

ANALISA KESTABILAN LERENG BERDASARKAN PROBABILITAS KELONGSORAN PADA TAMBANG PIROFILIT DI PT GUNUNG BALE, KABUPATEN MALANG, PROVINSI JAWA TIMUR

^[1]Fadel Haritsa Putra Santosa, ^[1]Yudho Dwi Galih Cahyono

^[1]Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Alamat: Jl. Arif Rahman Hakim No. 100 Surabaya

e-mail: haritsafadel@gmail.com

ABSTRAK

PT Gunung Bale merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan pirofilit dengan menerapkan metode tambang terbuka. Karena adanya kegiatan penambangan tersebut diperlukan analisis kemantapan lereng agar kegiatan penambangan berjalan seefisien mungkin. Pada area *pit* perlu adanya perencanaan lereng yang aman sesuai dengan nilai probabilitas kelongsoran. Metode yang digunakan dalam menentukan dan menganalisa permasalahan adalah metode kesetimbangan batas yang dibantu dengan metode komputersasi untuk mentukan pemodelan lereng. Pada hasil analisis rencana lereng overall slope PT. Gunung Bale dengan tinggi jenjang 10 meter, sudut overall slope 23° didapatkan nilai FK 1.287 dan nilai PK 0.000%. Hasil rekomendasi *design* geometri lereng *single slope* material HRD dengan tinggi 12 meter, sudut 75° didapatkan nilai FK 1.415. Sedangkan nilai FK *single slope* materia BXB dengan tinggi 12 meter, sudut 75° sebesar 1.352. Nilai PK *single slope* untuk materia HRD dengan tinggi 12 meter, sudut 75° sebesar 0.000%. Sedangkan nilai PK *single slope* untuk materia BXB dengan tinggi 12 meter, sudut 75° sebesar 0.000%. Nilai FK *overall slope* dengan tinggi jenjang 12 meter, lebar berm 5 meter dan sudut *overall slope* 28° sebesar 1.027. Nilai PK *overall slope* dengan tinggi jenjang 12 meter, lebar berm 5 meter dan sudut *overall slope* 28° sebesar 4.8%. Berdasarkan ambang batas nilai FK dan PK lereng tambang terbuka (SRK,2010) untuk jenis lereng *overall slope* untuk dampak longsor medium nilai PK (max) ialah 5-10%.

Kata kunci: faktor keamanan lereng, pit, probabilitas kelongsoran

ABSTRACT

Gunung Bale Ltd. is a company engaged in pyrophilic mining by applying open pit method. In this company, there are mining activities which need slope stability analysis to make the activities in this company can run as efficiently as possible. In pit area needs safe slope planning based on the value of landslide probability. The method used to decide and analyze the problem in this study was boundary equilibrium method helped by computerize method to decide slope model. On the result of overall slope planning analysis of Gunung Bale Ltd. with a height 10 meters, the angle of overall slope was 23° , it would obtain FK value of 1,877 and PK value of 0,000%. Geometry design recommendation result of single slop and the material was HRD with a height 12 meters and the angle was 75° , the value obtained was FK 1.415. The value of FK single slope and the material was BXB with 12 meters height and the angle was 75° obtained 1.352. The value of PK single slope to HRD material and the height was 12 meters, 75° angles was 0,000%. Then, the value of PK single slope for BXB material with height 12 meters, 75° angle was 0,000%. The value of FK overall slope with 12 meters height, and the width was 5 meters, and the angel of overall slope was 28° , they obtained 1.027. The value of PK overall slope with 12 meters height, the 5 meters width, and 28° overall slope angels was 4.8%. Based on the threshold value of FK and PK open pit slopes (SRK, 2010) for the overall slope type to medium landslide impact had PK value max) 5-10%.

Keywords: slope safety factors, pit, slides probability

PENDAHULUAN

PT Gunung Bale merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan pirofilit yang terletak di Desa Argotirto, Kecamatan Sumbermanjing, Kabupaten Malang. Dengan dilakukan aktivitas penambangan dengan menggunakan metode tambang terbuka (*open pit*) sehingga membentuk jenjang. Jenjang yang dibentuk oleh kegiatan penambangan sangat sering mengalami longsor akibat kegiatan penambangan itu sendiri,

seperti kegiatan pemuatan, pengangkutan dan penimbunan demi mengejar target produksi.

Struktur batuan sangat berpengaruh pada *properties* batuan, baik yang berada dibawah maupun di sekelilingnya. Konsep analisis dengan pendekatan probabilitas kelongsoran menjadi solusi untuk mengatasi kurang telitinya mode deterministik. PK lereng ditentukan dari adanya variasi nilai parameter masukan yang selanjutnya akan menghasilkan variasi nilai FK lereng. Beberapa *properties* batuan yang

menunjukkan tingginya variasi data adalah hasil uji kuat geser.

Tujuan dari penelitian ini antara lain, mendapatkan geometri lereng *pit* yang aman dan ekonomis sesuai dengan faktor keamanan lereng berdasarkan probabilitas kelongsoran.

TINJAUAN UMUM

1. Lokasi

Secara Administratif PT. Gunung Bale terletak pada 112° 40' 43,89" sampai dengan 112° 40' 55,7" Bujur Timur dan 8° 19' 38,67" sampai dengan 8° 19' 29,01" Lintang Selatan. Pada bagian Utara berbatasan dengan Jombang, Mojokerto dan Pasuruan. Pada bagian Selatan berbatasan dengan Samudra Indonesia. Pada bagian Barat berbatasan dengan Blitar dan Kediri. Sementara pada bagian Timur berbatasan dengan Lumajang dan Proboinggo (lampiran A1).

2. Iklim dan Curah Hujan

Kondisi topografi pegunungan dan perbukitan berbatasan langsung dengan pantai selatan menjadikan wilayah Kabupaten Malang sebagai daerah sejuk.

Tabel 1: Iklim dan Curah Hujan Kabupaten Malang

Tahun	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan	Suhu Udara °C			Kelembaban Udara (%)
			Min	Max	Rata-rata	
2017	215.4	167	18.6	29.2	23.9	87
2016	285.8	321	20.7	31.3	26	86
2015	162.8	124	19.6	29.6	24.6	82
2014	269.1	182	20.5	30.6	25.6	84.3
2013	183	197	20.9	27.8	24.4	82.5
2012	212.5	187	20.5	31.6	26.1	84.4
2011	184.6	177	19.9	28.4	24.2	82.3
2010	539.5	253	20.9	28.6	24.75	85
2009	256.9	188	19.6	29.2	24.4	83.5
2008	205.5	218	20.7	31.2	25.95	83.9
Jumlah	2,515.10	2014	201.9	297.5	249.7	840.9
Rata-rata	251.5	201.4	20.2	29.8	25	84.1

3. Keadaan Geologi, Stratigrafi, dan Geomorfologi

A. Keadaan Geologi

Pada awal lingkungan pengendapan di daerah penelitian merupakan dataran atau laut dangkal. Kemudian terjadi kegiatan magmatik yang menghasilkan endapan gunung api yang tersusun oleh andesit, basalt dan breksi vulkanik. (lampiran A2).

B. Stratigafi

Secara regional daerah penelitian termasuk kedalam stratigrafi Pegunungan Selatan Jawa Timur (lampiran A3).

C. Morfologi

Secara umum keadaan morfologi daerah Sumbermanjing Wetan adalah dataran tinggi yang merupakan daerah pegunungan dengan elevasi ± 60 sampai dengan elevasi ± 630 mdpl dengan beda tinggi ± 570m, kemiringan lereng antara 30° - 70°. Satuan perbukitan

struktural bergelombang sedan hingga kuat, structural berkaitan dengan kekar dan patahan (lampiran A4).

KAJIAN PUSTAKA

1. Pirofilit

Pirofilit adalah batuan aluminium silika dengan rumus kimia $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$. Pirofilit terbentuk pada zona ubahan argilik lanjut pada temperature tinggi (250 °C) dan PH asam. Di Indonesia pirofilit terbentuknya berkaitan erat dengan sebaran formasi andesit tua yang berumur Oligo-Miosen, memiliki control struktur dan intensitas ubahan hidrotermal yang kuat atau terbentuk sebagai hasil ubahan hidrotermal batuan gunung api.

2. Kesetimbangan Batas

Metode ini dapat dinyatakan dengan persamaan-persamaan keseimbangan dari satu atau beberapa blok yang diasumsikan tidak terdeferformasi, dan mengurangi gaya-gaya yang tidak diketahui (reaksi dari bagian stabil massa batuan atau gaya antara blok), khususnya gaya geser yang bekerja pada permukaan longoran yang dipilih sebelumnya. Dalam metode ini, lereng dibagi dalam beberapa irisan dengan pusat gaya dipilih sebelumnya. Dalam metode ini, lereng dibagi dalam beberapa irisan dengan pusat gaya di titik tertentu, kemudian menganalisa gaya yang berkerja pada lereng, saat terjadi longoran dan setiap bagian pada kondisi keseimbangan statis.

3. Kriteria Keruntuhan Mohr Coulomb

Teori Mohr menganggap bahwa untuk suatu keadaan tegangan $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, (*intermediate stress*) tidak mempengaruhi *failure* batuan dan kuat tarik tidak sama dengan kuat tekan. Teori ini didasarkan pada hipotesis bahwa tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada permukaan *rupture* memainkan peranan pada proses *failure* batuan.

4. Probabilitas

Probabilitas adalah suatu cara untuk menentukan nilai faktor keamanan suatu sistem rekayasa dengan memperlakukan nilai masukan sebagai variabel acak, dengan demikian nilai faktor keamanan sebagai rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak merupakan juga variabel acak. Pada proses ini nilai parameter masukan dan faktor keamanan akan dikarakterisasi distribusi nilai masing-masing.

Secara defenisi ada hubungan linier antara nilai PK dengan peluang (likelihood) kelongsoran, sementara tidak berlaku untuk hubungan FK dengan peluang kelongsoran PK. FK yang besar tidak menggambarkan lereng yang lebih stabil, karena besaran ketidak pastian yang implisit tidak ditangkap oleh nilai FK. Lereng dengan nilai FK= 3 bukan berarti 2 kali lebih stabil daripada FK 1.5,

sementara lereng dengan nilai PK 5 % menunjukkan 2 kali lebih stabil dari lereng dengan nilai PK 10 %.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Jenis Penelitian

Analisa dan rekomendasi rancangan *pit* pada area penambangan di PT. Gunung Bale merupakan penelitian yang bersifat terapan (aplikatif), penelitian ini berkaitan dengan *software*, metode matematis dan analisa. Penelitian ini menerapkan penggunaan perangkat lunak (*software*) dalam hal analisis kestabilan lereng serta dalam rencana merancang *pit*.

2. Variabel Penelitian

A. Data Primer

Data primer adalah komponen untuk menganalisa kestabilan lereng dan perancangan *pit*.

- 1) Data uji laboratorium: Sebagai data penting dalam menganalisa kestabilan lereng untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik batuan.
- 2) Data geometri lereng: Sebagai data dasar dalam menganalisis faktor keamanan lereng

B. Data Sekunder

Data sekunder yang dimaksud adalah unsur data yang digunakan untuk menunjang dan mempermudah dalam pengolahan data.

- 1) Data topografi: Sebagai data dalam menentukan dan merancang lokasi *pit* penambangan.
- 2) Data geologi: Sebagai data dasar dalam mengetahui litologi yang berada pada area *pit* penambangan
- 3) Data – data lainnya seperti, keadaan geologi untuk mengetahui morfologi, stratigrafi, dan struktur geologi daerah penelitian, kondisi umum perusahaan diambil untuk mengetahui sejarah, sistem penambangan, dan perijinan perusahaan, batas WIUP sebagai batas terluar dalam kegiatan pertambangan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penelitian

A. Data Pengujian Laboratorium

Data sifat fisik dan mekanik batuan yang didapat dari lokasi penelitian seperti: data kohesi, sudut geser dalam, dan bobot isi. Data tersebut berfungsi untuk parameter dalam analisis kesetabilan lereng nantinya. Data sifat dan karakteristik batuan yang didapat pada daerah penelitian dapat dilihat pada *Tabel 2*.

Tabel 2: Data Sifat dan Karakteristik Batuan

Color	Material	Kohesi (kn/m ²)	Sudut Geser Dalam (°)	Bobot Isi (kn/m ³)
	HRD	56.3388	29.47	25.1136
	WHI	66.1096	16.66	24.1326

Sumber: *Engineering PT.GB 2019*

B. Pengolahan Data

Langkah pertama dalam pengolahan data yaitu mencari nilai distribusi statistik pada setiap material dengan menggunakan parameter distribus teoritik seperti normal, lognormal, dan gamma. Untuk mendapatkan nilai tersebut menggunakan bantuan aplikasi *software Matlab 2011 student version*. Setelah mendapatkan nilai dan parameter yang cocok untuk setiap material, selanjutnya masuk dalam aplikasi *Rocscience Slide 6.0 student version*, untuk mencari nilai FK dan PK dengan menginput nilai-nilai distribusi statistic yang didapatkan sebelumnya. Pengolahan data ini di lakukan dengan metode kesetimbangan batas dengan metode bishop, sedangkan untuk analisis keruntuhannya menggunakan metode mohr-coloumb.

C. Analisis Data

Untuk mendapatkan lereng yang proposional (mantab dan optimal) maka perlu dilakukan pengujian geometri lereng dengan metode *try and error*. Dari metode tersebut kita akan mengetahui geometri lereng yang proposional berdasarkan nilai FK dan PK. Dalam metode *try and error* asumsi yang digunakan adalah tinggi dan sudut lereng, untuk lebar lereng menggunakan jarak 5 meter dengan asumsi lebar 3,5 lebar alat.

Kondisi material yang umumnya batuan cukup keras pada lokasi penelitian membuat hasil pengujian kuat geser yang didapatkan nilainya besar. Hal itulah menyebabkan kekuatan batuan pada material penyusun lereng menjadi kuat.

2. Pembahasan

A. Permodelan Geoteknik

Permodelan geoteknik tidak lepas dari dua hal penting yaitu data masukan dan langkah-langkah permodelan. Permodelan menggunakan metode kesetimbangan batas dengan bantuan *Software Slide 6.0 by Rocscience*. Permodelan geoteknik ini diaplikasikan pada lereng tunggal dan lereng keseluruhan yang untuk selanjutnya akan ditentukan masing- masing nilai faktor keamanan (FK) dan probabilitas kelongsoran (PK), didapatkan parameter masukan yang berpengaruh pada rancangan lereng tambang. Barikut ini tinggi dan sudut lereng yang akan digunakan dalam menentukan faktor keamanan lereng tunggal dan keseluruhan.

Tabel 3: Tinggi dan Sudut Lereng Tunggal dan Keseluruhan Permodelan Geoteknik

No	Lereng	Lebar Berm (m)	Tinggi (m)	Sudut Jenjang (m)
1	Tunggal (single slope)	5	8	55
				65
				75
			10	55
				65
				75
12	55			
	65			
	75			
2	Keseluruhan (overall Slope)	5	80	45
				48
				50
				60

Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti

B. Analisis Data Distribusi Statistik

Pada tahap ini merupakan lanjutan dari tahap sebelumnya yang dimana bertujuan untuk menganalisa dan merangkum data yang akan dimasukkan kedalam *input properties statistic* pada aplikasi *Rocsience Slide 6.0*. Berikut Tabel 4.10 parameter masukkan *properties statistic*.

Tabel 4: Parameter Properties Statistik

Material	Parameter	SD	Mean	Rel. Min	Rel. Max	Type of Distribution
HRD	Cohesion	2.45902	56.3388	3.00997	3.01003	Gamma
	Phi	0.816679	29.47	1	1	Gamma
	Density	0.816748	25.1136	1	1	Gamma
BxB	Cohesion	0.816533	66.1096	1.00001	0.99999	Gamma
	Phi	0.81707	16.66	1	1	Gamma
	Density	0.824942	24.1326	1.01	1.01	Gamma

Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti

C. Analisis Stabilitas Lereng Tunggal (Single Slope)

Analisis kemantapan lereng tunggal merupakan salah satu bentuk dari permodelan geoteknik yang bertujuan untuk mengetahui faktor keamanan dari lereng tunggal yang bersifat deterministik, yang berdasarkan tinggi jenjang dan besar sudut lereng yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil karakterisasi terhadap parameter masukan yang mencakup nilai relatif minimum dan relatif maksimum, standar deviasidan jenis fungsi distribusi masukan dalam analisis kestabilan lereng tunggal. Berdasarkan ambang batas nilai FK dan PK lereng tambang terbuka (SRK,2010) untuk jenis lereng tunggal (*single slope*) FK (min) ialah 1.1 dan PK (max) 25-50%.

Hasil analisis kestabilan lereng menggunakan pendekatan probabilitas ini menghasilkan faktor keamanan yang dimungkinkan membangkitkan nilai dengan kapasitas probabilitas kelongsoran dan indeks reliabilitas lereng. Berikut hasil analisis lereng tunggal dapat dilihat pada Tabel 4.11 sampai Tabel 4.16 dibawah ini.

Tabel 5: Analisis Lereng Tunggal HRD Tinggi 8 Meter

Analisis Lereng Tunggal HRD			
Tinggi	8 m		
Sudut	55°	65°	75°
Faktor Keamanan (FK Deterministik)	2.445	2.135	1.822
Faktor Keamanan (FK Mean)	2.446	2.136	1.822
Probabilitas Longsoran (PK)	0.000%	0.000%	0.000%

Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti

Tabel 6: Analisis Lereng Tunggal HRD Tinggi 10 Meter

Analisis Lereng Tunggal HRD			
Tinggi	10 m		
Sudut	55°	65°	75°
Faktor Keamanan (FK Deterministik)	2.113	1.834	1.567
Faktor Keamanan (FK Mean)	2.114	1.835	1.567
Probabilitas Longsoran (PK)	0.000%	0.000%	0.000%

Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti

Tabel 7: Analisis Lereng Tunggal HRD Tinggi 12 Meter

Analisis Lereng Tunggal HRD			
Tinggi	12 m		
Sudut	55°	65°	75°
Faktor Keamanan (FK Deterministik)	1.892	1.628	1.414
Faktor Keamanan (FK Mean)	1.892	1.629	1.415
Probabilitas Longsoran (PK)	0.000%	0.000%	0.000%

Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti

Tabel 8: Analisis Lereng Tunggal BXB Tinggi 8 Meter

Analisis Lereng Tunggal BXB			
Tinggi	8 m		
Sudut	55°	65°	75°
Faktor Keamanan (FK Deterministik)	2.411	2.154	1.878
Faktor Keamanan (FK Mean)	2.413	2.156	1.879
Probabilitas Longsoran (PK)	0.000%	0.000%	0.000%

Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti

Tabel 9: Analisis Lereng Tunggal BXB Tinggi 10 Meter

Analisis Lereng Tunggal BXB			
Tinggi	10 m		
Sudut	55°	65°	75°
Faktor Keamanan (FK Deterministik)	2.02	1.796	1.557
Faktor Keamanan (FK Mean)	2.022	1.798	1.558
Probabilitas Longsoran (PK)	0.000%	0.000%	0.000%

Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti

Tabel 10: Analisis Lereng Tunggal BXB Tinggi 12 Meter

Analisis Lereng Tunggal BXB			
Tinggi	12 m		
Sudut	55°	65°	75°
Faktor Keamanan (FK Deterministik)	1.757	1.539	1.35
Faktor Keamanan (FK Mean)	1.759	1.541	1.352
Probabilitas Longsoran (PK)	0.000%	0.000%	0.000%

Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti

Berdasarkan hasil analisis probabilitas kelongsoran (PK) pada material HRD dan BXB dengan ketinggian

8, 10, dan 12 meter dengan sudut 55°, 65°, dan 75° didapatkan hasil analisis (PK) sebesar 0.000%, secara keseluruhan tinggi dan sudut yang menjadi masukan menunjukkan dalam kondisi yang aman dari *acceptance criteria* PK 25-50 %.

D. Analisis Stabilitas Lereng Keseluruhan (*Overall Slope*)

Langkah awal dalam analisis kestabilan lereng adalah pembuatan model lereng. Model lereng yang diinput dalam analisis ini merupakan desain yang didapat dari rencana penambangan tahun ke 17 PT. Gunung Bale. Kondisi layer batuan penyusun lereng sesuai dengan kondisi litologi hasil pemboran di lapangan, serta nilai input material propertis merupakan hasil dari pengujian sampel di laboratorium dan hasil dari karakteristik parameter masukan. Berdasarkan ambang batas nilai FK dan PK lereng tambang terbuka (SRK,2010) untuk jenis lereng keseluruhan (*overall slope*) untuk dampak longsoran *medium* nilai PK (max) ialah 5-10%.

Tabel 11: Input Bentuk dan Propertis Material Dari Hasil Karakteristik Parameter Masukan

#	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
1	hrd	Cohesion	Gamma	56.3388	2.45902	3.00997	3.01003
2	hrd	Phi	Gamma	29.47	0.816679	1	1
3	hrd	Unit Weight	Gamma	25.1136	0.816748	1	1
4	bxb	Cohesion	Gamma	66.1096	1.81653	1.00001	0.99999
5	bxb	Phi	Gamma	16.66	0.81707	1	1
6	bxb	Unit Weight	Gamma	24.1326	0.824942	1.01	1.01

Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti

Propertis material meliputi *cohesion*, *internal friction angle*, dan *density variable*. Propertis material didapatkan dari dari hasil karakteristik parameter masukan, dimana masukan untuk material HRD dan BXB, *cohesion*, *internal friction angle*, dan *density variable* diasumsikan berdistribusi gamma.

Tabel 12: Hasil Analisis Lereng Keseluruhan (*Overall Slope*)

Tinggi (m)	Lebar Berm (m)	Tinggi Jenjang (m)	Sudut (°) Overall	FK (mean)	PK (%) Probabilitas	Keterangan
80	5	10	25	1.077	0.000%	Aman
			27	1.054	0.000%	Aman
			28	1.016	18%	Tidak aman
			31	0.909	100%	Tidak aman
		12	26	1.095	0.000%	Aman
			27	1.030	3.20%	Aman
			28	1.027	4.80%	Aman
			32	0.905	100%	Tidak aman

Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti

Tabel 13: Hasil Analisis Rencana Lereng Keseluruhan (*Overall Slope*) PT. Gunung Bale

Tinggi (m)	Tinggi Jenjang (m)	Sudut (°) Overall	FK (mean)	PK (%) Probabilitas	Keterangan
80	10	23	1.287	0.000%	Aman

Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti

E. Rekomendasi Parameter Masukan *Single Slope* dan *Overall Slope*

Secara keseluruhan dari setiap analisis parameter masukan lereng yang telah dianalisis memiliki nilai FK dan PK yang berbeda.

1) Lereng Tunggal (*Single Slope*)

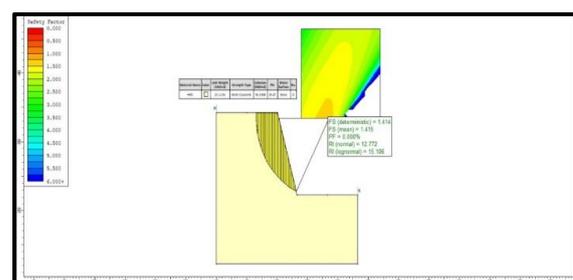
Dilihat dari hasil analisis lereng tunggal dengan menggunakan pendekatan probabilitas kelongsoran didasarkan pada tinggi jenjang 8, 10 dan 12 meter dengan menggunakan sudut 55°, 65°, dan 75°. Dapat diketahui bahwa nilai FK dan PK menunjukkan nilai faktor keamanan yang aman dan dapat diterima sesuai ambang batas nilai FK dan PK lereng tambang terbuka (SRK,2010) untuk jenis lereng tunggal (*single slope*) FK (min) ialah 1.1 dan PK (max) 25-50%.

Tabel 14: Rekomendasi Geometri Lereng Singel Slope Material HRD

Tinggi	Analisis Lereng Tunggal HRD								
	8 m			10 m			12 m		
Sudut	55°	65°	75°	55°	65°	75°	55°	65°	75°
FK (Deterministik)	2.445	2.135	1.822	2.113	1.834	1.567	1.892	1.628	1.414
FK (Mean)	2.446	2.136	1.822	2.114	1.835	1.567	1.892	1.629	1.415
PK	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%

Rekomendasi *Single Slope*

Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti



Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti

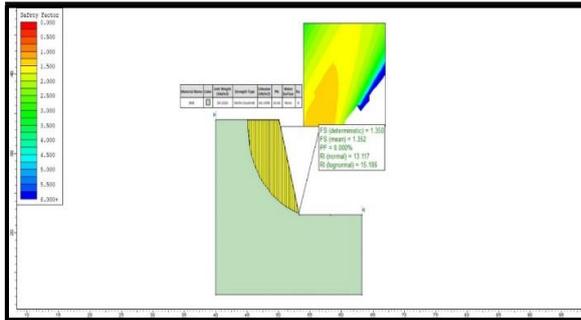
Gambar 1: Rekomendasi FK dan PK Lereng Single Slope Material HRD.

Tabel 15: Rekomendasi Geometri Lereng Singel Slope Material BXB

Tinggi	Analisis Lereng Tunggal BXB								
	8 m			10 m			12 m		
Sudut	55°	65°	75°	55°	65°	75°	55°	65°	75°
FK (Deterministik)	2.411	2.154	1.878	2.02	1.796	1.557	1.757	1.539	1.35
FK (Mean)	2.413	2.156	1.879	2.022	1.798	1.558	1.759	1.541	1.352
PK	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%

Rekomendasi *Single Slope*

Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti



Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti
 Gambar 2: Rekomendasi FK dan PK Lereng Single Slope Material BXB.

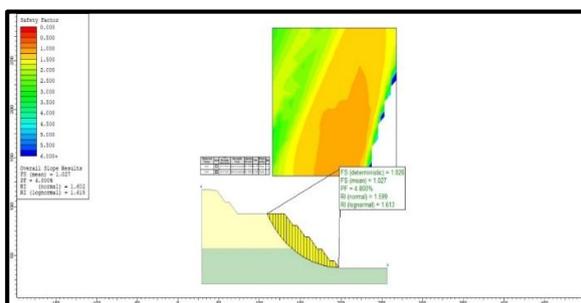
2) Lereng Keseluruhan (Overall Slope)

Dilihat dari analisis lereng keseluruhan dengan menggunakan analisis probabilitas kelongsoran, didasarkan pada tinggi lereng keseluruhan 80 meter dengan menggunakan tinggi jenjang 10 meter dan 12 meter, lebar berm 5 meter, sudut jenjang 45⁰, 48⁰, 50⁰ dan 60⁰. Dapat diketahui bahwa nilai FK dan PK menunjukkan nilai faktor keamanan yang aman dan dapat diterima sesuai ambang batas nilai FK dan PK lereng tambang terbuka (SRK,2010) untuk jenis lereng keseluruhan (overall slope) untuk dampak longsoran medium nilai PK (max) ialah 5-10%.

Tabel 16: Rekomendasi Geometri Lereng Overall Slope

Tinggi (m)	Lebar Berm (m)	Tinggi Jenjang (m)	Sudut (°) Overall	FK (mean)	PK (%) Probabilitas	Keterangan
80	5	10	25	1.077	0.000%	Aman
			27	1.054	0.000%	Aman
			28	1.016	18%	Tidak aman
			31	0.909	100%	Tidak aman
			32	0.905	100%	Tidak aman
		12	26	1.095	0.000%	Aman
			27	1.030	3.20%	Aman
			28	1.027	4.80%	Aman
			31	0.909	100%	Tidak aman
			32	0.905	100%	Tidak aman

Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti



Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti
 Gambar 3: Rekomendasi Overall Slope

KESIMPULAN

1. Rekomendasi untuk lereng single slope pada material HRD dan BXB menggunakan tinggi 12 meter dan sudut 75⁰. Sedangkan rekomendasi untuk lereng overall slope menggunakan tinggi

jenjang 12 meter, lebar berm 5 meter, dan sudut overall slope 28⁰.

2. Nilai FK single slope untuk material HRD sebesar 1.415, dan nilai FK single slope untuk material BXB sebesar 1.352. Sedangkan Nilai FK overall slope untuk material HRD dan BXB sebesar 1.027.
3. Nilai PK single slope untuk material HRD sebesar 0.000%, dan nilai PK single slope untuk material BXB sebesar 0.000%. Sedangkan Nilai PK overall slope untuk material HRD dan BXB sebesar 4.8 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

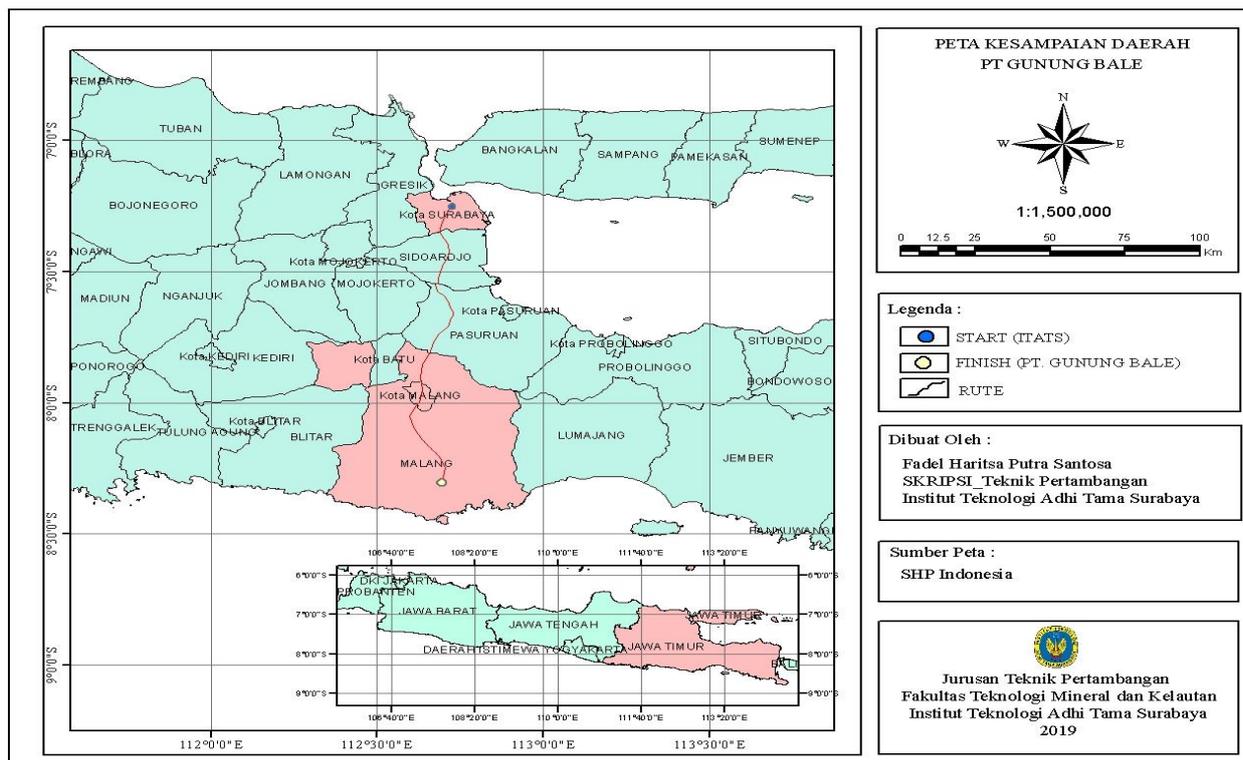
1. Mama, papa dan adik tercinta, yang selama ini tak pernah lelah menasehati dan memotivasi, mendoakan serta memberi dukungan baik moral maupun material sehingga masa pendidikan saya selama ini berjalan dengan lancar. Semoga pencapaian saya ini menjadi awal yang baik dalam karir dan masa depan saya sehingga saya dapat membanggakan kalian. Terutama untuk Mama tercinta yang menjadi motivasi utama saya.
2. Kepada semua Dosen Jurusan Teknik Pertambangan yang selama ini membagi banyak ilmunya, saya ucapkan Terima Kasih.
3. Kepada "Squad Wani Perih" putra, rudi, ibnu, dan mala. Kalian kolaborasi yang sangat hebat dalam bidang apapun. Pulang pagi bahkan nginap, gak tidur, masak bareng, saat tugas menghampiri bukan hal tabu buat kami. Cari reverensi kuliah sampai ke Jogja dan banyak cerita lainnya yang kami ukir bersama.
4. Kepada sahabat madiun kota gadis eka, dayu, dayang. Satu se-SD bareng Satunya se-SMA bareng daftar kuliah bareng lulus bareng wkwk. Next kerja nikah bisa diagendakan bareng mungkin.
5. Kepada sahabat Kontrakan Agung, bayu, doni, denis, surya, yudha, tanpa kalian 5 tahun diSurabaya mungkin membosankan.
6. Kepada sobat info mantab-mantab cabang Surabaya Abot, farhan, jundi, mbah, anggi, mas anas. Jangan macam-macam sama kata "AYO".
7. Kepada sobat info mantab-mantab cabang madiun afdur, dedy, yudhis, aliefa, singgih, bain, dongok, trio, minti, bebek, dll. Tanpa kalian pulangku terasa hampa (aseeeeeeek).
8. Kepada sobat Madiun Club Ninja dan Bengkel aing Bnu garage yang selalu memberikan solusi indah dikala bosannya dengan lingkup kuliah. Banyak pelajaran yang diambil ketika hidup dijalan, tak semuanya berdampak negatif kawan.
9. Teman-teman HMTTP serta adik kaka tingkat saya yang selama ini saling memotivasi dan menyatukan pemikiran untuk masa depan yang lebih baik.

10. Teruntuk R yang membuat keinginan diri ini untuk berjuang dalam segala aspek. Terima kasih telah menjadi bagian cerita hidup ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Budi Santoso, 2002. "*Analisis Kestabilan Lereng*". Yogyakarta; UPN.
- Hoek and Bray, 1981. "*Jenis Longsoran Pada Lereng*". Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama
- Irwandi Arif, 2016. "*Geoteknik Tambang*". Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama
- Nahrowi T.Y., Suratman, Namida, dan Hidayat, S, 1978. *Geologi Pegunungan Selatan Jawa Timur*. PIT IAGI Bandung.
- Praselia Gilang Eko, 2018. *Geologi dan Tipe Mineral Piropilit di Desa Argotirto dan Sekitarnya, Kecamatan Sumbermanjing Wetan, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur*. ITATS, Surabaya. (Tidak dipublikasi)
- Rai, Made Astawa, Kramadibtara S, Wattimena Ridho Kresna. 2014. "*Mekanika Batuan*". Bandung; ITB
- Samodra, Gafoer, S., dan Tjokrosapoetro, S. 1992. *Geologi Lembar Pacitan Jawa Timur*. Departemen Pertambangan dan Energi.
- Suyanto, dkk., 1992. *Geologi Regional Lembar Turen, Jawa Timur*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- W, Herianto. 1983. "*Analisis Kesetabilan Lereng*". Bandung

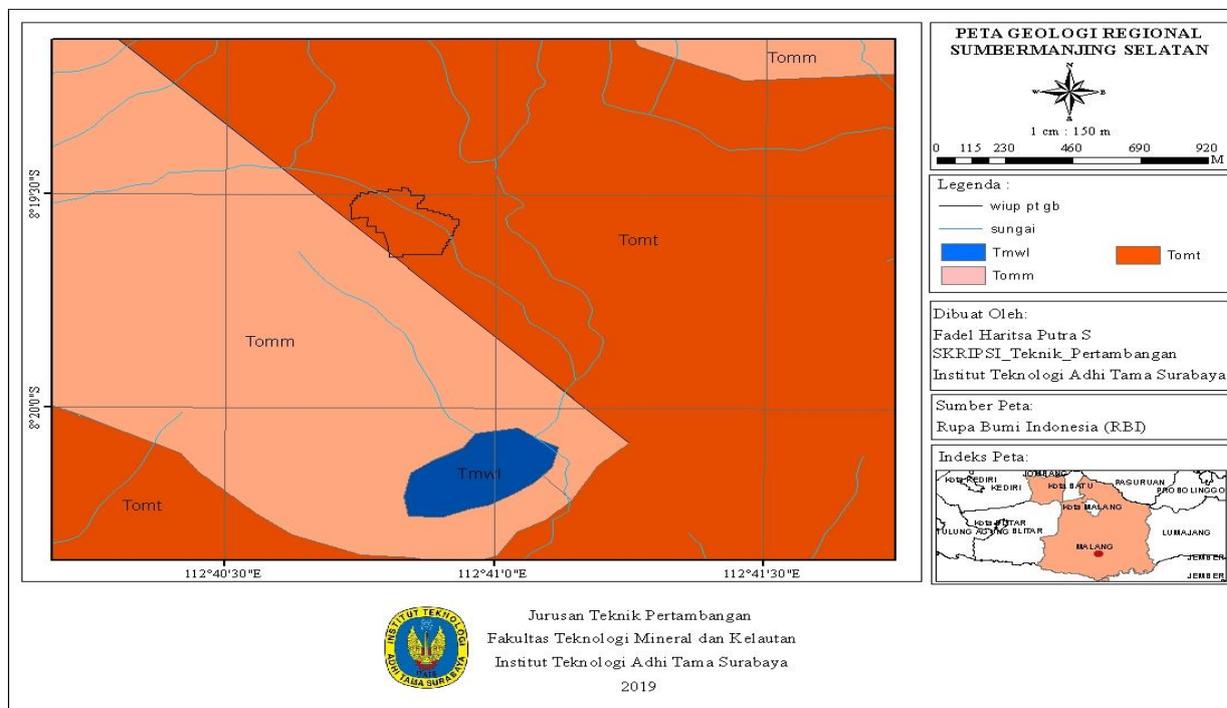
LAMPIRAN A1



Sumber: Hasil Penelitian 2019

Gambar 1: Peta Kesampaian Daerah PT. Gunung Bale

LAMPIRAN A2



Sumber: Hasil Penelitian 2019

Gambar 2: Peta Geologi Regional

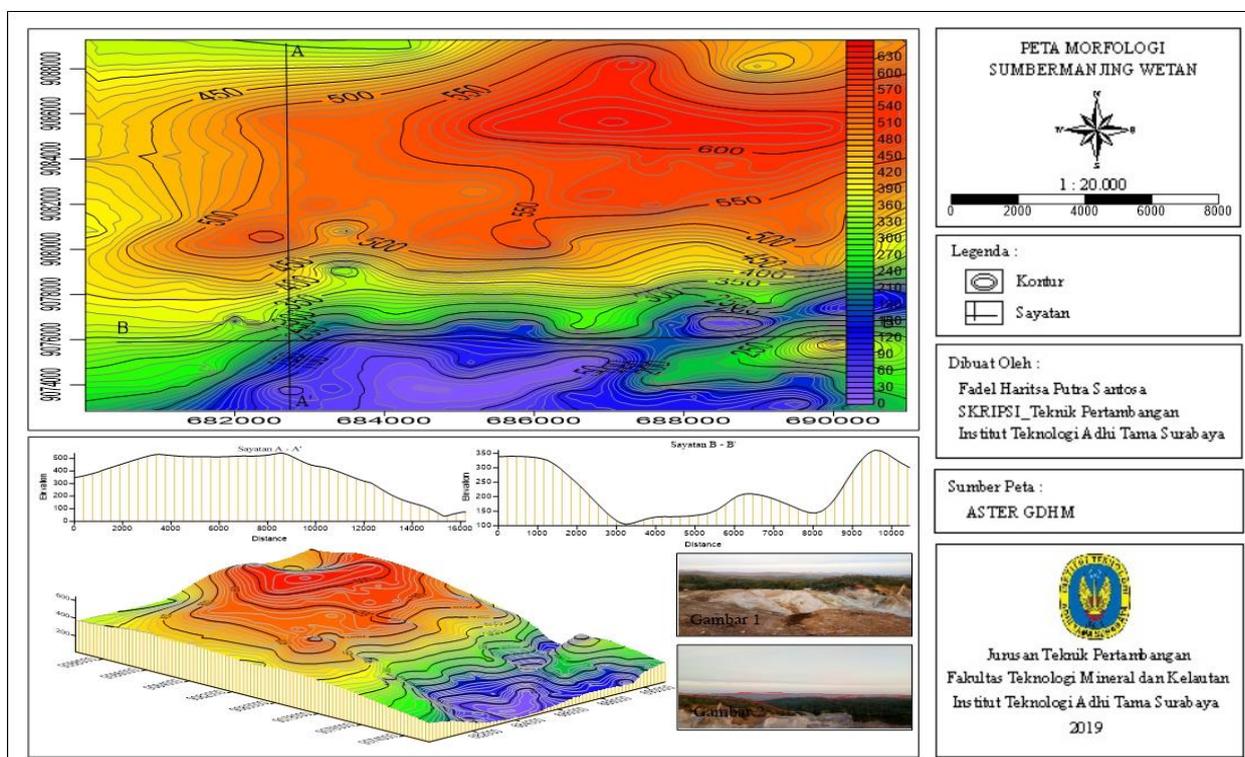
LAMPIRAN A3

KOLOM KESEBANDINGAN STRATIGRAFI REGIONAL																
STRATIGRAFI PEGUNUNGAN SELATAN					STRATIGRAFI DAERAH PENELITIAN											
JAWA TIMUR MENURUT SUYANTO Dkk (1992)					UMUR GEOLOGI											
UMUR		SUYANTO, dkk 1992 TUREN			ZAMAN	KALA	FORMASI GEOLOGI	STRATIGRAFI								
HOLOSEN		ALLUVIAL						SIMBOL	SATUAN BATUAN							
TERSIER	PLEISTOSEN				KUARTER	HOLOSEN	ENDAPAN PERMUKAAN	[Grey Box]		ENDAPAN ALLUVIAL						
		PLIOGEN	N 21	[Dark Grey Box]							TERSIER	MIOSEN AKHIR- MIOSEN AWAL	FORMASI WONOSARI	[Blue Box]		SATUAN BATU GAMPING
			N 20													
			N 19													
	MIOSEN	AKHIR	N 18	[Dark Grey Box]	MIOSEN TENGAH	MIOSEN TENGAH	FORMASI WUNI	[Orange Box]		SATUAN BREKSI						
			N 17													
		TENGAH	N 16	[Dark Grey Box]	MIOSEN AKHIR- MIOSEN AWAL	MIOSEN AKHIR	FORMASI MANDALIKA	[Purple Box]	[Red Box]	SATUAN TUF	SATUAN INTRUSI DASIT					
			N 15													
			N 14													
	AWAL	N 13	[Dark Grey Box]	MIOSEN AWAL	MIOSEN AWAL	MIOSEN AWAL	[Purple Box]	[Red Box]	SATUAN BREKSI VULKANIK	SATUAN INTRUSI DASIT						
		N 12														
		N 11														
		N 10														
OLIGOSEN	AWAL	N 9	[Dark Grey Box]	MIOSEN AWAL	MIOSEN AWAL	MIOSEN AWAL	[Purple Box]	[Red Box]	SATUAN BREKSI VULKANIK	SATUAN INTRUSI DASIT						
		N 8														
		N 7														
		N 6														
		N 5														
		N 4														
		N 3														
		N 2														
		N 1														

Sumber: Hasil Penelitian 2019

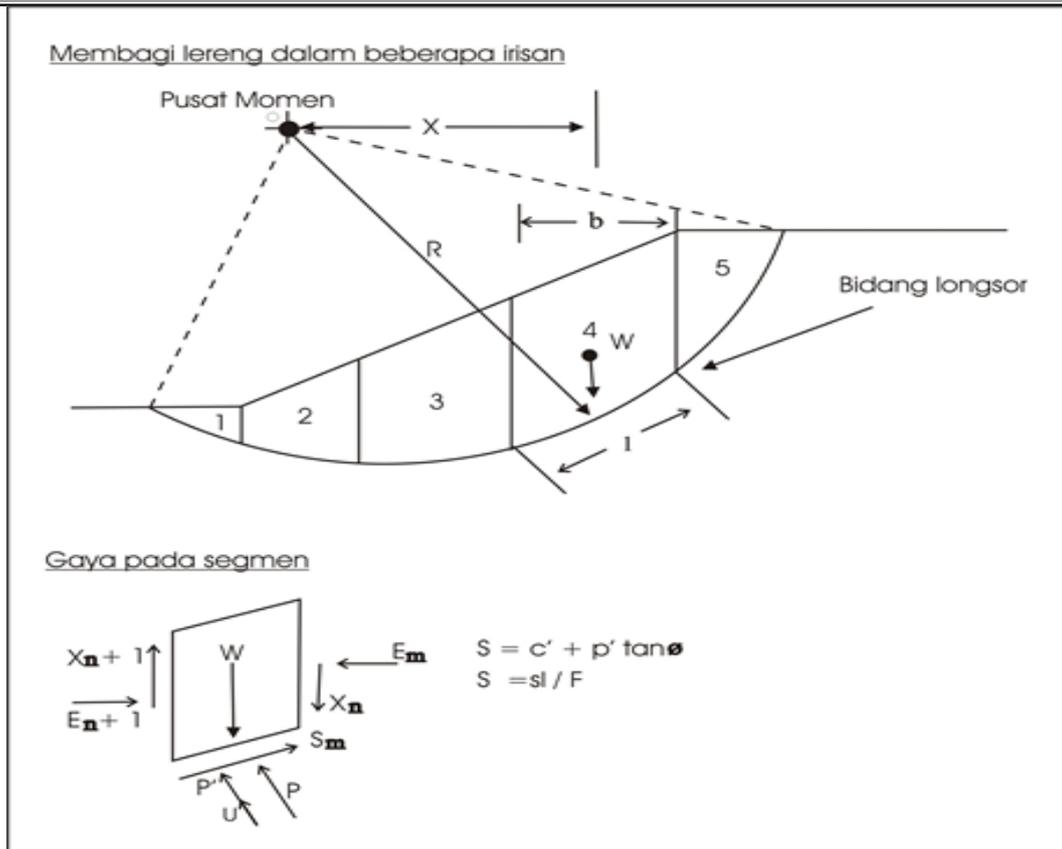
Gambar 2: Statigrafi Regional

LAMPIRAN A4

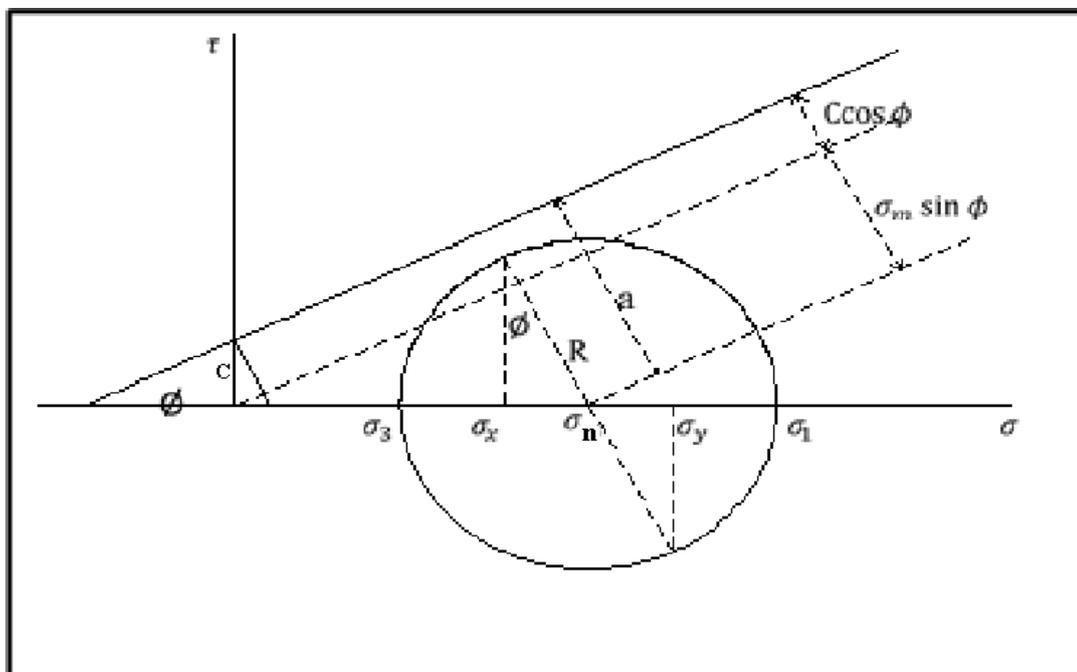


Sumber: Hasil Penelitian 2019

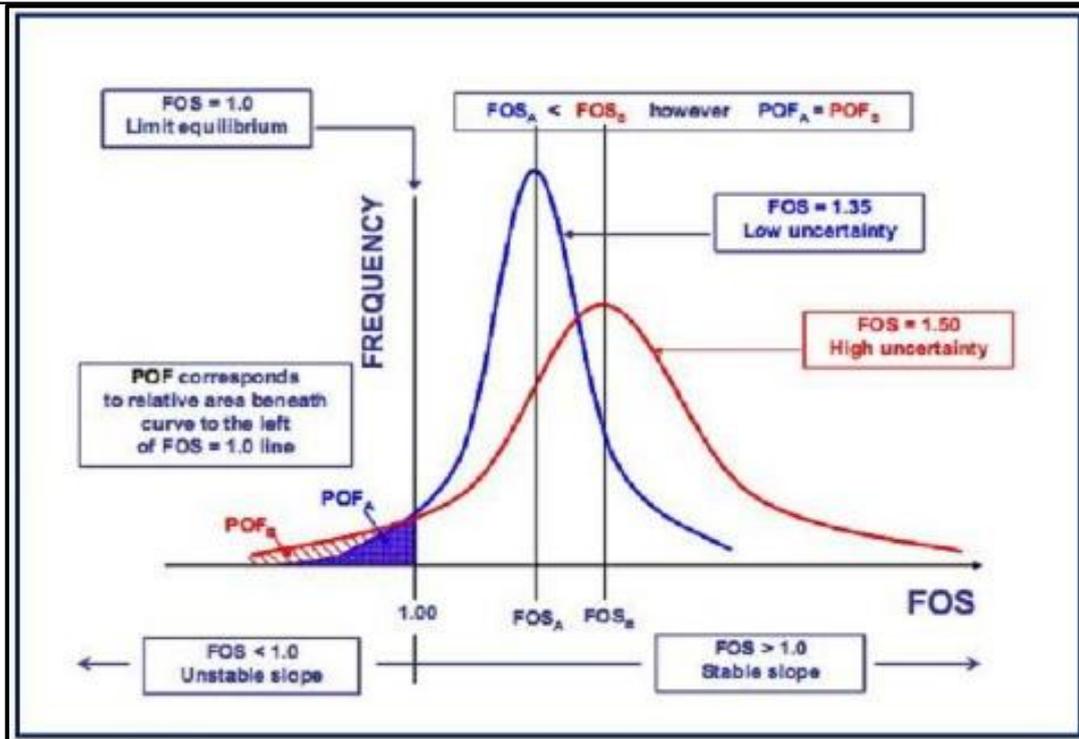
Gambar 4: Peta Morfologi Sumbermanjing Wetan



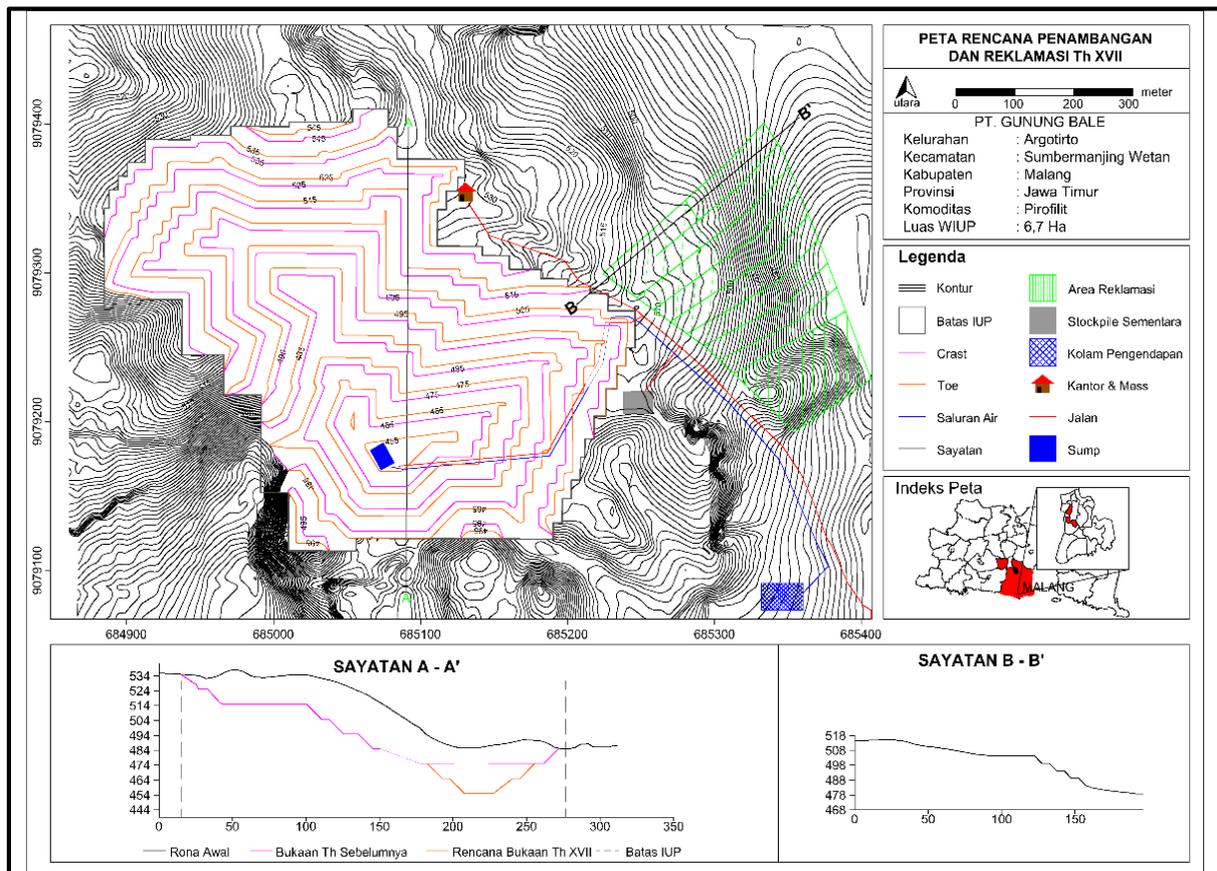
Sumber: Budi Santoso. 2002. Analisa Kestabilan Lereng. UPN Yogyakarta
 Gambar 5: Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Irisan



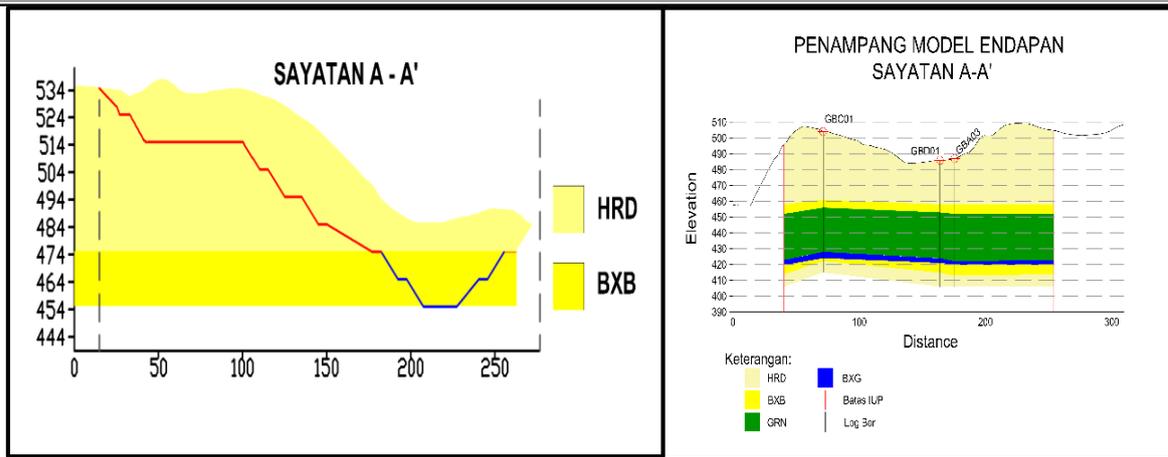
Sumber: Budi Santoso. 2002. Analisa Kestabilan Lereng. UPN Yogyakarta
 Gambar 6: Selubung Kekuatan Mohr – Coulomb



Sumber: Arif, Irwandy. 2016. *Geoteknik Tambang*
 Gambar 7: Konsep probabilitas kelongsoran dan besaran ketidakpastian (steeffen, dkk.,2008)

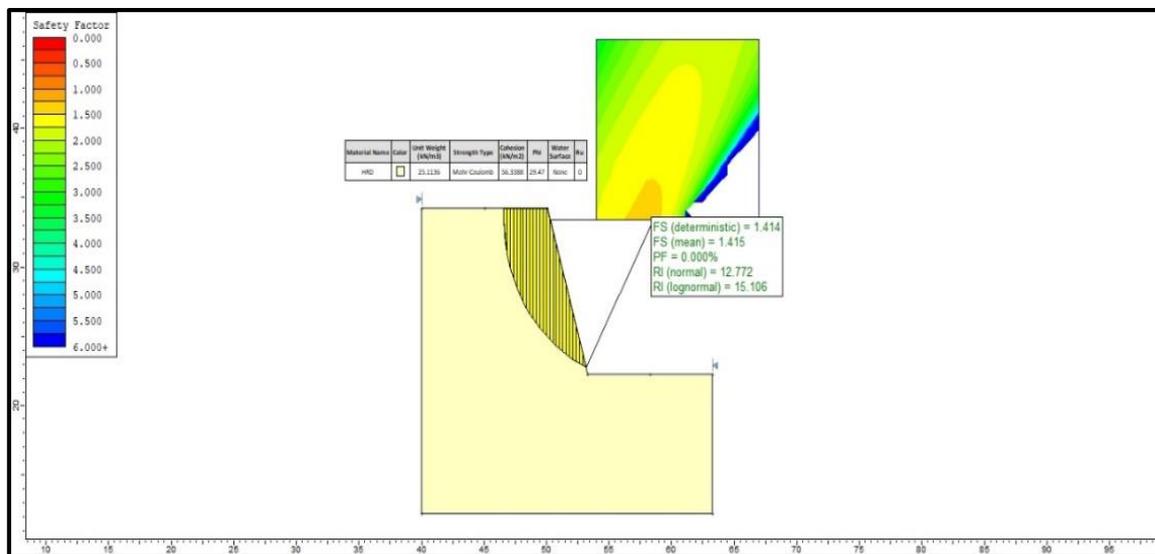


Sumber: Engineering PT Gunung Bale
 Gambar 8: Peta Rencana Penambangan



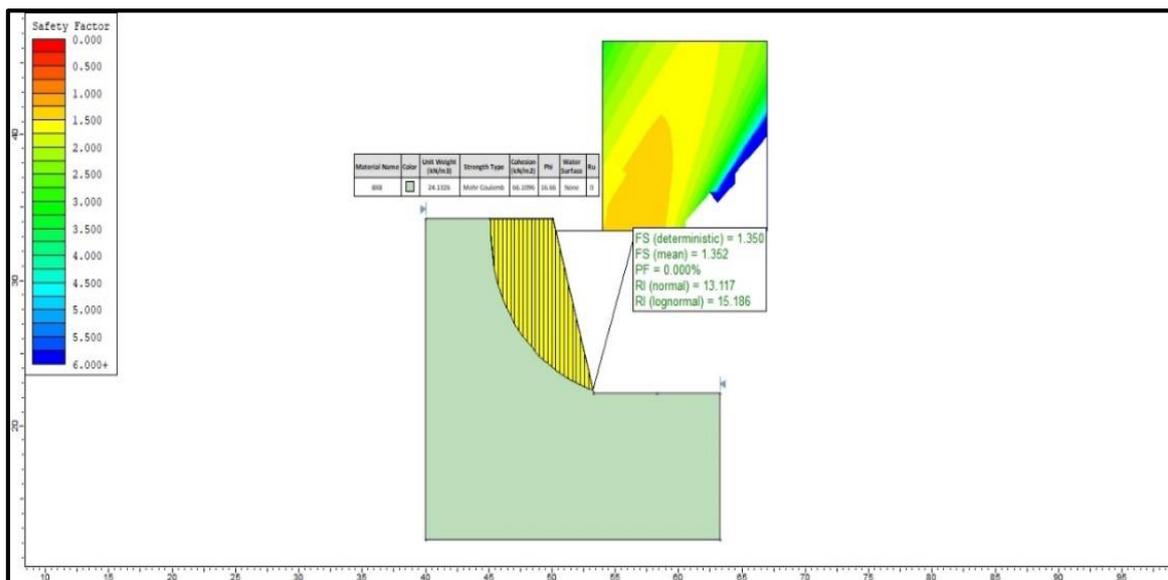
Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti

Gambar 9: Sayatan dan Penampang Endapan



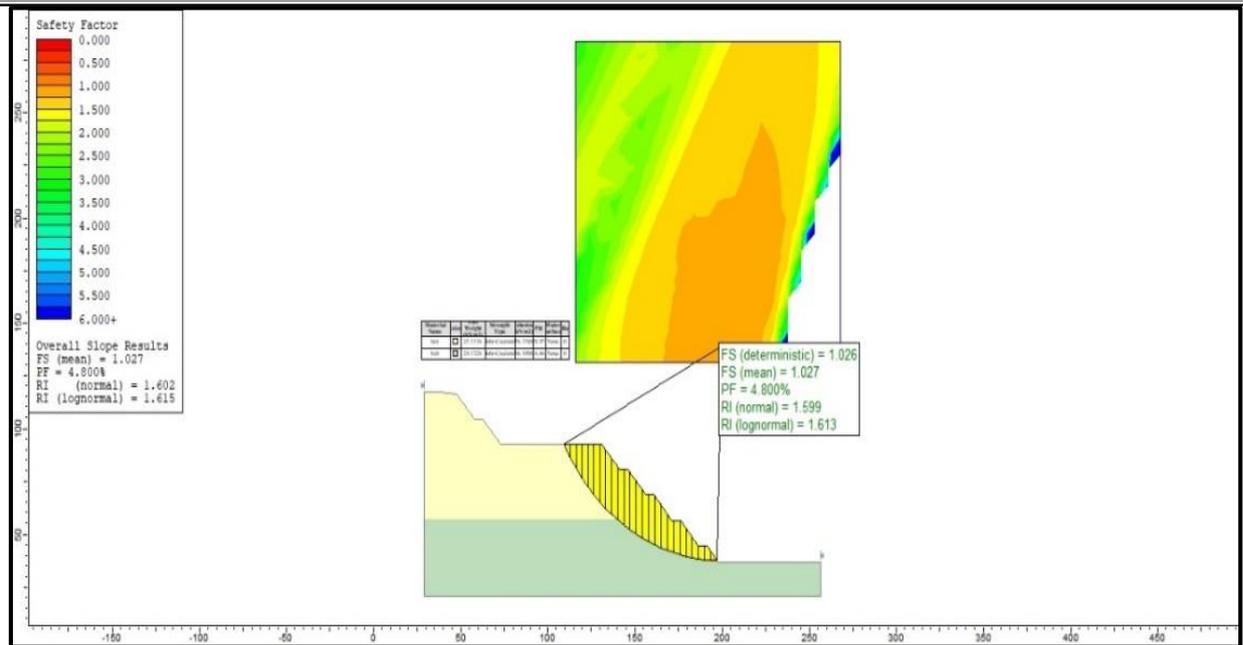
Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti

Gambar 10: Rekomendasi Lereng Single Slope Material HRD



Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti

Gambar 11: Rekomendasi Lereng Single Slope Material BXB



Sumber: Hasil Pengolahan Data Peneliti

Gambar 12: Rekomendasi Lereng Overall Slope