

# Analisis Kestabilan Lereng dengan Menggunakan Metode *Bishop* pada Penambangan Batuan Andesit PT Koto Alam Sejahtera Kabupaten 50 Kota Provinsi Sumatera Barat

Muhammad Ega Prakasa\*, Bambang Heriyadi

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

\* [muhammadega0810@gmail.com](mailto:muhammadega0810@gmail.com)

**Abstrak.** PT Koto Alam Sejahtera merupakan salah satu perusahaan swasta yang bergerak di bidang pertambangan andesit dengan menggunakan metode penambangan *quarry*. Adanya kegiatan penambangan membentuk lereng akhir yang belum diketahui kestabilannya. Selain itu, adanya bidang-bidang lemah pada lereng akhir penambangan dapat melemahkan parameter mekanik batuan dan ditemukan rekahan-rekahan serta rembesan air pada lereng yang memiliki sudut kemiringan  $80^\circ$  dengan tinggi lereng 5 m. Oleh karena itu, diperlukan adanya analisis kestabilan lereng pada lokasi tersebut untuk mencegah terjadinya longsoran. Hasil Analisis *Rock Mass Rating (RMR)* batuan menunjukkan bahwa secara *Rock Quality Designation (RQD)* massa batuan lereng sebesar 98,84% dan bobot *RMR* lereng tergolong kelas II (baik). Dengan analisis kinematis maka didapatkan potensi kelongsoran yang akan terjadi pada daerah penelitian yaitu longsoran baji sebesar 83,7%, longsoran guling 0,00%. Sebelum dilakukan analisis Faktor Keamanan (FK) lereng natural yaitu 9,43; FK lereng jenuh yaitu 8,92; dan FK lereng kering sebesar 9,51. Analisis dalam upaya peningkatan kestabilan lereng penelitian yang awalnya lereng kondisi natural, jenuh, kering tidak stabil/aman, dengan melakukan pengurangan kemiringan lereng natural yang awalnya 80 menjadi 76 mendapatkan nilai FK sebesar 1,301; kemiringan lereng jenuh dari awalnya 80 menjadi 75 mendapatkan nilai FK sebesar 1,427; dan untuk lereng kering dari awalnya 80 menjadi 75 mendapatkan nilai FK sebesar 1,327.

**Kata kunci:** penambangan *quarry*, analisis kestabilan lereng, jenis longsoran, faktor keamanan

**Abstract.** PT Koto Alam Sejahtera is a private company engaged in andesite mining using the quarry mining method. The existence of mining activities forms a final slope whose stability is unknown. In addition, the presence of weak areas on the final slope of mining can weaken the mechanical parameters of the rock and cracks and water seepage are found on the slope which has a slope angle of  $80^\circ$  with a slope height of 5 m. Therefore, a slope stability analysis is needed at the location to prevent landslides. The results of the *Rock Mass Rating (RMR)* analysis of rocks show that in terms of *Rock Quality Designation (RQD)* the mass of the slope rock is 98.84% and the *RMR* weight of the slope is classified as class II (good). With kinematic analysis, the potential for landslides that will occur in the research area is a wedge landslide of 83.7%, a rollover landslide of 0.00%. Before the analysis, the Safety Factor (FK) of the natural slope was 9.43; FK of the saturated slope was 8.92; and FK of the dry slope was 9.51. Analysis in an effort to improve the stability of the research slope which was initially a natural, saturated, dry unstable/safe slope, by reducing the natural slope slope which was initially 80 to 76 obtained a FK value of 1.301; the saturated slope slope from the initial 80 to 75 obtained a FK value of 1.427; and for the dry slope from the initial 80 to 75 obtained a FK value of 1.327.

**Keywords:** quarry minning, slope stability analysis, avalanche type, safety factor

Tanggal Diterima: 18/11/2024; Tanggal Direvisi: 09/12/2024; Tanggal Disetujui: 09/12/2024; Tanggal Dipublikasi: 09/12/2024

## 1. Pendahuluan

PT Koto Alam Sejahtera (selanjutnya disingkat PT KAS) adalah perusahaan yang bergerak di bidang penambang batuan andesit dengan metode penambangan *quarry* dengan sistem penambangan tambang terbuka (*surface mining*). Dalam kegiatan pertambangannya, PT KAS menggunakan peledakan (*blasting*) untuk pengupasan lapisan penutup. Tentunya kegiatan *blasting* ini memiliki dampak terhadap kestabilan lereng.

Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan saat penelitian, terdapat beberapa rekahan yang berpotensi terjadinya longsor pada lereng penambangan dimana memiliki sudut kemiringan lereng yaitu  $80^\circ$  dengan tinggi lereng 5 m. Tentunya banyak bidang lemah berupa kekar (*joint*) pada lereng yang dapat mempercepat proses terjadinya

longsoran. Lereng yang akan diteliti berada di atas area *loading* dan memiliki rencana *blasting* di bawahnya sehingga apabila kestabilan lereng kurang baik dapat menimbulkan kecelakaan kerja. Selain itu, belum adanya analisis kestabilan lereng pada lereng penambangan yang akan dilakukannya kegiatan peledakan pada lereng tersebut. Oleh sebab itu, perlu dibuat rancangan lereng untuk menghindari apabila terjadi longsor pada lereng tersebut. Kondisi aktual lereng dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Keadaan Aktual Lereng

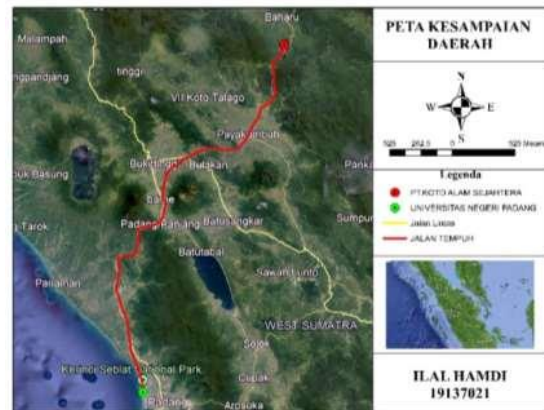
Oleh karena itu diperlukan suatu kajian terhadap kestabilan lereng untuk menghasilkan ketinggian dan kemiringan lereng yang aman, karena itu merupakan suatu faktor yang penting, karena menyangkut persoalan keselamatan pekerja, keamanan peralatan, serta kelancaran produksi. Analisis keamanan dilakukan pada lereng tunggal dengan memperhatikan faktor-faktor yang berpengaruh pada lereng dimana operasi penambangan akan dilakukan. 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 kelongsoran.

## 2. Kajian Pustaka

### 2.1 Lokasi dan Kesampaian Daerah

Lokasi penelitian PT KAS berada di Jorong Polong Duo Nagari Koto Alam, Kecamatan Pangkalan Koto baru, Kabupaten Lima Puluh Kota, Sumatra Barat. Secara umum lokasi geografis PT Koto Alam Sejahtera berada diantara  $0^{\circ} 0' 35,7''$  LU sampai  $0^{\circ} 0' 48,5''$  LU dan  $100^{\circ} 43' 49,4''$  BT sampai  $100^{\circ} 43' 58,6''$  BT.

Untuk mencapai wilayah Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT KAS dari Kota Padang–Payakumbuh dengan jalur transportasi darat ditempuh dengan kendaraan roda empat melalui jalan aspal sejauh  $\pm 135$  kilometer dapat ditempuh dalam waktu  $\pm 3$  jam. Kemudian dari Payakumbuh–Pangkalan dengan kendaraan roda empat melalui jalan aspal sejauh  $\pm 55$  kilometer yang ditempuh dalam waktu  $\pm 1$  jam. Lokasi penelitian dapat dilihat secara jelas pada Gambar 2 peta di bawah ini.

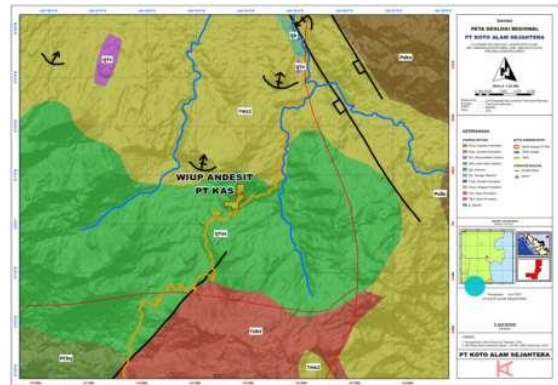


**Gambar 2.** Lokasi Kesampaian Daerah

### 2.2 Kondisi Geologi dan Stratigrafi

#### 2.2.1 Kondisi Geologi

Secara geologi, daerah Koto Alam disusun oleh batuan andesit dan endapan alluvial yang ditafsirkan berdasarkan data singkapan yang dijumpai di sekitar daerah penelitian. Batuan andesit jelas tersingkap pada lereng perbukitan dengan tinggi singkapan 20 meter, berwarna putih ke abu-abuan, holokristalin, berbutir sedang sampai kasar. Diperkirakan batuan andesit yang terdapat pada daerah penelitian merupakan kelanjutan dari perbukitan bukit barisan.



**Gambar 3.** Peta Geologi

#### 2.2.2 Kondisi Stratigrafi

Daerah penyelidikan termasuk ke dalam peta geologi lembar Kabupaten Lima Puluh Kota. Susunan stratigrafi daerah dari batuan yang tua ke batuan yang lebih muda.

### 2.3 Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia. Lereng yang terbentuk secara alami misalnya lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain galian dan timbunan untuk membuat bendungan, tanggul dan kanal sungai, serta dinding tambang terbuka. Kestabilan lereng merupakan salah satu permasalahan yang sering dihadapi dalam pekerjaan rekayasa konstruksi pertambangan.

Dalam menentukan kestabilan atau kemantapan lereng dikenal istilah Faktor Keamanan (*Safety Factor*) yang merupakan perbandingan antara gaya-gaya yang menahan massa batuan terhadap gaya-gaya yang menggerakkan massa batuan atau tanah tersebut.

**Tabel 1.** Standar Faktor Keamanan Lereng

Jenis Lereng	Dampak Kelongsoran	FK Min (Statik)	FK Min (Dinamik)	FK Maks
Lereng tunggal	Low-High	1,1	NA	25-50%
	Low	1,15-1,2	1,0	25%
Inter-ramp	Medium	1,2	1,0	20%
	High	1,2-1,3	1,1	10%
Lereng Keseluruhan	Low	1,2-1,3	1,0	15-20%
	Medium	1,3	1,05	5-10%
	High	1,3	1,1	≤ 5%

**2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng**

**2.4.1 Jenis Batuan**

Batuan beku, batuan sedimen tertentu, dan batuan metamorf tertentu yang masih segar dan belum mengalami proses pelapukan, umumnya memberikan kemantapan yang baik, terutama jika batuan tersebut tersebar luas (monolitologi).

**2.4.2 Kekuatan Batuan**

Batuan utuh (*intack rock*) yang kompak homogen biasanya relatif kuat dan merupakan batuan yang sangat stabil terhadap longsor. Untuk batuan-batuan tersebut umumnya tidak mempunyai masalah mengenai kemantapan lereng, kecuali kalau batuan tersebut tidak utuh dengan adanya bidang-bidang lemah. Sudut lereng pada batuan yang kuat tersebut bisa mencapai 90° atau bahkan > 90° dan tinggi lereng yang besar.

**2.4.3 Penyebaran Batuan**

Penyebaran batuan dari suatu daerah yang ingin diketahui kestabilannya harus diketahui. Selain penyebarannya juga perlu diketahui macam-macam dari batuan atau tanah yang ada. Hal ini perlu dilakukan karena terdapat perbedaan dari sifat fisik maupun mekanik dari batuan yang satu dengan batuan lainnya. Penyebaran jenis batuan ini tentu akan sangat mempengaruhi hasil analisis. Karena pada dasarnya tiap batuan memiliki sifat fisik maupun mekaniknya sendiri.

**2.5 Faktor-faktor Pembentuk Gaya Penggerak**

**2.5.1 Geometri Lereng**

Lereng yang terlalu tinggi akan mengakibatkan lereng tersebut menjadi tidak stabil dan cenderung mudah longsor bila dibandingkan dengan lereng yang tidak terlalu tinggi dengan asumsi bahwa batuan penyusun lereng tersebut adalah sama.

**2.5.2 Bobot Isi**

Bobot isi batuan juga dipengaruhi oleh jumlah kandungan air dalam batuan tersebut. Semakin besar bobot isi pada suatu lereng tambang maka gaya geser penyebab kelongsoran akan semakin besar, dengan demikian kestabilan lereng semakin berkurang. Bobot isi diketahui dari pengujian laboratorium. Nilai bobot isi batuan untuk analisis kestabilan lereng terdiri dari tiga parameter yaitu nilai bobot isi batuan pada kondisi asli (*γ<sub>nat</sub>*), kering (*γ<sub>dry</sub>*), dan basah (*γ<sub>sat</sub>*).

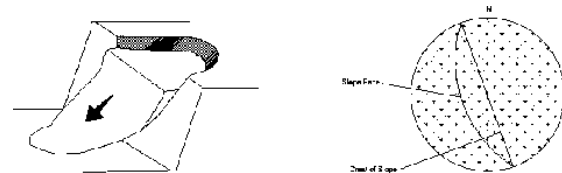
**2.5.3 Kandungan Air Tanah**

Keberadaan air di dalam tanah atau batuan pembentuk lereng akan memberikan beban pada lereng. Kandungan air ini berhubungan dengan tekanan air pori pada suatu batuan. Jika kandungan airnya besar maka tekanan air porinya pun akan tinggi. Tekanan air pori ini mempengaruhi kekuatan geser suatu batuan. Jika tekanan air porinya tinggi, kuat geser batumannya menjadi kecil. Hal ini menyebabkan kestabilan lereng menjadi berkurang.

**2.6 Klasifikasi Longsoran pada Lereng**

**2.6.1 Longsoran Busur**

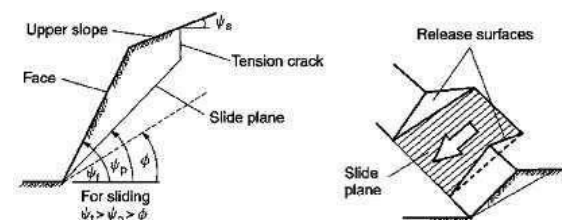
Longsoran jenis ini banyak terjadi pada lereng tanah dan batuan lapuk atau sangat terkekarkan dan di lereng-lereng timbunan. Bentuk bidang gelincir pada longsor busur, sesuai dengan namanya akan menyerupai busur bila digambarkan pada penampang melintang.



**Gambar 4.** Longsoran Busur<sup>[1]</sup>

**2.6.2 Longsoran Bidang (Plane Failure)**

Longsoran bidang relatif jarang terjadi. Namun, jika ada kondisi yang menunjang terjadinya longsor bidang, longsor bidang yang terjadi mungkin akan lebih besar (secara volume) dari pada longsor lain. Longsoran ini disebabkan oleh adanya struktur geologi yang berkembang, seperti kekar (*joint*) ataupun patahan yang menjadi bidang luncur.

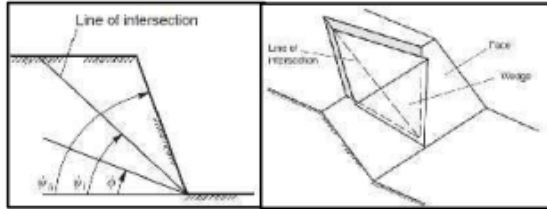


**Gambar 5.** Longsor Bidang<sup>[1]</sup>

**2.6.3 Longsoran Baji**

Longsoran baji merupakan jenis longsoran yang sering terjadi di lapangan. Sama halnya dengan

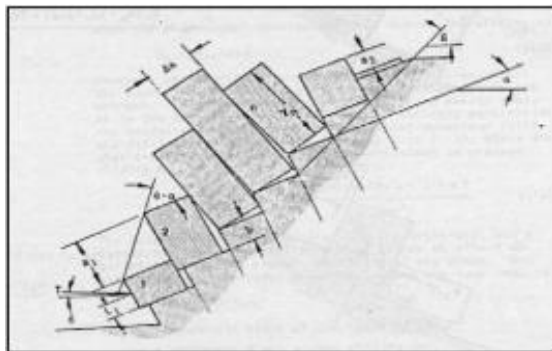
longsor bidang, longsor baji juga diakibatkan oleh adanya struktur geologi yang berkembang. Perbedaan pada longsor baji adalah dua struktur geologi yang berkembang dan saling berpotongan. Longsor baji dapat terjadi pada suatu batuan apabila terdapat lebih dari satu bidang lemah yang saling berpotongan.



Gambar 6. Longsor Baji<sup>[2]</sup>

2.6.4 Longsor Guling

Longsor guling umumnya terjadi pada lereng yang terjal dan pada batuan yang keras, dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom. Longsor guling ini terjadi apabila bidang-bidang lemah yang terdapat pada lereng mempunyai kemiringan yang berlawanan dengan kemiringan lereng.



Gambar 7. Longsor Guling

2.7 Metode Bishop yang Disederhanakan

Metode Bishop yang disederhanakan merupakan salah satu metode pada longsor busur yang menggunakan prinsip irisan dalam menentukan faktor keamanan dari suatu massa material yang berpotensi longsor. Metode ini memenuhi kesetimbangan gaya pada arah vertikal dan kesetimbangan momen pada titik pusat lingkaran runtuh. Gaya geser antar irisan diabaikan. Untuk menghitung nilai faktor keamanan dapat menggunakan rumus berikut ini.

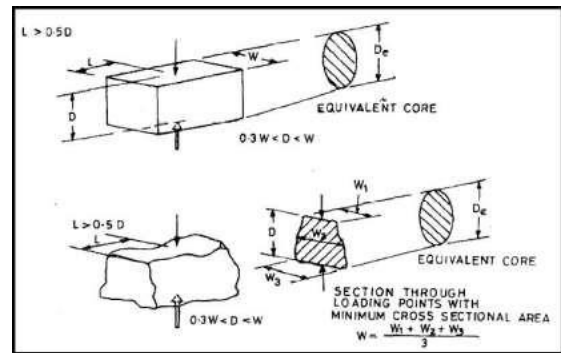
$$FK = \frac{\left( \sum \frac{x}{\left(1 + \frac{Y}{F}\right)} \right)}{\left( \sum Z + Q \right)}$$

2.8 Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Batuan mempunyai sifat-sifat tertentu yang dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

- Sifat fisik batuan, seperti: berat isi, *specific gravity*, porositas, *void ratio*, kadar air dan derajat kejenuhan.
- Sifat mekanik batuan, seperti: kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, dan rasio *poisson*.

Kedua sifat tersebut dapat ditentukan baik di laboratorium maupun lapangan (*in-situ*). Penentuan di laboratorium pada umumnya dilakukan terhadap sampel yang diambil di lapangan. Sampel yang digunakan untuk di laboratorium yaitu sampel berbentuk *irregular*. Satu sampel dapat digunakan untuk menentukan kedua sifat batuan. Pertama-tama adalah penentuan sifat fisik batuan yang merupakan pengujian tanpa merusak (*non-destructive test*), kemudian dilanjutkan dengan penentuan sifat mekanik batuan yang merupakan pengujian merusak (*destructive test*) sehingga sampel batuan hancur.



Gambar 8. Sample Irregular

Tabel 2. Rumusan Index Strength<sup>[3]</sup>

Reference	Equation	Rock Type
Broch & Franklin (1972)	$\sigma_c = 24I_s(50)$	Sandstone
Bieniawski (1975)	$\sigma_c = 23I_s(50)$	Igneous rocks, sedimentary rocks
Brook (1985)	$\sigma_c = 22I_s(50)$	-
Singh (1981)	$\sigma_c = 18,7I_s(50)$	Sandstone and shale
Vallejo et.al. (1989) – shale	$\sigma_c = 12,5I_s(50)$	Shale
Vallejo et.al. (1989) – sandstone	$\sigma_c = 17,4I_s(50)$	Sandstone
Kramadibrata (1992)	$\sigma_c = 11,82I_s(50)$	Sandstone and Claystone
Gunsallus & Kulhawy (1992)	$\sigma_c = 16,5I_s(50)$	Dolostone, sandstone, limestone
Cargill & Shakoore (1990)	$\sigma_c = 23I_s(50)$	Sedimentary rocks, metamorphic rocks
Kahraman (2001)	$\sigma_c = 24I_s(50)$	Igneous rocks, sedimentary rocks, metamorphic rocks
Tsidzi (1990)	$\sigma_c = \frac{I_s(50)}{0,03 + 0,003I_s}$	Metamorphic rocks

2.9 Klasifikasi Massa Batuan

Rock Mass Rating (RMR) adalah salah satu metode klasifikasi massa batuan yang digunakan untuk mengetahui kualitas suatu massa batuan.<sup>[4]</sup> Klasifikasi dengan metode ini dapat digunakan dalam banyak hal, yakni untuk studi penyelidikan terowongan, penambangan, stabilitas lereng, dan pondasi, sehingga klasifikasi ini dapat digunakan

karena bersifat praktis dan global.<sup>[5]</sup> Bobot penilaian *RMR* didasarkan lima parameter yakni kekuatan batuan utuh, *Rock Quality Designation (RQD)*, spasi

diskontinuitas, kondisi diskontinuitas (persistensi kekar, bukaan kekar, kekasaran kekar, isian dan tingkat pelapukan), serta luahan air tanah.<sup>[4]</sup>

**Tabel 3.** Parameter Klasifikasi Massa Batuan *RMR*<sup>[4]</sup>

No.	Parameter	Pembobotan					
		> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa		
1.	Kekuatan Massa Batuan	<i>Point-load Strength Index</i>					
		<i>Uniaxial Comparative Strength</i>	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa
	<b>Bobot</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
2.		<i>RQD</i>	90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	< 25%
	<b>Bobot</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	
3.	Jarak Diskontinuitas	> 2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm	
	<b>Bobot</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	
	Kondisi Diskontinuitas Kemenerusan Kekar	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m	
	<b>Bobot</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	
	Bukaan Kekar	Tidak Ada	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm	
	<b>Bobot</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	
4.	Kekasaran Kekar	Sangat Kasar	Kasar	Sedikit Kasar	Halus	<i>Slicken Sided</i>	
	<b>Bobot</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	
	Material Pengin	Tidak Ada	Keras < 5 mm	Keras > 5 mm	Lunak < 5 mm	Lunak > 5 mm	
	<b>Bobot</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	
	Pelapukan	Tidak Lapuk	Sedikit Lapuk	Lapuk	Sangat Lapuk	Hancur	
	<b>Bobot</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	
5.	Kondisi Air Tanah	Kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir	
	<b>Bobot</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	

**Tabel 4.** Kelas Massa Batuan Klasifikasi *RMR*<sup>[4]</sup>

Parameter Massa Batuan	Rock Mass Rating				
	100-81	80-61	60-41	40-21	0-20
Pembobotan	I	II	III	IV	V
Nomor Kelas	Sangat Baik	Baik	Cukup	Buruk	Sangat Buruk

**2.10 UCS Test**

*Unconfined Compressive Strength (UCS) Test* atau uji kuat tekan termasuk dalam penentuan sifat mekanik batuan skala laboratorium yang merupakan pengujian kuat tekan uniaksial (satu arah) dari sebuah contoh batuan yang berbentuk silinder, balok, atau prisma. Tujuan utama *UCS Test* ini yaitu untuk mengklasifikasi kekuatan dan karakterisasi batuan utuh, yang mana sampel batumannya berasal dari lereng yang akan diteliti.

**Tabel 5.** Klasifikasi Kekerasan Batuan<sup>[6]</sup>

Klasifikasi	Kuat Tekan (MPa)	Tipe Jenis Batuan
Sangat Lemah	10-20	Lapuk dan batuan sedimen terkompaksi
Lemah	20-40	Batuan sedimen tersementasi lemah

Klasifikasi	Kuat Tekan (MPa)	Tipe Jenis Batuan
Medium	40-80	Batuan sedimen kompeten, beberapa batuan beku dengan bobot isi rendah
Kuat	80-160	Batuan beku kompeten, beberapa batuan metamorfosa
Sangat Kuat	160-320	Kuarzit, batuan beku dengan isi berat

**2.11 Software Slide 6.0, Dips 6.0, dan Rocklab**

*Slide 6.0* adalah *software* yang digunakan untuk mensimulasikan dan menganalisis kestabilan lereng menggunakan parameter-parameter sifat fisik dan mekanik tanah atau batuan, menganalisis stabilitas kemiringan permukaan menggunakan metode kesetimbangan batas irisan secara vertikal. Permukaan dapat dianalisis atau metode pencarian dapat dilakukan dan diterapkan untuk menemukan permukaan gelincir untuk kemiringan tertentu.

*Dips 6.0* digunakan untuk menganalisis jenis longsoran pada lereng batuan dengan menggunakan data *strike and dip* dari yang diimplementasikan pada *stereonet* dengan tambahan data *dips* lereng serta sudut geser dalam.

*Rocklab* merupakan sebuah program perangkat lunak untuk menentukan parameter kekuatan masa batuan, berdasarkan pada versi



terbaru dari kriteria *failure Hoek-Brown* umum. *RocLab* menyediakan implementasi sederhana dan intuitif kriteria *failure Hoek-Brown*, memungkinkan pengguna untuk dengan mudah memperoleh estimasi yang didapatkan dari sifat massa batuan dan untuk memvisualisasikan efek dari perubahan parameter massa batuan.

### 3. Metodologi Penelitian

#### 3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian terapan (*Applied Research*), yaitu suatu kegiatan yang sistematis dan logis bertujuan untuk menemukan sesuatu yang baru serta mengaplikasikan teori yang didapat selama perkuliahan terhadap kondisi aktual.

#### 3.2 Jenis Data

Untuk memenuhi tujuan penelitian, maka digunakan data primer dan sekunder. Data primer pada penelitian ini yaitu data yang diambil langsung dari pengamatan lapangan seperti geometri lereng, data diskontinuitas, dan data sifat fisik dan mekanik batuan. Data sekunder bersumber dari catatan perusahaan atau sumber lain. Data sekunder yang digunakan yaitu peta lokasi kesampaian daerah, peta topografi, dan peta geologi.

#### 3.3 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian dimulai dengan studi literatur dan pengambilan data penelitian. Studi literatur merupakan proses yang dilakukan untuk meninjau, menganalisis, dan mensintesis literatur atau penelitian yang telah ada mengenai topik tertentu. Pengambilan data diambil secara akurat, benar, dan lengkap, serta relevan dengan topik yang akan diangkat pada lokasi penelitian. Pengambilan data primer yang didapat di lapangan pada PT Koto Alam Sejahtera dan data sekunder yang diperoleh dari *Engineering Departement* PT Koto Alam Sejahtera.

#### 3.4 Teknik Analisis Data

Setelah pengumpulan data di lapangan selanjutnya peneliti melakukan uji laboratorium dengan melakukan preparasi sampel, pengujian sifat fisik batuan, dan pengujian *Point Load Index*. Selanjutnya melakukan pengolahan data dengan cara melakukan pengujian sifat fisik dan mekanik batuan, melakukan perhitungan nilai *RMR* dengan menggunakan data diskontinuitas, menganalisis jenis longsor dengan *software Dips 6.0*, menentukan nilai kohesi dan sudut geser dengan *software Rocklabs*, menganalisis FK lereng dengan *software Slide 6.0*.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Hasil Uji Laboratorium

Dari hasil penelitian uji laboratorium diketahui karakteristik material berdasarkan sifat fisik dan mekanik batuan yang diambil dari lokasi penelitian. Kegiatan pengujian laboratorium diawali dengan preparasi sampel dan dilanjutkan dengan

pengujian, Adapun pengujian yang dilakukan yaitu pengujian sifat fisik dan mekanik batuan.

Pada pengujian sifat fisik yang telah dilakukan, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai bobot asli, bobot isi kering, dan nilai bobot isi jenuh batuan.

**Tabel 7.** Hasil Pengujian Sifat Fisik Batuan

Hasil Pengolahan Sifat Uji Fisik Batuan			
No.	Sifat Uji Fisik		
	Bobot Asli	Bobot Isi Kering	Bobot Isi Jenuh
1.	2,601516	2,542712	2,619039
2.	2,644006	2,618593	2,664125
3.	2,654448	2,627438	2,675026
4.	2,722207	2,702079	2,732471
5.	2,716940	2,695496	2,730700
6.	2,726447	2,707722	2,739768
7.	2,713899	2,689888	2,728102
8.	2,709966	2,693911	2,723728
9.	2,736630	2,719666	2,749281
Rata-rata (gr/cm <sup>3</sup> )	2,6917843	2,6663894	2,7069155
kN/m <sup>3</sup>	26,37948647	26,13061656	26,52777244
Batuan	Andesite		

Pengujian sifat mekanik batuan dilakukan dalam dua bentuk pengujian yaitu *Point Load Index (PLI)* dan *Uniaxial Compressive Strength (UCS)*.

Pada pengujian *PLI* di laboratorium, hasil uji *PLI* akan diolah dengan *software Rocklabs* untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut geser.

**Tabel 8.** Hasil Uji *PLI*

Sampel	<i>F</i>	<i>I<sub>s</sub></i> (MPa)	<i>I<sub>s50</sub></i> (MPa)	<i>A</i> (mm <sup>2</sup> )	<i>De<sup>2</sup></i> (mm <sup>2</sup> )
1.	1,106	2,621	2,900	3075	3,917
2.	1,123	0,876	0,984	3289,5	4,458
3.	1,180	3,118	3,682	4109,624	5,235
4.	1,120	3,443	3,859	3258,5	4,150
5.	1,161	4,292	4,987	3820,25	4,866
6.	1,135	0,354	0,402	3456	4,402
7.	1,132	4,131	4,677	3407,5	4,340
8.	1,120	4,031	4,515	3249	4,138
9.	1,097	4,431	4,864	2970	3,783

Pada hasil uji *PLI* terdapat data yang tidak bisa digunakan, dan tidak bisa di rata-ratakan untuk mendapat hasil uji *PLI* yaitu sampel nomor 2 dan 6.

**Tabel 9.** Hasil Uji *UCS*

Sampel	<i>F</i>	<i>I<sub>s</sub></i> (MPa)	<i>I<sub>s50</sub></i> (MPa)	<i>UCS</i> (MPa)
1.	1,106	2,621	2,900	66,712
2.	1,123	0,876	0,984	22,632
3.	1,180	3,118	3,682	84,708
4.	1,120	3,443	3,859	88,772

Sampel	F	Is (MPa)	Is50 (MPa)	UCS (MPa)
5.	1,161	4,292	4,987	114,702
6.	1,135	0,354	0,402	9,256
7.	1,132	4,131	4,677	107,579
8.	1,120	4,031	4,515	103,863
9.	1,097	4,431	4,864	111,888
<b>Rata-rata</b>				<b>96,889</b>

## 4.2 Hasil Analisis Klisifikasi Massa Batuan (RMR)

### 4.2.1 Parameter-parameter Klasifikasi RMR

Nilai RMR dapat diperoleh setelah melakukan pengukuran orientasi bidang lemah pada lereng. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan kompas geologi langsung di lapangan.

Tabel 11. Parameter Klasifikasi RMR

Parameter	Nilai	Bobot	
UCS	96,88 MPa	12	
RQD	98,70%	20	
Spasi	200-600 mm	10	
	Panjang	1,0035	4
	Lebar	0,13	4
Kondisi Diskontinuitas	Kekasaran	rough	5
	Isian	none	6
	Pelapukan	unweathered	6
Kondisi Air	lembab	10	
<b>RMR</b>		<b>77</b>	
<b>Kelas RMR</b>		<b>II</b>	
<b>Kualitas Massa Batuan</b>		<b>Baik</b>	

Tabel di atas menunjukkan bahwa pembobotan kelas massa batuan lereng tungga masuk kedalam RMR kelas II dengan kualitas batuan baik.

Tabel 12. Arti Kelas Batuan

Nomor Kelas	II
Stand-up Time	6 bulan untuk span 5 meter
Rata-rata Nilai Kohesi	300-400 kPa
Sudut Geser Dalam	35°-45°

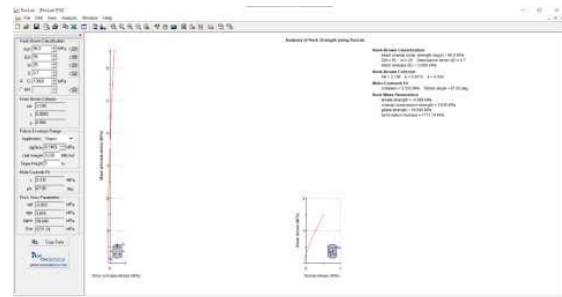
### 4.2.2 Analisis Nilai Kohesi dan Sudut Geser Dalam

Pada penelitian ini, penulis menggunakan bantuan software Rocklab untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (f) batuan.

Parameter yang dibutuhkan untuk menentukan nilai kohesi dan sudut geser dalam batuan yaitu nilai Geology Strength Index (GSI), nilai Sigci, nilai Intact Rock Parameter (Mi), dan nilai Disturbance Factor (D).

Tabel 13. Nilai Data pada Rocklab

No.	Data Masukan	Nilai
1.	GSI	72,72
2.	Kuat Tekan Uniaksial Batuan	97,88
3.	Jenis Batuan (Mi)	25
4.	Disturbance Factor (D)	0,7



Gambar 9. Output Hasil Pengolahan Rocklab

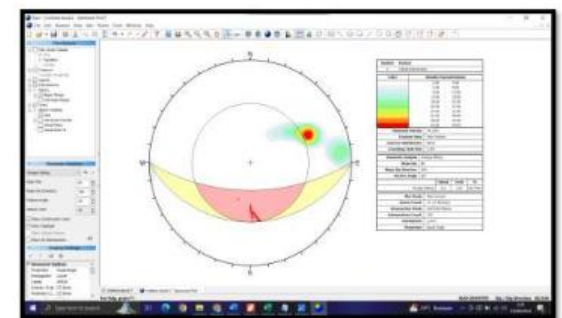
## 4.3 Analisis Tipe Longsoran

### 4.3.1 Kondisi Aktual di Lapangan

Analisis tipe longsoran dilakukan untuk mengetahui jenis longsoran yang mungkin akan terjadi pada lereng penelitian. Analisis ini dilakukan menggunakan metode analisis kinematik dengan bantuan software Dips 6.0.

#### 1. Analisis Kinematik untuk Longsoran Baji

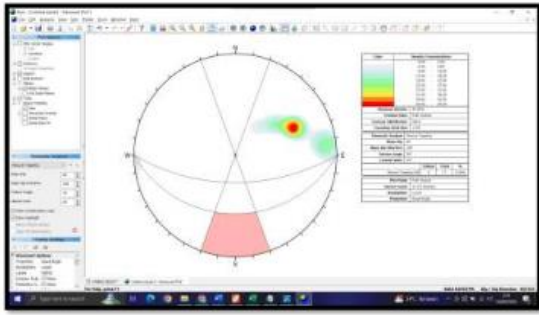
Setelah dilakukan analisis menggunakan software Dips 6.0 dengan memasukan data strike dan dips bidang diskontinuitas maka hasil Analisis Longsor Bidang pada lereng didapatkan potensi sebesar 83,7%.



Gambar 10. Analisis Longsoran Baji

#### 2. Analisis Kinematik untuk Longsoran Guling

Setelah dilakukan analisis menggunakan software Dips 6.0 dengan memasukan data diskontinuitas berupa strike dan dips maka hasil Analisis Longsoran Baji pada lereng didapatkan potensi sebesar 0,00%.

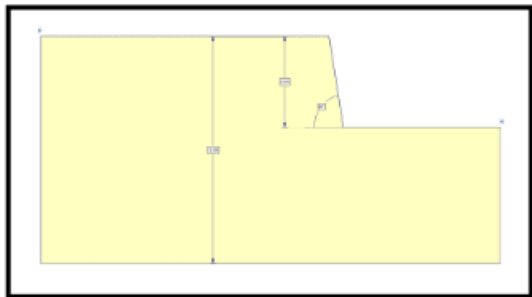


Gambar 11. Analisis Longsor Guling

4.4 Analisis Kestabilan Lereng

4.4.1 Permodelan Lereng

Pemodelan lereng tambang yang akan dianalisis dengan memasukkan faktor-faktor geometri, jenis batuan, sifat fisik dan mekanik batuan, tegangan insitu, pembebanan dan kondisi batas, sehingga dapat menggambarkan dan mewakili keadaan lereng tambang mendekati keadaan sebenarnya di lapangan. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak (*software*). Analisis kemantapan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas dengan bantuan *software*.



Gambar 12. Permodelan Lereng Menggunakan Slide 6.0

4.4.2 Nilai Properti Material

Tabel 14. Nilai Properti Material

Material	Bobot Isi Asli (kN/m <sup>3</sup> )	Kohesi (kPa)	Sudut Geser Dalam (Φ)
Andesite	26,379	332	67,50

4.4.3 Analisis Nilai FK Lereng Aktual Menggunakan Software Slide 6.0

Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode *bishop simplified* dimana penggambaran disajikan dalam bentuk tabel atau grafik. Serta penyelesaian perhitungan dibantu dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) *Rocscience Slide 6.0*.

Tabel 15. Nilai Faktor Keamanan Aktual

Tinggi (m)	Sudut	Faktor Keamanan Lereng Aktual		
		Natural	Jenuh	Kering
5	80	9,43	8,92	9,51

4.4.4 Analisis Kestabilan Lereng Terhadap Getaran

Hasil analisis yang dilakukan untuk kondisi lereng natural mendapatkan nilai FK maksimal sebesar 1.343, untuk kondisi lereng jenuh mendapatkan nilai FK maksimal sebesar 1.289, dan untuk kondisi kering mendapatkan nilai FK maksimal sebesar 1,350.

Tabel 16. Analisis Kestabilan Lereng Terhadap Getaran

FK Natural	FK Jenuh	FK Kering	Asumsi Getaran	Ketinggian (meter)	Kemiringan (°)
5,839	5,590	5,877	0,7	5	80
3,501	3,348	3,526	2,1	5	80
2,333	2,239	2,349	4,2	5	80
1,823	1,755	1,835	6,3	5	80
1,533	1,479	1,542	8,4	5	80
1,343	1,289	1,350	10,5	5	80
1,206	1,171	1,213	12,6	5	80

4.5 Rekomendasi Desain Geometri Lereng

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng dengan menghitung FK lereng menggunakan *software*, didapatkan geometri yang sesuai dan aman untuk diterapkan pada lereng. Rekomendasi dilakukan dengan cara regeometri lereng guna untuk mengoptimal lereng yang telah dianalisis sebelumnya.

4.5.1 Rekomendasi Desain geometri Tanpa Getaran

Secara keseluruhan desain geometri tanpa getaran yang direkomendasikan pada lereng penelitian PT KAS dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 17. Rekomendasi Lereng di PT KAS

Lereng	Parameter	Satuan	Geometri
Netral	Kemiringan Lereng	Derajat	80
	Tinggi Lereng	Meter	30
	FK		2,1
Jenuh	Kemiringan Lereng	Derajat	80
	Tinggi Lereng	Meter	30
	FK		1,6
Kering	Kemiringan Lereng	Derajat	80
	Tinggi Lereng	Meter	30
	FK		2,1

4.5.2 Rekomendasi Desain Geometri Terhadap Getaran

Rekomendasi lereng terhadap getaran diberikan guna memitigasi pengaruh ledakan terhadap geometri lereng. Rekomendasi lereng yang aman dirancang dengan menginputkan getaran tertinggi yang diasumsikan terjadi saat kegiatan *blasting* dilakukan.



**Tabel 18.** Hasil Rekomendasi Lereng

Lereng	Parameter	Satuan	Geometri
Netral	Kemiringan Lereng	Derajat	76
	Tinggi Lereng	Meter	5
	Getaran Maksimum	Koefisien	12,6
	FK		1,301
Jenuh	Kemiringan Lereng	Derajat	76
	Tinggi Lereng	Meter	5
	Getaran Maksimum	Koefisien	10,5
	FK		1,427
Kering	Kemiringan Lereng	Derajat	76
	Tinggi Lereng	Meter	5
	Getaran Maksimum	Koefisien	12,6
	FK		1,327

Berdasarkan hasil analisis interpretasi desain lereng yang direkomendasikan, menghasilkan nilai FK besar dari 1,3, maka dari itu desain tergolong aman dan mampu menahan asumsi getaran tertinggi yang terjadi pada kegiatan *blasting* di area lokasi penelitian.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Hasil analisis uji sifat fisik dan mekanik batuan di laboratorium diperoleh sebagai berikut:  
 Nilai Bobot Isi Asli : 26,37 kN/m<sup>3</sup>  
 Nilai Bobot Isi Kering : 26,13 kN/m<sup>3</sup>  
 Nilai Bobot Isi Jenuh : 26,52 kN/m<sup>3</sup>  
 Hasil pengujian Nilai UCS : 96,88 MPa.
- Hasil Analisis *Rock Mass Rating (RMR)* batuan menunjukkan bahwa secara *Rock Quality Designation (RQD)* massa batuan lereng di area penambangan PT Koto Alam Sejahtera lereng sebesar 98,70% dan bobot *RMR* lereng tergolong ke kelas II (baik).
- Analisis kestabilan lereng dengan kondisi aktual mendapatkan nilai faktor keamanan untuk kondisi lereng natural sebesar 9,43; untuk kondisi lereng jenuh sebesar 8,92; dan untuk kondisi lereng kering sebesar 9,51.
- Analisis lereng terhadap dampak kegiatan peledakan pada kondisi lereng mendapatkan nilai faktor keamanan yang paling tertinggi dengan getaran asumsi 12,6 untuk kondisi lereng natural sebesar 1.206, untuk kondisi lereng kering sebesar 1.213, dan untuk kondisi lereng jenuh sebesar 1.171.
- Analisis kinematis didapatkan potensi kelongsoran yang akan terjadi pada daerah penelitian yaitu berupa longsor baji (*wedge failure*) sebesar 83,7%, longsor guling (*flexural toppling*) sebesar 0,00%.
- Setelah dilakukan analisis simulasi model lereng, direkomendasikan geometri lereng dengan ketinggian 5 meter dengan sudut 76°.

Rekomendasi geometri lereng ini berdasarkan hasil analisis model geoteknik serta simulasi getaran yang ditimbulkan dari aktivitas *blasting*.

### 5.2 Saran

Beberapa saran dan rekomendasi berikut dibuat berdasarkan analisis data yang berkaitan dengan topik yang ditinjau:

- Untuk mencegah terjadinya longsor pada lereng maka diharapkan PT Koto Alam Sejahtera mengubah geometri lerengnya.
- Salah satu cara meningkatkan nilai faktor keamanan (FK) lereng adalah dengan mengurangi kemiringan lereng.
- Perlunya ketelitian pada saat melakukan pengujian sampel di laboratorium agar hasil yang didapatkan lebih akurat.

### Referensi

- Hoek, E. and Bray, J.W. (1981). *Rock Slope Engineering. Revised 3rd Edition, The Institution of Mining and Metallurgy*, London, 341-351.
- Wyllie, C. and Mah, W. (2004). *Rock Slope Engineering Civil and Mining. In: Hoek, E. and Bray, J.W., Eds., Rock Slope Engineering*, Taylor & Francis Group, London and New York, 431.
- Made Astawa Rai, dkk. (2014). *Mekanika Batuan*. ITB Press.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classification*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Lowson A. R., Bieniawski Z. T. (2013). *Critical Assessment of RMR Based Tunnel Design Practices: a Practical Engineers' Approach. Proceedings of the SME, Rapid Excavation and Tunneling Conference*. Washington, DC. 2013: 23-26
- Attewell, P. B. and Farmer, I. W. (1976) *Principles of Engineering Geology*. Chapman and Hall, London.