

Analisis Kestabilan Lereng Pada Rencana Lereng Akhir Penambangan Dengan Tinggi 55 m PT. Atika Tunggal Mandiri, Kecamatan Pangkalan Koto Baru, Sumatera Barat

Andre Martona Risky^{1*}, Drs. Raimon Kopa, M.T^{1**}.

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*andremartona97@gmail.com

**raimonkopa@ft.unp.ac.id

Abstract. PT. Atika Tunggal Mandiri is a company engaged in the andesite mining business in kabupaten Lima Puluh Kota. In open pit mining, the stability of the mine slope is the most important factor that must be considered in the sustainability of mining activities. The author conducted research at the site of the final mining slope of PT. ATM, with an actual slope height of 13 m and a slope angle of 85°. The final slope of the mine will increase in height, this is due to the excavation of andesite material to a depth of 55 m. Therefore, it is necessary to review the stability of the slope so that the slope does not collapse and does not cause losses to the company.

In this study, the analysis used is kinematic analysis with dips software and slope stability analysis using the Finite Element method with phase 2 software. which has a landslide potential of 23.37% (Flexural Toppling of 12.68% while Direct Toppling of 10.59%). Second, the results of the analysis of the factor of safety (FK) of the slope using the Finite Element method on the actual slope of 13 m with an angle of 85° are 2.12 (natural condition) and 2.09 (saturated condition). Third, to get a safe FK which is 1.30 by making a double bench with a height of 55 m with an overall angle of 65° (the height of the first single slope is 20 m with an angle of 85° while the second single slope is 35 m with an angle of 65°). FK values obtained are 1.33 (natural condition) and 1.31 (saturated condition). Fourth, it is preferable to write a triple bench with a height of 55 m with an overall angle of 70° (the height of the first single slope is 20 m with an angle of 85°, the second single slope is 20 m with an angle of 88° and the third single slope is 15 m with angle of 88°) obtained FK values are 1.35 (natural condition) and 1.33 (saturated condition).

Keywords : Open Mining, Slope Geometry, Finite Element Method, Safety Factor

1 Pendahuluan

PT. Atika Tunggal Mandiri merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dibidang industri pertambangan andesit di kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat. Kegiatan penambangan yang diterapkan adalah sistem tambang terbuka (*surface mining*) dengan metoda penambangan *Quarry*.

Pada kegiatan penambangan, masalah kestabilan lereng sangat banyak ditemukan, misalnya lereng pada penambangan *open pit*, penimbunan *overburden*, dan lain-lain. Apabila lereng-lereng yang terbentuk sebagai akibat dari proses penambangan maupun yang merupakan sarana penunjang operasi penambangan tidak stabil, maka dapat menyebabkan gangguan pada kegiatan produksi, selain juga membahayakan keselamatan pekerja.

Belum adanya analisis faktor kestabilan lereng pada lokasi penambangan bisa membuat lereng tersebut menjadi kurang aman dan perlu dibuat rancangan untuk menghindari terjadinya longsoran. Sebagai upaya untuk mendapatkan lereng yang

stabil/aman, maka penelitian ini memberikan gambaran karakteristik massa batuan di lokasi penambangan sekaligus untuk mengevaluasi tingkat kestabilan lereng dan upaya penanggulangannya. Kondisi lereng yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya longsor. Berdasarkan observasi di lapangan ditemukan tinggi lereng penelitian adalah 13 m dengan sudut kemiringan lereng 85°. Lereng ini merupakan lereng akhir dan juga bagian atas dari lereng ini dipergunakan sebagai jalan yang dilalui kendaraan-kendaraan di tambang. Berdasarkan rencana dari perusahaan, tinggi lereng ini akan bertambah karena masih akan dilakukan penggalian sampai kedalaman 55 m.

Berdasarkan informasi dari pihak perusahaan saat ini PT. Atika Tunggal Mandiri belum melakukan kajian mengenai kestabilan lereng pada lereng akhir penambangan tersebut. Untuk mendapatkan lereng yang aman dan menghindari terjadinya longsoran, diperlukan kajian mengenai faktor keamanan lereng tersebut. Jika tidak dilakukan analisis kestabilan lereng maka sewaktu-waktu bisa saja terjadi longsoran yang tentunya dapat menyebabkan kerugian yang

menyebabkan kegiatan penambangan terganggu dan bahkan bisa menyebabkan kerugian korban jiwa.

Dengan adanya permasalahan tersebut diperlukan suatu kajian mengenai faktor keamanan terhadap lereng tersebut. Kajian faktor keamanan lereng ini menggunakan metode elemen hingga atau *finite element method (FEM)*.

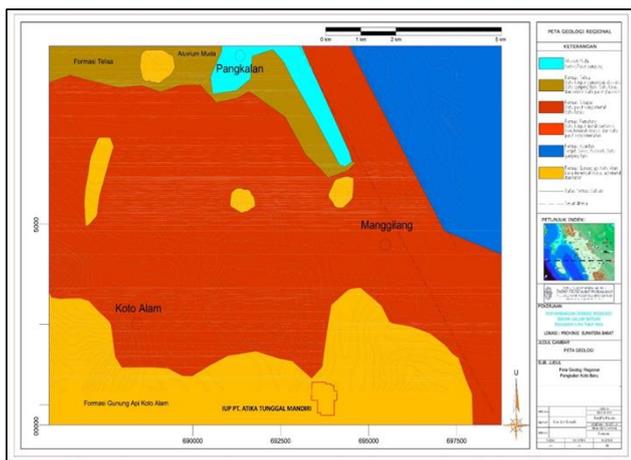
2 Tinjauan Pustaka

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi IUP Operasi Produksi batu Andesit PT. Atika Tunggal Mandiri, secara administrasi berada di Jorong Lubuak Jantan, Nagari Manggilang, Kecamatan Pangkalan Koto Baru, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat. Sedangkan secara geografis sesuai dengan wilayah IUP Operasi Produksi batu Andesit PT. Atika Tunggal Mandiri dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini

Tabel 1. Batas IUP PT Atika Tunggal Mandiri

NO	Bujur Timur			Lintang			LU/LS
	°	'	''	°	'	''	
1	100	44	33.7	00	00	37.6	LU
2	100	45	8.3	00	00	37.6	LU
3	100	45	8.3	00	00	7.3	LU
4	100	44	33.7	00	00	7.3	LU



Gambar 1. Peta Geologi Regional Pangkalan

2.2 Dasar Teori

2.2.1 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 adalah lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain adalah galin dan timbunan tanggul dan dinding tambang terbuka

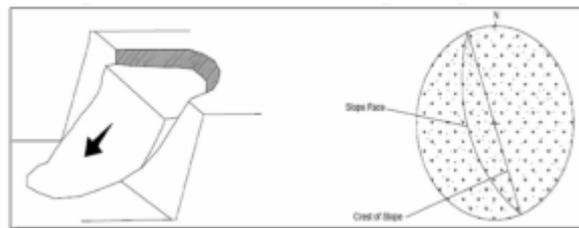
Kestabilan lereng, baik lereng alami maupun lereng buatan (buatan manusia) serta lereng timbunan,

dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penahan dan gaya-gaya penggerak yang bertanggung jawab terhadap kestabilan lereng tersebut. Pada kondisi gaya penahan (terhadap longsoran) lebih besar dari gaya penggerak, lereng tersebut akan berada dalam kondisi yang stabil (aman). Namun, apabila gaya penahan menjadi lebih kecil dari gaya penggerak, lereng tersebut menjadi tidak stabil dan akan terjadi longsoran.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah geometri lereng, penyebaran batuan, relief permukaan bumi, struktur geologi regional dan lokal, iklim dan curah hujan, sifat fisik dan mekanik batuan, serta gaya dari luar. Lereng tambang yang tidak stabil akan mengalami longsoran sampai lereng tersebut menemukan keseimbangan yang baru dan menjadi stabil. Longsoran dapat terjadi pada hampir setiap kemungkinan, perlahan-lahan ataupun secara tiba-tiba dan dengan atau tanpa adanya suatu peringatan yang nyata. Diantaranya jenis longsoran yang mungkin timbul adalah:

1. Longsoran Busur (*Circular Failure*)

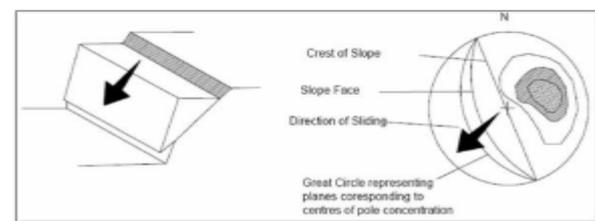
Banyak terjadi pada lereng tanah dan batuan lapuk atau sangat terkekalkan dan di lereng-lereng timbunan.



Gambar 2. Longsoran Busur

2. Longsoran Bidang Busur (*Plane Failure*)

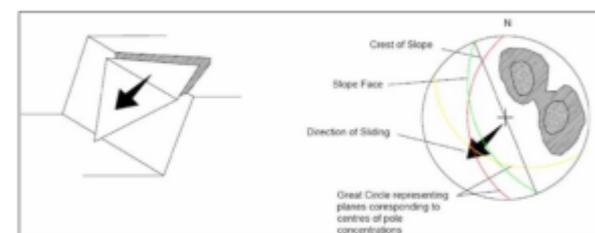
Longsoran Bidang (*Plane Failure*), disebabkan oleh adanya struktur geologi yang berkembang, seperti kekar (joint) ataupun patahan yang dapat menjadi bidang geluncir.



Gambar 3. Longsoran Bidang

3. Longsoran Baji (*Wedge Failure*)

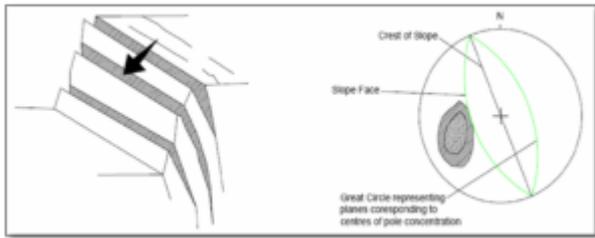
Disebabkan oleh adanya dua struktur geologi yang berkembang dan saling berpotongan.



Gambar 4. Longsoran Baji

4. Longsoran Guling (*Toppling Failure*)

Biasanya terjadi pada lereng yang terjal dan pada batuan yang keras dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom.



Gambar 5. Longsoran Guling

2.2.2 Metode elemen hingga (*Finite-element method*)

Dalam metode elemen-hingga domain dari daerah yang dianalisis dibagi kedalam sejumlah zone-zone yang lebih kecil. Zone-zone kecil tersebut dinamakan elemen. Elemen-elemen tersebut dianggap saling berkaitan satu sama lain pada sejumlah titik titik simpul. Perpindahan pada setiap titik-titik simpul dihitung terlebih dahulu, kemudian dengan sejumlah fungsi interpolasi yang diasumsikan, perpindahan pada sembarang titik dapat dihitung berdasarkan nilai perpindahan pada titik-titik simpul.

Selanjutnya regangan yang terjadi pada setiap elemen dihitung berdasarkan besarnya perpindahan pada masing-masing titik simpul. Berdasarkan nilai regangan tersebut dapat dihitung tegangan yang bekerja pada setiap elemen.

Terdapat dua pendekatan yang umum digunakan dalam analisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode elemen hingga, yaitu:

1. Metode Pengurangan Kekuatan Geser (*Strength reduction method*)

Prinsip dari metode ini yaitu kekuatan geser material nilainya dikurangi secara bertahap sampai terbentuk suatu mekanisme keruntuhan pada lereng. Pengurangan parameter kohesi (C) dan sudut gesek (f) dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_f = \frac{c}{SRF}$$

$$\phi_f = \tan^{-1} \frac{\tan \phi}{SRF}$$

Keterangan : SRF = faktor reduksi kekuatan geser.
 (F) = Faktor keamanan besarnya sama dengan nilai SRF pada saat tepat keruntuhan.

$$FK = \frac{\tau}{\tau_f}$$

τ merupakan kuat geser material yang dihitung berdasarkan kriteria *Mohr – Coulomb*, yaitu :

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi$$

Dan τ_f adalah tegangan geser pada bidang gelincir. Yang dapat dihitung sebagai berikut :

$$\tau_f = c_f + \sigma_n \tan \phi_f$$

Maka persamaan FK dan SRF sebagai berikut :

$$FK = \frac{c + \sigma_n \tan \phi_f}{\left(\frac{c}{SRF}\right) \sigma_n \tan \left(\tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi}{SRF}\right)\right)}$$

Sehingga, $FK = SRF$.

2. Metode Penambahan Gravitasi (*Gravity increase method*)

Prinsip dari metode penambahan gravitasi yaitu nilai gravitasi dinaikkan secara bertahap sampai terbentuk suatu mekanisme keruntuhan pada lereng. Faktor keamanan dalam pendekatan ini didefinisikan sebagai berikut :

$$(FS)_{gl} = \frac{g_{limit}}{g_{aktual}}$$

Keterangan : g_{aktual} = konstanta gravitasi (9.81 kN/m3)

g_{limit} = nilai gravitasi yang tepat menyebabkan terjadi suatu keruntuhan pada lereng.

3 Metode Penelitian

Penelitian yang digunakan adalah penelitian yang lebih ke arah penelitian terapan. Penelitian terapan adalah penelitian yang mempunyai alasan praktis, keinginan untuk mengetahui, bertujuan agar dapat melakukan sesuatu yang jauh lebih baik, efektif dan efisien.

Pengambilan data dilaksanakan di wilayah penambangan PT. Atika Tunggal Mandiri. Penelitian kemudian dibatasi dan difokuskan pada lereng akhir penambangan PT. Atika Tunggal Mandiri, Kecamatan Pangkalan Koto Baru, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat.

Data yang digunakan yaitu data primer dan data sekunder. Dimana data primer yang digunakan seperti, geometri lereng (tinggi lereng dan sudut kemiringan lereng), data discontinuitas dan data fisik dan mekanik batuan. Data sekunder yang digunakan yaitu, Peta lokasi kesampaian daerah, peta topografi, dan peta geologi.

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Uji Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Batuan mempunyai sifat-sifat tertentu yang perlu diketahui, dalam mekanika batuan sifat batuan dikelompokkan menjadi dua bagian besar yaitu sifat fisik dan mekanik. Adapun kegiatan yang dilakukan dilaboratorium tambang FT UNP adalah menentukan nilai sifat fisik dan mekanik dari sampel Andesit.

4.1.1 Sifat Fisik Batuan

Penentuan sifat fisik batuan dilakukan untuk mengetahui nilai parameter – parameter fisik batuan tanpa merusak sampel batuan (*non destructive test*) yang diuji di laboratorium. Dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Sifat Fisik Batuan

Kode Sampel	Berat Asli, Wn (gr)	Berat Jenuh, Ww (gr)	Berat Melayang Ws (gr)	Berat Kering, Wo (gr)	Bobot isi asli (gr/cm ³)	Bobot isi kering (gr/cm ³)	Bobot isi jenuh (gr/cm ³)
AD-01	41.5	41.7	26.7	41.3	2.767	2.753	2.780
AD-02	41.4	41.5	26.5	41.1	2.760	2.740	2.767
AD-03	41.2	41.4	26.4	41.0	2.747	2.733	2.760
AD-04	40.5	40.8	26.1	40.3	2.755	2.741	2.776
AD-05	39.7	39.9	25.2	39.6	2.701	2.694	2.714
Rata-rata					2.746	2.732	2.759

4.1.2 Sifat Mekanik Batuan

1. Uji Beban Titik (Point Load Index)

Pengujian kuat geser langsung ditujukan untuk mendapatkan nilai *index strenght* dan kuat tekan uniaksial dari batuan tersebut, untuk hasil pengujiannya dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 3. Hasil Uji Sifat Fisik Batuan

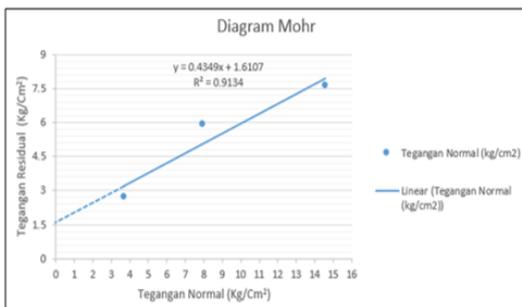
P (Kg)	D (cm)	Diameter (cm)	Indeks Strenght (kg/cm ²)	IS (Mpa)	σ_c (Mpa)
1.843	4,1	4,2	101,36	9,933	228,47
1.978	4,2	4,3	104,77	10,26	236,15
1.782	4	4,1	101,86	9,98	229,59
1.965	4,2	4,2	102,98	10,09	232,13
1.833	4,1	4,2	100,81	9,87	227,23
Rata-rata				10,03	230,71

2. Uji Kuat Geser langsung (Direct Shear Strenght)

Pengujian kuat geser langsung ditujukan untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (Φ) dalam

Tabel 9. Data Hasil Analisis uji geser batuan

No. Sampel	Tegangan Normal (kg/cm ²)	Tegangan Geser Residual (kg/cm ²)
1	3,68	2,7
2	7,97	5,92
3	14,58	7,62



Gambar 6. Diagram Mohr

Berdasarkan persamaan garis pada **Gambar 5** diketahui:

Tegangan geser (τ) = y
 Tegangan normal efektif (σ') = x
 $Tan \Phi = 0,4349$
 $C = 1,6107 \text{ kg/cm}^2$
 $= 1,6107 \times 0,0980665$
 $= 0,157 \text{ MPa}$

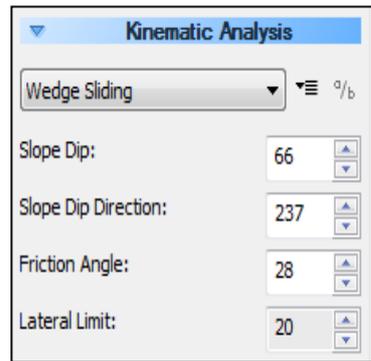
Sudut Geser dalam (Φ) = $\tan^{-1} \times 0,4349 = 23,52^\circ$

4.2 Analisis Kinematik Jenis Longsoran

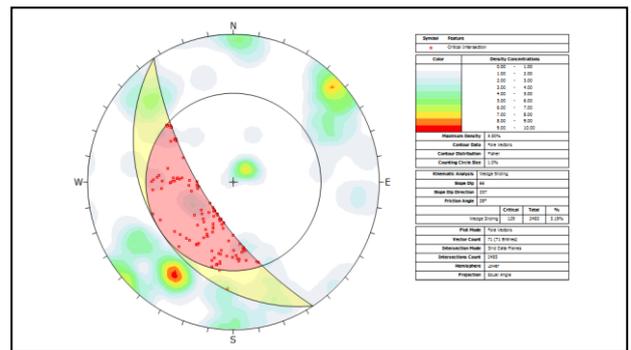
Analisis jenis longsoran dilakukan untuk mendapatkan jenis longsoran yang akan terjadi pada lereng penelitian. Pada penelitian ini, analisis secara kinematik menggunakan *software dips*.

4.2.1 Analisis Kinematik untuk Longsoran Baji (Wedge Failure)

Pada *software dips*, untuk mendapatkan presentase longsoran baji, input data kinematik analisis dengan memilih menu analisis kemudian pilih *kinematic analysis* jenis *wedge sliding* dan masukkan data *dip*, *dip direction* dan sudut geser dalam. Adapun hasil input dan *output* untuk longsoran *wedge* dapat dilihat pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**.



Gambar 7. Data Analisis *Wedge Sliding*



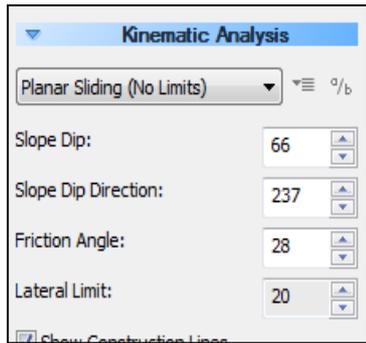
Gambar 8. Output Kinematik Analisis Jenis *Wedge Sliding*

Berdasarkan gambar di atas didapatkan hasil bahwa titik-titik intersections yang berada pada zona longsoran baji dengan presentase longsor sebesar 5,19%

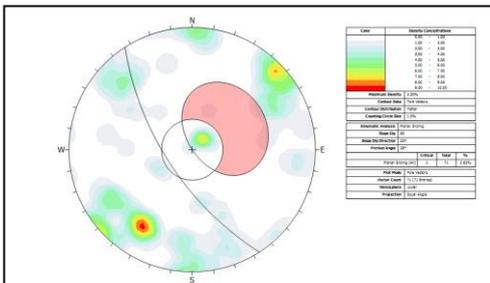
4.2.2 Analisis Kinematik untuk Longsoran Bidang (Planar Failure)

Sedangkan untuk mendapatkan presentase longsoran Bidang, input data kinematic analysis dengan memilih menu analisis kemudian pilih kinematic analysis jenis *Planar Sliding* dan masukkan data *dip*, *dip direction* dan sudut geser dalam. Adapun

hasil input dan output untuk longsor Planar dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Data Analisis Planar Sliding

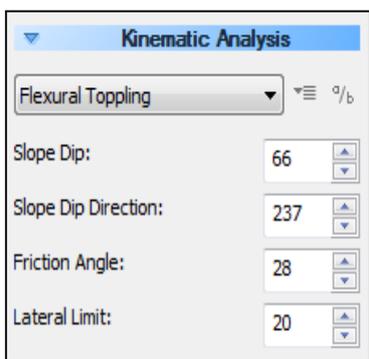


Gambar 10. Output Kinematic Analysis Jenis Planar Sliding

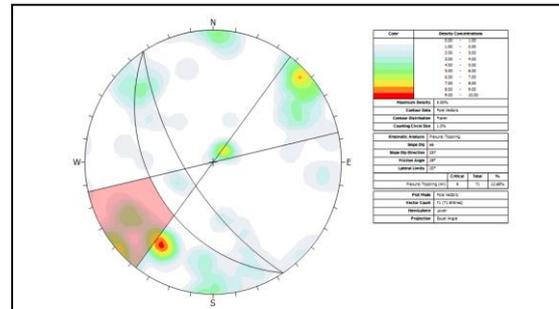
Berdasarkan gambar di atas didapatkan hasil bahwa titik-titik intersections yang berada pada zona longsor bidang dengan presentase longsor sebesar 2,82%.

4.2.3 Analisis Kinematik untuk Longsor Guling (Toppling Failure) jenis Flexural Toppling

Untuk mendapatkan presentase longsor Guling jenis Flexural Toppling, input kinematic analysis dengan memilih menu analisis kemudian pilih kinematic analysis jenis Flexural Toppling dan masukkan data dip, dip direction dan sudut geser dalam. Adapun hasil input dan output untuk longsor Flexural Toppling dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11. Data Analisis Flexural Toppling

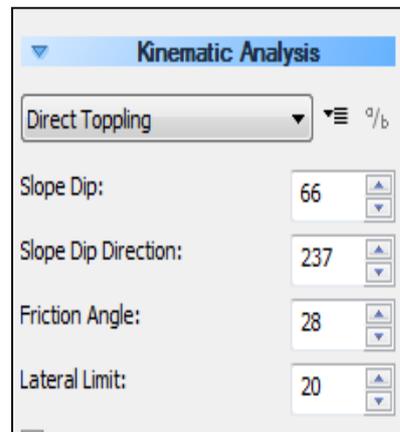


Gambar 12. Kinematic Analysis Jenis Flexural Toppling

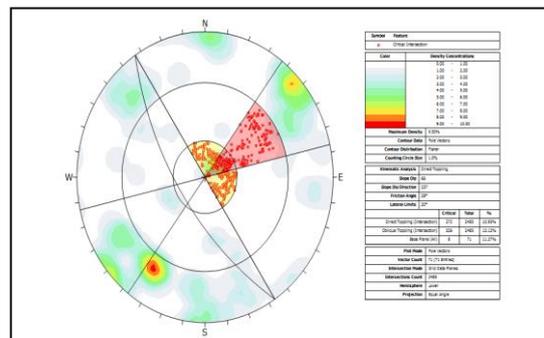
Berdasarkan gambar di atas didapatkan hasil bahwa titik-titik intersections yang berada pada zona longsor guling dengan presentase longsor sebesar 12,68 %.

4.2.4 Analisis Kinematik untuk Longsor Guling (Toppling Failure) jenis Direct Toppling

Untuk mendapatkan presentase longsor Guling jenis Direct Toppling, input data kinematic analysis dengan memilih menu analisis kemudian pilih kinematic analysis jenis Direct Toppling dan masukkan data dip, dip direction dan sudut geser dalam. Adapun hasil input dan output untuk longsor Direct Toppling dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 13. Data Analisis Direct Toppling



Gambar 14. Output Kinematic Analysis Jenis Direct Toppling

Berdasarkan gambar di atas didapatkan hasil bahwa titik-titik intersections yang berada pada zona longsor guling dengan presentase longsor sebesar 10,59%.

Dari hasil analisis potensi longsor yang dilakukan, dapat dilihat pada Tabel 10 di bawah ini

Tabel 10. Hasil Analisis Potensi Longsor

Jenis Longsoran	Potensi (%)
Longsoran Baji (<i>Wedge Failure</i>)	5,19
Longsoran Bidang (<i>Plane Failure</i>)	2,82
Longsoran Guling (<i>Toppling Failure</i>) jenis <i>Flexural Toppling</i>	12,68
Longsoran Guling (<i>Toppling Failure</i>) jenis <i>Direct Toppling</i>	10,59

Berdasarkan dari Tabel 10, didapatkan hasil bahwa potensi longsor yang paling tinggi terjadi yaitu Longsoran Toppling 23,27% (*Flexural Toppling* 12,68% dan *Direct Toppling* 10,59%) dengan potensi sebesar 12,68%

4.3 Analisis Kestabilan Lereng

Analisis Tingkat Kestabilan Lereng Metode Elemen Hingga dengan Menggunakan *Software Phase2* Pada penelitian ini, analisis kestabilan lereng dilakukan berdasarkan geometri lereng tambang, bobot isi batuan, kohesi (c) dan sudut geser dalam (θ) material penyusun lereng tersebut. Apabila hasil analisis terdapat kondisi lereng tidak aman maka harus memodelkan kembali atau membuat rekomendasi lereng baru dengan nilai yang lebih optimal. Analisis Faktor keamanan lereng menggunakan software Phase 2 dan metode yang digunakan dalam menganalisis yaitu metode Elemen Hingga.

Metode elemen hingga (*finite element method*) ini digunakan karena metode ini didasarkan pada hubungan tegangan regangan, dimana potensi bidang kelongsoran dengan mencari titik /bidang lemah di dalam batuan dengan cara mengurangi kuat geser batuan (*Shear Strength Reduction*) secara bertahap. Prinsip dari metode ini yaitu kekuatan geser material nilainya dikurangi secara bertahap sampai berbentuk suatu mekanisme keruntuhan pada lereng. Pengurangan parameter kohesi (C) dan sudut geser dalam. Metode penanganan potensi kelongsoran lereng untuk pencegahan atau supaya stabilitas lereng menurut Zakaria (2009) adalah mengurangi beban di puncak lereng dengan cara melakukan pemangkasan lereng baik mengurangi sudut kemiringan maupun pembuatan *berm*.

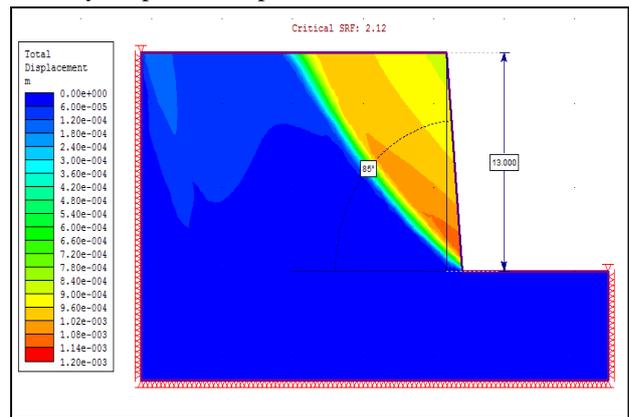
Data yang di input dalam menganalisis menggunakan *software Phase 2* yaitu :

Tabel 11. Input software phase 2

Material	Tensile Streght (MPa)	Poisson Ratio	Modulus Young (Mpa)	Sudut geser dalam	Kohesi (Mpa)
Andesite	13,75	0,2	13.233	23,52 °	0,157

Berikut adalah salah satu contoh untuk analisis nilai FK untuk lereng dalam kondisi jenuh. Hasil analisis faktor keamanan lereng tersebut adalah 2,09 yang

artinya lereng tersebut berada dalam kondisi aman dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar berikut



Gambar 15. Faktor Keamanan Lereng Aktual Kondisi Jenuh

Dari hasil analisis kestabilan lereng didapatkan bahwa lereng tersebut memiliki nilai FK yang aman, baik itu jenuh maupun dalam kondisi natural, untuk nilai Fk dari kedua kondisi tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 12. Nilai Faktor Keamanan Lereng Aktual

Metode	Tinggi (m)	Sudut (°)	Nilai FK	
			Natural	Jenuh
Elemen Hingga (Phase 2)	13	85	2,12	2,09

4.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis kestabilan pada lereng akhir penambangan, terlihat bahwa lereng memiliki nilai faktor keamanan yang tergolong masih aman dalam kondisi natural dan jenuh yang artinya lereng tersebut aman untuk kondisi yang sekarang. Namun sesuai dengan perencanaan PT. Atika Tunggal Mandiri lereng tersebut akan bertambah ketinggiannya dikarenakan masih akan dilakukan proses penggalian disekitar lereng yang pada rencananya lereng tersebut akan memiliki ketinggian 55 m. Untuk itu ada beberapa pilihan untuk rencana model lereng tersebut.

4.4.1 Lereng Tunggal

Berikut ini adalah tabel simulai nilai FK pada lereng tunggal.

Tabel 13. Simulasi Nilai FK Lereng Tunggal

Tinggi (m)	Sudut (°)	Faktor Keamanan	
		Natural	Jenuh
13	85	2,12	2,09
15	85	1,90	1,84
20	85	1,46	1,45
21	85	1,41	1,39
22	85	1,40	1,35
23	85	1,29	1,28
25	85	1,23	1,22
35	85	1,03	1,02
55	85	0,66	0,65

Dilihat dari tabel diatas, apabila dengan ketinggian lereng 55 m dengan sudut 85° maka FK = 0,65 pada kondisi jenuh yang berarti lereng tersebut dalam kondisi runtuh. Untuk membuat desain lereng lereng yang aman maka perlu membuat desain lereng dengan model *double bench* ataupun *triple bench*.

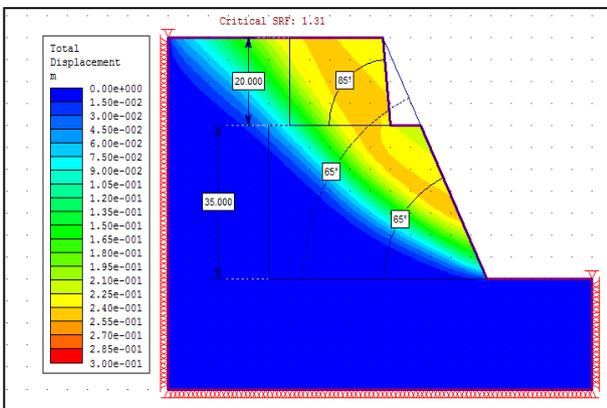
4.4.2 Lereng Double Bench

Lereng *double bench* merupakan solusi untuk membuat lereng menjadi aman. Berikut ini adalah tabel simulasi nilai FK pada lereng model *double bench*

Tabel 14. Simulasi Nilai FK Lereng *Double Bench*

Lereng	Tinggi (m)	Sudut (°)	Faktor Keamanan	
			Natural	Jenuh
Tunggal 1	20	85	2,12	2,09
Tunggal 2	35	65	1,35	1,34
		<i>Overall</i>		
<i>Double bench</i>	55	65	1,33	1,31

Berikut adalah gambar analisis dari lereng *double bench* berdasarkan tabel di atas



Gambar 16. Faktor Keamanan Lereng *double bench* kondisi jenuh

Berdasarkan hasil analisis dari *software phase2* didapatlah model seperti gambar di atas yang mempunyai sudut overall 65° dengan lebar bench 7 m. Penulis sendiri kurang merekomendasikan model tersebut karena sudut yang terlalu kecil yang secara tidak langsung banyak material andesit yang tidak bisa ditambang, oleh karena itu solusinya adalah dengan membuat model *triple bench*.

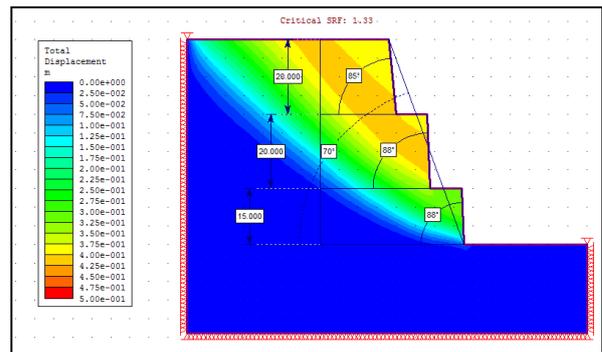
4.4.3 Lereng Triple Bench

Lereng *triple bench* merupakan solusi yang kedua untuk membuat lereng menjadi aman. Berikut ini adalah tabel simulasi nilai FK pada lereng model *triple bench*

Tabel 15. Simulasi Nilai FK Lereng *Triple Bench*

Lereng	Tinggi (m)	Sudut (°)	Faktor Keamanan	
			Natural	Jenuh
Tunggal 1	20	85	2,12	2,09
Tunggal 2	20	88	1,42	1,40
Tunggal 3	15	88	1,84	1,81
		<i>Overall</i>		
<i>Triple bench</i>	55	70	1,35	1,33

Berikut adalah gambar analisis dari lereng *triple bench* berdasarkan tabel di atas



Gambar 17. Faktor Keamanan Lereng *triple bench* kondisi jenuh

Berdasarkan hasil analisis dari *software phase2* didapatlah model seperti gambar di atas yang mempunyai sudut overall 70° dengan lebar bench 8 m. Penulis lebih merekomendasikan model tersebut karena sudut yang tidak dan bahkan nilai FK nya lebih besar dibanding dengan *double bench* dan tentunya material andesit bisa lebih banyak untuk ditambang.

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan maka didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya

1. Hasil pengujian laboratorium mekanika batuan didapatkan nilai sifat fisik batu andesit dengan bobot isi asli 2,746 gr/cm³, bobot isi kering 2,732 gr/cm³ dan 2,759 gr/cm³ bobot isi jenuh. Hasil *Uji Point Load Index* batuan dilokasi penelitian pada lereng akhir penambangan didapatkan nilai *Index Strength* rata-rata sebesar 10,03 MPa. Hasil uji geser langsung untuk tegangan residu didapatkan nilai kohesi (c) 157 MPa dan sudut geser dalam 23,52o.
2. Hasil analisis Kinematik, didapatkan potensi kelongsoran yang akan terjadi yaitu Longsoran Guling (*topling failure*) yang memiliki potensi kelongsoran sebesar 23,37% (*Flexural Topling* sebesar 12,68% sedangkan *Direct Topling* sebesar 10,59%).
3. Hasil analisis faktor keamanan (FK) lereng menggunakan metode Elemen Hingga menunjukkan bahwa lereng akhir penambangan dengan tinggi 13 m PT. Atika Tunggal Mandiri berada dalam kondisi aman dengan nilai FK sebesar 2,12 keadaan natural dan FK 2,09 pada keadaan jenuh.
4. Kestabilan lereng pada rencana lereng akhir penambangan PT. Atika Tunggal Mandiri untuk mendapatkan nilai FK ≥ 1,30 (kondisi aman) pada ketinggian lereng 55 m harus menerapkan model *double bench* dan *triple bench*. Model *double bench* menerapkan sudut overall ≤ 65°. Dengan sudut overall 65° dengan tinggi lereng

tunggal ke-1 adalah 20 m dan tinggi lereng tunggal ke-2 adalah 35 m didapatkan nilai FK 1,33 dalam kondisi natural dan 1,31 dalam kondisi jenuh. Sedangkan untuk model *triple bench* dengan sudut *overall* harus $\leq 70^\circ$. Dengan sudut *overall* 70° dengan tinggi lereng tunggal ke-1 adalah 20 m, tinggi lereng tunggal ke-2 adalah 20 m dan tinggi lereng tunggal ke-3 adalah 15 m didapatkan nilai FK 1,35 dalam kondisi natural dan 1,33 dalam kondisi jenuh. Dari kedua model tersebut penulis lebih merekomendasikan model *triple bench* karena nilai FK yang lebih besar.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukannya perancangan geometri lereng yang baik sebelum kegiatan penambangan dilakukan yang sesuai dengan sifat fisik dan mekanik batuan pada lereng tersebut, serta kontrol geoteknik terhadap aktivitas lereng, sehingga nantinya apabila ada potensi bahaya dapat diatasi sedini mungkin.
2. Perlunya ketelitian pada saat melakukan pengujian sampel di laboratorium agar hasil yang didapatkan lebih akurat.
3. Langkah pemeliharaan, pemantauan, dan penanganan pada lereng tambang sangat diperlukan untuk menjaga lereng tetap aman.

Daftar Pustaka

- Batas (limit equilibrium) dan Elemen Hingga (Finite Element). Desain Konstruksi.16 (1), 1-12.
- [9] Rosyid Fadhila Ahmad, Wattimenada Ridho Kresna dan Budi Sulistianto. Analisis Kestabilan Lereng dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga Menggunakan Pendekatan Strength Reduction. PERHAPI. Jakarta: Aksara Buana.
- [10] S. Rawat dan A. K. Gupta . 2016. Analysis of a Nailed Soil Slope Using Limit Equilibrium and Finite Element Methods. Geosynth. and Ground Eng. 2(34),1-23.
- [11] Saifuddin, Arief. 2007. Dasar-dasar Analisis Kestabilan Lereng. Sorowako: PT. INCO.
- [12] Septian, R., Heriyadi, B., & Prabowo, H. (2018). *Analisis kestabilan lereng jalan tambang di pt. Sumbar calcium pratama jorong atas halaban, nagari halaban, kecamatan lareh sago halaban, kabupaten lima puluh kota, provinsi sumatera barat.* Bina Tambang, 3(2), 893-903
- [13] Setiawan, Edi, Bambang Heriyadi dan Adree Octova. 2016. Rancangan Geometri Lereng Berdasarkan Analisis Probabilitas Pit “s” Blok Kananai 1 PT. Multi Tambang Jaya Utama, Kecamatan Gunung Bintang Awai, Barito Selatan, Kalimantan Tengah. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Padang: Padang.
- [14] Sharma, Sunil. 2002. Slope Stability Concepts. New York: Jhon Wiley & Sons.
- [15] Tendy, Vincent, Ahmad Azizi Masagus dan Marwanza Irfan. 2018. Analisis Kestabilan Lereng dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga pada Batu Gamping di PT. Omya Indonesia, Sale, Rembang, Jawa Tengah. Jurnal tidak diterbitkan. Jakarta: Universitas Trisakti.
- [16] Yong, Liu,Xiao Huawen,Yao Kai dkk. 2017. Rock-soil slope stability analysis by two-phase random media and finite elements. Geoscience Frontiers. 9 (2018),1649-1655.
- [17] Yosef, Marchiano Tahan, Dwinagara Barlian dan Laitupa Karmila. 2019. Analisis Stabilitas Lereng Tebing Sungai Menggunakan Kesetimbangan Batas dan Metode Elemen Hingga. Fakultas Teknologi Mineral. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”: Yogyakarta.
- [18] You, Greg. 2018. Finite Element Analysis of Rock Slope Stability Using Shear Strength Reduction Method. Sustainable Civil Infrastructures. 227-234.
- [1] Fikri, M. A., Heriyadi, B., & Prabowo, H. (2018). *analisis stabilitas lereng pada pit tambang air laya barat section c-c'pt bukit asam (persero) tbk., sumatera selatan.* Bina Tambang, 3(2), 835-849
- [2] GOUW Tjie, Liong, dan Herman Dave Juven George. 2012. Analisa Stabilitas Lereng Limit Equilibrium vs Finite Element Method. Fakultas Teknik Sipil. Universitas Bina Nusantara. Jakarta.
- [3] Haryati, O. S., Kopa, R., & Prabowo, H. (2018). *Pemetaan Kestabilan Lereng Pada Lokasi Penambangan Emas Pit Durian Pt J Resources Bolaang Mongondow Site Bakan Kecamatan Lolayan Kabupaten Bolaang Mongondow Sulawesi Utara.* Bina Tambang, 3(1), 481-482
- [4] Hoek, E., dan Bray, J. W., 1981. Rock Slope Engineering. London: The Institution of Mining and Metallurgy.
- [5] Irina, Fristina . 2017. Metode Penelitian Terapan. Yogyakarta: Parama Ilmu
- [6] Irwandi, Arif. 2016. Geoteknik Tambang. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [7] Noer Hamdhan, Indra dan Santi Pratiwi, Desti.2017. Analisis Stabilitas Lereng dalam Penanganan Longsoran di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km. 92+600 Menggunakan Metode Element Hingga (FEM).Rekayasa Hijau .1(2),100-111.
- [8] Nuryanto dan Sri Wulandari. 2017. Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Kesetimbangan