ANALISIS BALIK KESTABILAN LERENG STUDI KASUS TAMBANG BATUBARA PT.X MENGGUNAKAN ANALISIS PROBABILISTIK MONTE CARLO

Dhini Andhini[1], Fitra Ramadhanti[2], dan S.Koesnaryo[1]

[1] Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Jl. Padjajaran, Condongcatur

[2]Universitas Negeri Padang
Jalan Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang

e-mail: d.andhini@yahoo.co.id

ABSTRAK

PT. X merupakan perusahaan tambang batubara dimana penambangan dilakukan dengan metode Open Pit Mining. Studi geoteknik telah dilakukan pada 3 tahun sebelumnya, tetapi pada kondisi aktual terkini area lowwall Panel A terjadi longsoran dikarenakan geometri lowwall tidak mengikuti rekomendasi kajian geoteknik, hal ini terjadi karena apabila geometri lereng mengikuti kajian geoteknik maka akan mengakibatkan nilai stripping ratio yang besar. Pemodelan dan analisis kemantapan lereng menggunakan pemodelan metode Kesetimbangan Batas (Limit Equilibrium Method) dengan analisis probabilistik Monte Carlo. Permodelan dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak (software). Data kondisi awal dari area panel A yaitu pada lapisan sandstone dengan kohesi (c')=27.9 kN/m dan sudut gesek dalam (ϕ')=29.8° ; siltstone: c'= 28.8 kN/m, ϕ'=8.13°; claystone: c'=20.3 kN/m dan ϕ'=25.1°. Analisis faktor keamanan (FK) dan rekomendasi geometri lereng menggunakan metode Simplified Janbu dan metode Simplified Bishop. Hasil dari kedua metode analisis digunakan nilai dari metode Simplified janbu karena memiliki nilai yang rendah dari metode Simplified Bishop sehingga nilai dari faktor keamanan dapat dilihat dari kemungkinan terburuk yaitu, longsoran area lowwall Panel A merupakan longsoran bidang dikarenakan kondisi lereng tidak stabil serta adanya bidang perlapisan yang lemah, dimana FK longsoran 0.966 dengan kemiringan 24°. Sebelum kelongsoran FK 0.804 dengan kemiringan 36°. Parameter geoteknik dari analisis balik longsoran adalah claystone: c'=21.26 kN/m, dan ϕ'=28.16° ; siltstone: c'=29.58 kN/m dan ϕ'=8.07°; sandstone: c'=27.66 kN/m dan ϕ'=29.73°, adapun rekomendasi kajian geoteknik dimana FK > 1.2 yaitu dengan kemiringan lereng 21°.

Kata kunci: Analisis balik Monte Carlo, lereng, faktor keamanan, Simplified Janbu, Simplified Bishop

ABSTRACT

PT. X is a coal mining company where mining is carried out using the Open Pit Mining method. Geotechnical studies have been carried out in the previous 3 years, but in actual conditions previously reported lowwall panel A avalanches occur because the lowwall geometry is not reviewed by geotechnical review, this occurs because it is reviewed by geometry, geotechnical exploration, then there will be a large stripping ratio value. Modeling and analysis of slope stability using the Limit Equilibrium Method with the Monte Carlo probabilistic analysis. Modeling is done using software. The initial condition data from the panel A area were in the sandstones with cohesion (c ') = 27.9 kN / m and friction angle (ϕ') = 29.8°; siltstone: c '= 28.8 kN / m, ϕ' = 8.13°; claystone: c '= 20.3 kN / m and ϕ' = 25.1°. Safety factor analysis (FK) and slope geometry approval using the Simplified Janbu method and the Simplified Bishop method. The results of the two methods of analysis used the value of the Simple janbu method because it has a low value from the Simple Bishop method to ensure the value of the safety factor can be seen from the worst problem, Panel A's lowwall landslide area, weak field landslide, where FK landslide 0.966 with a slope of 24°. Before the landslide FK 0.804 with a slope of 36°. The geotechnical parameters of the landslide reverse analysis are claystone: c '= 21.26 kN / m, and ϕ' = 28.16°; siltstone: c '= 29.58 kN / m and ϕ' = 8.07°; sandstone: c '= 27.66 kN / m and ϕ' = 29.73°, as for the geotechnical discussion where FK> 1.2 is with a slope of 21°.

Keyword s: Back Analysis Monte Carlo, slopes, safety factors, Simplified Janbu, Simplified Bishop

PENDAHULUAN

Mengacu kepada kaidah ilmu pertambangan, prinsip dasar yang dianut dalam mendesain suatu bukaan tambang adalah menentukan sudut lereng bukaan tambang yang optimal, dalam arti menentukan sudut lereng bukaan tambang keseluruhan (overall) yang cukup stabil, merupakan sudut maksimal yang dapat dibuat untuk mendapatkan cadangan batubara maksimal dengan stripping ratio (waste-coal ratio) yang masih dapat diterima management (Suharta, dkk., 2013:I-1).

Lereng yang didesain akan terus dievaluasi pada periode tertentu karena apa yang didesain tidak selamanya sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Hal ini disebabkan karena faktor-faktor dari luar seperti adanya pelapukan pada dinding lereng yang setiap saat bisa menyebabkan terjadinya longsoran (Rahim, 2015:2).

Area lowwall A pernah terjadi kelongsoran yang cukup besar pada tahun 2015. Kelongsoran yang terjadi dikarenakan kondisi overall slope lereng lowwall tidak mengikuti kajian geoteknik yang pernah dilakukan, serta terdapatnya bidang gelincir pada material penyusun lereng di belakang seam L6. Dimana kondisi aktual lereng sebelum terjadinya longsor tidaklah stabil, dengan ketinggian 54.044 m dan kemiringan 36^{o} pada elevasi 20 mdpl. Pihak management perusahaan tidak mengikuti kajian geoteknik yang pernah dilakukan sebelumnya dikarenakan nilai stripping ratio untuk mendapatkan batubara yang tinggi.

Desain bukaan tambang batubara yang optimal, harus memenuhi kondisi/persyaratan diantaranya, lereng bukaan tambang keseluruhan (overall pit slope) dalam kondisi stabil dengan faktor keamanan (FK) 1.30, SR (stripping ratio) atau waste coal ratio maksimal yang masih dapat diterima oleh Manajemen berdasarkan proyeksi harga jual batubara, dan cadangan batubara tertambang (mineable reserves) yang maksimal (Suharta, dkk, 2013:I-1).

Oleh karena itu diperlukan kajian analisis balik mengenai keterlibatan faktor penyebab longsor untuk memperoleh desain lereng yang stabil sehingga kegiatan operasional penambangan dapat berjalan dengan aman. Dikarenakan kestabilan lereng yang tidak terkendali dapat berdampak pada dua faktor yaitu faktor sosial/keselamatan dan faktor ekonomi (Read & Stacey, 2009 dalam Ginan, Dkk., 2015:42).

KAJIAN TEORI

Asumsi yang Digunakan

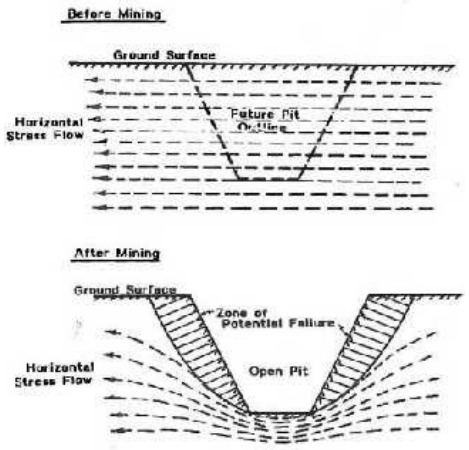
Dalam menganalisis kestabilan lereng pada penelitian ini diasumsikan sebagai lereng tanah disebabkan karena kondisi batuan yang telah mengalami pelapukan sehingga materialnya menjadi rapuh dan dapat dihancurkan dengan mudah menjadi butiran-butiran mineral atau bahan organik. Selain itu juga nilai kuat tekan uniaksialnya 1 MPa yang berarti material tersebut tanah sesuai dengan pendapat International For Rock Mechanic (Budi, 2002)

Kestabilan Lereng

Analisa kestabilan lereng dilakukan untuk menilai tingkat kestabilan suatu lereng. Istilah kestabilan lereng dapat didefinisikan sebagai ketahanan blok di atas suatu permukaan miring (diukur dari garis horizontal) terhadap runtuhan (collapsing) dan gelinciran (sliding) (Kliche, 1999 dalam Irwandi,2016:105).

Dalam hal ini setiap permukaan tanah yang memiliki kemiringan terhadap garis horizontal disebut lereng, baik alami maupun buatan manusia. Karena lereng tidak horizontal, melainkan membentuk sudut, akan timbul suatu gaya penggerak akaibat adanya gravitasi dan cenderung membuat blok di atas permukaan miring tersebut bergerak menuruni lereng (Irwandi,2016:105).

Menurut Hustrulid, Kuchta, & Martin (2006: 333) umumnya material di alam dalam keadaan stabil dengan distribusi tegangan dalam keadaan setimbang (equilibrium). 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 runtuhan dapat menjadi lebih buruk.



Gambar 1: Redistribusi Tegangan Horizontal Akibat Penggalian Tambang

Pada tanah dan batuan dalam keadaan alamiah bekerja antara lain tegangan-tegangan dan tekanan air pori. Kedua hal tersebut mempunyai peranan penting dalam kestabilan lereng. Sedangkan tanah

dan batuan sendiri mempunyai sifat-sifat fisik dan mekanik asli tertentu seperti sudut gesek dalam (angle of internal friction-ϕ), kohesi (c), kuat tekan, kuat Tarik, modulus elastisitas, nisbah poisson, dan bobot isi (ɣ) serta sifat fisik dan mekanik lainya yang sangat berperan dalam menentukan kekuatan tanah dan batuan dan juga mempengaruhi kestabilan lereng (Hoek and Bray, 1981 dalam Irwandi 2016:13).

Secara prinsip, pada suatu lereng berlaku dua macam gaya yaitu gaya penahan dan gaya penggerak. Gaya penahan yaitu gaya yang menahan massa dari pergerakan berupa gaya gesekan atau geseran, kohesi dan kekuatan geser tanah. Gaya yang menyebabkan massa bergerak berupa gaya berat, gaya gravitasi disebut gaya penggerak.

Pada kondisi gaya penahan (terhadap longsoran) lebih besar dari gaya penggerak, lereng tersebut akan berada dalam kondisi yang stabil (aman). Namun, apabila gaya penahan lebih kecil dari gaya penggeraknya, lereng tersebut tidak stabil dan akan terjadi longsor. Sebenarnya longsoran merupakan suatu proses alami yang terjadi untuk mendapatkan kondisi kestabilan lereng yang baru (keseimbangan baru), dimana gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak (Irwandi, 2016:5).

Tabel 1: Hubungan nilai FK dan kemungkinan kelongsoran lereng tanah

Nilai Fk	Kemungkinan Longsor
< 1,07	Kelongsoran biasa terjadi
1,07 < Fk < 1,25	Kelongsoran pernah terjadi
> 1,25	Kelongsoran jarang terjadi

Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Kesetimbangan Batas

Prinsip dasar metode irisan

Faktor keamanan pada metode kesetimbangan batas (Limit Equilibrium Methods) didefinisikan sebagai perbandingan antara total gaya penahan longsor dengan gaya penyebab longsoran dan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F = \frac{s}{t} = \frac{Total \times gaya \times penahan \times lonsoran}{Total \times gaya \times penyebab \times longsoran} \quad (1)$$

FK diasumsikan mempunyai nilai yang sama untuk setiap irisan. Kekuatan geser material yang tersedia untuk menahan material sehingga lereng tidak longsor dinyatakan dalam kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb sebagai berikut:

$$s = c' + (\sigma_n - u)\tan\phi' \quad (2)$$

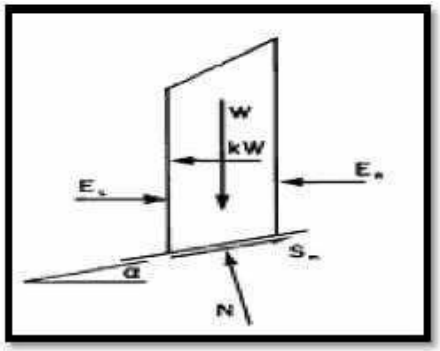
Dimana, S = Kekuatan Geser, c '= Kohesi Efektif, ϕ '= Sudut Gesek Efektif, σ_n= Tegangan Normal Total dan u= Tekanan Air Pori.

Metode irisan

Dalam mememuhi kondisi dari kesetimbangan batas maka harus adanya beberapa metode dalam pengirisan yang dapat dikelompokkan dalam dua kelompok yaitu: (1) Metode yang tidak memenuhi pada semua kondisi kesetimbangan gaya dan momen, beberapa metode yang ada antara lain yaitu metode irisan biasa, metode Bishop yang disederhanakan, metode Janbu yang disederhanakan, dan metode Corps of Engineer, (2) Metode yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan momen, antara lain yaitu Metode Spencer, Metode Morgenstern-Price dan Metode Kesetimbangan Batas Umum.

Metode bishop yang disederhanakan (simplified bishop method)

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 vertical untuk setiap irisan dan kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh untuk semua irisan, sedangkan kesetimbangan gaya dalam arah horisontal tidak dapat dipenuhi.



Gambar 2: Gaya-gaya yang bekerja pada irisan metode bishop

Metode janbu yang disederhanakan (simplified janbu method)

Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu gaya geser antar irisan sama dengan nol. Dalam metode ini dapat menganalisis banyak bentuk bidang runtuhan, dimana dalam metode ini memenuhi kesetimbangn gaya pada arah vertikal dan horizontal pada setip irisan. Metode simplified Janbu dapat digunakan untuk menganalisis bidang runtuh circular maupun non circular (Sharma, 2002).

Analisis probabilistik monte carlo dalam metode kesetimbangan batas

Fungsi distribusi probabilitas menggambarkan penyebaran suatu variable acak yang digunakan untuk memperkirakan nilai probabilitas kemunculan suatu parameter. Fungsi distribusi

probabilitas memiliki sifat-sifat penyebaran yang khas dan unik yang menjadikan fungsi yang satu akan berada dengan fungsi ditribusi yang lain. Tapi hal ini menutup kemungkinan bahwa suatu fungsi distribusi merupakan turunan dari fungsi yang lainya. Dalam metode kesetimbangan batas dapat menunjukan beberapa nilai yaitu SF (Safety Factor), PF (Probability Failure), dan RI (reliability Index). (Gianan, 44:2015)

Simulasi Monte Carlo dikategorikan sebagai metode sampling karena parameter masukan acak dihasilkan dari distribusi probabilitas untuk mensimulasikan proses pengambilan sampel dari populasi yang sebenarnya (Wittwer, J., 2004 dalam edi, 61:2016).

- PF (Probability Failure)

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 (Rocscience, 2016).

- 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).

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian mengenai analisis balik kestabilan lereng pada daerah lowwall Panel A pertambangan Batubara PT.X yang dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3: Lokasi Penelitian

Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari teori-teori yang berhubungan dengan masalah yang akan dibahas di lapangan melalui bahan- bahan pustaka, brosur, dan penelitian yang pernah dilakukan.

Pengamatan Lapangan

Peninjauan lapangan untuk melakukan pengamatan langsung terhadap topografi daerah dan data-data penunjang lainnya dari masalah yang akan dibahas. Menganilisis dan mengumpulkan data-data kondisi geologi, struktur batuan, dan geometri lereng.

Pengambilan Data

Data yang diambil berupa data primer (geometri lereng, muka air tanah, stratigrafi batuan penyusun lereng) dan data sekunder (data pemboran goteknik,
topografi, sifat fisik dan sifat mekaik batuan).

Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan pembuatan stratigrafi lapisan penyusun lereng, model perlapisan dibuat dalam dua dimensi mengacu pada cross section. Dalam pembuatan model perlapisan, digunakan asumsi bahwa kemiringan lapisan untuk setiap jenis material sama dengan rata-rata kemiringan lapisan batubara. Lapisan material penyusun lereng untuk Panel A diasumsikan sejenis dengan parameter sifat fisik dan sifat mekanik batuan sama.

Analisis Pengolahan Data

Analisis balik kestabilan lereng dengan metoda probabilitas monte carlo dan analisis nilai faktor keamanan dilakukan menggunakan metode kesetimbangan batas yaitu metode janbu yang disederhanakan. Nilai faktor keamanan 1.3 digunakan sebagai kriteria untuk menilai stabilitas model lereng keseluruhan (overall pit slope) yang dapat diterima. Jika FK < 1.3 maka model lereng dianggap belum cukup stabil.
Perhitungan nilai stripping ratio menggunakan metoda cross section dengan Pedoman Rule of Gradual Changes. Sehingga didapatkan desain nilai Faktor Keamanan lereng optimal dan aman untuk dilakukan kegiatan penambangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyelidikan geoteknik

Pemetaan geoteknik

Pemetaan dilakukan pada area tambang yang telah terbuka, yaitu penyelidikan kekuatan massa batuan pada setiap lapisan yang nampak dan terjangkau pada singkapan.
Pemetaan geoteknik permukaan bertujuan untuk mendapatkan data dan informasi tentang kondisi massa batuan yang akan digunakan untuk mendukung proses karakterisasi massa batuan.
Sistem klasifikasi massa batuan dengan sistem Rock Mass Rating (RMR), yaitu system pengelompokan kualitas massa batuan dengan cara memberi bobot atau rating pada parameter-parameter dasarbatuan yang diamati.
Parameter utama yang harus dikumpulkan untuk mendukung klasifikasi sistem ini, yaitu: Strength of Intact Rock (Kekuatan batuan utuh), RQD (Rock Quality Designation), Spacing of Discontinuities

(Spasi joint), Condition of Discontinuities (Kondisi joint), Groundwater Condition (Kondisi air tanah).

Tabel 2: Data hasil Pemetaan Geoteknik Permukaan

No	Scan-Line / From - To / Litho-logy		I		I		I		I	
		m	0 - 0.3 Batubara		0.8 - 18 Sandstone		18 - 19.8 Siltstone		19.8 - 20.8 Claystone	Soil
I.	Parameter of Rock Mass Classification		Value	Rating	Value	Rating	Value	Rating	Value	Value / Rating
	1. Strength of intact rock	MPa	1.5	1	1.5	1	1.5	1	1.5	0 / 0
	2. RQD	%	25-50	8	>25	8	50-75	13	75-90	17
	3. Spacing of discontinuities	m	<0.06	5	<0.06	5	<0.06	5	<0.06	5
	4. Condition of discontinuities									-
	a). Length (persistence)	m	<1	6	1-3	4	1-3	4	1-3	4
	b). Separation (aperture)	mm	0.1-1	1	0.1-1	1	0.1-1	1	0.1-1	1
	c). Roughness		SM	1	SR	3	SM	1	SM	1
	d). Infilling (gouge)	-	NI	2	NI	2	SM	2	SF	2
	e). Weathering	-	UW	5	UW	5	UW	5	UW	5
	5. Groundwater condition	-	CD	15	DM	10	DM	10	DM	10
	RMR basic			48		40		48		50
II	Adjustment rating for joints									
	Slope orientation (Dip Direction/Dip)	N°E/°	345	40	345	40	345	40	345	40
	Joint Orientation Dip Direction/Dip)	N°E/°	315	10	315	10	315	10	315	10
	Factors : F1, F2		1	0.85	1	0.85	1	0.85	1	0.85
	Factors : F3, F4		-25	0	-25	0	-25	0	-25	0
III	RMR = RMR basic (F1xF2xF3)+F4		26.75		28.75		24.75		28.75	
	Class No		IV (POOR)		IV (VERY POOR)		IV (POOR)		IV (POOR)	
IV	Rock mass parameter									
	Cohesion (MPa)		130.0		93.1		119.7		110.8	
	Friction angle (deg)		18.0		14.3		17.0		18.1	
	Modulus of deformation (MPa)		2727.7		1954.8		2512.5		2327.1	-
V.	GSI (1)		40		40		40		45	-
	GSI (2) = RMR basic dry + (5)		43		38		43		45	

Pengeboran geoteknik

Dari data hasil pengamatan kualitatif yang dilakukan pihak perusahaan terhadap batuan inti bor menunjukan bahwa secara umum batuan mempunyai kekuatan dengan kategori ekstrem lemah sampai sedang (Kelas V - IV).

Pengujian sampel geoteknik

Pengujian sampel mancakup Sifat fisik batuan, meliputi kadar air, densitas, berat jenis, derajat kejenuhan, porositas dan angka pori. Sifat mekanik batuan, meliputi kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, nisbah Poisson, kohesi dan sudut gesek dalam.

Tabel 3: Resume data hasil uji sifat fisk dan mekanik batuan

No	Sample		Symbol	Unit	3GT-C1B/1	3GT-C1B/2	3GT-C1B/5	3GT-C1B/6	3GT-C1B/7
	Hole No.				1	2	3	4	5
	Depth (m)				1.10-1.60	3.10-3.60	21.30-21.80	26.60-29.30	32.90-33.30
	Visual Description				Claystone	Claystone (Coal)	Sandstone	Sandstone	-
1	Natural Water Content		W_n	%	18.890	44.460	19.690	19.475	20.699
2	Specific Gravity		G_s	-	2.600	1.530	2.640	2.620	2.600
3	Unit Weight Natural State		γ_n	gr/cm³	1.893	1.477	2.072	2.065	2.035
4	Dry Unit Weight		γ_d	gr/cm³	1.597	1.022	1.731	1.728	1.686
5	Degree of Saturation		Sr	%	77.586	-	99.011	98.912	99.232
6	Natural Porosity		n	%	38.750	-	34.427	34.037	35.137
7	Natural Void Ratio		e	-	0.633	-	0.525	0.516	0.542
10	Unconfined	UCS		Mpa	0.280	0.120	3.270	0.720	1.210
	Compressive	Poisson's Ratio		-	0.303	0.157	0.330	0.208	0.306
	Strength	Modulus Elasticity		MPa	14.600	1.200	546.600	72.300	123.000
12	Triaxial	Unconsolidated	C	kPa	91.345	59.157	220.709	269.622	276.181
		Undrained	ϕ	deg	22.332	14.401	34.131	33.337	34.426

Pemodelan Lapisan Penyusun Lereng

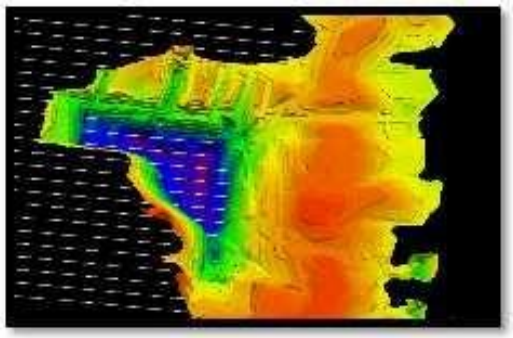
Pembuatan stratigrafi lapisan penyusun lereng dibuat berdasarkan pengamatan langsung pada badan lereng, dimana strike dan dip lapisan penyusun lereng rata-rata adalah N224°E/41°.



Gambar 4: Stratigrafi Penyusun Lereng

Kondisi Lereng

Material penyusun lereng terdiri dari batu lempung (claystone), batu pasir (sandstone), batu lanau (siltstone) dan batubara (coal). Dari pengamatan dilapangan struktur kekar yang ada sudah sangat sulit untuk dikenali, hal ini dikarenakan hampir seluruh batuan yang ada telah mengalami pelapukan dan menjadi material lepas (tanah), serta telah terjadinya longsoran pada salah satu penampang yang akan dianalisis



Gambar 5: Posisi Garis Penampang Lereng

Kondisi lereng lowwall panel A

Pada tahun 2015 terjadi kelongsoran cukup besar karena ketidakstabilan lereng yang dibentuk, serta dikarenakan kondisi overall lowwall yang tidak mengikuti rekomendasi kajian geoteknik yang telah dilakukan. Dimana kemiringan lereng sekitar 36 lereng ± 54 m.

Pemodelan Lereng

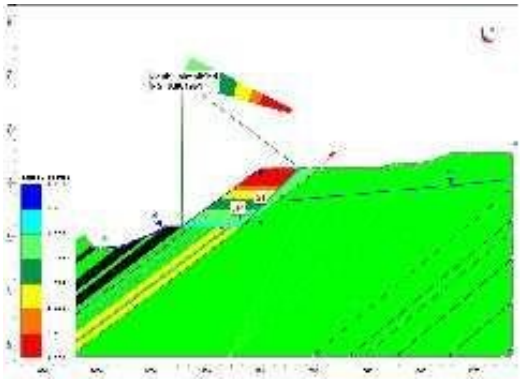
Dalam studi pemodelan ini, beban yang bekerja dianggap hanya beban karena gaya gravitasi bumi saja. Tidak ada beban statik dari luar sistem, sedangkan beban dinamik berupa getaran dianggap berasal dari kemungkinan adanya gempa bumi, yang pada area studi tambang di daerah Tapin ini termasuk daerah dengan faktor kegempaan f = 0.10g

Analisis Kemantapan Lereng Lowwall

Analisa geoteknik dilakukan melalui dua tahap uatama yaitu back analysis untuk mengetahui parameter batuan katika longsor terjadi danforward analysis untuk memodelkan kembali kestabilan lereng dengan parameter yang diperoleh dari analisa
back analysis.

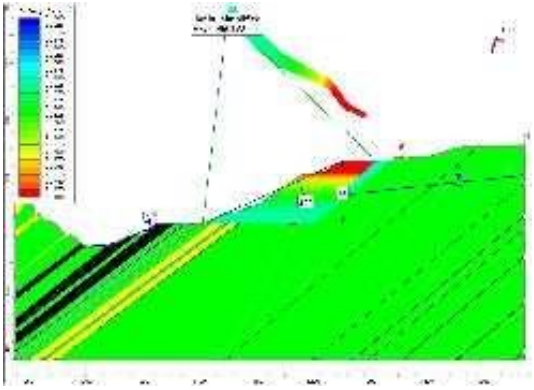
Back analysis

Analisis kondisi geometri lereng area lowwall Panel A sebelum terjadi kelongsoran memiliki tinggi 54 m dengan kemiringan lereng 36^{o} dengan nilai faktor keamanan (FK) sebesar 0.804



Gambar 6: Kondisi lereng sebelum terjadi longsor

Kelongsoran yang terjadi pada overall lowwall Panel A dikerenakan kondisi lereng sebelumnya tidak stabil sehingga membuat lereng mencari kondisi stabil dengan kesetimbangan baru pada kemiringan lereng yang semula 36^{o} menjadi 24^{o} dimana nilai faktor keamanan overall slope lowwall Panel A menjadi 0.966.

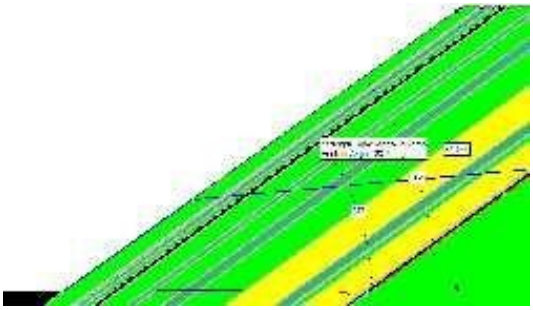


Gambar 7: Kondisi lereng setelah kelongsoran

Tabel 4. Data hasil analisis balik Panel A

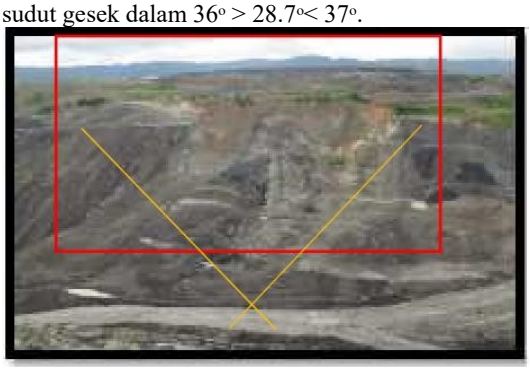
Material	FS-Janbu simplified	FS-Bishop simplified	Cohesion (kN/m^2)	Friction Angle (deg)	Unit Weight (kN/m^3)
Sandstone	0.966	1.018	27.66	29.73	17.46
coal	0.966	1.018	40.00	28.70	13.20
Siltstone	0.966	1.018	29.58	8.07	22.36
Claystone	0.966	1.018	21.26	28.16	19.85

Kelongsoran yang terjadi selain dikarenakan kondisi lereng tidak stabil juga karena adanya bidang perlapisan yang lemah pada lereng yaitu lapisan batuan siltstone yang bersifat softrock. Nilai dari sudut geser dalam siltstone adalah 8.07 berada pada belakang seam L7 dan seam L8.



Gambar 8: Kondisi longsoran bidang

Longsoran yang terjadi merupakan longsoran bidang dikarenakan kondisi longsoran mengikuti bidang perlapisan dimana bidang gelincir sejajar dengan strike lereng. Kemringan bidang gelincir lebih kecil dari pada kemiringan lereng 36^{o} dan kemiringan bidang gelincir lebih besar daripada sudut gesek dalam 36^{o} > 28.7^{o}< 37^{o}.



Gambar 9: Longsoran Lowwall pada Panel A

Forward analysis

Tabel 5. Hasil Analisis Kestabilan Lereng Tunggal

No	*Slope Height* (m)	*Slope Angle* (°)	FK-Janbu	FK-Bishop
Analisis Lereng Tunggal ***Claystone***				
1	10	27	1.308	1.475
2	15	21	1.310	1.455
3	20	18.5	1.322	1.459
Analisis Lereng Tunggal ***Sandstone***				
1	10	38	1.31	1.431
2	15	24	1.327	1.511
3	20	20	1.32	1.485
Analisis Lereng Tunggal ***Siltstone***				
1	10	13	1.306	1.472
2	15	8.5	1.302	1.468
3	20	6.5	1.323	1.466

Sebagai rekomendasi geometri lereng tunggal pada penelitian ini nilai faktor keamanan yang dipilih adalah 1.3, dimana tinggi lereng untuk claystone, siltstone, dan sandstone masing-masing adalah 10 meter dan 15 meter.

Rekomendasi lereng lowwall

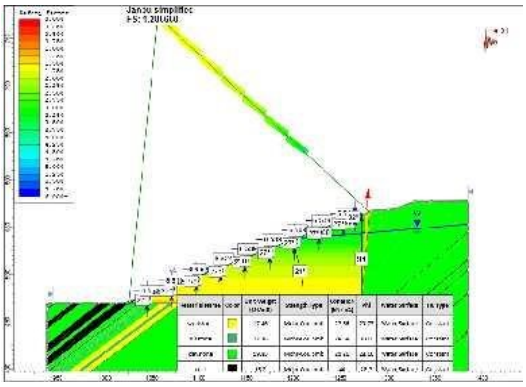
Tabel 6. Hasil analisis rekomendasi sebelum kelongsoran overall slope lowwall Panel A

Elevasi (mdpl)	Tinggi lereng (m)	*Bench width* (m)	Sudut (°)	*Overall slope* (°)	FK	SR
20	(10x5)+(4x1)=54	6.5, 6.6 & 5.5	27&30	21	1.32	1.86
10	(10x6)+(4x1)=64	6.6,6.9,6.5 & 5.5	27&30	21	1.3	1.74
0	(10x7)+(4x1)=74	6.9, 6.5 & 5.5	27&30	21	1.296	1.96
-10	(10x8)+(4x1)=84	6.9, 6.5, 6.6 & 5.5	27&30	21	1.291	2.07
-20	(10x9)+(4x1)=94	6.5, 6.6 & 5.5	27&31	21	1.28	2.14

Berdasarkan hasil data analisis diatas dapat disimpulkan rekomendasi geometri lereng overall lowwall sebelum terjadi kelongsoran pada Panel A yang aman serta ekonomis untuk memproduksi batubara rata-rata adalah pada overall slope 21° dimana nilai faktor keamanan 1.3.

Tabel 7. Hasil analisis rekomendasi setelah kelongsoran overall slope lowwall Panel A

	Elevasi	
	20 mdpl	-20 mdpl
Tinggi lereng (m)	(10x5)+(4x1)=54	(10x9)+(4x1)=94
Bench width (m)	6.5, 6.6 & 5.5	6.5, 6.6 & 5.5
Sudut (°)	27 & 32	27 &30
Overall slope (°)	22	21
Faktor Keamanan	1.28	1.28
Volume Longsoran (bcm)	464.210	615,605.28
Volume OB (bcm)	-	240,037.66
Coal Tertinggal (ton)	-	150,594.98
Stripping Ratio	-	5.68



Gambar 10: Analisis Rekomendasi Kestabilan Lereng Lowwall Panel A Tinggi 94 m

KESIMPULAN

Berdasarkan kondisi geometri lereng sebelum terjadi kelongsoran pada area lowwall Panel A tidak stabil, dimana nilai faktor keamanan 0.804, kemiringan 36°, dan tinggi 54 m.

Hasil analisis balik longsoran panel A pada elevasi 20 mdpl merupakan longsoran bidang yang diakibatkan karena kondisi lereng tidak stabil serta adanya bidang perlapisan yang lemah pada lereng yang yaitu Siltstone. Dimana nilai faktor keamanan longsoran adalah 0.966, overall slope 24°, tinggi 54 m, artinya masih berpotensi terjadi kelongsoran.

Nilai parameter geoteknik berdasarkan analisis balik longsoran Panel A adalah sebagai berikut batuan claystone: kohesi 21.26 kN/m^2 dan sudut gesek dalam 28.16°; siltstone: kohesi 29.58 kN/m^2 dan sudut gesek dalam8.07°; sandstone: kohesi 27.66 kN/m^2 dan sudut gesek dalam 29.73°.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya ucapkan ke semua pihak yang telah membantu dalam proses pembuatan dan penyusunan penelitian ini terutama pihak perusahaan PT. X, pihak Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta serta pihak Universitas Negeri Padang.

DAFTAR PUSTAKA

Arief, Saifuddin. 2008. "Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan". Buku kompilasi tidak diterbitkan.

Azizi, Masagus A., dkk.. 2012. "Analisis Risiko Kestabilan Lereng Tambang Terbuka (Studi Kasus Tambang Mineral X)". Paper. Prosiding Simposium dan Seminar Geomekanika Ke-1 2012.

Das, Braja M. (2007). Fundamentals of Geotechnical Engineering (Second Edition). California State Uiversity:Sacramento.

Das, Braja M. (1988). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jakarta : Penerbit Erlangga.

Kosim Ginanjar, Ginan., Maryanto & Dono Guntoro. 2015. “Analisis Balik Longsoran Lowwall Pit B3 di Tambang Batubara PT. BJA menggunakan Metode Probabilistik Monte Carlo”. Jurnal. Prosiding Penelitian Sivitas Akademuka Unisba. ISSN:2460-6499. Hlm. 42-50.

Korah Thyac., dan Turangan A,E (2014). “ Analisis Ketsabilan Lereng dengan Metode Janbu (Studi Kasus: Kawasan Citraland).” Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.1. Hlm 22-28.

Ontosari, David., Sindu UMBORO & Wandi. (2011). “Kajian Geoteknik Untuk Penanganan Kelongsoran di Lowwall Pit T1 Site Sambarata, PT. Berau Coal, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur.” Paper. Prosiding TPT XX PERHAPI 2011. Hlm 451-460.

Popoff, Costatine C. 1966. Computing Reserves of Mineral Deposit: Principles and Conventional Methods. Washington: U.S Dept. Of The Interior, Bureau of Mines.

P.R, Cherianto, Octovian., Turangan A,E & Sartje Monintja. (2014). “ Analisis Ketsabilan Lereng dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland sta. 1000m).” Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.3. Hlm 140-147.

Rocscience Slide. “Webhelp Rocscience Slide”. www.rocscience.com/help/slide, diakses pada 2 September 2016.

Sharma, Sunil. 2002. Slope Stability Concepts (Chap. 6). New York: John Wiley & Sons.

Suharta, Gde., Dkk. (2013). Geotechnical Study For Supporirting The Development of Open Pit Coal Mine Design at Blok 3 Warukin, Sungai Raya, Tapin Residence South Kalimantan. Banjarmasin: PT. AGM.

Yadi, Zulkifhi. (2015). “Kestabilan Geometri Lereng Bukaan Tambang Batubara di PT. Pasifik Global Uatama Kabupaten Muara Enim Provinsi Sumatera Selatan.” Prosiding Teknik Pertambangan UNISBA ISSN 2460-6499. Hlm 1-8.

Wyllie, Duncan C., & Christopher W. Mah. 2004. Rock Slope Engineering: Civil and Mining. 4rd. (ed). New York: Spoon Press.

Utamakno L., Cahyono Y. D. G., dan Putri R. H. K., (2019), "Analisis sektor hulu-hilir komoditas bahan galian radioaktif" *Jurnal mineral dan kelautan - ITATS*, **15:**73-79.