

Analisis Kestabilan Lereng Area *Highwall Section B* Tambang Batubara PT. Manggala Usaha Manunggal *Jobsite* Pt. Banjarsari Pribumi, Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan

Ade Elsa Marini^{1,*}, Yoszi Mingsi Anaperta¹, and Tri Gamela Saldy¹

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

*Adeelsa70.ae@gmail.com

Abstract. — PT. Manggala Usaha Manunggal is a contractor company that trusted to do coal mining by PT. Banjarsari Pribumi in Merapi Timur, Lahat Regency, South Sumatera. PT. Manggala Usaha Manunggal using open pit mining method. At the crest area of highwall section B there is the pile of overburden materials. Slope stability analysis using the Monte Carlo probabilistic method, the factor of safety and probability of failure for the recommendation of slope geometry will be obtained using Bishop Simplified method. As the results are the result of slope stability analysis on highwall section B shown that there is no decrease in slope stability where the value of factor before and after being given additional load is the same, that is 3,017 and the probability of Failure is 0% .

1 Pendahuluan

PT. Manggala Usaha Manunggal merupakan salah satu perusahaan kontraktor yang dipercaya oleh PT. Banjarsari Pribumi untuk melakukan kegiatan penambangan batubara yang terletak di Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan. Saat ini PT. Manggala Usaha Manunggal melakukan kegiatan penambangan di 3 lokasi pit yang aktif yaitu Pit ABC, Pit Ekor dan Pit N.

Proses penambangan yang dilakukan oleh PT. Manggala Usaha Manunggal *jobsite* PT. Banjarsari Pribumi menggunakan metode open pit mining. Kegiatan penambangan berupa pengupasan tanah penutup dan penggalian batubara dapat memberikan gangguan terhadap massa batuan, salah satunya yaitu menimbulkan ketidakstabilan pada lereng. Selain itu ada beberapa faktor yang menyebabkan ketidakstabilan pada lereng, yaitu pengaruh air tanah, serta struktur geologi yang ada pada lereng.

Pada area *highwall* sisi Timur pit ABC yang diwakili oleh *section B* terdapat material timbunan disposal pada area *crest* lereng *highwall section B* elevasi 80 mdpl. Material disposal akan menjadi beban tambahan bagi lereng dimana hal ini akan mempengaruhi kestabilan

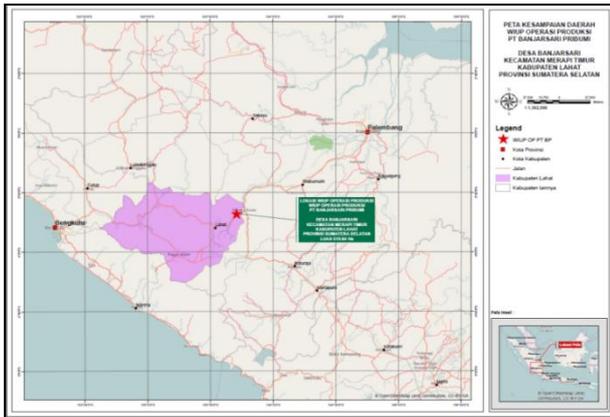
lereng *highwall* sisi Timur Pit ABC. Timbunan material disposal ditunjukkan oleh panah merah pada Gambar 1.



Gambar 1. Timbunan Material Disposal Pada sisi Timur *Highwall* Pit ABC

2 Lokasi Penelitian

Lokasi penambangan PT. Manggala Usaha Manunggal *Jobsite* Banjarsari Pribumi secara administrasi berlokasi di Desa Banjarsari Pribumi, Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan. Secara geografis lokasi penambangan PT. Manggala Usaha Manunggal *jobsite* PT. Banjarsari Pribumi terletak antara 103 42' 39,4" BT sampai 103 43' 4" BT dan 3 40' 2" LS sampai 3 40' 2" LS dengan dibatasi koordinat IUP seluas 519,7422 ha.^[1]



Gambar 2. Peta WIUP Operasi Produksi PT. Banjarsari Pribumi

3 Kajian Teori

Untuk menyatakan 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. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil, dengan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya longsor. Secara matematis faktor kestabilan lereng dinyatakan sebagai berikut^[2]

$$F = \frac{\sum \text{Gaya Penahan}}{\sum \text{Gaya Penggerak}} \quad (1)$$

3.1 Kelongsoran Lereng

Kelongsoran lereng terjadi ketika gaya-gaya penggerak, yang menyebabkan material bergerak ke bawah, lebih besar daripada gaya penahannya. Macam-macam longsor yang sering terjadi pada lereng tambang adalah longsor busur, longsor bidang, longsor baji, dan longsor guling serta longsor kombinasi dari keempat longsor tersebut (longsor kompleks).^{[2][10][12]}

Longsor busur berbeda dengan tipe longsor lain yang dikontrol oleh struktur geologi seperti adanya bidang perlapisan dan joint. Batuan dengan tingkat alterasi dan pelapukan tinggi serta memiliki orientasi bidang diskontinu acak cenderung longsor dalam bentuk busur. Hancuran batuan yang terdapat pada daerah penimbunan dengan dimensi besar juga memiliki kecenderungan longsor dalam bentuk ini.^[2]

Longsor guling umumnya terjadi pada lereng terjal dan batuan keras dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom. Longsor guling terjadi apabila bidang-bidang lemah yang ada berlawanan dengan kemiringan bidang longsor.^[2]

3.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng galian bervariasi sepanjang waktu. Hal ini disebabkan oleh adanya perubahan tekanan air pori, tegangan geser, dan pembebanan pada lereng yang mengakibatkan perubahan kekuatan geser material. Perubahan tersebut umumnya diakibatkan oleh adanya perubahan musim dan adanya proses pelapukan.^{[2][7][9]}

3.2.1 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.

3.2.2 Aktifitas manusia

Aktifitas seperti pengalihan, pembuatan jalan tambang, dan bendungan menyebabkan perubahan keseimbangan gaya-gaya dalam sehingga akan menyebabkan bertambahnya gaya geser dan mengurangi kestabilan lereng.

3.3.3 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.

3.3.4 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.

3.3.5 Sifat fisik dan mekanik tanah dan batuan

Sifat fisik yang mempengaruhi kestabilan lereng antara lain bobot isi, kohesi, sudut geser dalam, porositas, dan kandungan air. 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. Dalam mengetahui sifat fisik dan mekanik batuan dilakukan dengan pengujian di laboratorium untuk mendapatkan angka bobot isi, kohesi dan sudut geser dalam pada lokasi penelitian.

3.3.5.1 Bobot isi

Bobot isi mempengaruhi besarnya beban pada permukaan bidang longsor. Semakin besar bobot isi,

semakin besar gaya penggerak yang menyebabkan lereng tidak stabil.

3.3.5.2 Porositas

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

3.3.5.3 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.

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.

3.3.5.4 Gaya-gaya luar

Gaya-gaya dari luar yang umum mempengaruhi kemantapan lereng antara lain gaya yang diakibatkan oleh gempa, aktivitas peledakan, dan pembebanan akibat dibangunnya infrastruktur. Adanya gaya-gaya dari luar akan memperbesar tegangan geser dan menurunkan kondisi kestabilan lereng.

3.3.5.5 Iklim

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

3.3.6 Gaya-Gaya Luar

Gaya-gaya dari luar yang umum mempengaruhi kemantapan lereng antara lain gaya yang diakibatkan oleh gempa, aktivitas peledakan, dan pembebanan akibat dibangunnya infrastruktur. Adanya gaya-gaya dari luar akan memperbesar tegangan geser dan menurunkan kondisi kestabilan lereng.

3.3 Analisis Kestabilan Lereng

3.3.1 Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Kestimbangan Batas

Kestimbangan batas merupakan metode yang sangat populer dan rutin dipakai dalam analisis kestabilan lereng untuk longsoran translasional dan rotasional karena metode ini relatif sederhana, mudah digunakan, serta telah terbukti keandalannya selama bertahun-tahun. Dalam analisisnya, metode kestimbangan batas menggunakan kondisi kestimbangan statik dan

mengabaikan adanya hubungan regangan tegangan pada lereng. Dalam menggunakan metode ini, geometri bidang runtuh harus diketahui atau ditentukan terlebih dahulu.^[9]

3.3.1.1 Longsor Translasional

Longsor translasi dikontrol oleh adanya bidang tak menerus, yang berupa bidang planar atau baji. Longsor diasumsikan terjadi sepanjang bidang planar atau baji dan blok massa tidak mengalami rotasi. Faktor keamanan (FK) dihitung dengan membandingkan kekuatan geser material dengan gaya geser yang bekerja sepanjang bidang runtuh.

3.3.1.2 Longsor Rotasional

Longsor rotasional memiliki bidang runtuh berupa busur lingkaran atau bidang lengkung. Longsor ini umumnya terjadi pada lereng tanah atau lereng batuan lunak yang kekuatan geser materialnya tidak mampu menahan gaya geser yang bekerja. Secara umum, metode untuk menganalisis longsor rotasional dapat dibagi dua, yaitu metode massa dan metode irisan.

Pada metode ini, perhitungan analisis kestabilan lereng hanya menggunakan kondisi kesetimbangan statik dan mengabaikan adanya hubungan tegangan-regangan pada lereng. Asumsi lainnya, yaitu geometri dari bentuk bidang runtuh, harus diketahui dan ditentukan terlebih dahulu. Kondisi kestabilan lereng dalam metode kesetimbangan batas dinyatakan dalam indeks faktor keamanan (FK). Faktor keamanan dihitung menggunakan kesetimbangan gaya, kesetimbangan momen, atau menggunakan kedua kondisi kesetimbangan tersebut, tergantung metode perhitungan yang dipakai.

3.3.2 Metode Irisan

Metode irisan merupakan metode yang paling populer dalam analisis tipe runtuh rotasional. Salah satu karakteristik metode irisan yaitu geometri dari bidang gelincir harus ditentukan atau diasumsikan terlebih dahulu. Untuk menyederhanakan perhitungan, bidang runtuh biasanya dianggap busur lingkaran, gabungan busur lingkaran dengan garis lurus, atau gabungan dari beberapa garis lurus.^[9]

Setelah geometri bidang runtuh ditentukan, massa di atas bidang runtuh kemudian dibagi ke dalam sejumlah irisan tertentu. Tujuan dari pembagian tersebut adalah untuk mempertimbangkan adanya variasi kekuatan geser dan tekanan air pori sepanjang bidang runtuh. Langkah selanjutnya adalah menghitung gaya-gaya yang bekerja di setiap irisan. Dengan menggunakan data-data pada

setiap irisan besarnya faktor keamanan dapat dihitung menggunakan persamaan kesetimbangan.

Berdasarkan kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi, metode irisan dapat dikelompokkan menjadi dua kategori metode yang tidak memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan momen, antara lain yaitu metode irisan biasa, metode Bishop yang disederhanakan (Bishop Simplified), metode Janbu yang disederhanakan (Janbu Simplified), dan metode Corps of Engineer; dan metode yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan momen, antara lain yaitu Metode Spencer, Metode Morgenstern-Price dan Metode Kesetimbangan Batas Umum.

3.3.3 Metode Bishop Simplified

Metode Bishop yang disederhanakan merupakan salah satu metode kesetimbangan batas yang sangat populer dalam analisis kestabilan lereng dikarenakan perhitungannya yang sederhana, cepat dan memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup teliti. Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu besarnya gaya geser antar-irisan sama dengan nol ($X=0$) dan bidang runtuh berbentuk sebuah busur lingkaran. Kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi oleh metode ini adalah kesetimbangan gaya dalam arah vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh untuk semua irisan, sedangkan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal tidak dapat dipenuhi.^[3]

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + W_i (1 - r_i) \tan \theta'] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (\tan \theta_i (1 + \tan \theta' / F))} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (2)$$

Pada persamaan diatas, variabel FK terdapat pada kedua sisi persamaan sehingga perhitungan faktor keamanan harus dihitung dengan aproksimasi berulang (iterasi). Iterasi dilakukan sampai perbedaan nilai FK pada kedua sisi persamaan lebih kecil dari nilai toleransi yang diberikan. Toleransi yang digunakan umumnya 0,005. *Simplified Bishop* merupakan metode yang paling baik untuk menganalisis bidang runtuh busur lingkaran (*circular failure*), karena lebih simpel dengan hasil cukup teliti, perbedaan hasil perhitungan dengan metode ini tidak lebih dari 5% jika dibandingkan dengan metode yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan.^[5]

3.4 Probabilitas Kelongsoran

Analisis kestabilan lereng dihadapkan pada berbagai kondisi ketidakpastian. Ketidakpastian tersebut menurut Baecher & Christian (2003) dalam Santoso (2013: 283) secara garis besar disebabkan oleh masalah variabilitas spasial dan adanya kesalahan pengukuran. Permasalahan pertama terkait sifat alamiah batuan di alam yang heterogen, anisotrop, dan diskontinu sehingga membuat batuan memiliki nilai atau sifat yang berbeda pada setiap titik. Permasalahan kedua terkait keterbatasan jumlah sampel, sehingga menimbulkan kesalahan statistik serta

adanya bias yang ditimbulkan oleh kesalahan prosedur pada pengujian laboratorium. Ketidakpastian juga dapat ditimbulkan oleh permodelan yang dilakukan sebagai akibat dari asumsi atau pendekatan pada mekanisme kelongsoran yang digunakan. Untuk mengakomodir sejumlah ketidakpastian tersebut, metode probabilitas perlu digunakan dengan Probabilitas Kelongsoran (PK) sebagai indeks kestabilan.

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.^[4]

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

Jika semua sampel iterasi analisis probabilistik memperoleh hasil yang valid (faktor keamanan), maka numtotal = jumlah sampel. Jika faktor keamanan tidak dapat dihitung untuk beberapa analisis, maka numtotal = jumlah total analisis yang valid. Misal, jika jumlah sampel atau simulasi = 1000 dan faktor keamanan valid tidak dapat dihitung untuk 10 sampel atau simulasi, maka numtotal sebenarnya = (1000 - 10) = 990.

3.4.1 Analisis Probabilistik Monte Carlo dalam Metode Kesetimbangan Batas

Metode yang paling banyak digunakan dalam perhitungan probabilitas kelongsoran (PK) adalah metode kesetimbangan batas dengan simulasi Monte Carlo. Metode ini sangat berguna dalam pemecahan masalah yang berkaitan dengan variabel acak. Selain sederhana, metode ini juga lebih fleksibel dalam menggabungkan suatu varietas distribusi probabilitas yang cukup besar tanpa banyak penafsiran serta memiliki kemampuan untuk memodelkan korelasi di antara variabel dengan mudah.^[5,7,14] Simulasi Monte Carlo dikategorikan sebagai metode sampling karena parameter masukan acak dihasilkan dari distribusi probabilitas untuk mensimulasikan proses pengambilan sampel dari populasi yang sebenarnya.

3.4.1.1 PF (Probability Failure)

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

3.4.1.2 RI (reliability Index)

Cara lain menilai keamanan lereng dalam analisis probabilitas adalah dengan menghitung nilai indeks reliabilitasnya. RI merupakan ukuran seberapa jauh nilai FK hasil hitung terhadap nilai kritisnya ($FK=1$).

- Untuk tingkat keyakinan yang baik RI harus lebih besar atau sama dengan tiga ($RI = 3$).

- RI = 0 menunjukkan nilai rata-rata faktor keamanan sama dengan satu ($FK_{mean}=1$).

- RI negatif menunjukkan rata-rata nilai FK kurang dari satu ($FK_{mean}<1$).

4 Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada lereng area *highwall* Pit ABC PT. Manggala Usaha Manunggal *Jobsite* PT. Banjarsari Pribumi, Kecamatan Merapi timur, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. Penelitian dilaksanakan pada 10 Juni 2019 hingga 13 Agustus 2019.

4.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memberi solusi atas permasalahan pada Pit ABC sehingga termasuk dalam penelitian terapan (*Applied Research*). Penelitian ini menguji manfaat dari teori-teori ilmiah serta mengetahui hubungan empiris dan analisis bidang-bidang tertentu. Penelitian terapan dapat pula diartikan sebagai studi sistematis dengan tujuan menghasilkan tindakan aplikatif yang dapat dipraktikkan bagi pemecahan masalah tertentu. Hasil penelitian tidak perlu sebagai suatu penemuan baru tetapi merupakan aplikasi baru dari penelitian yang sudah ada^{[6][7]}

4.2 Teknik Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dimulai dengan studi literatur yaitu pencarian bahan pustaka terhadap masalah yang akan dibahas meliputi studi tentang analisis mengenai produksi penambangan melalui berbagai percobaan, buku-buku, jurnal atau laporan studi yang sudah ada.

Selanjutnya yaitu observasi lapangan yang dilakukan selama satu minggu guna melihat kondisi lapangan secara langsung dan permasalahan aktual yang ada di lapangan.^[2]

Selanjutnya yaitu tahapan pengambilan data meliputi data primer dan data sekunder. Data primer yang diambil yaitu pengukuran *strike and dip* batuan penyusun lereng. Data sekunder berupa peta lokasi penelitian, data curah hujan, peta kesampaian daerah lokasi penelitian, peta geologi daerah penelitian, peta topografi, data sifat fisik dan mekanik batuan hasil uji laboratorium, dan desain lereng tahun 2019 (*limit of mine*).

Tahapan selanjutnya yaitu tahapan pengolahan data. Pada tahapan ini dilakukan perhitungan dan penggambaran, yang selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel, grafik atau rangkaian perhitungan dalam menyelesaikan suatu proses tertentu. Adapun kegiatan pengolahan data berupa pembuatan model lapisan penyusun lereng, dan analisis statistik deskriptif data sifat fisik dan mekanik batuan.

Model perlapisan dibuat dalam dua dimensi mengacu pada cross section. Dalam pembuatan model perlapisan digunakan asumsi bahwa kemiringan lapisan untuk setiap jenis material adalah sama.

Data sifat fisik dan sifat mekanik batuan yang diperoleh dari hasil uji laboratorium kemudian diolah dengan menggunakan bantuan *Microsoft Excel* untuk mengetahui nilai rata-rata, ukuran dispersi, dan distribusi data hasil uji.

4.3 Teknik Analisis Data

Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode kesetimbangan batas yaitu metode bishop yang disederhanakan (*Bishop Simplified*). Penyelesaian perhitungan dibantu dengan perangkat lunak software Roscience Slide 6.0, dengan batasan nilai faktor keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK) mengacu pada Kepmen ESDM No. 1827 Tahun 2018.

4.4 Kesimpulan

Kesimpulan diperoleh setelah dilakukan korelasi antara hasil pengamatan di lapangan, pengolahan data dan analisis permasalahan yang diteliti untuk memberikan alternatif pada lereng yang kritis dan tidak stabil dengan faktor keamanan yang sesuai.

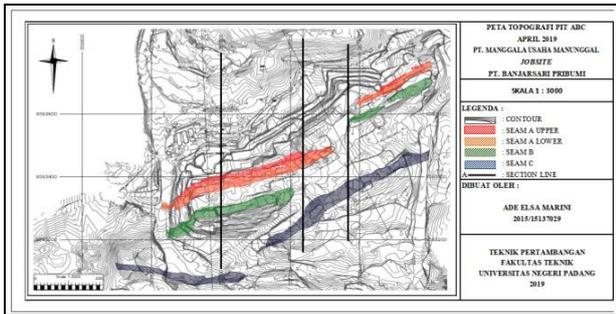
5 Hasil dan Pembahasan

5.1 Penyelidikan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada area *highwall* Pit ABC *section* B PT. Manggala Usaha Manunggal *jobsite* PT. Banjarsari Pribumi yang terletak pada elevasi 15 mdpl sampai elevasi 95 mdpl. Berdasarkan hasil pemboran eksplorasi yang telah dilakukan oleh perusahaan, lapisan material penyusun lereng terdiri atas batu lempung (*claystone*), batu pasir (*sandstone*), batu lanau (*siltstone*), dan batubara (*coal*).^[1] Koordinat *section* B dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Koordinat *Section*

No.	<i>Section</i>	X	Y
1.	B	357236	9593973
	B'	357236	9593160



Gambar 3. Peta Topografi Pit ABC Bulan April 2019



Gambar 4. Kondisi Lereng Lokasi Penelitian

5.1.1. Kondisi Lereng Section B

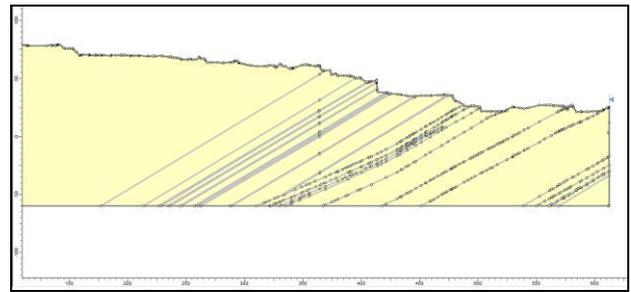
Pada area *crest highwall* Pit ABC section B elevasi 80 mdpl terdapat timbunan material disposal. Timbunan material disposal pada area *crest* lereng menyebabkan berkurangnya kestabilan pada lereng karena timbunan disposal akan menjadi beban tambahan bagi lereng. Kemiringan lereng keseluruhan (*overall slope*) pada section B adalah 22° dengan ketinggian lereng adalah 45 meter.



Gambar 5. Timbunan Material Disposal pada Area *Crest Highwall* section B Pit ABC

5.2 Pemodelan Lereng

Pembuatan pemodelan lereng dibuat berdasarkan pengamatan langsung pada singkapan atau badan lereng yang telah terbuka, dimana secara umum lapisan penyusun lereng relatif mengikuti kemiringan batubara dengan nilai *strike* dan *dip* rata-rata adalah $N 255^\circ E/32^\circ$.



Gambar 6. Contoh Pemodelan Lereng *Highwall*

5.2.1 Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Batuan

Sifat fisik dan mekanik dari batuan didapatkan dengan pengujian laboratorium. Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Batuan Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta oleh PT. Geotama Energi yang merupakan konsultan PT. Banjarsari Pribumi.

Analisis statistik deskriptif kemudian dilakukan terhadap hasil uji sifat fisik dan mekanik batuan tersebut sebagai parameter yang akan digunakan dalam analisis kestabilan lereng, seperti nilai bobot isi asli, kuat tekan, kohesi dan sudut geser dalam.

5.2.1.1 Pengujian Sifat Fisik Batuan

Bobot isi merupakan salah satu parameter dari hasil uji sifat fisik yang penting dalam analisis kestabilan lereng. Nilai bobot isi dapat dibagi atas nilai bobot isi asli, bobot isi kering (*dry density*) dan bobot isi jenuh (*saturated density*).^[6] Analisis statistik deskriptif hasil uji bobot isi asli batuan (*unit weight*) dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Statistik Deskriptif Hasil Uji Bobot Isi Asli (*Unit Weight*)

Parameter Statistik	Material				
	Claystone	Sandstone	Siltstone	Coal	
Bobot Isi Asli	Mean	17,7	17,95	18,18	12,8
	Standard Deviation	0,898	1,482	0,396	0,173
	Range	2,8	3,4	1	0,3
	Kurtosis	0,697	-1,174	-1,169	-
	Skewness	0,844	-0,466	0,125	1,732
	Range	2,8	3,4	1	0,3
	N	8	4	5	3

5.2.1.2 Pengujian Sifat Mekanik Batuan

5.2.1.2.1 Pengujian Kuat Tekan Uniaksial Batuan

Analisis statistik deskriptif hasil uji kuat tekan uniaksial batuan (UCS) dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Statistik Deskriptif Hasil Uji Kuat Tekan Batuan

Parameter Statistik		Material			
		Claystone	Sandstone	Siltstone	Coal
Kuat Tekan - σ_c	Mean	0,714	0,706	0,745	1,098
	Standard Deviation	0,204	0,092	0,170	0,091
	Skewness	-0,467	0,301	-1,542	-0,9885
	Kurtosis	-1,065	1,386	2,032	-
	Range	0,54	0,226	0,416	0,18
	Min	0,425	0,598	0,463	0,998
	Max	0,965	0,824	0,879	1,178
	N	8	4	5	3

5.2.1.2.2 Pengujian Kuat Geser Batuan

Pengujian kuat geser langsung ditujukan untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (Φ) dalam bentuk nilai puncak (*peak*) dan residual. Analisis statistik deskriptif nilai kohesi dan sudut geser dalam puncak (*peak*) dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Statistik Deskriptif Kohesi dan Sudut Geser Dalam Puncak

Parameter Statistik		Claystone	Sandstone	Siltstone	Coal
C	Mean	136,761	175,067	168,954	204,243
	Standard Deviation	19,774	19,843	32,773	9,258
	Skewness	2,151	-0,068	-0,204	0,547
	Range	66,28	42	78,69	18,41
	Sum	1094,09	700,27	844,77	612,73
	N	8	4	5	3
FA	Mean	71,158	64,583	69,216	72,603
	Standard Deviation	3,209	9,72293	10,991	6,968
	Skewness	0,470	-0,79184	1,6255612	-1,668
	Range	9,23	23,49	27,27	12,65
	Sum	569,27	248,15	371,1	217,81
	N	8	4	5	3

Analisis statistik deskriptif nilai kohesi dan sudut geser dalam residual dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Analisis Statistik Deskriptif Kohesi dan Sudut Geser Dalam Residual

Parameter Statistik		Claystone	Sandstone	Siltstone	Coal
Cohesion	Mean	80,368	97,72	78,583	127,463
	Standard Deviation	13,451	23,235	17,002	16,434
	Variance	180,955	539,901	289,061	270,106
	Skewness	-0,653	-1,954	0,522	-1,241
	Kurtosis	-0,75	3,84	-1,76	-
	Range	34,06	48,87	38,095	31,71
	Min	60,73	63	60,73	109,11
	Max	94,79	111,87	98,825	140,82
	N	8	4	4	3
Friction Angle	Mean	67,037	62,037	69,216	68,683
	Standard Deviation	3,624	9,722	3,884	4,045
	Variance	13,136	94,535	22,793	16,362
	Skewness	-0,159	-0,7918	0,9007	-1,5758
	Kurtosis	1,60	1,78	0,98	-
	Range	12,61	23,49	12,61	7,51
	Min	60,49	48,97	60,49	64,06
	Max	73,1	72,46	73,1	71,57
	N	8	4	5	3

5.2.2 Properties Material

Properties material meliputi bobot isi asli, bobot isi jenuh, kohesi (c), dan sudut geser dalam (Φ) (Tabel 6). Nilai yang dipakai sebagai data awal *properties material* adalah nilai rata-rata yang didapatkan dari hasil pengujian laboratorium. Untuk parameter kohesi dan sudut geser dalam digunakan nilai puncak dari hasil pengujian. Untuk statistik material, variabel *properties material* diasumsikan berdistribusi normal yang terpotong atau dibatasi oleh nilai *relative minimum* dan *relative maximum* tertentu.^[5]

Tabel 6. *Properties Material*

Lithology	Bobot Isi Asli (KN/m ³)	Bobot Isi Jenuh (KN/m ³)	Kohesi dan Sudut Geser Dalam (°)	
			Peak	Peak
Claystone	17,70	17,750	136,76	71,159
Sandstone	17,95	19,522	175,08	64,583
Siltstone	18,18	18,860	168,954	69,216
Coal	12,80	15,967	204,243	72,603

Untuk *statistic material*, variabel *properties material* diasumsikan berdistribusi normal yang terpotong atau dibatasi oleh nilai *relative minimum* dan *relative maximum* tertentu. Keputusan ini didukung oleh hasil analisis deskriptif dimana mayoritas data memiliki nilai kurtosis z -value dan skewness z -value pada *range* $\pm 1,96$, yang mengindikasikan data berdistribusi normal atau mendekati bentuk distribusi normal.

Tabel 7. Statistic Material

#	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
1	Claystone	Cohesion	Normal	136.761	19.775	20.321	45.959
2	Claystone	Phi	Normal	71.159	3.21	4.259	4.971
3	Claystone	Unit Weight	Normal	17.7	0.898	1.1	1.7
4	Sandstone	Cohesion	Normal	175.068	19.843	21.458	20.543
5	Sandstone	Phi	Normal	64.583	9.723	11.193	11.938
6	Sandstone	Unit Weight	Normal	17.95	1.482	1.85	1.55
7	Siltstone	Cohesion	Normal	168.954	32.774	39.434	39.256
8	Siltstone	Phi	Normal	69.216	3.884	3.806	5.914
9	Siltstone	Unit Weight	Normal	18.18	0.396	0.48	0.52
10	Coal	Cohesion	Normal	204.243	9.258	8.633	9.777
11	Coal	Phi	Normal	72.603	6.968	8.013	4.637
12	Coal	Unit Weight	Normal	12.8	0.173	0.1	0.2

Parameter Distribusi Fungsi Probabilitas di atas, yakni nilai *mean* dan standar deviasi diperoleh dari hasil analisis statistik deskriptif, sedangkan nilai *relative minimum dan maximum* umumnya dihitung sebagai 3σ , dimana 99,7% nilai pada distribusi normal berada di sekitar mean. Hasil studi Hammah et al^[4] membuktikan bahwa pemotongan (*truncation*) distribusi normal di 3σ sudah cukup baik dengan nilai hasil hitung probabilitas kelongsoran tidak jauh berbeda dibandingkan 5σ , dimana 99,9999% nilai acak dalam distribusi normal berada di sekitar rata-rata.

Relative *minimum* dan *maximum* mendefinisikan jarak antara nilai minimum dan maksimum sebenarnya terhadap nilai rata-ratanya, nilai minimum dan maksimum sebenarnya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Actual minimum} = \text{mean} - \text{relatif minimum}$$

$$\text{Actual maximum} = \text{mean} + \text{relatif maximum}$$

Mengacu pada rumus di atas, nilai relative minimum harus lebih kecil atau sama dengan mean (rel. min. \leq mean) untuk menghindari nilai properties material yang negatif. Relative minimum = mean akan menghasilkan distribusi dengan minimum value = 0.

5.2.3 Muka Air Tanah

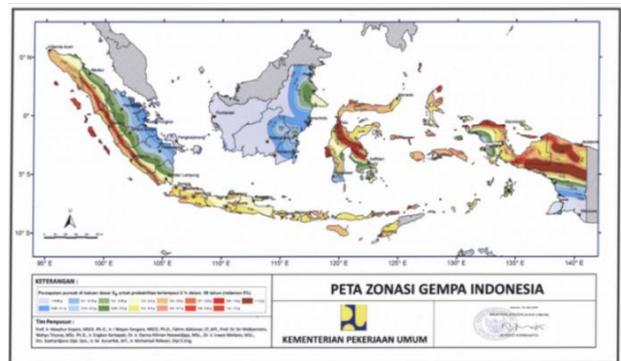
Dalam analisis kestabilan lereng pada penelitian ini air tanah diasumsikan jenuh, hal ini didasari atas kemungkinan terburuk dari kondisi lereng yang akan terjadi karena tingginya intensitas hujan, serta mengingat terdapatnya paritan sebagai jalan air pada *crest* lereng dan sump pada *toe* lereng *highwall*.



Gambar 7. Sump pada Toe Lereng Area Highwall Sisi Timur Pit ABC

5.2.4 Beban Seismik

Dalam analisis lereng beban seismik yang dianggap bekerja hanyalah koefisien beban seismik horizontal. Beban seismik horizontal selalu mengarah keluar lereng sehingga dapat menurunkan kestabilan lereng.^{[5][9]} Berdasarkan peta zona seismik Indonesia pada Gambar 8, lokasi penelitian berada pada area dengan faktor seismik 0,15 - 0,2 g.^[1]



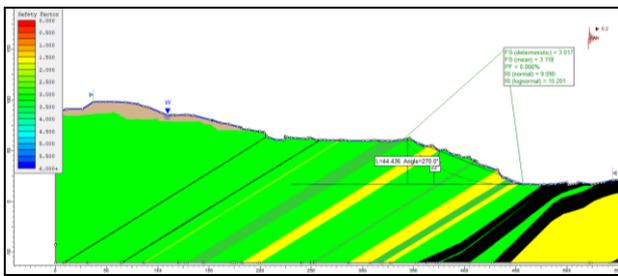
Gambar 8. Peta Zona Seismik Indonesia

5.3 Analisis Kestabilan Lereng Highwall

Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode kesetimbangan batas yaitu metode *Bishop Simplified* dimana penggambaran disajikan dalam bentuk tabel atau grafik. Serta penyelesaian perhitungan dibantu dengan menggunakan perangkat lunak (*software Roscience Slide*). Nilai Faktor Keamanan Statis Minimum berdasarkan pada Kepmen ESDM No. 1827 Tahun 2018 untuk menilai stabilitas model lereng keseluruhan (*overall slope*) yang dapat diterima ialah $(FK) \geq 1,2 - 1,3$. Selain Faktor Keamanan stabilitas model lereng juga diperhitungkan dari probabilitas kelongsorannya, dimana berdasarkan Kepmen ESDM No. 1827 Tahun 2018 Probabilitas Kelongsoran maksimum yang dapat diterima untuk lereng keseluruhan (*overall slope*) adalah 15 - 20%.

5.3.1 Analisis Kestabilan Lereng Highwall Section B

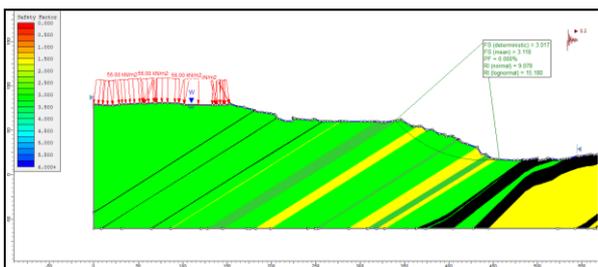
Analisis dilakukan terhadap topografi aktual lereng *highwall section B* bulan Mei 2019 dengan tujuan untuk mencari nilai faktor keamanan (FK) dan probabilitas kelongsoran (PK) yang sesuai dengan kondisi aktual. Analisis dilakukan pada *section B* serta berdasarkan parameter material properties yang diperoleh dari data uji laboratorium pada Tabel 6. Hasil analisis lereng aktual *highwall section B* bulan Mei 2019 diketahui bahwa tinggi *overall slope* yaitu 45 meter, kemiringan *overall slope* 22°, dengan nilai faktor keamanan 3,017 dan probabilitas kelongsoran 0% (Gambar 9).



Gambar 9. Analisis Topo Aktual *Highwall Section B*

Dari hasil pengamatan dilapangan, seperti yang sudah peneliti sampaikan sebelumnya, peneliti mengidentifikasi adanya beban tambahan berupa timbunan disposal di sisi atas dari *overall slope highwall section B* yang akan menjadi beban tambahan bagi lereng. Kestabilan lereng akan menjadi berkurang karena bertambahnya gaya penggerak pada lereng sehingga mengurangi nilai faktor keamanan lereng.

Hasil analisis topo aktual lereng *highwall section B* setelah diberi beban disposal area 56 KN/m² didapatkan nilai Faktor Keamanan yaitu 3,017 dan Probabilitas Kelongsoran 0% (Gambar 10). Nilai tersebut menunjukkan bahwa beban dari disposal area tidak mempengaruhi kestabilan pada lereng dikarenakan tidak adanya penurunan nilai faktor keamanan lereng setelah diberi beban tambahan.



Gambar 10. Analisis Lereng *Highwall Section B* Setelah diberi Beban Tambahan

Dari gambar 10 diketahui bahwa bidang gelincir pada *highwall section B* terjadi pada material *claystone*, *sandstone* dan *siltstone* pada elevasi 80 mdpl hingga elevasi 17 mdpl.

6. Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

Analisis pada *highwall section B* setelah diberi beban tambahan menunjukkan hasil bahwa beban disposal yang berada pada area *crest overall slope* tidak mempengaruhi stabilitas pada lereng, hal ini ditunjukkan dengan tidak terjadinya penurunan pada nilai stabilitas lereng. Nilai faktor keamanan lereng *highwall section B* sebelum dan setelah diberi beban tambahan yaitu 3,017 dan Probabilitas Kelongsoran 0%.

6.2 Saran

1. Melakukan pengendalian air permukaan (*surface drainase*), guna mencegah terjadinya erosi dengan membuat paritan untuk mengarahkan aliran air pada lereng.
2. Melakukan kontrol air bawah tanah dengan cara memasang piezometer untuk mengetahui elevasi muka air tanah.
3. Pengamatan lereng secara berkala perlu dilakukan, untuk mengetahui adanya pergerakan badan lereng, dengan alat pemantau lereng (*extensionmeter*).

Daftar Pustaka

- [1] Anonim. Laporan Studi Geoteknik PT. Banjarsari Pribumi. Lahat, Sumatera Selatan
- [2] Arif, I. I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama.
- [3] Putri, M., Yulhendra, D., & Octova, A. (2018). Optimasi Geometri Peledakan Untuk Mencapai Target Fragmentasi Dan Diggability Dalam Pemenuhan Target Produktivitas Ore Di Pit Durian Barat Dan Pit South Osela Site Bakan Pt J Resources Bolaang Mongondow Sulawesi Utara. *Bina Tambang*, 3(1), 588-607.
- [4] Putra, S., & Heriyadi, B. (2019). Analisis Balik Kestabilan Lereng Penampang A Dan Penampang B Area Lowwall Tambang Batubara Pada Pit X PT. Kideco Jaya Agung Kecamatan Batu Sopang Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur. *Bina Tambang*, 4(1), 59-70.
- [5] Mare, N. M. A. G. N., Ganang, A., Sulistianto, B. S. B., & Karian, T. K. T. (2018). Analisis Longsoran Bidang, Studi Kasus Pada Lereng Pit Bakam Pt Kbk Di Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Geomine*, 6(3), 101-108.
- [6] Astawa R., Made K. (2013). *Mekanika Batuan*. Gramedia Pustaka Utama.
- [7] APRILIA, F. (2014). *Analisis Tipe Longsor dan Kestabilan Lereng Berdasarkan Orientasi Struktur di Dinding Utara Tambang Batu Hijau, Sumbawa Barat* (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- [8] Kosim, G. G. (2015). *Analisis Balik Longsoran Low Wall Pit B3 di Tambang Batubara PT. BJA*

Menggunakan Metode Probabilistik Monte Carlo (Doctoral dissertation, Fakultas Teknik (UNISBA)).

- [9] LALITYA, T. J. (2016). *Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara dengan Metode Probabilitas pada Pit Tania Panel 2, PT. Kaltim Prima Coal, Kalimantan Timur* (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- [10] Pane, R. A., & Anaperta, Y. M. (2019) Karakterisasi Massa Batuan dan Analisis Kestabilan Lereng untuk Evaluasi Geometri Lereng di Pit Barat Tambang Terbuka PT. AICJ (Aliied Indo Coal Jaya) Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat. *Bina Tambang*, 4(3), 218-232.
- [11] Anaperta, Y. M., & Putra, S. A. (2019). Analisis Potensi Longsor Lereng Bukit Tui Kelurahan Tanah Hitam Kota Padang Panjang Sumatera Barat Menggunakan Aplikasi Slide V6.0. *Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan*, 12(1) 73-91.
- [12] Saputri, O.m Heriyadi, B., & Anaperta, Y. M. (2018). Slope Stability Analysis at Pit Al-Block B Village , Sungai Bengkal, Tebo Ilir Subdistrict, Tebo District, Jambi Province. *Bina Tambang*, 3(1) 504-523
- [13] Syafar, Z. (2017). Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop pada Penambangan Nikel. *Jurnal Geomine*, 4(3).
- [14] Rahim, A., Heriyadi, B., & Anaperta, Y. M. (2015) Analisis Kestabilan Lereng untuk Menentukan Geometri Lereng pada Area Penambangan Pit Muara Tiga Besar Sealatan PT. Bukit Asam (Persero) Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Bina Tambang*, 2(1), 271-284