bekerja. Alat angkut tambang terbesar pada lokasi penelitian ini menggunakan *dumprtruck Komatsu HD-785* yang melintasi beberapa bagian *ramp* pada lereng *lowwall* dan *highwall*. Sedangkan untuk *sidewall* tidak terdapat jalan tambang (*ramp*). Nilai *unit weight* HD-785 menggunakan nilai standar acuan dari PTBA yakni sebesar 533 kN/m³.

4.3 Fungsi Distribusi Probabilitas dan Koefisien Korelasi Kohesi - Sudut Geser Dalam

4.3.1 Probability Density Function (PDF)

Probability Density Function (PDF) menggambarkan bagaimana nilai variabel acak terdistribusi. Variabel acak pada penelitian ini adalah nilai *properties material* yang terdiri dari nilai bobot isi (*unit weight*), kohesi, sudut geser dalam. Sedangkan untuk muka air tanah (*water table*), geteran horizontal (*horizontal seismic load*), dan beban dinamis vertikal dari alat berat menggunakan nilai rata-rata.

Dalam penelitian ini fungsi probabilitas yang digunakan ialah dalam bentuk fungsi distribusi normal. Hal ini mengacu pada penelitian yang telah ada, yang menyatakan bahwa distribusi normal umumnya digunakan untuk studi probabilitas dalam rekayasa geoteknik kecuali ada alasan yang baik untuk memilih distribusi yang lain. [3,7-8]

4.3.1 Koefisien Korelasi Kohesi – Sudut Geser Dalam

Koefisien korelasi menyatakan kekuatan relatif dari hubungan antara dua parameter. Korelasi antara parameter kekuatan dapat mempengaruhi distribusi probabilitas lereng. Koefisien korelasi akan selalu jatuh antara -1 dan 1. Koefisien korelasi memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap perhitungan Probabilitas Kelongsoran (PK) lereng. Dimana koefisien korelasi negatif akan menurunkan nilai PK dan sebaliknya untuk koefisien korelasi positif. [3]

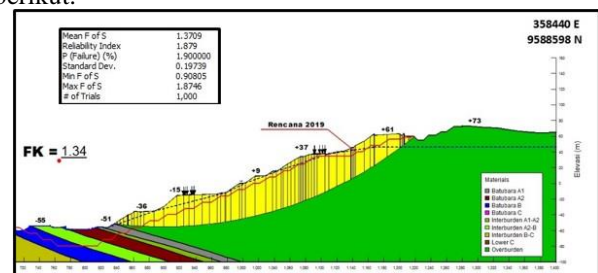
Pada penelitian ini karena adanya keterbatasan data sehingga tingkat kepercayaan analisis korelasi yang dihasilkan rendah maka diasumsikan nilai KK = 0. Dimana distribusi nilai acak kohesi – sudut geser dalam yang saling bebas satu sama lain (*independent*).

4.4 Analisis Kestabilan Lereng Kondisi Topografi Aktual

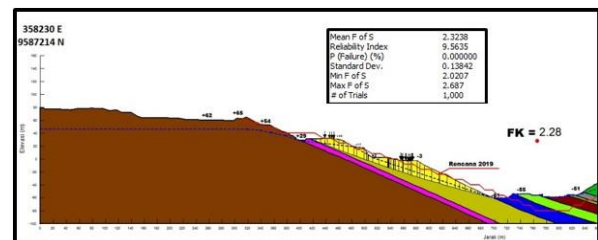
4.4.1 Analisis Probabilitas

Analisis probabilitas dilakukan pada penampang melintang A-A' dan B-B'. Penampang A-A' meliputi sisi *highwall* dan *lowwall* sedangkan penampang B-B' meliputi sisi *sidewall* area blok timur tambang MTBU. Setelah dilakukan analisis probabilitas berdasarkan nilai parameter *properties material* dan parameter-parameter lainnya pada permodelan lereng, maka didapatkanlah nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran dari lereng *highwall*, *lowwall*, dan *sidewall* kondisi aktual bulan November 2019.

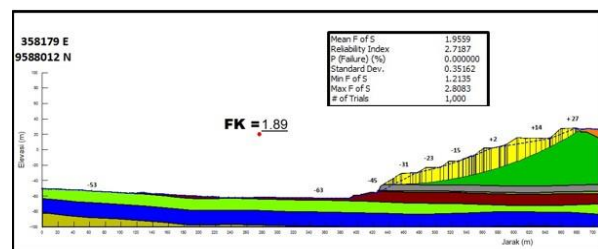
Hasil analisis *overall slope highwall* dengan nilai FK= 1,34 dan PK= 1,9 %, *overall slope lowwall* dengan FK= 2,28 dan PK= 0%, lalu *overall slope sidewall* dengan FK= 1,89 dan PK= 0%. Hasil analisis probabilitas lereng keseluruhan (*overall slope*) *highwall*, *lowwall* dan *sidewall* kondisi topografi aktual dapat dilihat pada Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11 berikut.



Gambar 9. Analisis Highwall Kondisi Topografi Aktual



Gambar 10. Analisis Lowwall Kondisi Topografi Aktual



Gambar 11. Analisis Sidewall Kondisi Topografi Aktual

Rekapitulasi hasil pengukuran geometri berbagai jenis lereng penampang A-A' dan B-B' kondisi topografi aktual bulan November 2019 dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11 berikut.

Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Analisis Penampang A-A' Kondisi Aktual

Penampang	Lokasi Lereng	Jenis Lereng	Geometri Lereng				FK	PK
			Elevasi		Tinggi Lereng	Sudut		
			Top (mdpl)	Base (mdpl)				
A-A'	Highwall	Overall Slope	+61	-51	112	19	1,34	1,9
		Inter-ramp Slope	+37	-15	52	21	1,37	2,4
			-15	-51	36	17	1,91	0
		Single Slope	+61	+37	24	23	2,44	0
			+37	+15	22	27	1,71	0
			+15	+9	6	33	7,37	0
			+9	+0	9	34	5,30	0
	+0		-15	15	26	3,67	0	
	-15	-36	19	34	1,72	0		
	-36	-51	15	31	3,73	0		
	Lowwall	Overall Slope	+31	-61	93	21	2,28	0
		Inter-ramp Slope	32	+2	30	30	1,85	0
			+65	+54	11	31	4,60	0
Single Slope		+54	+29	25	28	2,48	0	
		+32	+17	15	25	2,16	0	
		+17	+2	15	47	3,04	0	
-3	-61	58	26	1,38	0			

Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Analisis Penampang B-B' Kondisi Aktual

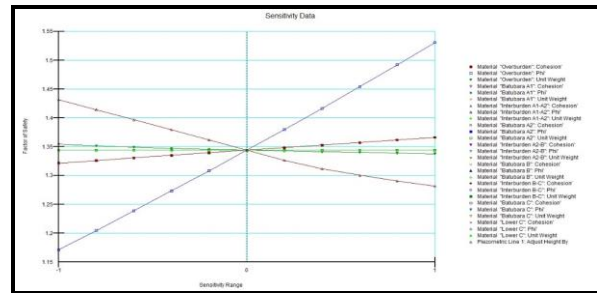
Penampang	Lokasi Lereng	Jenis Lereng	Geometri Lereng				FK	PK
			Elevasi		Tinggi Lereng	Sudut		
			Top (mdpl)	Base (mdpl)				
B-B'	Sidewall	Overall Slope	+27	-45	72	18	1,89	0
		Single Slope	+27	+14	13	38	4,29	0
			+14	+2	12	23	3,94	0
			+2	-15	17	28	3,23	0
			-15	-23	8	36	5,85	0
			-23	-31	8	29	6,55	0
		-31	-45	14	32	4,47	0	

Analisis lereng *highwall* dan *sidewall* dilakukan pada material *overburden* dan tidak sampai pada elevasi aktual terendah (material batubara). Hal ini dikarenakan lapisan batubara dianggap kuat dan dijadikan penahan lapisan di atasnya. Selain itu, berdasarkan kondisi asli di lapangan lapisan batubara tidak pernah mengalami longsor. Sedangkan pada sisi *lowwall* analisis *overall slope* dilakukan pada material *interburden* B-C dengan alasan yang sama dengan kondisi sebelumnya.

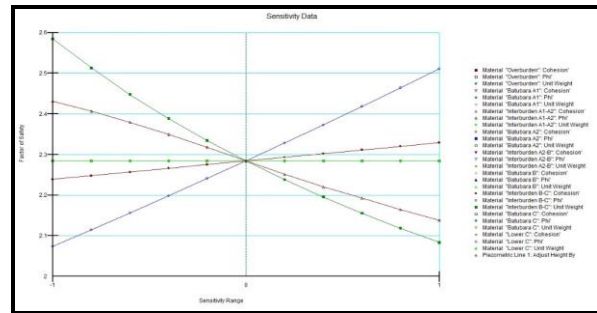
Berdasarkan dasar hukum geoteknik yang berpedoman pada Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No 1827 K/ 30/MEM/2018. Hasil analisis pada penampang A-A' dan penampang B-B' kondisi aktual menunjukkan hasil yang telah sesuai dengan acuan kriteria kemampooterimaan desain lereng. Dimana nilai kriteria kemampooterimaan desain lereng keseluruhan (*overall slope*) ialah dengan $FK_{min} = 1,2 - 1,3$ dan $PK_{max} = 15 - 20\%$, lereng multi jenjang (*inter-ramp slope*) $FK_{min} = 1,15 - 1,2$ dan $PK_{max} = 20\%$, lalu lereng tunggal (*single slope*) $FK_{min} = 1,1$ dan $PK_{max} = 25\% - 50\%$.

4.4.2 Analisis Sensistivitas

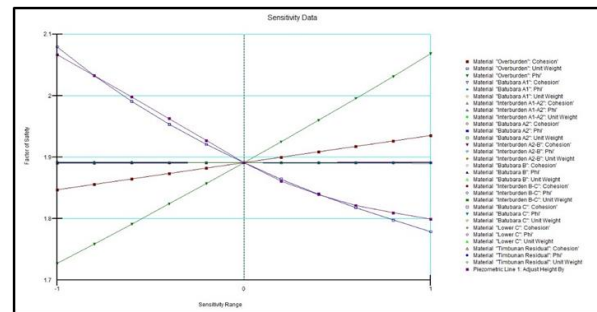
Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui parameter masukan yang paling berpengaruh terhadap kestabilan lereng masing-masing parameter masukan tersebut. Hasil analisis sensitivitas geometri lereng topografi kondisi aktual penampang A-A' dan B-B' menunjukkan bahwa parameter bobot isi jenuh, sudut geser dalam, dan muka air tanah merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap kestabilan lereng. Sedangkan parameter kohesi tidak memiliki pengaruh yang signifikan. Hal ini dapat terlihat pada grafik analisis sensitivitas *overall slope highwall*, *lowwall*, dan *sidewall* topografi kondisi aktual pada Gambar 12, Gambar 13, dan Gambar 14 berikut.



Gambar 12. Analisis Sensitivitas Overall Slope Highwall Kondisi Topografi Aktual



Gambar 13. Analisis Sensitivitas Overall Slope Lowwall Kondisi Topografi Aktual



Gambar 14. Analisis Sensitivitas Overall Slope Sidewall Kondisi Topografi Aktual

Berdasarkan grafik sensitivitas di atas dapat diketahui bahwa parameter yang berpengaruh merupakan parameter material mayoritas yang terdapat pada lereng tersebut. Contoh pada Gambar 12 analisis *overall slope highwall* dipengaruhi oleh parameter material *overburden*. Sehingga lereng *highwall* akan

menghasilkan $FK = 1,17$ jika nilai sudut geser dalam *overburden* diubah menjadi $18,58^\circ$.

5 Kesimpulan Dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Hasil monitoring *robotic total station* (RTS) menunjukkan bahwa pada lereng *lowwall* dan *sidewall* blok timur tambang Muara Tiga Besar Utara pada umumnya terjadi deformasi dalam kategori siaga 3 (aman) dengan pergerakan $0 - 50$ mm/hari dan beberapa kali juga terjadi pergerakan deformasi 50 mm/hari – 50 mm/10 jam yang masuk ke dalam kategori siaga 2 (waspada).
2. Analisis kestabilan lereng *highwall*, *lowwall*, dan *sidewall* blok timur tambang Muara Tiga Besar Utara kondisi topografi aktual bulan November 2019 didapatkan hasil analisis *overall slope highwall* dengan nilai $FK = 1,34$ dan $PK = 1,9\%$, *overall slope lowwall* dengan $FK = 2,28$ dan $PK = 0\%$, lalu *overall slope sidewall* dengan $FK = 1,89$ dan $PK = 0\%$. Hal ini menunjukkan bahwa hasil analisis Faktor Keamanan dan Probabilitas Kelongsoran yang telah sesuai dengan nilai kriteria kemampooterimaan desain lereng. Dimana untuk lereng keseluruhan (*overall slope*) ialah dengan $FK_{min} = 1,2 - 1,3$ dan $PK_{max} = 15 - 20\%$. Sehingga pada saat pengamatan di lapangan tidak ada ditemukan terjadinya longsor walaupun lereng menurut hasil monitoring terpantau bergerak.
3. Hasil analisis sensitivitas geometri lereng menunjukkan bahwa parameter bobot isi, sudut geser dalam dan muka air tanah merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap kestabilan lereng. Sedangkan untuk parameter kohesi tidak memiliki pengaruh yang cukup signifikan. Parameter yang berpengaruh merupakan parameter material mayoritas yang terdapat pada analisis lereng tersebut.

5.2 Saran

1. Meningkatkan intensivitas pemantauan lereng baik secara *real time* maupun periodik guna mengetahui adanya perpindahan massa batuan akibat adanya proses penambangan.
2. Perlu ditambahkan titik pantau muka air tanah dan pemantauan secara berkala untuk mendapatkan kondisi air tanah secara aktual pada *highwall*, *lowwall*, dan juga *sidewall*.

Daftar Pustaka

- [1] Arif, Irwandy. (2015). Geoteknik Tambang. Bandung: ITB.
- [2] Rahim, A., Heriyadi, B., & Anaperta, Y. M. (2015). Analisis Kestabilan Lereng untuk Menentukan Geometri Lereng pada Area Penambangan Pit Muara Tiga Besar Selatan PT. Bukit Asam

- (Persero) Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Bina Tambang, Volume 2 No.1.
- [3] Setiawan, Edi. (2016). Rancangan Geometri Lereng Berdasarkan Analisis Probabilitas Pit “S” Blok Kanaini 1 PT. Multi Tambangjaya Utama, Kecamatan Gunung Bintang Awai, Barito Selatan, Kalimantan Tengah. Proceeding Seminar Nasional Geomekanika-IV, Padang.
- [4] Saptono, Singgih. (2012). Pengembangan Metode Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Karakterisasi Batuan di Tambang Terbuka Batubara. Disertasi tidak diterbitkan. Bandung: ITB.
- [5] Arief, Saifuddin. (2008). Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan. Buku kompilasi tidak diterbitkan
- [6] Karyono. (2004). Kemantapan Lereng Batuan. Hand out. Diklat Perencanaan Tambang Terbuka UNISBA.
- [7] Azizi, Masagus A. & Rr Harminuke Eko Handayani. 2011. Karakterisasi Parameter Masukan untuk Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (Studi Kasus di PT. Tambang Batubara Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Paper. Prosiding Seminar Nasional Volume Ke-3 No1.
- [8] Hoek, Evert & John Bray. (1981). *Rock Slope Engineering*. 3rd. (ed). London: Taylor & Francis Routledge.
- [9] Maulana Bagas & Bambang Heriyadi. 2020. Analisis Balik Kestabilan Lereng Tambang Batubara Pit RTS-C Sisi Barat WUP Roto-Samurangau PT. Kideco Jaya Agung, Kecamatan Batu Sopang, Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal.Bina Tambang* Volume 5 No.1
- [10] Riri Metriani. 2019. Analisis Balik Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Bishop yang disederhanakan Pada Front II Existing Tambang Quarry PT. Semen Padang, Sumatera Barat. *Jurnal.Bina Tambang* Volume 4 No.4
- [11] Sugiyono, P. (2005). Memahami penelitian kualitatif. Bandung: Alfabeta.