

**ANALISIS KEMANTAPAN LERENG HIGHWALL TAMBANG  
TERBUKA MENGGUNAKAN METODE BISHOP PADA PIT 22 GN  
DI PT KITADIN SITE EMBALUT  
KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA  
PROVINSI KALIMANTAN TIMUR**

**Oleh :**

**Deny Tandiarra Tandidatu<sup>1</sup>, Sundek Hariyadi<sup>2</sup>**

**ABSTRAK**

Kestabilan lereng, baik pada lereng kerja maupun lereng akhir merupakan aspek yang sangat penting. Kestabilan lereng, baik pada lereng kerja maupun lereng akhir merupakan aspek yang sangat penting dalam suatu kegiatan penambangan terbuka. Ketidakmantapan suatu lereng akan berakibat runtuhnya batuan di sekitar lokasi penggalian. Hal ini terjadi karena kondisi batuan ketika belum dilakukan penggalian umumnya berada dalam keadaan setimbang. Namun akibat pola-pola diskontinu yang terjadi selain secara alamiah dan juga disebabkan oleh aktivitas penambangan seperti penggalian, peledakan dan sebagainya, menyebabkan berkurangnya gaya penahan terhadap batuan pada lereng itu sehingga kesetimbangan gaya yang selama ini terjadi cenderung bergeser dan tidak seimbang lagi menurut Hoek, E. and Brown, E.T. (1980). Pada umumnya, batuan pembawa batubara merupakan batuan sedimen yang berlapis-lapis, sehingga lereng pada tambang terbuka batubara merupakan lereng yang tersusun oleh batuan yang berlapis-lapis. Menurut Ward, C.R (1984) bidang perlapisan ini dapat menjadi bidang gelincir dari pergerakan massa batuan untuk mencapai kondisi baru yang lebih mantap dan setimbang. Pergerakan batuan tersebut dapat disebut juga kelongsoran, yang dapat mengganggu aktivitas penambangan dan mengakibatkan kerugian, dari kerugian materiil sampai memakan korban jiwa.

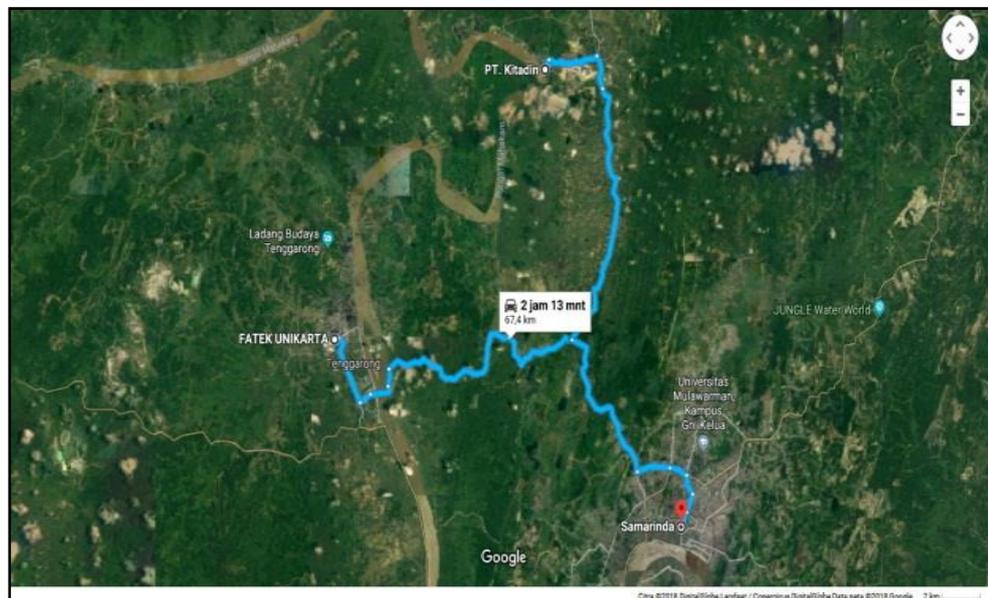
Kata kunci : Kemantapan lereng, *High wall*, Tambang Terbuka, Pit 22 GN, Batubara.

**1. PENDAHULUAN**

Kestabilan lereng, baik pada lereng kerja maupun lereng akhir merupakan aspek yang sangat penting dalam suatu kegiatan penambangan terbuka. Ketidakmantapan suatu lereng akan berakibat runtuhnya batuan di sekitar lokasi penggalian. Hal ini terjadi karena kondisi batuan ketika belum dilakukan penggalian umumnya berada dalam keadaan setimbang. Namun akibat pola-pola diskontinu yang terjadi selain secara alamiah dan juga disebabkan oleh aktivitas penambangan seperti penggalian, peledakan dan sebagainya, menyebabkan berkurangnya gaya penahan terhadap batuan pada

lereng itu sehingga kesetimbangan gaya yang selama ini terjadi cenderung bergeser dan tidak seimbang lagi menurut Hoek, E. and Brown, E.T. (1980).

PT Kitadin – Embalut merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang industri pertambangan batubara yang berlokasi di desa Embalut Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, Propinsi Kalimantan Timur, merupakan anak perusahaan BANPU yang dimiliki pemilik modal luar negeri (THAILAND). PT Kitadin – Embalut berdiri sejak tanggal 1978 pada tahap ekspolasi, sedangkan memulai produksi pada tahun 1983 dengan kuasa pertambangan Eksplorasi KW. 96P/00174/Kaltim dan dengan luas 2.973,6 Ha (sejak maret 2000). Dalam wilayah ini telah ditemukan 12 lapisan (*seam*) batubara dengan penyebaran, tebal dan kulit yang bervariasi.



Gambar 1. Daerah penelitian terletak di Desa Embalut Kecamatan Tenggarong Seberang Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Tahapan Persiapan

Studi literatur adalah jurnal pustaka makalah, jurnal ilmiah, buku literature mendukung penelitian, website internet, sehingga diharapkan dengan kesimpulan teori yang kuat akan diperoleh penelitian yang berbobot ilmiah.

### 2.2. Tahapan Observasi Lapangan

Survey, bertujuan untuk mencari suatu data primer dan data-data sekunder terkait perencanaan, pemodelan serta situasi situasi akhir suatu desain Pit 22 GN PT. Kitadin.

### **2.3. Tahapan Pengumpulan Data**

Data primer, bertujuan untuk mengumpulkan sejumlah besar data yang yang didapatkan langsung oleh peneliti. data primer berupa data hasil karakteristik batuan, diskripsi litologi batuan, muka air tanah, dokumentasi.

Proses pengambilan data sekunder adalah dengan mengumpulkan hasil penelitian atau kajian terdahulu misalkan dari laporan analisa geologi teknik (geotek), laporan studi kelayakan, peta perencanaan serta peta situasi tambang khususnya pada lereng high wall yang akan di teliti. Selain itu data hasil lab uji kuat geser yang dilakukan oleh laboratorium itu sendiri.

### **2.4. Tahapan Pengolahan Data**

Data yang telah terkumpul kemudian dilakukan tahap pengolahan data dengan dibantu perangkat lunak (software) antara lain : Microsoft Office Exel dan Microsoft Office Word dan perangkat lunak lainnya yang menunjang.

### **2.5. Tahapan Kajian Data Hasil Penelitian**

Tahapan kajian data hasil penelitian ini merupakan tahapan akhir dari pengolahan data, dimana data-data yang telah terekap dalam suatu form rekapitasi dilakukan kajian data untuk:

1. Pengolahan data dibantu dengan perangkat lunak (software) : Microsoft dan Microsoft Office.
2. Dalam Pengkajian data hasil uji geologi teknik di lakukan dengan software autocad dan software slide versi 6.00.

## **3. TEORI DASAR**

### **3.1. Kestabilan Lereng**

Kegiatan penambangan galian sedimen sering kali diawali dengan pengupasan lapisan tanah penutup untuk bisa mendapatkan bahan galian yang di inginkan. Semakin dibawah posisi bahan galian yang akan diambil tentunya akan semakin banyak lapisan penutup yang harus di pindahkan, akibat dari pemindahan tanah penutup tersebut akan menimbulkan perbedaan ketinggian pada area kerja (*front*) terhadap lapisan batuan sekitarnya. Karena perbedaan ketinggian antara dua permukaan tersebut yang nantinya akan menciptakan sebuah bidang miring ataupun tegak yang menghubungkan kedua permukaan tersebut, yang sering disebut dengan lereng (*slope*). Lereng dapat terbentuk secara alami dan dapat juga dibuat oleh manusia. Dalam bidang Teknik Sipil, ada tiga jenis lereng yaitu: (*Budiman, 2011*)

1. Lereng alam, yaitu lereng yang terbentuk karena proses-proses alam, misalnya lereng suatu bukit.
2. Lereng yang dibuat dengan tanah asli, misalnya apabila tanah dipotong untuk pembuatan jalan atau saluran air untuk keperluan irigasi.
3. Lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan, sebagai tanggul untuk jalan atau bendungan tanah.



Pada perhitungan kestabilan lereng digunakan data parameter kekuatan tanah hasil pengujian laboratorium contoh batuan di lakukan di Laboratorium Geotek PT. Kitadin Site Embalut. Jenis uji dan jumlah uji laboratorium di lakukan untuk analisis kemantapan lereng adalah uji Geoteknik yang bertujuan untuk menentukan sifat fisik dan sifat mekanik batuan pada lapisan tanah penutup, yang meliputi bobot isi, kohesi dan sudut geser dalam. dimana hasilnya diperlukan untuk menentukan tinggi dan sudut lereng dalam kondisi stabil baik untuk operasional penambangan maupun operasional penimbunan tanah penutup.

Perhitungan yang dilakukan melihat kondisi daerah penelitian pada saat sekarang dan dibedakan berdasarkan material penyusun lereng, model kelongsoran dan keadaan lereng dapat di tampilkan dengan menggunakan software *Slide versi 6.0* metode bishop.

#### **4.1. Analisis kestabilan lereng**

Setelah melakukan pengolahan data pada beberapa sample dari pemboran didapat data material dari semua lithologi yang telah di kelompokkan ke dalam zona lapisan penutup batubara. Data – data tersebut yang akan dimasukkan ke dalam software sebagai parameter batuan beserta desain penampang lereng yang nantinya akan digunakan sebagai *external boundry* dan *material boundry*.

Desain penampang lereng terlebih dahulu di lakukan rekontruksi dengan bantuan software minescape 4.119, dan autocad 2016. Hasil rekontruksi lereng kemudian di import di dalam *software slide 6.0* dan di berikan bobot properties batuan tiap lapisan interburden. Hasil akhir dari proses penentuan nilai faktor keamanan adalah sebagai berikut :

##### **4.1.1. Analisis Kemantapan Lereng Tunggal (Single Slope)**

Analisis kemantapan lereng tunggal dihitung menggunakan Metode Bishop Yang disederhanakan. Terdapat beberapa perhitungan yang ditetapkan sebagai pendekatan yaitu :

- a. Material penyusun lereng tunggal diasumsikan homogen
- b. Faktor keamanan lereng minimum yang digunakan untuk analisis adalah  $FK \geq 1.2$  (*Sosrodarsono, Suyono*)
- c. Kondisi material yang dianalisis dianggap jenuh.

##### **4.1.1.1. Karakteristik material lereng tunggal**

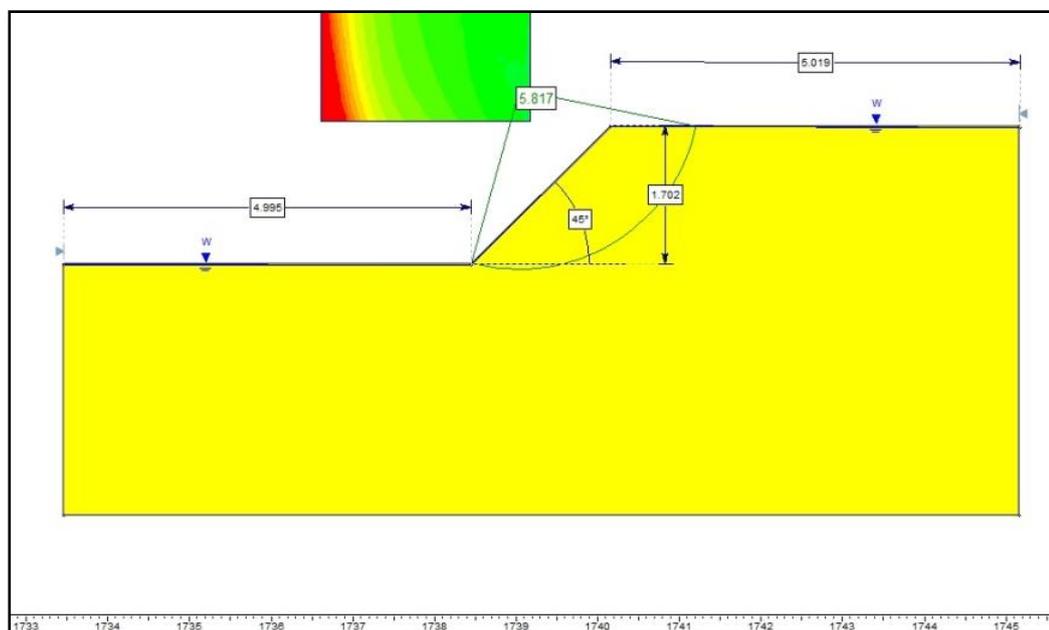
Karakteristik material tunggal yang digunakan untuk analisis kemantapan lereng tunggal menggunakan Program *slide 6.0* adalah kohesi (C), sudut geser dalam ( $\phi$ ), dan berat jenis batuan.

Tabel 1. Karakteristik Material Tunggal

PIT	MATERIAL GROUPING ZONE	PREVIKS	UNIT WEIGHT	SHEAR STRENGTH PARAMETER	
				KOHESI	FRICTION ANGLE
			KN/m <sup>3</sup>	Peak (KN/m <sup>2</sup> )	Peak (deg)
S22GN	Soil Material	SO	17,01	80,47	21,09
	Disposal Material	DI	18,14	4,00	10,00
	Overburden	OB	21,42	132,39	31,76
	Interburden 23 C 22	IB 23 C 22	20,88	144,07	31,04

#### 4.1.1.2. Pemodelan Lereng Tunggal

Pemodelan lereng tunggal dilakukan untuk mendapatkan faktor keamanan (FK) semua material yang menjadi bagian dari lereng keseluruhan. Perhitungan dilakukan untuk beberapa variasi ketinggian yaitu 1 meter – 40 meter dengan beberapa variasi kemiringan yaitu 20<sup>0</sup> - 70<sup>0</sup>.



Gambar 3. Hasil Pemodelan Lereng tunggal

Tabel 2. Hasil Analisa Lereng Tunggal

OB			IB 23 c 22			Disposal			Soil		
Tinggi	Sudut	FK	Tinggi	Sudut	FK	Tinggi	Sudut	FK	Tinggi	Sudut	FK
(m)	0		(m)	0		(m)	0		(m)	0	
5	20	11.264	10	50	4.400	1	20	1.837	1.7	45	5.817
	25	9.210		55	4.180		25	1.721		60	5.104
	30	8.837		60	4.154		30	1.646			
	35	8.464		65	3.829		35	1.582			
	40	8.091		70	3.639		40	1.494			
	45	7.927	12	50	3.448		45	1.430			
	50	7.507		55	3.258		50	1.330			
	55	7.087		60	3.068		55	1.293			
5	60	6.854		65	2.877		60	1.212			
10	20	9.994		70	2.687	2	20	1.105			
	25	5.425	15	50	2.497		25	1.007			
	30	5.091		55	2.306		30	0.941			
	40	4.455		60	2.116						
	45	4.214		65	1.926						
	50	3.9133		70	1.735						
	55	3.973	17	50	1.545						
	60	3.862		55	1.355						
40	3.243	60		1.164							
15	50	2.753		65	0.974						
	60	2.597		70	0.784						
17	60	2.386									

#### 4.1.2. Analisis kemantapan lereng keseluruhan

Analisis kemantapan lereng keseluruhan ini bertujuan untuk menentukan faktor keamanan lereng *highwall* berdasarkan data penampang lereng dengan beberapa variasi ketinggian dan kemiringan. Analisis tersebut dilakukan dengan metode bishop dengan bantuan program *slide* 6.0.

Pada analisis ini dilakukan beberapa pendekatan yaitu :

- Kondisi perlapisan batuan didekati dengan mengikuti perlapisan batubara seperti yang tergambar pada penampang
- Lereng yang dianalisis dianggap belum terganggu oleh faktor eksternal yang dapat mempengaruhi kekuatan massa batuan.
- Kondisi lereng yang akan di analisis memiliki ketinggian muka air tanah.
- Faktor keamanan minimum yang di gunakan untuk analisis adalah 1.2.

##### 4.1.2.1. Karakteristik material lereng keseluruhan

Karakteristik material lereng keseluruhan merupakan hasil dari analisa dilaboratorium geotek yang mencakup tentang hasil uji fisik dan mekanik batuan.

Tabel 3. Karakteristik Lereng Keseluruhan

<i>PIT</i>	<i>MATERIAL GROUPING ZONE</i>	<i>PREVIKS</i>	<i>UNIT WEIGHT</i>  KN/m <sup>3</sup>	<i>SHEAR STRENGTH PARAMETER</i>	
				<i>KOHESI</i>	<i>FRICTION ANGLE</i>
				Peak	Peak
				(KN/m <sup>2</sup> )	(deg)
<i>S22GN</i>	Soil Material	SO	17,01	80,47	21,09
	Soft Material	SF	14,71	2,00	8,90
	Disposal Material	DI	18,14	4,00	10,00
	Overburden	OB	21,42	132,39	31,76
	Coal Seam 23	C 23	14,57	138,56	38,94
	Interburden 23 C 22	IB 23 C 22	20,88	144,07	31,04
	Coal Seam 22	C 22	14,57	138,56	35,94
	Interburden 22 C 20	IB 22 C 20	21,48	162,26	32,45
	Coal Seam 20	C 20	17,27	115,33	36,78

Tabel 4. Tabel Lanjutan

PIT	MATERIAL GROUPING ZONE	PREVIKS	UNIT WEIGH T	SHEAR STRENGTH PARAMETER	
			KN/m <sup>3</sup>	KOHES I	FRICTIO N ANGLE
				Peak (KN/m <sup>2</sup> )	Peak (deg)
S22G N	Coal Seam 20	C 20	17,27	115,33	36,78
	Interburden 20 C 17	IB 20 C 17	21,52	259,66	34,60
	Coal Seam 17	C 17	13,24	150,00	40,00
	Interburden 17 C 15UUU	IB 17 C 15UUU	22,26	458,64	35,09
	Underburden	UB	21,59	329,99	44,57

#### 4.1.2.2. Pemodelan Lereng Keseluruhan

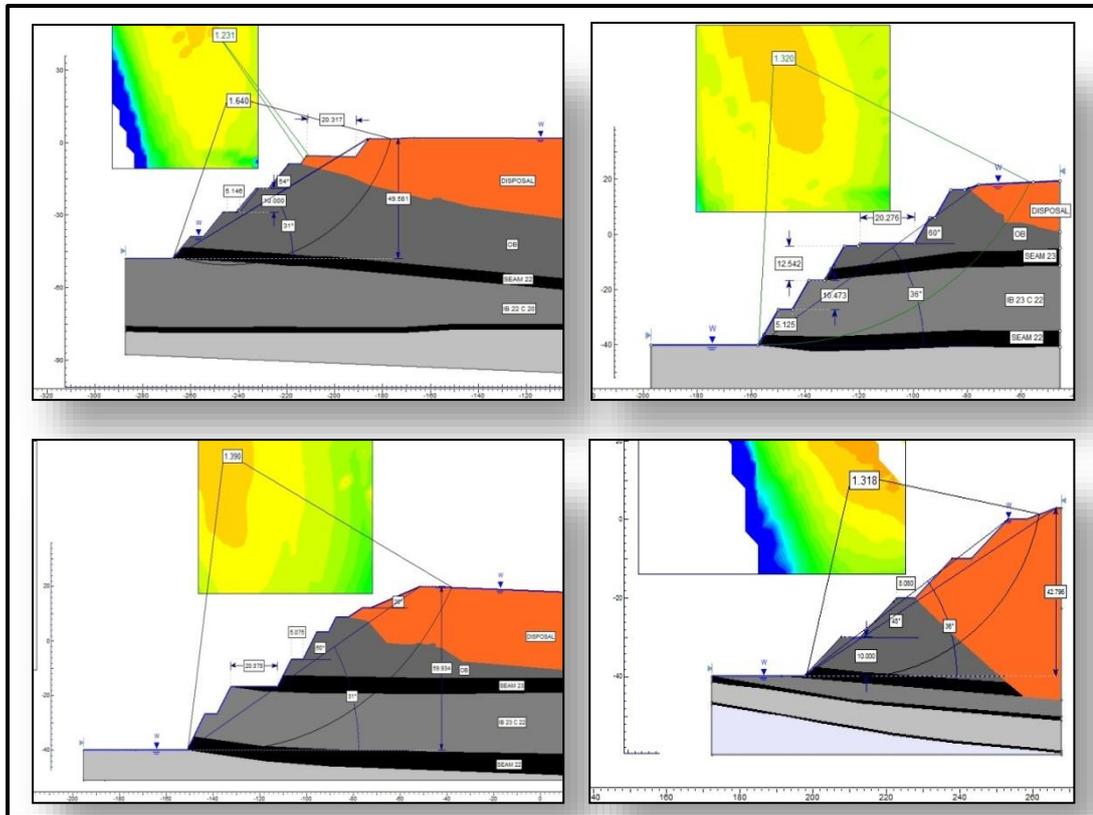
Hasil akhir dari proses penentuan nilai faktor keamanan adalah sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil Pemodel Lereng Keseluruhan

SEC A-A'			SEC B-B'			SEC C-C'			SECD-D'		
Tinggi	Sudut	Nilai (FK)	Tinggi	Sudut	Nilai (FK)	Tinggi	Sudut	Nilai (FK)	Tinggi	Sudut	Nilai (FK)
m	0		m	0		M	0		m	0	
49.581	31	1.640	58.267	31	1.502	60.234	29	1.667	42.796	36	1.318
49.581	33	1.531	58.267	32	1.482	59.934	31	1.390	44.229	37	1.201
49.581	35	1.387	58.267	36	1.320						

SEC E-E'			SEC F-F'			SEC G-G'			SECH-H'		
Tinggi	Sudut	Nilai (FK)	Tinggi	Sudut	Nilai (FK)	Tinggi	Sudut	Nilai (FK)	Tinggi	Sudut	Nilai (FK)
m	0		m	0		M	0		m	0	
45.00	17	3.739	29.112	25	2.707	28.954	27	2.559	28.266	30	2.396
41.45	23	2.769	29.000	29	2.426	28.954	31	2.242	28.358	27	2.567

40.52	25	2.381
-------	----	-------



Gambar 3. Hasil Pemodelan Lereng Keseluruhan

## 5. PEMBAHASAN

### 5.1. Hasil Analisa Kestabilan Lereng

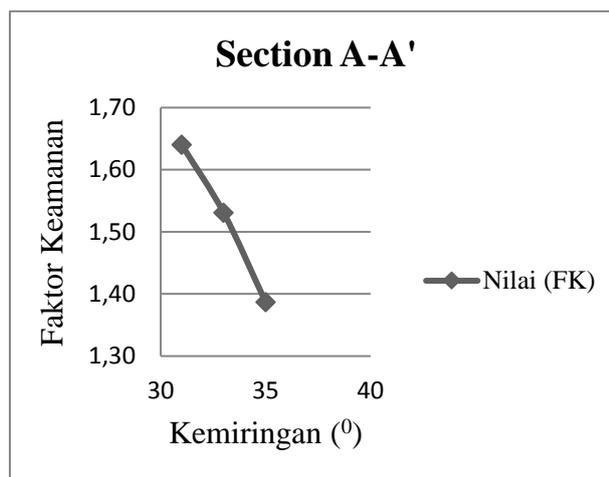
Hasil analisis lereng menggunakan *software slide versi 6* akan di peroleh faktor keamanan (FK). Analisis kestabilan lereng dibagi menjadi delapan section, yang pertama adalah section A-A' dengan ( berm 5 m, tinggi jenjang keseluruhan 49,851 m, *overall slope*  $35^{\circ}$ ) menghasilkan nilai faktor keamanan 1.387, section B-B dengan (berm 5 m, tinggi jenjang keseluruhan 58,276 m, *overall slope*  $32^{\circ}$ ) menghasilkan faktor keamanan 1,482, section B-B' dengan (berm 5 m, tinggi jenjang keseluruhan 60,913 m, *overall slope*  $34^{\circ}$ ) menghasilkan nilai faktor keamanan 1,390, section D-D' dengan (berm 10 m, tinggi jenjang keseluruhan 42,769 m, *overall slope*  $36^{\circ}$ ) menghasilkan nilai faktor keamanan 1.318, setion E-E dengan (berm 5 m, tinggi jenjang keseluruhan 40,515 m, *overall slope*  $25^{\circ}$ ) menghasilkan nilai faktor keamanan 2,381, section F-F' dengan (berm 4 m, tinggi jenjang keseluruhan 29,112 m, *overall slope*  $20^{\circ}$ ) menghasilkan nilai faktor keamanan 2,426, section G-G' dengan (berm 10 m tinggi jenjang keseluruhan 28,954 m, *overall slope*  $31^{\circ}$ ) menghasilkan nilai faktor keamanan 2,424, section H-H' dengan (berm 10 m,

tinggi jenjang keseluruhan 28,266 m, *overall slope* 30<sup>0</sup>) menghasilkan nilai faktor keamanan 2,396.

## 5.2. Penyebab Ketidak Stabilan Lereng

### 5.2.1. Geometri Lereng

Semakin tinggi kemiringan suatu lereng maka nilai faktor keamanan suatu lereng tambang akan semakin kecil atau tidak aman.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Kemiringan Terhadap Faktor Keamanan

Dari hasil analisa faktor keamanan yang dilakukan pada delapan section Pit 22 GN PT. Kitadin Site Embalut. Nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor lereng dikelompokkan dengan berdasar pada KEPMEN 1827 K/30/MEM/2018.

Tabel 6. Pengelompokan Nilai Faktor Keamanan

Section	Jenis Lereng	FK	Keparan longsoran
A-A'	Lereng Keseluruhan	1,231	Rendah
B-B'		1,482	Tinggi
C-C'		1,390	Menengah
D-D'		1,318	Menengah
E-E'		2,831	Tinggi
F-F'		2,426	Tinggi
G-G'		2,242	Tinggi
H-H'		2,396	Tinggi

### 5.2.2. Perbedaan Nilai Kohesi dan Sudut Geser Dalam

Material penyusun lereng pada daerah penelitian terdiri dari Claystone dan Sandstone, yang masing-masing mempunyai nilai kohesi dan sudut geser dalam yang berbeda. Kekuatan material lereng untuk menahan longsoran sangat tergantung pada gaya ikat antara butirnya (kohesi) dan sudut geser

dalam, yang berpengaruh terhadap besar kecilnya kekuatan geser sehingga akan mempengaruhi terhadap besar kecilnya nilai faktor keamanan lereng. Dimana menurut persamaan kuat geser Mohr-Coulomb hubungan tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan :  $\tau = c + \sigma_n \tan \phi$ . Sehingga semakin besar nilai.

## 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan terhadap Analisis Kemantapan Lereng Highwall Pit 22 GN di PT. Kitadin Site Embalut maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil Pengujian kuat geser langsung yang telah dilakukan pada beberapa material sampel sehingga mendapatkan nilai karakteristik sebagai berikut : *Soil Material*  $C = 80,47 \text{ KN/m}^2$  dan  $\phi = 21,09^\circ$ , *Soft Material*  $C = 2,00 \text{ KN/m}^2$  dan  $\phi = 8,90^\circ$ , *Disposal Material*  $C = 4,00 \text{ KN/m}^2$  dan  $\phi = 10,00^\circ$ , *Overbuden*  $C = 132,39 \text{ KN/m}^2$  dan  $\phi = 31,76^\circ$ , *Coal Seam 23*  $C = 138,56 \text{ KN/m}^2$  dan  $\phi = 38,94^\circ$ , *Interburden 23*  $C = 144,07 \text{ KN/m}^2$  dan  $\phi = 31,04^\circ$ , *Coal Seam 22*  $C = 138,56 \text{ KN/m}^2$  dan  $\phi = 35,94^\circ$ , *Interburden 22*  $C = 162,26 \text{ KN/m}^2$  dan  $\phi = 32,45^\circ$ , *Coal Seam 20*  $C = 115,33 \text{ KN/m}^2$  dan  $\phi = 36,78^\circ$ , *Interburden 20*  $C = 259,66 \text{ KN/m}^2$  dan  $\phi = 34,60^\circ$ , *Coal Seam 17*  $C = 150,00 \text{ KN/m}^2$  dan  $\phi = 40,00^\circ$ , *Interburden 17*  $C = 458,64 \text{ KN/m}^2$  dan  $\phi = 35,09^\circ$ , *Underburden*  $C = 329,99 \text{ KN/m}^2$  dan  $\phi = 44,57^\circ$ .
2. Hasil Rancangan Geometri lereng pada Pit 22 GN dengan lebar berm = 2-5 meter, lebar berm jalan = 20 meter, tinggi jenjang *single slope* = 5-18 meter, sudut *single slope* = 20-60 derajat, tinggi jenjang *overall slope* = 27-50 meter dan sudut *overall slope* = 25-35 derajat.
3. Hasil analisis Perhitungan Kemantapan lereng (FK) *highwall* Pit 22 GN PT. Kitadin Site Embalut yang dilakukan dengan delapan *section* maka didapat nilai faktor keamanan, section A-A' = 1,531, section B-B' = 1,482, section C-C' = 1,390, section D-D' = 1,32, section E-E' = 2,381, section F-F' = 2,426, section G-G' = 2,242 dan section H-H' = 2,396. Dari hasil simulasi delapan *section* maka faktor keamanan *highwall* Pit 22 GN PT. Kitadin Site Embalut = 1,896.

### 6.2. Saran

Pada daerah pit 22 GN terdapat beberapa material yang merupakan material disposal agar dapat dilakukan pemantauan lereng secara berkala karena nilai karakteristik material yang rendah sehingga potensi akan longsor dan dimensi lereng disesuaikan dengan nilai karakteristik material. Sementara pada material yang masih original perlu dilakukan penyesuaian dimensi lereng sehingga lereng lebih efisien.

### DAFTAR PUSTAKA

Bowles, J. E. (1989). *Sifat-sifat fisik dan Geoteknis Tanah*, Jakarta. Erlangga.

- Santosa, Budi., dkk., (2004). *Seri Diktat Kuliah Mekanika Dasar*. Jakarta. Penerbit Gunadarma.
- Hardiyatmo, Hary Christady., (2006). *Mekanika Tanah Edisi V*. Yogyakarta. Gadjah Mada University Press
- Hajat, N., dkk., (2008). *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Universitas Negeri Jakarta.
- Zakaria, Z., ( 2010 ). Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 5 No. 2 Juni 2010 “ *Model Starlet, suatu Usulan untuk Mitigasi Bencana Longsor dengan Pendekatan Genetika Wilayah (Studi Kasus : Longsor Citatah, Padalarang, Jawa )*”. Universitas Padjajaran
- Yudha M.(2010). “*Analisis Kesetabilan Lereng PT. Sirih Emas Desa Jonggon jaya, Kecamatan Loa Kulu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provins Kalimantan Timur*”. Tugas Akhir Teknik Geologi Universitas Kutai Kartanegara Tenggarong.
- Astawanta Rai,Made., (2013). *Mekanika batuan*. ITB
- Andy,S., Edward., (2013). Laporan PKL “ *uji kuat geser untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam dengan menggunakan alat direct shear* ”. Universitas Kutai Kartanegara”
- Arif, Irwandy., (2016). *Geoteknik Tambang “Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. Jakarta. Penerbit Gramedia Pustaka Utama.
- Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1827 K /30/MEM/2018. “*Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik*”. Jakarta