

**RANCANGAN GEOMETRI LERENG PENAMBANGAN  
BIJIH NIKEL LATERIT PADA PIT PAPA BRAVO  
PT. SULAWESI CAHAYA MINERAL  
ROUTA, KONAWE, SULAWESI TENGGARA**

**SKRIPSI**

Oleh :

**RISANG DANU WIBISONO  
112140035**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN  
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"  
YOGYAKARTA  
2020**

**RANCANGAN GEOMETRI LERENG PENAMBANGAN  
BIJIH NIKEL LATERIT PADA PIT PAPA BRAVO  
PT. SULAWESI CAHAYA MINERAL  
ROUTA, KONAWE, SULAWESI TENGGARA**

**SKRIPSI**

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dari  
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Oleh :

**RISANG DANU WIBISONO  
112140035**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN  
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”  
YOGYAKARTA  
2020**

**RANCANGAN GEOMETRI LERENG PENAMBANGAN  
BIJIH NIKEL LATERIT PADA PIT PAPA BRAVO  
PT. SULAWESI CAHAYA MINERAL  
ROUTA, KONAWE, SULAWESI TENGGARA**

Oleh :

**RISANG DANU WIBISONO  
112140035**



Disetujui untuk

Program Studi Sarjana Teknik Pertambangan

Jurusan Teknik Pertambangan

Fakultas Teknologi Mineral

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Tanggal : 26 Agustus 2020

**Pembimbing I,**



**Ir. R. Hariyanto, MT**

**Pembimbing II,**



**Ir. Peter Eka Rosadi, MT**

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

Allah SWT

Bapak dan Ibu tercinta, serta adikku Ghalib

Yang selalu menemani dan memberikan semangat

Hingga tersusunnya skripsi ini

## RINGKASAN

PT. Sulawesi Cahaya Mineral merupakan perusahaan pertambangan bijih nikel yang sedang melakukan kegiatan eksplorasi rinci yang beroperasi di Desa Lalomerui, Kecamatan Rounta, Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara. Kegiatan penambangan rencananya akan dilakukan dengan menggunakan metode tambang terbuka dengan membentuk lereng hingga kedalaman 42 meter.

Lereng penambangan akan berpotensi longsor apabila geometri lereng yang digunakan tidak sesuai dengan karakteristik massa tanah pada lereng tambang, sehingga diperlukan adanya perancangan geometri lereng yang aman dan stabil sesuai karakteristik massa tanah dan batuan, jenis potensi longsor dan kondisi geologi setempat.

Lokasi penelitian dilakukan pada rencana pit Papa Bravo dengan penampang sayatan north-south pada lubang bor J070913/GT06/SCM yang ditargetkan hingga kedalaman 27 meter dan sayatan north-south pada lubang bor J092529/GT07/SCM yang ditargetkan hingga kedalaman 42 meter. Perhitungan pada dinding lereng penambangan yang berpotensi longsor menggunakan metode Keseimbangan Batas Bishop, Janbu, Morgenstern-Price dan Analisis Probabilitas. Permodelan dilakukan dengan pendekatan sifat fisik dan mekanik batuan hasil uji data laboratorium. Dilakukan analisis variasi kemiringan lereng dan analisis variasi kondisi muka air tanah (MAT) menurut Hoek and Bray, 1981 (kering, 8H, 4H, 2H dan jenuh), faktor seismik bernilai 0,25g dengan asumsi getaran akibat kegiatan penambangan dan beban alat mekanis diabaikan, lereng tunggal dianggap stabil jika Faktor Keamanan (FK)  $\leq 1,1$  dan Probabilitas Longsor (PL) 25%-50% sedangkan lereng keseluruhan dianggap stabil apabila FK  $\leq 1,2$  dan PL 15%-20% (sesuai dengan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 1827 K/30/MEM/2018).

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode keseimbangan batas dengan program *Rocscience Slide v.8.0* diperoleh rekomendasi lereng tunggal dengan tinggi 5 meter dan sudut lereng  $50^{\circ}$ , untuk lereng keseluruhan north-south pada lubang bor J070913/GT06/SCM ketinggian 27 meter dengan sudut lereng  $29^{\circ}$  dan lebar bench 5,25 meter dalam kondisi lereng agak kering (8H) sedangkan untuk lereng keseluruhan north-south pada lubang bor J092529/GT07/SCM ketinggian 42 meter dengan sudut lereng  $33^{\circ}$  dan lebar bench 3,75 meter dalam kondisi lereng agak kering (8H). Analisis menghasilkan lereng optimum dalam kondisi lereng agak kering (8H) sehingga analisis area pengaruh MAT diperlukan untuk mengontrol kestabilan akibat pengaruh MAT dengan menggunakan piezometer dan kegiatan penyaliran.

## **ABSTRACT**

*PT. Sulawesi Cahaya Mineral is a nickel ore mining company which is conducting detailed exploration activities operating in Lalomerui Village, Rounta Sub-district, Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province. Mining activities are planned to be conducted using open-pit methods by forming slopes up to a depth of 42 meters.*

*The mining slope will potentially landslide when the geometry of the slope used is not in accordance with the characteristics of the soil mass in the opening hole wall, so it is necessary to design the geometry of a safe and stable slope in accordance*

*The research site was conducted on the Papa Bravo pit plan with a cross section of the north-south incision at the drill hole J070913/GT06/SCM that targeted to a depth of 27 meters and a north-south incision at the drill hole J092529/GT07/SCM that targeted to a depth of 42 meters. Calculations on the walls of the mining slope that could potentially an avalanche of bows use the Limit Equilibrium of Bishop, Janbu, Morgenstern-Price and Probability Analysis methods. Modelling is done by the approach of physical and mechanical properties of rock test data laboratory results. Performed analysis of slope angle variation and ground water variation according to Hoek and Bray, 1981 (dry, 8H, 4H, 2H and saturated), seismic factor of 0,25g assuming vibration due to mining activities and load mechanical equipment ignored, single slope is considered stable if the Safety Factor (SF)  $\leq 1.1$  and Probability of Failure (PF) 25%-50% while the overall slope is considered stable when SF  $\leq 1.2$  and PF 15%-20% (in accordance with the Decree of the Minister of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia No. 1827 K/30/MEM/2018).*

*Based on the results of the analysis using the limit equilibrium method with the Rocscience Slide program obtained a single slope recommendation with a 5-metre high and 50° slope angle, for the overall slope North-south on the drill hole J070913/GT06/SCM altitude of 27 meters with a slope angle of 29° and width of bench 5,25 meters in the condition of a slightly dry slope (8H) while for the overall slope of north-south on the drill hole J092529/GT07/SCM altitude of 42 meters with a angle of slope 33° and width of bench 3,75 meters in the condition of a slightly dry slope (8H). Analysis generates an optimum slope in a slightly dry slope (8H) so that the analysis of ground water influence area is necessary to control the stability of ground water influence by using piezometer and streaming activities.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusunan skripsi dengan judul “Rancangan Geometri Lereng Penambangan Bijih Nikel Laterit Pada Pit Papa Bravo PT. Sulawesi Cahaya Mineral Rوتا, Konawe, Sulawesi Tenggara”, dapat diselesaikan. Skripsi ini disusun berdasarkan penelitian yang dilakukan di PT. Sulawesi Cahaya Mineral Kecamatan Rوتا, Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara mulai tanggal 29 Maret 2018 – 3 September 2018.

Atas selesainya penyusunan skripsi ini, diucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Mohammad Irhas Effendi, M.S., Rektor Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.
2. Bapak Dr. Ir. Sutarto, M.T., Dekan Fakultas Teknologi Mineral.
3. Bapak Dr. Ir. Eddy Winarno, S.Si, M.T., Ketua Jurusan Teknik Pertambangan.
4. Ibu Ir. Wawong Dwi Ratminah, M.T., Koordinator Program Studi Sarjana Teknik Pertambangan.
5. Bapak Ir. R. Hariyanto, M.T., Dosen Pembimbing I.
6. Bapak Ir. Peter Eka Rosadi, M.T., Dosen Pembimbing II.
7. Bapak Dr. Ir. Singgih Saptono, M.T., Dosen Pembahas I.
8. Bapak Dr. Drs. Nur Ali Amri, M.T., Dosen Pembahas II.

Akhirnya, semoga skripsi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang pertambangan.

Yogyakarta, 24 Agustus 2020

Penulis,

(Risang Danu Wibisono)

## DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
<b>BAB</b>	
I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Metodologi Penelitian .....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
1.7 Diagram Alir Penelitian.....	5
II. TINJAUAN UMUM .....	6
2.1 Lokasi Kesampaian Daerah dan Luas Wilayah IUP .....	6
2.2 Iklim dan Curah Hujan .....	8
2.3 Keadaan Geologi .....	8
2.4 Rencana Penambangan .....	13
III. DASAR TEORI .....	14
3.1 Konsep Dasar Kestabilan Lereng .....	14
3.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng .....	19
3.3 Mekanisme Dasar Terjadinya Longsor .....	22
3.4 Klasifikasi Longsoran .....	27
3.5 Pengaruh Kegempaan Terhadap Kestabilan Lereng .....	31
3.6 Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Keseimbangan Batas .....	35
3.7 Konsep Probabilitas Longsor .....	41
3.8 Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb .....	43



3.9	Asumsi Aliran Air Bawah Tanah Menurut <i>Hoek &amp; Bray</i> (1981) .....	45
IV.	HASIL PENELITIAN .....	47
4.1	Penyelidikan Lapangan .....	47
4.2	Pengujian Laboratorium .....	51
4.3	Rancangan Geometri Lereng Penambangan .....	54
4.4	Hasil Analisis Kestabilan Lereng .....	56
V.	PEMBAHASAN .....	64
5.1	Analisis Rancangan Lereng .....	64
5.2	Analisis Area Pengaruh Kondisi MAT Terhadap Nilai FK Lereng Keseluruhan Optimum .....	70
VI.	KESIMPULAN DAN SARAN .....	75
6.1	Kesimpulan .....	75
6.2	Saran .....	76
	DAFTAR PUSTAKA .....	77
	LAMPIRAN .....	79

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Diagram Alir Penelitian .....	5
2.1 Peta Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian .....	7
2.2 Data Curah Hujan Daerah Penelitian Tahun (2004-2017) .....	8
2.3 Peta Geologi Regional Daerah Penelitian .....	9
2.4 Stratigrafi Regional Daerah Penelitian .....	10
2.5 Setting Tektonik dan Peta Geologi Pulau Sulawesi .....	11
2.6 Profil Komplek Laterit Berdasarkan Titik Bor GT06-J070913 dan GT07-J092529 .....	12
3.1 Bagian-bagian dari Suatu Lereng .....	15
3.2 Klasifikasi berdasarkan Kekuatan Material Batuan .....	16
3.3 Berbagai Macam Definisi Faktor Kemanan .....	17
3.4 Grafik Hubungan Tegangan Normal-Tegangan Geser .....	19
3.5 Penampang Lereng Tunggal dan Lereng Keseluruhan .....	21
3.6 Komponen Gaya suatu Blok di atas Bidang Gelincir .....	24
3.7 Gaya-gaya pada Bejana di atas Bidang Miring .....	25
3.8 Posisi harga $h_w$ dan $h$ pada Suatu Bejana .....	26
3.9 Pengaruh Tekanan Air pada Blok .....	27
3.10 Longsoran Bidang .....	28
3.11 Longsoran Baji .....	29
3.12 Longsoran Busur .....	30
3.13 Longsoran Guling .....	31
3.14 Distribusi Gaya-gaya Akibat Pengaruh Beban Seismik .....	32
3.15 Peta Sumber dan Bahaya Gempabumi Indonesia Tahun 2017 .....	33
3.16 Distribusi Gaya-gaya dan Momen pada Metode Bishop .....	35
3.17 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Irisan Metode <i>Janbu Simplified</i> .....	39

3.18	Gaya-Gaya yang Bekerja pada Tiap Irisan Metode <i>Morgenstern-Price</i> .....	40
3.19	Konsep Probabilitas Longsor .....	42
3.20	Kriteria <i>Mohr-Coulomb</i> .....	44
3.21	Konsep Penentuan Bentuk Aliran Air Bawah Tanah .....	46
3.22	Bentuk Aliran Air pada Lereng Tiap Kondisi MAT .....	46
4.1	Perhitungan RQD pada <i>Core box</i> .....	49
4.2	<i>Core</i> Hasil Pemboran Geoteknik .....	49
4.3	Rentang Nilai Hasil Pengujian Bobot Isi Asli Sampel Uji .....	51
4.4	Rentang Nilai Hasil Pengujian Kuat Tekan Uniaksial Sampel Uji ..	52
4.5	Rentang Nilai Hasil Pengujian Kuat Geser Langsung Sampel Uji ...	54
4.6	Model Geometri Lereng Tunggal .....	59
4.7	Model Geometri Lereng Keseluruhan .....	58
5.1	Analisis Faktor Keamanan Lereng Tunggal Litologi Saprolit Dalam Kondisi Jenuh Berdasarkan Variasi Sudut Kemiringan Lereng .....	65
5.2	Analisis Probabilitas Longsor Lereng Tunggal Litologi Saprolit Dalam Kondisi Jenuh Berdasarkan Variasi Sudut Kemiringan Lereng .....	66
5.3	Analisis Faktor Keamanan Lereng Keseluruhan dengan Kemiringan 29° pada Lubang Bor Geoteknik J070913/GT06/SCM untuk Sayatan <i>North- South</i> Ketinggian 27 meter.....	68
5.4	Analisis Probabilitas Longsor Lereng Keseluruhan dengan Kemiringan 29° pada Lubang Bor Geoteknik J070913/GT06/SCM untuk Sayatan <i>North-South</i> Ketinggian 27 meter.....	68
5.5	Analisis Faktor Keamanan Lereng Keseluruhan dengan Kemiringan 33° pada Lubang Bor Geoteknik J092529/GT07/SCM untuk Sayatan <i>North- South</i> Ketinggian 42 meter.....	69
5.6	Analisis Probabilitas Longsor Lereng Keseluruhan dengan Kemiringan 33° pada Lubang Bor Geoteknik J09252/GT07/SCM untuk Sayatan <i>North-South</i> Ketinggian 42 meter.....	69
5.7	Analisis Area Pengaruh Kondisi MAT Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik J070913/GT06/SCM untuk Sayatan <i>North-South</i> dengan Ketinggian 27 meter dan Sudut Kemiringan Lereng Keseluruhan 29° .....	71

5.8	Analisis Area Pengaruh Kondisi MAT Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik J092529/GT07/SCM untuk Sayatan <i>North-South</i> dengan Ketinggian 42 meter dan Sudut Kemiringan Lereng Keseluruhan 33° .....	72
5.9	Analisis Ketinggian Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik J070913/GT06/SCM untuk Sayatan <i>North-South</i> .....	73
5.10	Analisis Ketinggian Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik J092529/GT07/SCM untuk Sayatan <i>North-South</i> .....	73
5.11	Konstruksi <i>Deep Well</i> .....	74

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Tambang .....	18
4.1 Kode Lubang Bor Geoteknik .....	48
4.2 Peralatan dan Bahan Yang Digunakan .....	48
4.3 Kode Percontohan dan Jenis Litologi .....	50
4.4 Nilai Minimal, Maksimal dan Rata-rata Hasil Pengujian Bobot Isi Sampel Uji .....	51
4.5 Nilai Minimal, Maksimal dan Rata-rata Hasil Pengujian Kuat Tekan Uniaksial Sampel Uji .....	52
4.6 Nilai Minimal, Maksimal dan Rata-rata Hasil Pengujian Kuat Geser Langsung Sampel Uji .....	53
4.7 Parameter Masukan Analisis Lereng .....	57
4.8 Hasil Analisis Faktor Keamanan Lereng Tunggal Kondisi Jenuh .....	58
4.9 Hasil Analisis Probabilitas Longsor Lereng Tunggal Kondisi Jenuh .....	58
4.10. Hasil Analisis Faktor Keamanan Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik J070913/GT06/SCM untuk Sayatan <i>North-South</i> Ketinggian 27 meter .....	60
4.11 Hasil Analisis Probabilitas Longsor Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik J070913/GT06/SCM untuk Sayatan <i>North-South</i> Ketinggian 27 meter .....	61
4.12 Hasil Analisis Faktor Keamanan Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik J092529/GT07/SCM untuk Sayatan <i>North-South</i> Ketinggian 42 meter .....	62
4.13 Hasil Analisis Probabilitas Longsor Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik J092529/GT07/SCM untuk Sayatan <i>North-South</i> Ketinggian 42 meter .....	63

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	Halaman
A. DATA CURAH HUJAN PT. SCM TAHUN 2004 – 2017 .....	79
B. PETA LOKASI LUBANG BOR GEOTEKNIK .....	90
C. PENAMPANG SAYATAN LUBANG BOR GEOTEKNIK .....	92
D. HASIL LABORATORIUM UJI SIFAT FISIK TANAH DAN BATUAN .....	94
E. HASIL LABORATORIUM UJI KUAT TEKAN TANAH DAN BATUAN .....	97
F. HASIL LABORATORIUM UJI KUAT GESER TANAH DAN BATUAN .....	99
G. HASIL PERMODELAN LERENG TUNGGAL .....	101
H. HASIL PERMODELAN LERENG KESELURUHAN .....	105

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kegiatan penambangan sering mengalami permasalahan yang bersumber pada masalah geoteknik. Penggalian pada suatu massa tanah dan batuan akan menyebabkan terjadinya perubahan distribusi tegangan pada lereng tersebut yang mengakibatkan terganggunya kestabilan lereng dan pada akhirnya dapat menyebabkan longsor. Faktor lain seperti kondisi air tanah juga dapat mempengaruhi tingkat kerawanan terjadinya longsor. Adanya longsor pada suatu lereng tambang akan menimbulkan kerugian, diantaranya kerusakan alat – alat berat yang beroperasi, kerusakan sarana dan prasarana di tambang, terganggunya kegiatan produksi dan kehilangan nyawa manusia. Hal ini tentu tidak diinginkan oleh perusahaan, termasuk PT. Sulawesi Cahaya Mineral (PT. SCM).

PT. SCM akan melaksanakan kegiatan penambangan bijih nikel laterit di Kecamatan Routa, Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara dengan luas IUP 21.100 Ha. PT. SCM memiliki tiga prospek penambangan, yang salah satu prospeknya akan dilakukan penambangan pada Pit Papa Bravo. Penambangan rencananya akan dilakukan dengan menggunakan metode tambang terbuka (*open pit mining*). Metode ini sering dihadapkan pada permasalahan penentuan geometri lereng yang aman untuk kegiatan penambangan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu kajian analisis stabilitas lereng yang akan diterapkan berupa rancangan geometri lereng tunggal (*singe slope*) dan rancangan geometri lereng keseluruhan (*overall slope*) yang optimum dan menciptakan kondisi kerja yang lebih aman.

Rancangan ketinggian pada geometri lereng tunggal menyesuaikan spesifikasi *max. vertical wall digging depth* (5430 mm) alat gali muat yang digunakan oleh perusahaan yaitu *Excavator Backhoe* Komatsu PC-200. Kajian analisis stabilitas lereng tidak mempertimbangkan beban dari alat mekanis yang akan digunakan.

## 1.2. Rumusan Masalah

Sistem penambangan terbuka yang berbentuk jenjang biasanya dapat berpotensi terjadinya longsor. Longsor pada jenjang dapat disebabkan oleh geometri lereng yang tidak sesuai terhadap karakteristik massa tanah/batuan dan faktor lain seperti getaran seismik dan pengaruh Muka Air Tanah (MAT). Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, dibuatlah rancangan geometri lereng tunggal (*single slope*) dan lereng keseluruhan (*overall slope*) menggunakan bantuan perangkat lunak *Rocscience Slide v.8.0* dengan metode kesetimbangan batas *Bishop*, *Janbu* dan *Morgenstern-Price* sehingga didapatkan Faktor Keamanan (FK) lereng yang aman untuk menunjang kegiatan penambangan.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari kegiatan penelitian mengenai rancangan lereng penambangan adalah:

1. Merancang geometri lereng tunggal (*single slope*) dan lereng keseluruhan (*overall slope*) yang stabil dan optimum.
2. Menganalisa pengaruh kondisi MAT serta mengetahui batas ketinggian lereng optimum pada kondisi MAT jenuh tanpa melakukan drainase.

## 1.4. Batasan Masalah

Penelitian mengenai rancangan lereng penambangan dibatasi oleh beberapa hal berikut:

1. Ruang lingkup penelitian yang dilakukan hanya merancang serta menganalisis geometri lereng pada Pit Papa Bravo dengan menggunakan data hasil pengeboran pada titik bor geoteknik J070913/GT06/SCM dan J092529/GT07/SCM.
2. Dasar rancangan geometri lereng menggunakan penampang sayatan *North-South* pada lubang bor J070913/GT06/SCM yang ditargetkan hingga kedalaman 27 meter dan sayatan *North-South* pada lubang bor J092529/GT07/SCM yang ditargetkan hingga kedalaman 42 meter.
3. Permodelan geoteknik rancangan geometri lereng dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Rockscience Slide v.8.0.*, menggunakan konsep Kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium*) metode *Bishop*, *Janbu*,



GLE/Morgenstern-Price dan Analisis Probabilistik (*Probabilistic of Failure*) dengan pendekatan perhitungan kriteria keruntuhan *Mohr-Coulomb*.

4. Pengujian sampel data dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Laboratorium Mekanika Batuan, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.
5. Nilai FK lereng mengacu pada Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM Tahun 2018, dimana pada lereng tunggal menggunakan nilai  $FK \geq 1,1$  dan lereng keseluruhan menggunakan nilai  $FK \geq 1,2$ .
6. Variasi kondisi MAT lereng tunggal pada kondisi jenuh serta lereng keseluruhan menurut *Hoek & Bray* (1981) pada kondisi kering, 8H, 4H, 2H dan jenuh.
7. Percepatan seismik horizontal yang digunakan berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempabumi Indonesia Tahun 2017 bernilai  $<0,25$  gal.

### **1.5. Metode Penelitian**

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan penelitian. Tahapan penelitian berupa studi literatur, penelitian di lapangan, penelitian laboratorium, pengolahan dan analisis data, dan penarikan kesimpulan (Gambar 1.1). Tahap-tahap dalam penelitian ini meliputi :

#### **1. Studi literatur.**

Studi literatur ditujukan untuk memperoleh tulisan-tulisan sebagai referensi teori maupun data yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan, sehingga diperoleh sumber yang digunakan sebagai acuan dan juga sebagai bahan penunjang dalam penelitian. Data yang dapat diperoleh dalam studi literatur ini meliputi:

- a. Peta geologi.
  - b. Peta (topografi, pengeboran).
  - c. Peta penampang sayatan titik bor.
  - d. Data curah hujan.
  - e. Data *log bore* geoteknik.
- #### **2. Penelitian di lapangan**

Penelitian yang dilakukan di lapangan bertujuan untuk memperoleh data primer dengan melakukan pengamatan secara langsung terhadap kondisi pada lokasi penelitian yang berhubungan dengan perancangan geometri lereng penambangan, yaitu pengambilan sampel tanah dan batuan dari hasi pengeboran inti dari lubang bor geoteknik GT06 dan GT07.

### 3. Pengujian di laboratorium

Uji laboratorium terhadap percontoh tanah dan batuan yang diambil pada lokasi penelitian bertujuan untuk mendapatkan data primer. Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari hasil uji laboratorium. Adapun pengujian di laboratorium mencakup :

- a. Uji sifat fisik untuk mengetahui kadar air, bobot isi dan berat jenis massa tanah dan batuan.
- b. Uji sifat mekanik yaitu kuat tekan dan kuat geser untuk mengetahui nilai kuat tekan, kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) massa tanah dan batuan.

### 4. Pengolahan dan analisis data

Data yang diperoleh baik *primer* maupun sekunder akan diolah dengan dilakukan pengelompokan data dan perhitungan untuk menghasilkan parameter yang digunakan untuk merancang geometri lereng dengan bantuan perangkat lunak *Rocscience Slide*.

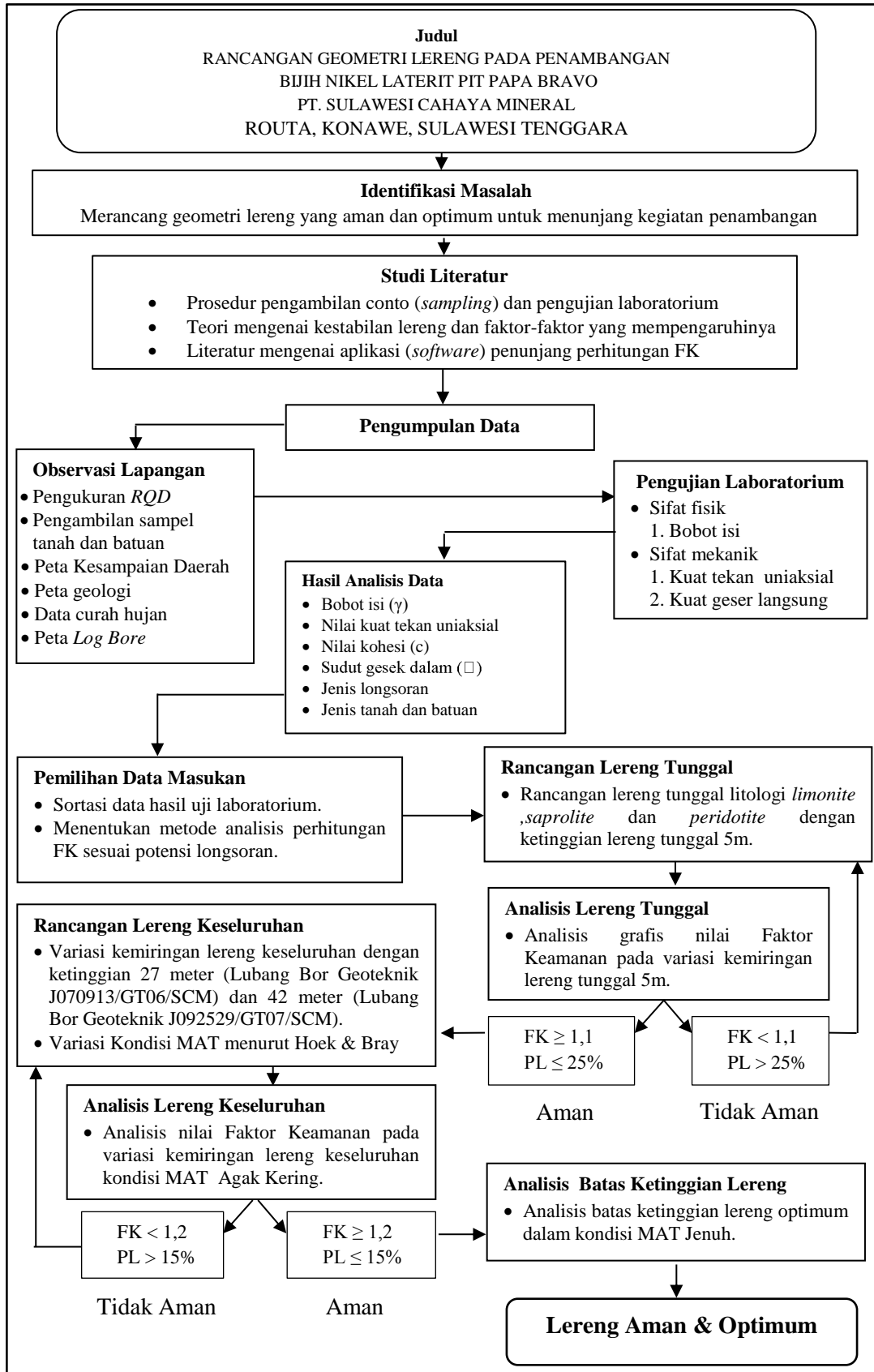
### 5. Kesimpulan

Kesimpulan diperoleh setelah dilakukan korelasi antara hasil pengolahan data yang telah dilakukan dengan permasalahan yang diteliti. Kesimpulan ini merupakan suatu hasil akhir dari semua aspek yang telah dibahas.

## 1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui geometri lereng tunggal dan lereng keseluruhan yang stabil sehingga memungkinkan dilakukan penambangan bijih nikel laterit.
2. Meminimalisir terjadinya kecelakaan akibat longsoran pada lereng penambangan.
3. Dapat dijadikan bahan perbandingan bagi penelitian yang ada kaitannya dengan masalah perancangan lereng yang stabil.



Gambar 1.1  
Diagram Alir Penelitian

## **BAB II**

### **TINJAUAN UMUM**

#### **2.1. Lokasi Kesampaian Daerah dan Luas Wilayah IUP**

PT. Sulawesi Cahaya Mineral (PT. SCM) merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan bijih nikel laterit. Setelah melakukan kegiatan eksplorasi sejak tahun 2010, PT. SCM kini memiliki tiga prospek penambangan yaitu Pit Delta Sierra, Pit Bravo Romeo dan Pit Papa Bravo. PT. SCM secara administratif terletak di Kecamatan Routa, Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara. Secara keseluruhan konsesi PT. SCM masuk dalam wilayah Izin Pinjam Pakai Kawasan Hutan (IPPKH). Secara astronomis daerah konsesi terletak pada  $2^{\circ}43'15''\text{LS} - 3^{\circ}58'00''\text{LS}$  dan  $121^{\circ}45'00'' - 121^{\circ}58'00''\text{BT}$  dengan IUP sebesar 21.100 Ha dan memiliki batas-batas wilayah sebagai berikut :

Sebelah Utara : Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah

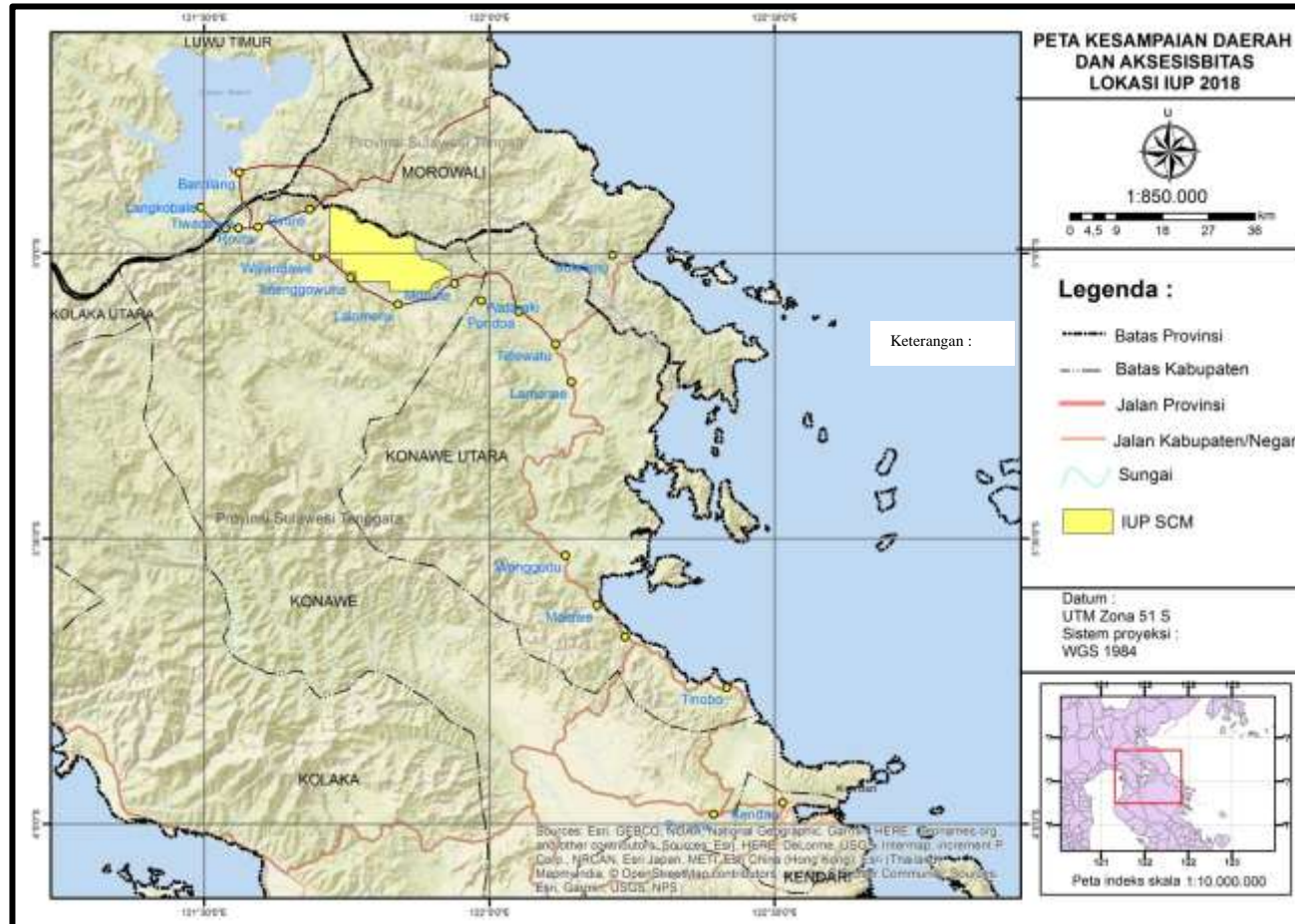
Sebelah Selatan : Desa Lalumerui, Kabupaten Konawe

Sebelah Timur : Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah

Sebelah Barat : Kecamatan Routa, Kabupaten Konawe

Lokasi Izin Usaha Pertambangan (IUP) yang dikerjakan oleh PT. SCM terletak di sebelah Barat Laut Kota Kendari (Lihat Gambar 2.1). Untuk mencapai lokasi penambangan dapat ditempuh dari Yogyakarta dengan melalui rute berikut:

- 1) Dari kota Yogyakarta (Bandar Udara Adisutjipto) dengan menggunakan pesawat terbang tujuan Jakarta (Bandara Soekarno-Hatta) dapat ditempuh selama 1 jam 15 menit, kemudian dilanjutkan dari Jakarta (Bandara Soekarno-Hatta) menuju Kendari (Bandara Haluoleo) dapat ditempuh selama 3 jam.
- 2) Dilanjutkan dari Bandara Haluoleo di Kendari – Tinobu – Molawe – Wanggudu – Lamona – Tetewatu – Pondo – Lalumerui yang ditempuh dengan menggunakan kendaraan roda empat, dimana kondisi jalan beraspal dari Kendari sampai dengan Tatewatu. Perjalanan dengan kendaraan roda empat dapat ditempuh dalam waktu  $\pm 7$  jam.



Gambar 2.1  
Peta Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian (PT. Sulawesi Cahaya Mineral)

## 2.2. Iklim dan Curah Hujan

Daerah penelitian termasuk daerah beriklim tropis yang ditandai dengan adanya pergantian dua musim, yaitu musim kemarau (Juli s/d November) dan penghujan (Desember s/d Juni). Intensitas hujan bervariasi dari rendah sampai tinggi dengan curah hujan bulanan rata-rata daerah penelitian adalah 200,25 mm (Lihat Gambar 2.2). Data curah hujan dapat dilihat pada Lampiran A.



Gambar 2.2

Data Curah Hujan Daerah Penelitian (Tahun 2004-2017)  
(PT. Sulawesi Cahaya Mineral)

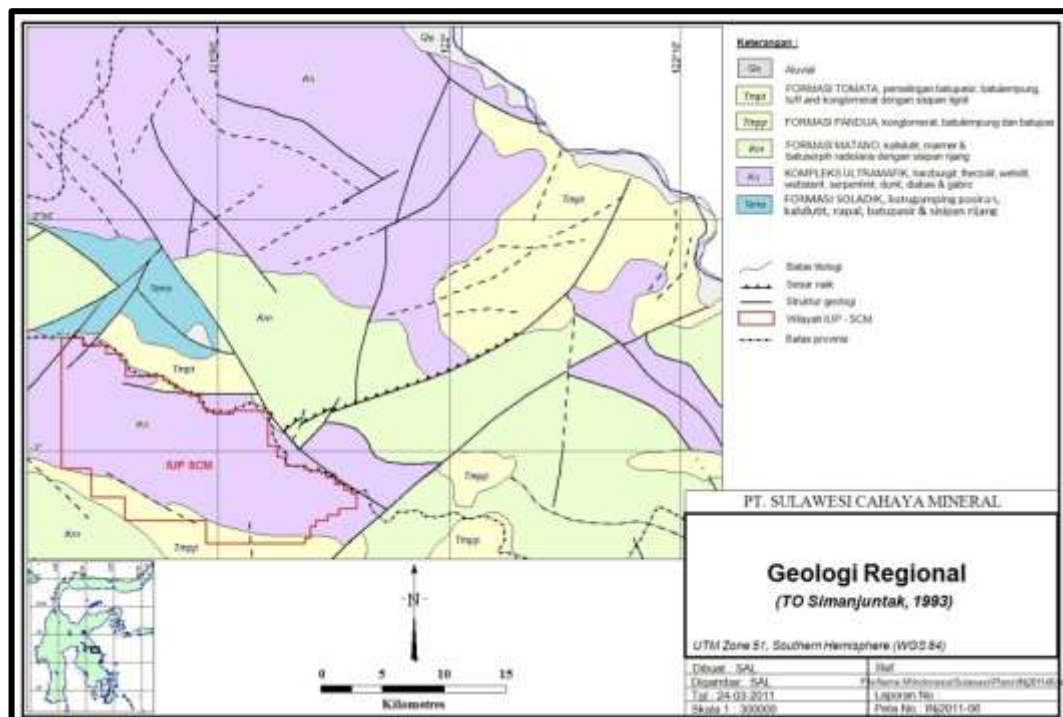
## 2.3. Keadaan Geologi

Daerah kajian kelayakan termasuk dalam Peta Geologi Lembar Lulusua-Kendari yang disusun oleh Rusmana dkk (1993). Secara umum stratigrafi daerah penelitian disusun atas satuan batuan ultramafik dan batuan sedimen. Satuan batuan ultramafik di Sulawesi Timur (*East Sulawesi Ophiolite, ESO*) termasuk dalam kumpulan batuan ultramafik ketiga terbesar di dunia, yang secara tektonik sebarannya terpisah dan berselang seling dengan batuan sedimen laut dalam berumur Mesozoikum yang merupakan bagian cekungan tepi dari Sunda land forearc atau plateau samudera dari bagian kerak pasifik. Kumpulan batuan ultramafik terbesar tersingkap berdampingan dengan kelompok batuan malihan yang berumur Oligosen Tengah di sepanjang pantai utara dari lengan Timur Pulau Sulawesi yang juga terdeformasi oleh tepi sesar berundak.

### 2.3.1. Stratigrafi Regional

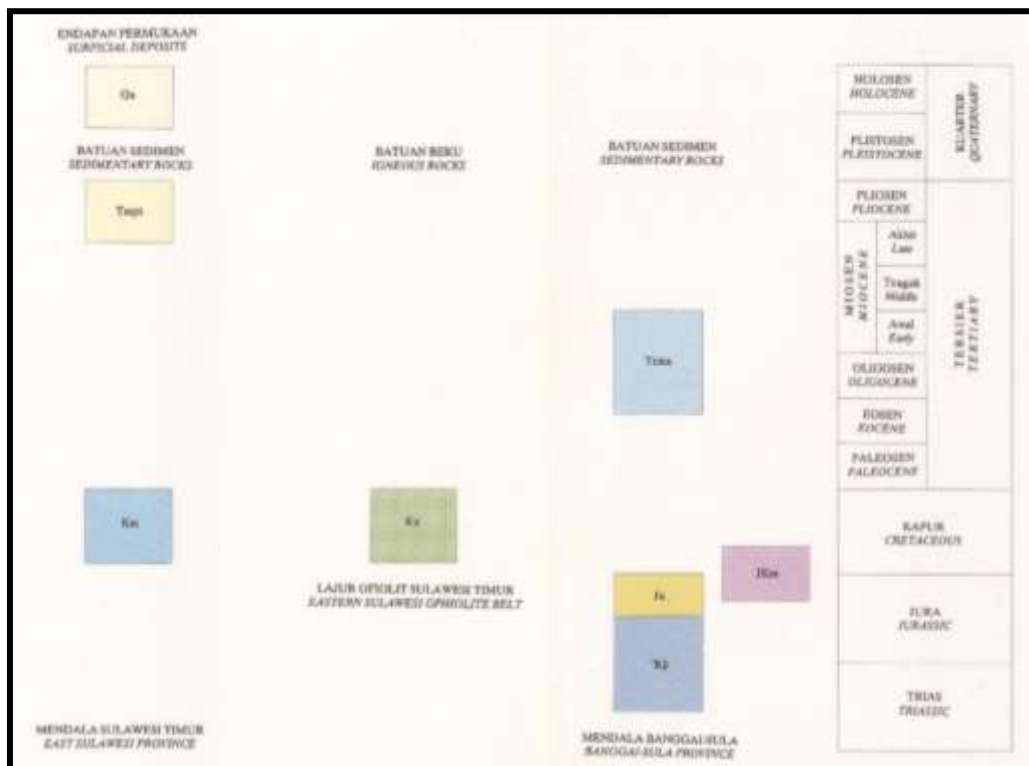
Tatanan stratigrafi pada Peta Geologi Regional Lembar Lasusua – Kendari, Sulawesi dari yang tua hingga muda pada daerah penelitian antara lain: Komplek Ultramafik (Kapur), Formasi Matano (Kapur), Formasi Soladik (Eosen - Miosen), Formasi Tomata (Miosen-Pliosen) dan Formasi Pandua (Miosen-Pliosen) dengan uraian sebagai berikut (Simanjuntak dkk, 1993):

- Komplek Ultramafik (Ku) terdiri dari harzburgit, serpentinit, gabbro dan diabas.
- Formasi Matano (Km) terdiri dari kasilutit, napal dan serpih dengan sisipan rijang.
- Formasi Soladik (Tems) terdiri dari batugamping pasiran, kalsilutit, napal, batupasir dan sisipan rijang.
- Formasi Tomata (Tmpt) terdiri dari konglomerat, batupasir, batulempung dengan sisipan batubara lignit.
- Formasi Pandua (Tmpp) terdiri dari konglomerat, batupasir dan batulempung dengan sisipan lanau.



Gambar 2.3  
Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Simanjuntak dkk, 1993)

Batuan ultramafik berumur Kapur Awal terdeformasi kuat dan membentuk pola struktur yang mengontrol terjadinya pengayaan mineral bijih nikel dan penyebarannya. Tersebar sebagai punggung plateau yang membentang Timur - Barat. Disebelah Timur Laut dari unit kompleks ultramafik diendapkan secara selaras Formasi Matano, berumur Kapur Akhir, tersusun atas batugamping klastik berukuran butir halus, napal, batupasir dan berselang seling dengan rijang, batugamping berwarna putih abu-abu kaya akan fosil lingkungan laut. Pada bagian sebelah Utara tersingkap Formasi Soladik, berumur Eosen sampai Miosen yang secara tidak selaras diendapkan diatas Komplek Ultramafik. Formasi ini terdiri atas batugamping klastik, napal, batupasir dan sisipan rijang. Formasi Tomata, berumur Miosen-Pliosen diendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Salodik dan tersusun atas batupasir, batulempung, konglomerat dan sisipan batubara lignit. Formasi Pandua, berumur Miosen-Pliosen diendapkan secara selaras di atas Komplek Ultramafik dan tersusun atas konglomerat, batupasir, batulempung dan sisipan lanau. Stratigrafi lengan timur Sulawesi dipaparkan pada gambar 2.4 berikut.

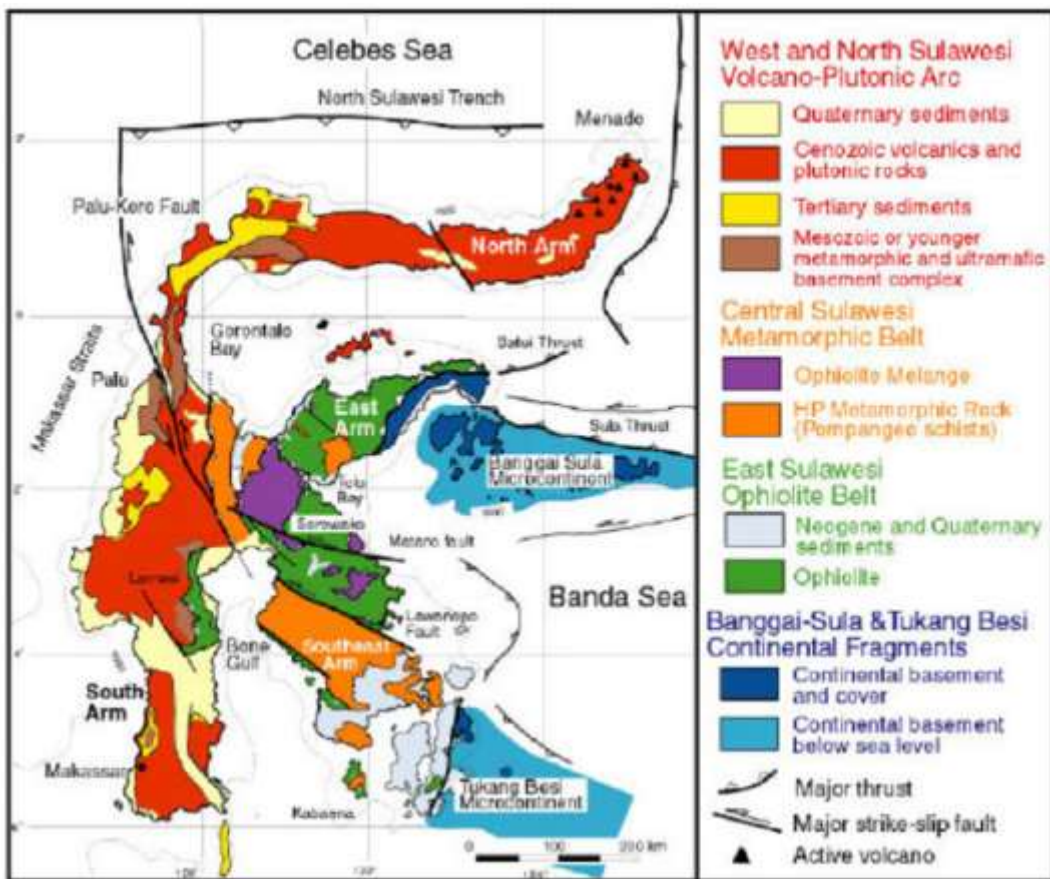


Gambar 2.4  
Stratigrafi Regional Daerah Penelitian (Rusmana dkk, 1993)



### 2.3.2. Struktur Geologi

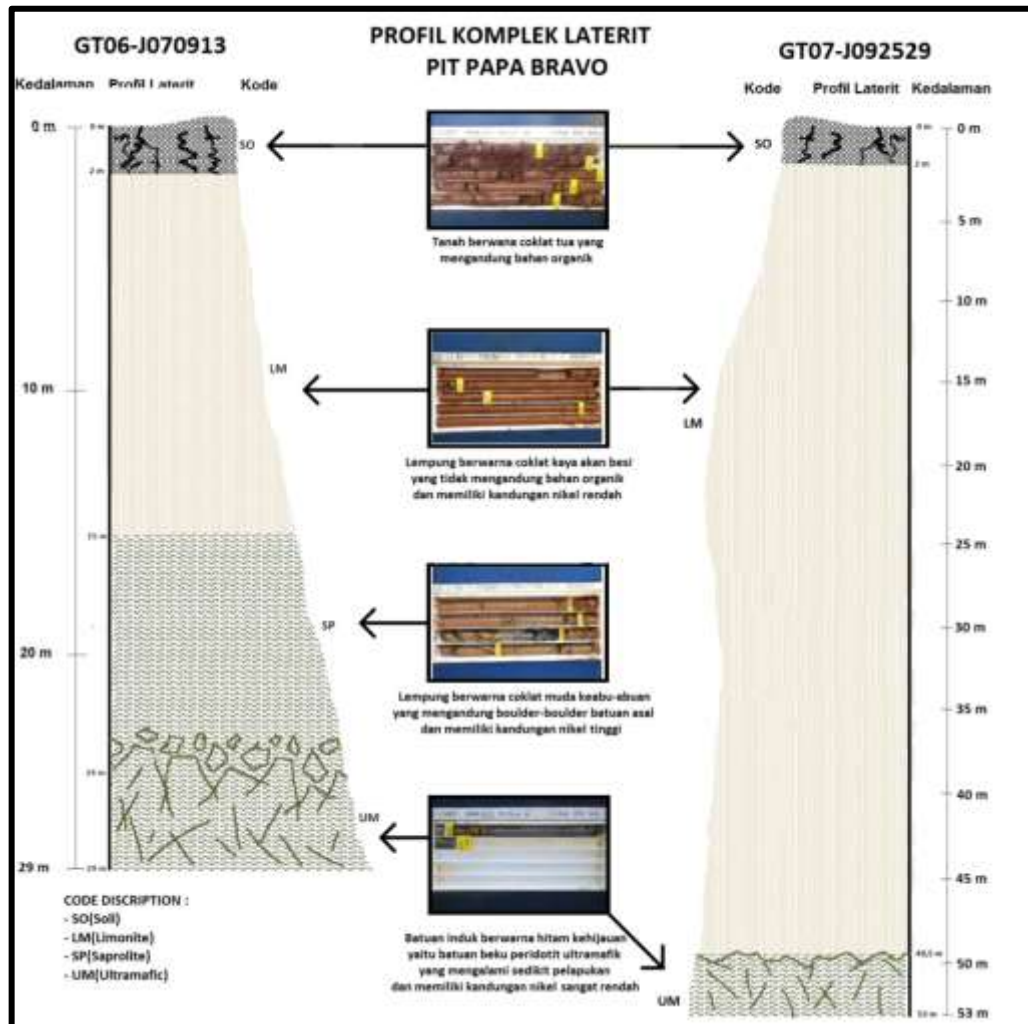
Pola tektonik cekungan tepi Sunda Land dikontrol oleh sesar berundak Matano di bagian Utara dan Sesar Lawanopo di bagian Baratdaya. Sesar Matano merupakan sesar mendatar berarah Barat Laut – Timur memotong Sulawesi Tengah, merupakan kelanjutan dari sesar Palu. Sedangkan Sesar Lawanopo berarah Barat Laut – Tenggara, melewati Teluk Bone dan Sulawesi Tenggara. Sistem sesar mendatar ini membentuk bukaan Teluk Bone dan memisahkan mintakat benua Sulawesi Tenggara pada lengan Tenggara Sulawesi. Ophiolit Lengan Tenggara Sulawesi terdiri dari batuan ultramafik (Van Bemmelen, 1970; Hamilton, 1979; Smith, 1983) dan Melange yang dipisahkan oleh Selanjutnya terbentuk deretan horst dan graben yang mengendalikan pola pengendapan batuan-batuan berumur Kenozoikum – Paleogen.



Gambar 2.5  
Setting Tektonik dan Peta Geologi Pulau Sulawesi (Kadarusman dkk, 2004)

### 2.3.3. Profil Komplek Laterit Pit Papa Bravo

Hasil proses pelapukan batuan ultramafik (peridotit harzburgit) pada kondisi tropis yang basah mengakibatkan terbentuknya profil kompleks laterit di wilayah kajian.



Gambar 2.6

Profil Komplek Laterit Berdasarkan Titik Bor GT06-J070913 dan GT07-J092529

Susunan lapisan-lapisan utama yang terdapat dalam profil tersebut adalah sebagai berikut:

1. SO (*Soil*) – Lapisan tanah berwarna gelap yang mengandung bahan organik dengan kadar air lebih rendah dibandingkan limonit.
2. LM (*Limonite*) – Lapisan limonit ini ditandai dengan adanya lempung berwarna coklat dengan kandungan mineral *goethite* dan tidak terdapat material organik/akar tumbuhan. Kandungan Fe berkisar antara 43% - 45% dan  $Al_2O_3$

antara 5% - 7%. Terdapat pula beberapa Mn-oksida, terutama yang kontak dengan lapisan saprolit besi dibawahnya.

3. SP (*Saprolite*) – Lapisan saprolit ini ditandai dengan adanya lempung berwarna coklat abu-abu – kuning muda, mengandung boulder-boulder batuan dasar yang telah mengalami pelapukan hingga 20%-80%. Lapisan ini berada dibawah garis muka air tanah. Muka air tanah tersebut sekaligus membatasi zona oksidasi dengan zona reduksi, zona reduksi pada nikel laterit sering disebut sebagai zona saprolit. Pada zona saprolit kandungan Mn, Mg, dan Ni meningkat secara tajam, diikuti penurunan secara drastis kandungan Fe.

4. UM (*Ultramafic*) – Zona ultramafik adalah zona batuan induk yaitu batuan beku peridotit ultramafik. Ditandai dengan warna hitam kehijauan, pada umumnya berupa batuan segar dan mengalami sedikit pelapukan. Kandungan Ni pada zona ini sangat sedikit sedangkan kandungan Mg dan Si melimpah.

#### **2.4. Rencana Penambangan**

Daerah penelitian merupakan WIUP dari PT. SCM, perusahaan yang bergerak dalam industri pertambangan bijih nikel laterit. Rencana penambangan pada Pit Papa Bravo akan dilakukan dengan sistem tambang terbuka. Kegiatan penambangan bijih nikel laterit PT. SCM yang akan dilakukan pada Pit Papa Bravo yang memiliki ketinggian antara 400 – 500 m diatas permukaan laut. Untuk penggalian dan pembongkaran lapisan tanah penutup, PT. SCM berencana melakukan penggalian dengan menggunakan *Backhoe* Komatsu PC-200 tanpa dilakukan peledakan.

Berdasarkan hasil pengeboran eksplorasi pada daerah penelitian didapatkan empat lapisan endapan bijih nikel laterit di Routa, yaitu Tanah Penutup (*Overburden*), Tanah Limonit, Tanah Saprolit dan Peridotit Ultramafik (Batuan Induk). Untuk jumlah cadangan belum dapat dihitung dikarenakan kegiatan eksplorasi masih berlangsung saat penelitian di lapangan sudah selesai.

Berdasarkan distribusi kadar nikel pada penampang sayatan yang diperoleh dari hasil eksplorasi dengan menggunakan GPR (*Ground Penetrating Radar*), perusahaan menentukan kedalaman penambangan pada lokasi lubang bor geoteknik J070913 sampai dengan kedalaman 27 meter dan lokasi lubang bor geoteknik J092529 sampai dengan kedalaman 42 meter.

## **BAB III**

### **DASAR TEORI**

#### **3.1. Konsep Dasar Kestabilan Lereng**

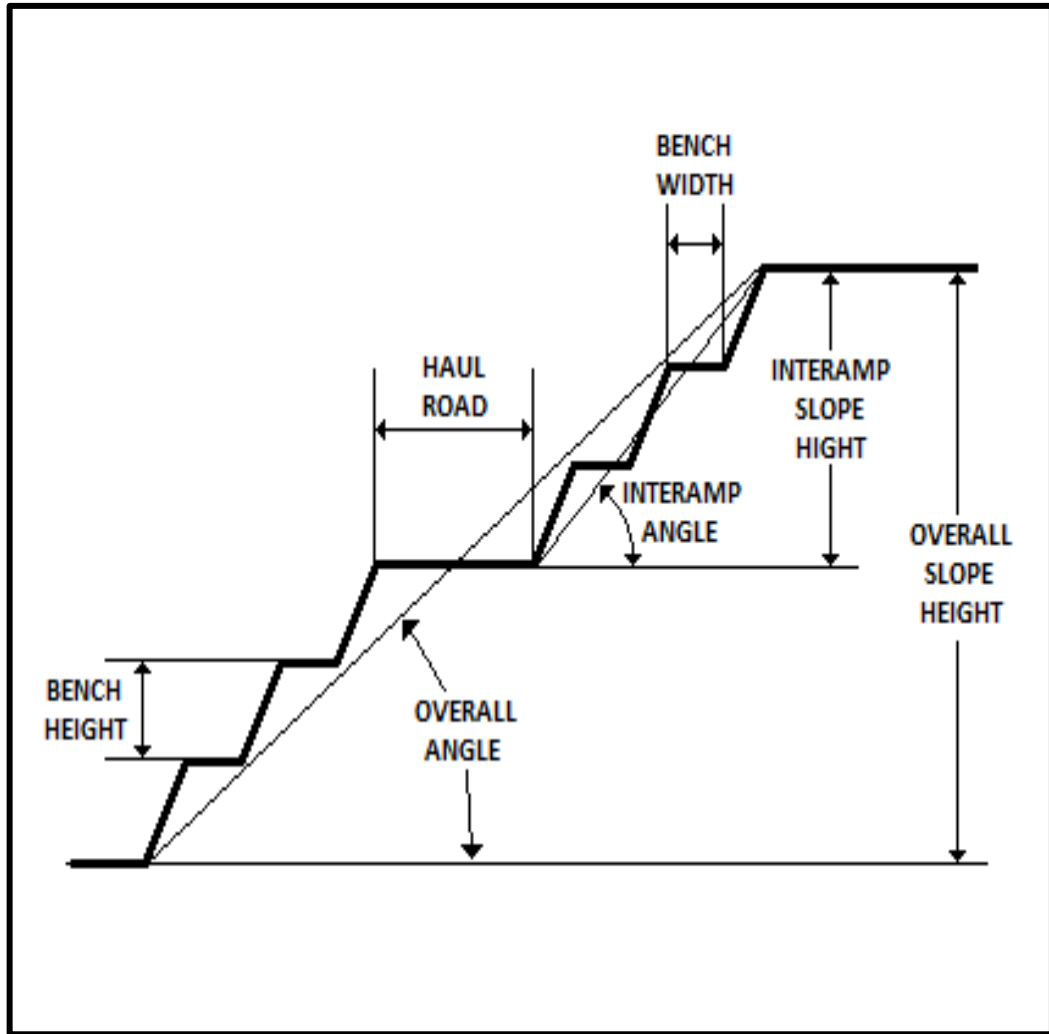
Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami atau buatan manusia. Lereng yang terbentuk secara alami misalnya: lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain: galian dan timbunan untuk membuat bendungan, tanggul dan kanal sungai serta dinding tambang terbuka (Arief, 2016).

Kestabilan dari suatu lereng dipengaruhi oleh parameter - parameter seperti kondisi geologi, kondisi air tanah, bentuk keseluruhan lereng serta sifat fisik dan mekanik dari material pembentuk lereng seperti kohesi, bobot isi dan sudut gesek dalam. Oleh karena itu dalam perancangan geometri lereng sangat penting untuk memberikan batas - batas keamanan untuk merancangnya hingga diperoleh rancangan optimum suatu lereng yang cukup terjal supaya secara ekonomi dapat diterima dan aman seperti lereng yang datar.

Rancangan lereng perlu dilakukan karena keberhasilan dalam suatu proses penambangan turut ditentukan oleh adanya kondisi tempat kerja yang aman. Lereng yang tidak aman akan menimbulkan gangguan terhadap tambang, setidaknya dalam hal:

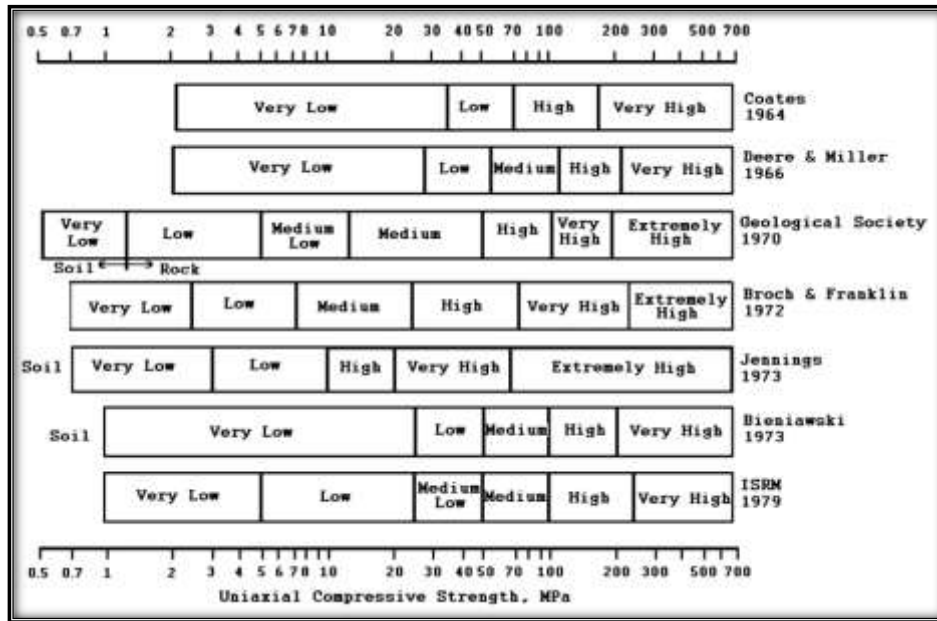
- Dapat menimbulkan hilangnya nyawa manusia
- Kerugian hilangnya harta benda
- Terganggunya kegiatan produksi

Berdasarkan pertimbangan diatas maka perlu adanya suatu tahapan rancangan lereng yang aman beserta analisis kestabilannya.



Gambar 3.1  
Bagian-bagian dari Suatu Lereng (Hoek & Bray, 1981)

Menganalisis kestabilan lereng, parameter awal yang harus diperhatikan terlebih dahulu adalah material pembentuk lereng yaitu tanah atau batuan. Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Diantara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori (*void space*) yang berisi air dan/atau udara (Craig, 1989). Menurut Bieniawski (1973) tanah merupakan suatu material bentukan alam yang mempunyai kuat tekan uniaksial kurang dari 1 MPa sedangkan batuan lebih dari 1 MPa. Pada Gambar 3.2 terdapat berbagai klasifikasi berdasar nilai kuat tekan uniaksial untuk menentukan suatu material disebut sebagai tanah atau batuan.



Gambar 3.2

Klasifikasi berdasarkan Kekuatan Material Batuan (Bienawski, 1984)

Kestabilan lereng didefinisikan sebagai suatu kondisi seimbang pada lereng yang memiliki gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak. Tetapi bila terjadi gangguan tertentu yang menyebabkan lereng mengalami perubahan keseimbangan misalnya akibat aktivitas penggalian, peledakan, erosi atau aktivitas lain, maka tanah/batuan tersebut akan berusaha untuk mencapai keadaan keseimbangan yang baru secara alamiah dengan cara mengurangi beban atau degradasi berbentuk longsor.

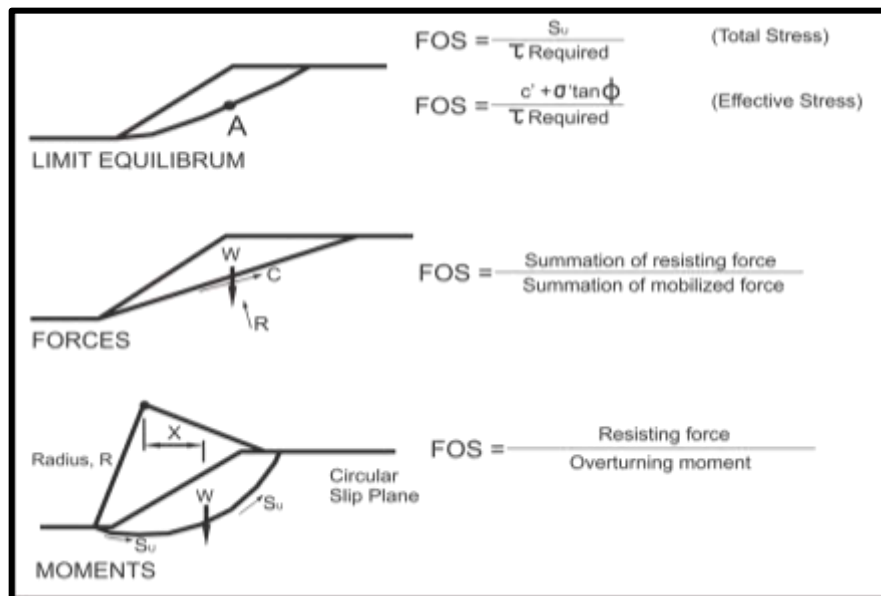
Kestabilan suatu lereng tergantung pada gaya penggerak dan gaya penahan yang ada pada bidang gelincir di dalam lereng tersebut. Gaya penggerak berupa gaya berat, gaya akibat percepatan peledakan dan/atau gempa bumi, sedangkan gaya penahan berupa sudut gesek dalam, kohesi atau kuat geser. Apabila gaya penggerak lebih besar dibandingkan dengan gaya penahan maka lereng tidak stabil dan akan longsor. Tetapi bila gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak, maka lereng tersebut dalam keadaan stabil dan tidak longsor. Menentukan bahwa suatu lereng stabil atau tidak dapat dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK) yang didefinisikan sebagai berikut:

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \dots\dots\dots(3.1)$$

- FK > 1,0 : Kondisi lereng dianggap stabil
- FK = 1,0 : Kondisi lereng dalam keadaan seimbang dan siap untuk bergerak apabila ada sedikit gangguan
- FK < 1,0 : Kondisi lereng dianggap tidak stabil

Fungsi faktor keamanan adalah menjelaskan ketidakpastian dan tingkat kepercayaan hal-hal yang dimasukkan dalam analisis, seperti parameter kekuatan, distribusi tekanan pori dan jenis lapisan tanah/batuan. Semakin rendah kualitas hasil penyelidikan di lokasi, semakin tinggi harga faktor keamanan yang diharapkan. Nilai faktor keamanan yang akan dipakai didalam rancangan akan bervariasi sesuai dengan jenis material dan hasil yang dibutuhkan. Kekuatan gesek yang dibutuhkan untuk mempertahankan kestabilan permukaan yang potensial mengalami keruntuhan dihitung dan dibandingkan dengan besarnya kekuatan gesek yang tersedia.

Besarnya faktor keamanan dianggap konstan untuk seluruh permukaan yang mengalami keruntuhan. Misalnya, pada titik A di bidang luncur seperti pada Gambar 3.3, faktor keamanan akan didapat dari perbandingan antara kuat gesek yang tersedia dan kuat gesek yang dibutuhkan. Kekuatan yang tersedia yang bersifat konstan diterapkan pada setiap titik di bidang longsor yang mengalami keruntuhan untuk menahan bidang luncur



Gambar 3.3  
Berbagai Macam Definisi Faktor Keamanan (Abramson, 2002)

Nilai faktor keamanan lereng tambang di Indonesia diatur dalam Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM Tahun 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Sesuai dengan peraturan tersebut batas nilai faktor keamanan dapat ditentukan berdasarkan jenis lereng dan keparahan longsornya. Nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor lereng tambang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1  
Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Tambang  
(Kepmen ESDM No.1827 K/30/MEM Tahun 2018)

Jenis Lereng	Keparahan Longsor ( <i>Consequence of Failure/CoF</i> )	Kriteria dapat diterima ( <i>Acceptance Criteria</i> )		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor ( <i>Probability of Failure</i> ) (maks) PoF ( $FK \leq 1$ )
Lereng tunggal	Rendah s.d. Tinggi	1,1	Tidak ada	25%-50%
<i>Inter-ramp</i>	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
	Menengah	1,2-1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,2-1,3	1,1	10%
Lereng Keseluruhan	Rendah	1,2-1,3	1,0	15%-20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3-1,5	1,1	5%

Berdasarkan tabel diatas, tingkat keparahan longsor dapat dikategorikan sebagai berikut :

- A. Tinggi bila ada konsekuensi terhadap:
- a) Kematian manusia
  - b) Cidera berat manusia lebih dari 3 (tiga) orang
  - c) Kerusakan sarana dan prasarana pertambangan lebih dari 50% (lima puluh persen)
  - d) Terhentinya produksi lebih dari 24 (dua puluh empat) jam
  - e) Cadangan hilang dan tidak bisa diambil
  - f) Kerusakan lingkungan yang berdampak sampai ke luar wilayah IUP termasuk pemukiman

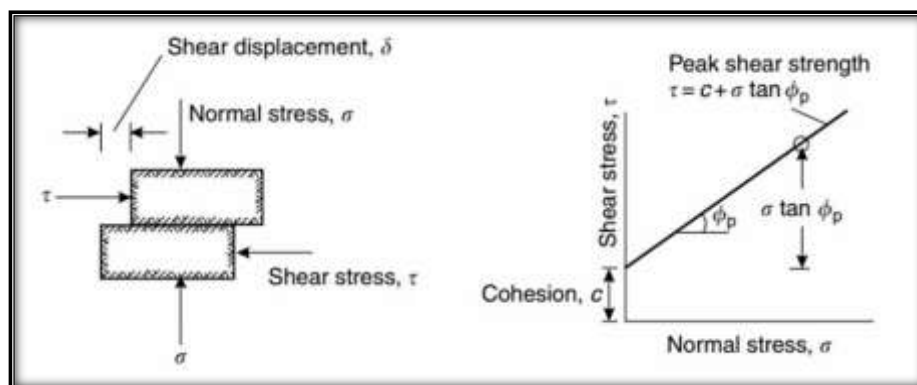


- B. Menengah bila ada konsekuensi terhadap:
- Cidera berat manusia
  - Kerusakan sarana dan prasarana pertambangan dari 25% (dua puluh lima persen) sampai 50% (lima puluh persen)
  - Terhentinya produksi lebih dari 12 (dua belas)jam sampai kurang dari 24 (dua puluh empat) jam
  - Cadangan tertimbun tetapi masih diambil
  - Kerusakan lingkungan di dalam wilayah IUP
3. Rendah bila ada konsekuensi terhadap:
- Cidera ringan manusia
  - Kerusakan sarana dan prasarana pertambangan kurang dari 25% (dua puluh lima persen)
  - Terhentinya produksi kurang dari 12 (dua belas) jam

### 3.2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

#### 3.2.1 Kekuatan Massa Tanah dan Batuan

Kekuatan massa tanah dan batuan yang sangat berperan dalam analisis kestabilan lereng adalah sifat fisik dan sifat mekanik. Dalam analisis kestabilan lereng sifat fisik yang digunakan adalah bobot isi, sedangkan sifat mekanik yang digunakan adalah nilai kekuatan geser tanah/batuan yang dinyatakan dengan parameter kohesi ( $c$ ), dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ). Kekuatan geser tanah/batuan ini adalah kekuatan yang berfungsi sebagai gaya untuk melawan atau menahan gaya penyebab longsor. Pengertian ketiga parameter tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4

Grafik Hubungan Tegangan Normal – Tegangan Geser (Wyllie & Mah, 2004)

Adapun sifat fisik dan mekanik tanah/batuan yang diperlukan dalam melakukan analisis kestabilan lereng adalah sebagai berikut :

1. Sudut gesek dalam ( $\phi$ )

Sudut gesek dalam ( $\phi$ ) adalah sudut yang dibentuk dari hubungan tegangan normal dengan tegangan geser dalam material tanah/batuan. Sudut gesek dalam juga merupakan sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenakan tegangan yang melebihi tegangan gesernya. Uji geser langsung dan uji triaksial perlu dilakukan untuk mengetahui besar sudut gesek dalam.

2. Kohesi ( $c$ )

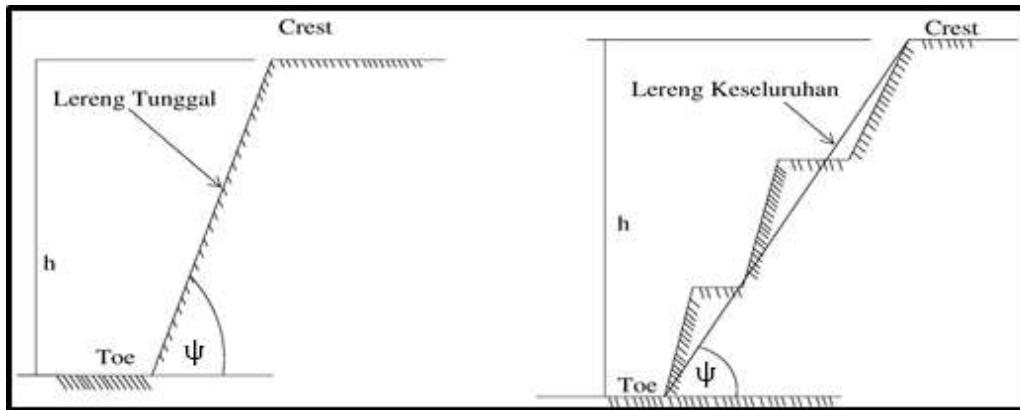
Kohesi ( $c$ ) adalah kuat tarik menarik antar butiran tanah/batuan yang dinyatakan dalam satuan kilo Pascal (kPa). Bila kuat gesernya semakin besar, maka semakin besar pula harga kohesi dari tanah/batuan tersebut. Ini berarti tanah/batuan dengan kohesi yang besar dapat dibuat lereng dengan kemiringan yang besar untuk nilai faktor keamanan yang sama. Harga kohesi didapat dari analisis laboratorium, yaitu dengan uji geser langsung dan uji triaksial.

3. Bobot isi ( $\gamma$ )

Bobot isi ( $\gamma$ ) tanah/batuan berperan dalam menimbulkan tekanan pada permukaan bidang longsor, yaitu dinyatakan dalam satuan berat per volume. Macam-macam bobot isi adalah : bobot isi asli, bobot isi kering dan bobot isi jenuh.

### 3.2.2. Geometri Lereng

Geometri lereng adalah tinggi ( $h$ ) dan kemiringan lereng ( $\psi$ ), baik itu lereng tunggal (*single slope*) maupun lereng keseluruhan (*overall slope*). Suatu lereng disebut lereng tunggal apabila dibentuk oleh satu jenjang dan disebut keseluruhan apabila dibentuk oleh beberapa jenjang. Suatu lereng dengan kemiringan yang tetap, apabila dilakukan penambahan tinggi lereng akan berpengaruh terhadap menurunnya kestabilan lereng tersebut, karena berat lereng yang harus ditahan oleh kekuatan geser tanah/batuan semakin bertambah besar. Penambahan ketinggian lereng harus diikuti dengan pengurangan sudut kemiringan lereng. Sudut kemiringan lereng pada jenjang untuk lereng keseluruhan diperoleh dengan menarik garis dari batas bawah (*toe*) jenjang terbawah ke batas atas (*crest*) jenjang teratas, lihat Gambar 3.5.



Gambar 3.5

Penampang Lereng Tunggal dan Lereng Keseluruhan (Hoek & Bray, 1981)

### 3.2.3. Struktur Geologi

Keadaan struktur geologi yang harus diperhatikan pada analisis suatu kestabilan lereng adalah bidang-bidang lemah (*discontinuity*). Struktur geologi yang dijumpai sebagai produk dari gaya-gaya yang bekerja pada batuan diantaranya bidang perlapisan, perlipatan, rekahan/kekar dan patahan/sesar. Struktur geologi ini merupakan tempat-tempat rembesan air sehingga akan mempengaruhi cepat atau lambatnya proses pelapukan.

Penentuan arah jurus/*strike* dan kemiringan bidang-bidang tersebut merupakan bagian yang sangat penting dalam melengkapi data analisis. Apabila bidang lemah tersebut searah dengan kemiringan lereng akan sangat berpengaruh karena pada bidang tersebut mempunyai kekuatan geser paling kecil sehingga memungkinkan terjadinya longsor.

### 3.2.4. Kondisi Air Tanah

Kondisi air tanah yang berada di bawah permukaan tanah akan mempengaruhi kekuatan tanah/batuan dibawahnya, hal ini terjadi karena keberadaan air yang mengisi pori-pori tanah/batuan sehingga menyebabkan bobot isi dari tanah/batuan menjadi bertambah selain itu keberadaan air pada pori-pori tanah/batuan mempunyai tekanan yang dapat mempengaruhi besarnya tegangan normal pada permukaan gesek. Jadi dapat dikatakan bahwa suatu lereng yang mengandung air tanah maka lereng tersebut lebih rendah faktor keamanannya jika dibandingkan dengan lereng yang tidak mengandung air tanah, pada geometri lereng yang sama.

### 3.2.5. Iklim

Iklim berpengaruh terhadap kemantapan lereng karena iklim mempengaruhi jumlah curah hujan di suatu daerah. Curah hujan yang tinggi menyebabkan jumlah air yang nantinya menjadi air tanah semakin bertambah. Pengaruh dari air tanah ini adalah mempercepat terjadinya proses pelapukan, semakin banyak air tanah tersebut mengisi rekahan atau celah batuan dan semakin lama air tersebut berada di dalamnya, proses pelapukan akan semakin cepat. Adanya pelapukan ini tentunya akan memperlemah kekuatan massa batuan maupun kekuatan geseknya sehingga secara langsung akan mempengaruhi kestabilan lereng tersebut.

Pelapukan untuk daerah tropis lebih cepat dibandingkan daerah dingin, karena jumlah curah hujan di daerah tropis lebih tinggi dibanding di daerah dingin. Singkapan pada lereng daerah tropis akan lebih cepat lapuk disebabkan hal tersebut dan ini mengakibatkan lereng lebih mudah longsor. Selain itu, kondisi curah hujan juga berpengaruh terhadap kestabilan lereng karena mengakibatkan bertambahnya kandungan air pada massa batuan yang secara tidak langsung akan berpengaruh terhadap bobot isi dan tekanan muka air tanah.

### 3.2.6. Gaya Luar

Gaya luar dapat mempengaruhi kemantapan suatu lereng. Gaya ini berupa getaran-getaran yang berasal dari sumber-sumber yang berada di dekat lereng tersebut. Getaran ini misalnya ditimbulkan oleh kegiatan penggalian, peledakan, pembuatan jalan tambang, pergerakan alat angkut, gempa bumi dan sebagainya. Akibat kegiatan tersebut akan menyebabkan perubahan keseimbangan dari gaya-gaya dalam, sehingga akan menyebabkan bertambahnya gaya geser.

## 3.3. Mekanisme Dasar Terjadinya Longsoran

Dalam keadaan tidak terganggu (alamiah) suatu massa tanah/batuan umumnya mempunyai keseimbangan terhadap gaya yang timbul dari dalam. Akibat adanya pengangkatan, penurunan, penggalian, penimbunan erosi atau aktifitas lainnya, sehingga mengalami perubahan keseimbangan maka massa tersebut akan berusaha mencapai suatu keadaan keseimbangan yang baru secara alamiah.

Disamping kekuatan geser, gaya berat akibat massa tanah/batuan merupakan parameter kestabilan lereng sebagai akibat dari gravitasi. Pada umumnya longsor yang terjadi pada tanah dan pasir adalah longsor busur, sedangkan untuk batuan yang sifatnya lebih keras biasa terjadi longsor – longsor yang lainnya, yaitu longsor baji, longsor bidang dan longsor guling.

Pada Gambar 3.6 memperlihatkan gaya-gaya yang bekerja pada suatu blok yang berada pada suatu bidang miring yang mempunyai sudut kemiringan sebesar  $\psi$ , maka berdasarkan persamaan hukum kuat geser Mohr-Coulomb adalah sebagai berikut :

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots \dots \dots (3.2)$$

Didapat tegangan normal,  $\sigma = \frac{W \cos \psi}{A}$  dimana A = luas bidang geser,

maka :

$$\tau = c + \frac{W \cos \psi}{A} \tan \phi \dots \dots \dots (3.3)$$

Adapun kekuatan geser (S) yang bekerja untuk menahan geseran pada dasar blok dinotasikan sebagai ( $S = \tau A$ ), dimana akan diperoleh persamaan :

$$S = c A + (W \cos \psi) \tan \phi \dots \dots \dots (3.4)$$

Dalam keadaan seimbang atau dalam keadaan kritis, persamaan (3.4) dapat digambarkan sebagai :

$$W \sin \psi = c A + (W \cos \psi) \tan \phi$$

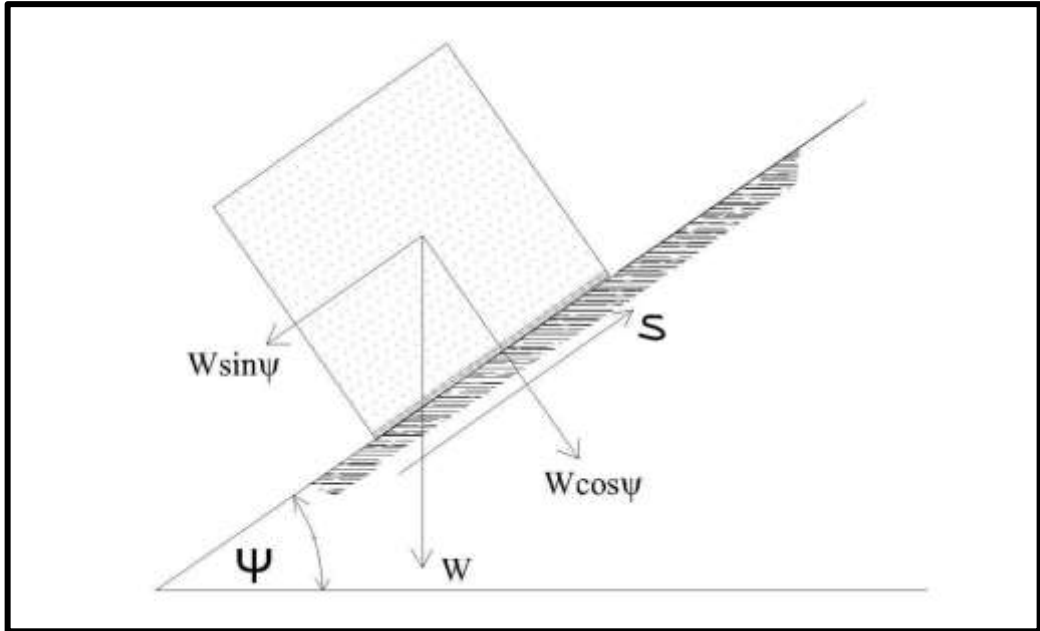
Jika blok memiliki nilai kohesi = 0, maka :

$$\psi = \phi \dots \dots \dots (3.5)$$

Keterangan :

- $\tau$  = Kekuatan Geser (kPa)
- $\sigma$  = Tegangan Normal (kPa)
- W = Berat balok (kN)
- $\psi$  = Sudut kemiringan bidang ( $^{\circ}$ )
- c = Kohesi (kPa)
- $\phi$  = Sudut gesek dalam ( $^{\circ}$ )
- A = Luas blok ( $m^2$ )

Jadi apabila blok yang berada pada suatu bidang dengan kemiringan sebesar  $\psi$  dalam kondisi kering serta mempunyai nilai kohesi = 0, maka blok dalam keadaan seimbang apabila  $\psi = \phi$ .



Gambar 3.6  
Komponen Gaya suatu Blok di atas Bidang Gelincir (Hoek & Bray, 1981)

### 3.3.1. Pengaruh tekanan air pada tegangan gesek

Pengaruh keberadaan air pada massa tanah/batuan terhadap kestabilan lereng dapat diandaikan sebuah bejana yang terisi air pada suatu bidang basah dengan sudut kemiringan sebesar  $\psi$  (Lihat Gambar 3.7).

Apabila diandaikan berat per unit volume dari bejana ditambah air dinotasikan sebagai  $\gamma_t$  sementara berat per unit volume air adalah  $\gamma_w$  maka  $W = \gamma_t h A$  dan nilai kohesi = 0, maka air ini akan dapat menimbulkan tekanan ke atas sebesar  $U$ , sehingga dapat memperkecil tegangan normal yang bekerja pada bidang luncur ( $\sigma_n = W \cos \psi / A$ ), maka persamaan (3.4) dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$S = c A + (W \cos \psi) \tan \phi \dots\dots\dots(3.6)$$

Sehingga ;

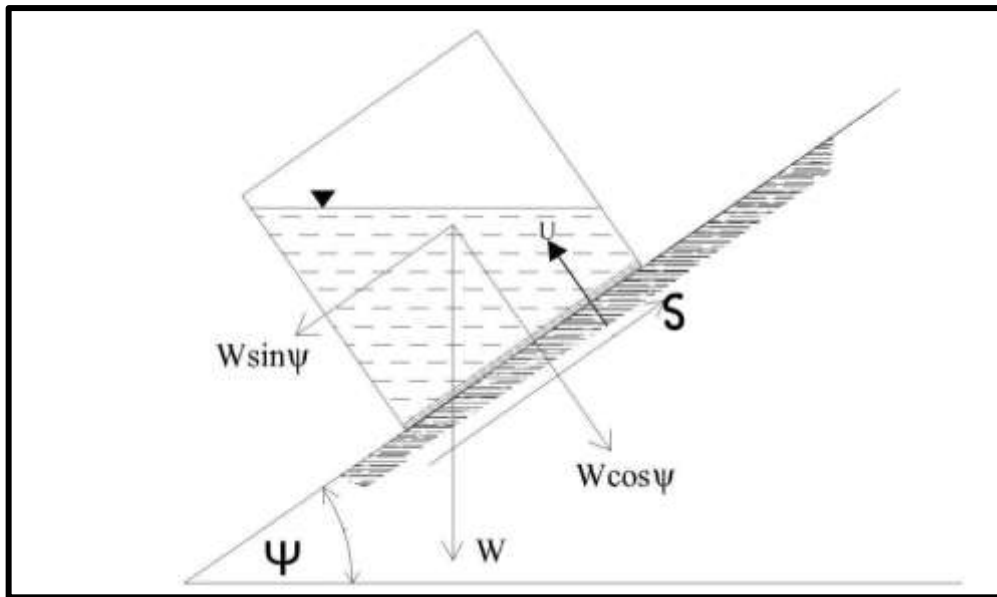
$$S = ( W \cos \psi - U ) \tan \phi \dots\dots\dots(3.7)$$

Besarnya nilai  $U$  tergantung tinggi air dalam bejana. Gambar 3.6 memperlihatkan bahwa  $h_w = h \cos \psi$ , yang mana  $h$  dan  $h_w$  merupakan tinggi bejana dan tinggi air di dalam bejana, maka :

$$U = \gamma_w h (\cos \psi) A \dots\dots\dots(3.8)$$

$$U = \frac{\gamma_w W (\cos \psi) A}{\gamma_t A} \dots\dots\dots(3.9)$$

$$U = (\gamma_w / \gamma_t) W \cos \psi \dots\dots\dots(3.10)$$



Gambar 3.7  
Gaya – Gaya pada Bejana di atas Bidang Miring (Hoek & Bray, 1981)

Kemudian substitusikan persamaan (3.10) ke persamaan (3.7) maka akan diperoleh persamaan gaya gesek ( $S$ ) adalah sebagai berikut:

$$S = ( W \cos \psi - (\gamma_w / \gamma_t) \cdot W \cos \psi ) \tan \phi$$

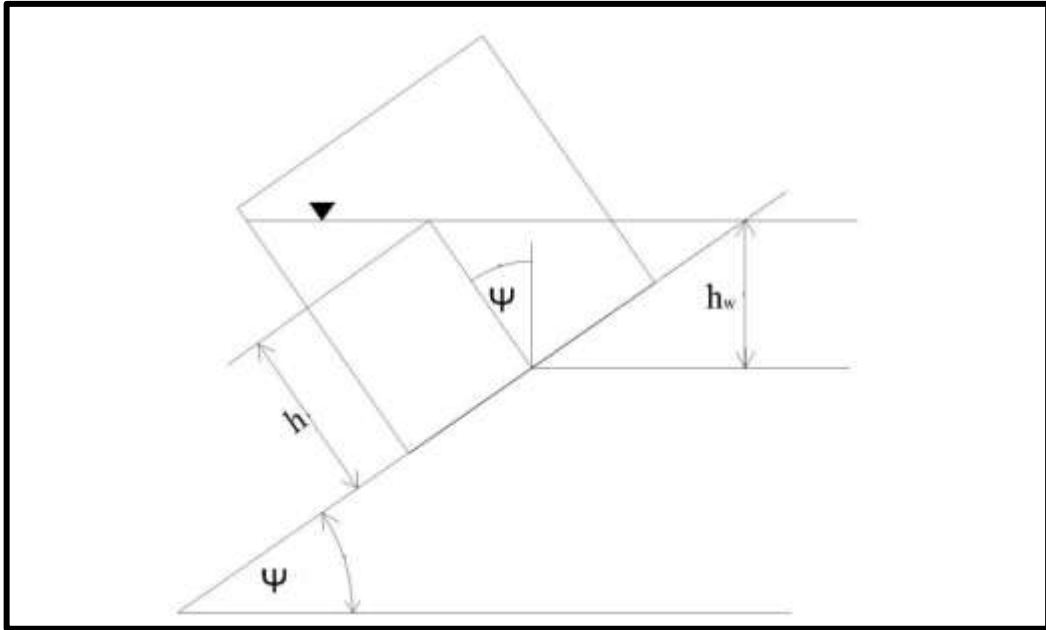
Sehingga :

$$S = W \cos \psi ( 1 - \gamma_w / \gamma_t ) \tan \phi \dots\dots\dots(3.11)$$

Apabila bejana dalam keadaan kritis, dan mempunyai nilai kohesi = 0, serta terdapat air pada bidang luncur maka berdasarkan persamaan keseimbangan, maka hubungan antara sudut gesek dalam dengan sudut kemiringan bidang dapat ditulis sebagai berikut :

$$W \sin \psi = W \cos \psi ( 1 - \gamma_w / \gamma_t ) \tan \phi \dots\dots\dots(3.12)$$

$$\tan \psi = ( 1 - \gamma_w / \gamma_t ) \tan \phi \dots\dots\dots(3.13)$$



Gambar 3.8  
 Posisi Harga  $h_w$  dan  $h$  Pada Suatu Bejana (Hoek & Bray, 1981)

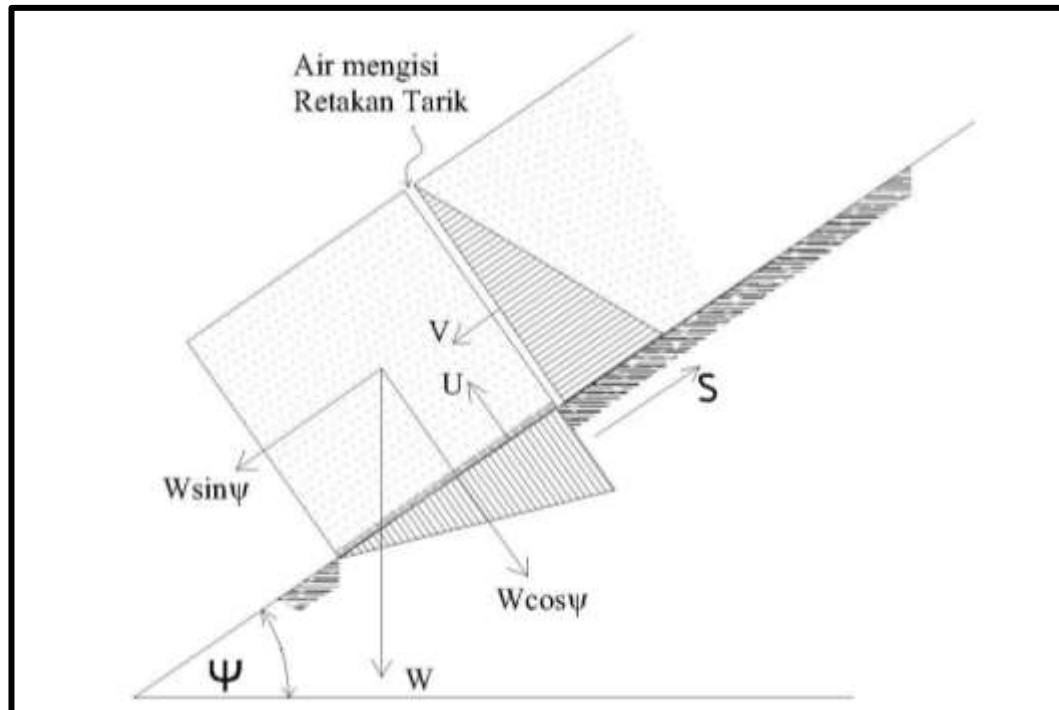
### 3.3.2. Pengaruh Air Tanah

Kehadiran air tanah dalam lereng biasanya menjadi masalah bagi kestabilan lereng. Perhatikan suatu kasus dari blok dalam keadaan setimbang yang terletak pada bidang miring, tetapi dalam hal ini, dianggap bahwa blok terpisah oleh suatu retakan tarik yang terisi oleh air (lihat Gambar 3.9). Tekanan air dalam retakan tarik bertambah secara linier dengan kedalaman dan gaya total  $V$ . Hasil distribusi tekanan air dalam bentuk gaya angkat  $U$  juga mengurangi gaya normal yang berkerja tegak lurus permukaan tersebut. Kondisi keseimbangan batas terhadap blok yang terkena gaya air  $V$  dan  $U$ , yang sebagai tambahan dari berat nya sendiri, ditentukan oleh:

$$W \sin \psi + V = cA + (W \cos \psi - U) \tan \phi \dots \dots \dots (3.14)$$

Persamaan tersebut memperlihatkan bahwa gaya air horizontal menyebabkan gaya pendorong longsor bertambah dan gaya angkat air menyebabkan gaya gesek penahan longsor berkurang. Kesimpulannya  $U$  dan  $V$  keduanya menyebabkan berkurangnya kestabilan lereng.





Gambar 3.9  
Pengaruh Tekanan Air Pada Blok (Hoek & Bray, 1981)

### 3.4. Klasifikasi Longsor

#### 3.4.1. Longsor Bidang

Longsor bidang merupakan suatu longsor batuan yang terjadi sepanjang bidang luncur yang dianggap rata. Bidang luncur tersebut dapat berupa bidang sesar, rekahan maupun bidang perlapisan batuan (Gambar 3.10). Menurut Wyllie dan Mah (2004) longsor bidang dapat terjadi apabila memenuhi beberapa syarat antara lain:

1. Arah bidang luncur sejajar atau mendekati sejajar dengan arah bidang permukaan lereng dengan perbedaan maksimal  $20^\circ$ .
2. Bagian ujung atas permukaan bidang gesek memotong bagian atas lereng atau berujung pada retakan tarik.
3. Terdapatnya bidang bebas yang merupakan batas lateral dari massa batuan yang longsor.
4. Kemiringan bidang luncur harus lebih kecil dari kemiringan lereng, atau pada Gambar 3.10  $\psi_p < \psi_f$ .

5. Kemiringan bidang luncur lebih besar dari pada sudut gesek dalam, atau pada Gambar 310  $\psi_p > \phi$ .

Berdasarkan kondisi diatas dapat disusun suatu hubungan yaitu :

$$\psi_f > \psi_p > \phi$$

Keterangan :

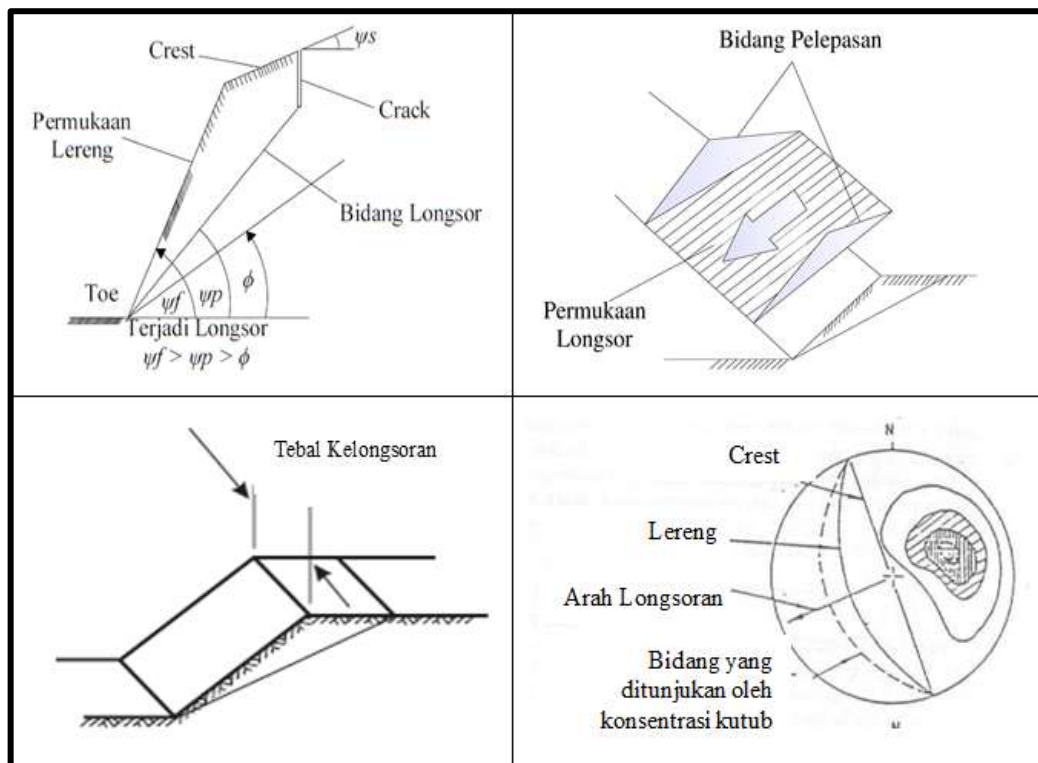
$\psi_f$  = Kemiringan muka lereng

$\psi_p$  = Kemiringan dari bidang diskontinyu

$\phi$  = Sudut gesek dalam

Asumsi yang digunakan dalam analisis longsoran bidang di antaranya :

1. Jurus permukaan bidang luncur dan retakan tarik mempunyai arah sejajar dengan lereng.
2. Retakan tarik mempunyai arah vertikal dan terisi air dengan kedalaman tertentu.
3. Air masuk menuju bidang luncur melalui dasar dari retakan tarik dan meresap di sepanjang bidang luncur.

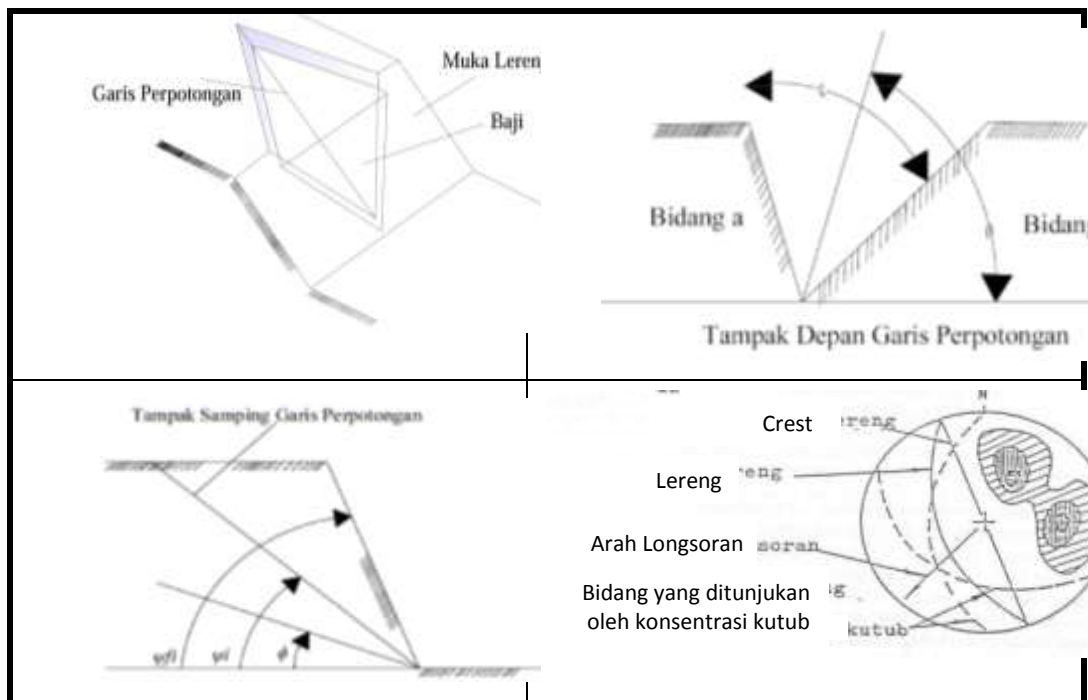


Gambar 3.10  
Longsoran Bidang (Hoek & Bray, 1981)

### 3.4.2. Longsor Baji

Longsor ini hanya bisa terjadi pada batuan yang mempunyai lebih dari satu bidang lemah yang saling berpotongan. Sudut perpotongan antara bidang lemah tersebut lebih besar dari sudut gesek dalam batuan (Gambar 3.11). Bidang lemah ini dapat berupa bidang sesar, rekahan (joint) maupun bidang perlapisan. Menurut Wyllie dan Mah (2004) longsor baji dapat terjadi dengan syarat geometri sebagai berikut :

1. Dua bidang berpotongan dalam satu garis.
2. Kemiringan garis perpotongan kedua bidang harus lebih landai dibandingkan dengan kemiringan muka lereng dan lebih curam dari sudut gesek dalam rata-rata dua bidang lurus,  $\psi_{fi} > \psi_i$ .
3. Permukaan bidang lemah a dan bidang lemah b rata, tetapi kemiringan bidang lemah a lebih besar daripada bidang lemah b (Bidang yang mempunyai kemiringan lebih besar dinamakan bidang a dan sebaliknya bidang b).
4. Kemiringan garis perpotongan harus menuju keluar muka lereng agar longsor baji mungkin terjadi.

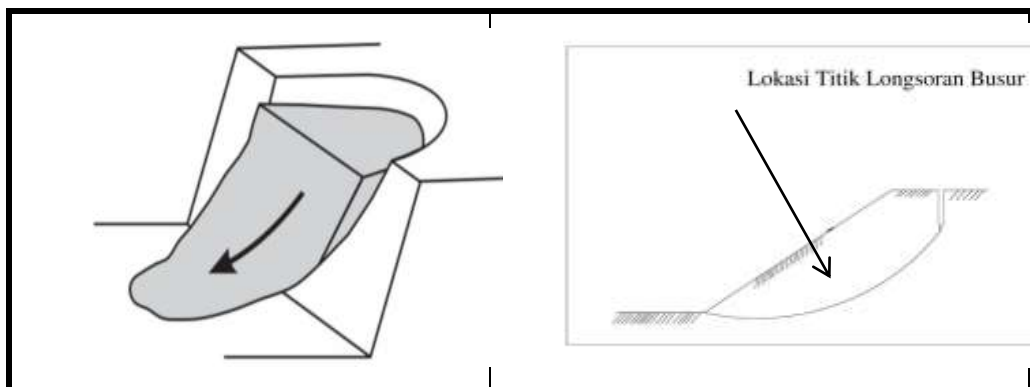


Gambar 3.11  
Longsor Baji (Hoek & Bray, 1981)

### 3.4.3. Longsoran Busur

Longsoran batuan yang terjadi sepanjang bidang lurus yang berbentuk busur disebut longsoran busur. Longsoran busur paling umum terjadi di alam, terutama pada batuan yang lunak (tanah). Longsoran busur dapat terjadi pada batuan keras jika batuan tersebut sudah mengalami pelapukan dan mempunyai bidang-bidang lemah (rekahan) yang sangat rapat dan tidak dapat dikenal lagi kedudukannya. Longsoran busur akan terjadi jika partikel individu pada suatu tanah atau massa batuan sangat kecil dan tidak saling mengikat.

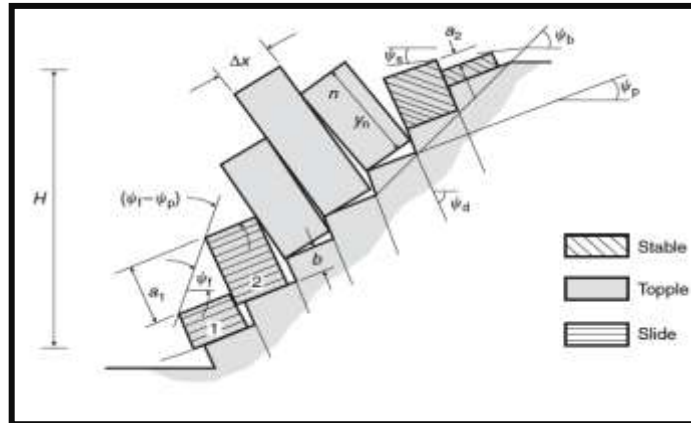
Batuan yang telah lapuk oleh sebab itu cenderung mempunyai sifat seperti tanah. Tanda pertama suatu longsoran busur biasanya berupa suatu rekahan tarik permukaan atas atau muka lereng, kadang-kadang disertai dengan menurunnya sebagian permukaan atas lereng yang berada disamping rekahan. Penurunan ini menandakan adanya gerakan lereng yang pada akhirnya akan terjadi longsor, hanya dapat dilakukan apabila belum terjadi gerakan lereng tersebut (Gambar 3.12).



Gambar 3.12  
Longsoran Busur (Hoek & Bray, 1981)

### 3.4.4. Longsoran Guling

Longsoran guling terjadi pada batuan yang keras dan memiliki lereng terjal dengan bidang – bidang lemah yang tegak atau hampir tegak dan arahnya berlawanan dengan arah kemiringan lereng. Longsoran ini dapat berbentuk blok atau bertingkat. Kondisi untuk menggelincir atau meluncur ditentukan oleh sudut gesek dalam dan kemiringan bidang luncurnya, tinggi balok dan lebar balok terletak pada bidang miring (Gambar 3.13).



Gambar 3.13  
Longsoran Guling (Hoek & Bray, 1981)

### 3.5. Pengaruh Kegempaan Terhadap Kestabilan Lereng

Gempa bumi maupun getaran yang ditimbulkan oleh aktivitas alat berat, lalu lintas kendaraan, dan kegiatan peledakan mengirimkan percepatan gelombang seismik yang merambat melalui tanah/batuan. Penjalaran gelombang seismik ini bersifat sementara yang secara cepat dapat mengakibatkan menurunnya tegangan geser pada lereng, menimbulkan rekahan pada massa tanah/batuan. Akibatnya terjadi penurunan kekuatan lereng (Duncan, 2004).

Analisis akibat adanya gelombang seismik menggunakan metode pseudostatik. Metode pseudostatik memberikan pendekatan sederhana untuk mengevaluasi stabilitas lereng pada daerah yang sering terjadi gempa bumi. Metode ini merupakan sebuah aplikasi dari metode kesetimbangan batas yang memodifikasikan adanya percepatan seismik statik yang terjadi secara *horizontal* ( $k_h$ ) dan vertikal ( $k_v$ ) yang digunakan untuk mengasumsikan adanya potensial inersia percepatan perambatan gelombang di bawah permukaan karena gempa bumi tersebut. Percepatan seismik yang ada diasumsikan secara proporsional sebagai berat massa tanah/batuan yang potensial longsor dengan koefisien seismik  $k_h$  dan  $k_v$ , dan analisis ini sebagai analisis statik. Suatu hal yang khas dari percepatan seismik juga diasumsikan hanya diwakili oleh pengaruh koefisien *horizontal* ( $k_h$ ), koefisien percepatan seismik vertikal dianggap nol ( $k_v = 0$ ) atau dapat diabaikan berdasarkan penelitian pengaruh komponen percepatan vertikal ( $k_v$ ) terhadap perubahan nilai faktor keamanan tidak lebih dari 10% dimana  $k_v < k_h$  (NHI, 1998).

Percepatan seismik *horizontal* mempengaruhi adanya gaya inersia dari lereng ( $k_h.W_s$ ) (lihat Gambar 3.14), dimana  $W$  adalah berat dari massa tanah/batuan yang potensial mengalami longsor.

$W_s$  : Berat beban yang potensial mengalami longsor

$k_h$  : Koefisien percepatan seismik arah *horizontal*

$k_v$  : Koefisien percepatan seismik arah vertikal

Sehingga kondisi keseimbangan batas yang dipengaruhi oleh gelombang seismik adalah:

$$W_s (\sin \psi + k_H \cos \psi) = c.A + W_s (\cos \psi - k_H \sin \psi) \tan \phi \dots \dots \dots (3.15)$$

$W_s$  : Berat beban yang potensial mengalami longsor (ton)

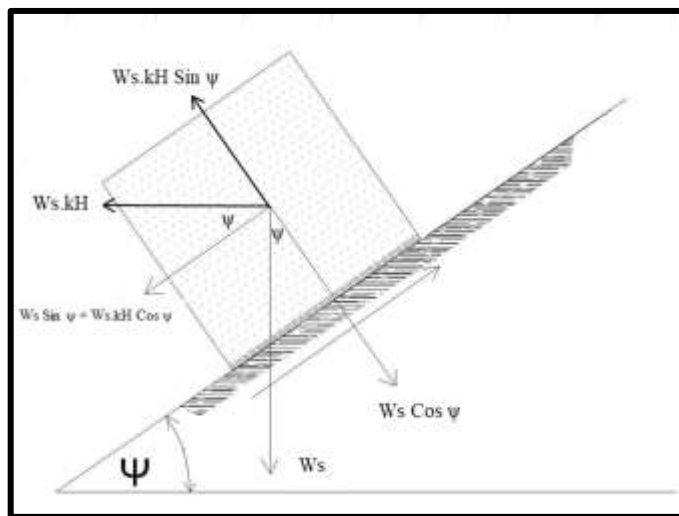
$\psi$  : Sudut kemiringan lereng ( $^\circ$ )

$c$  : Kohesi (kPa)

$k_H$  : Koefisien percepatan seismic arah *horizontal* ( $k_h$ ), asumsi  $k_v = 0$

$A$  : Luas dasar blok atau benda di lereng ( $m^3$ )

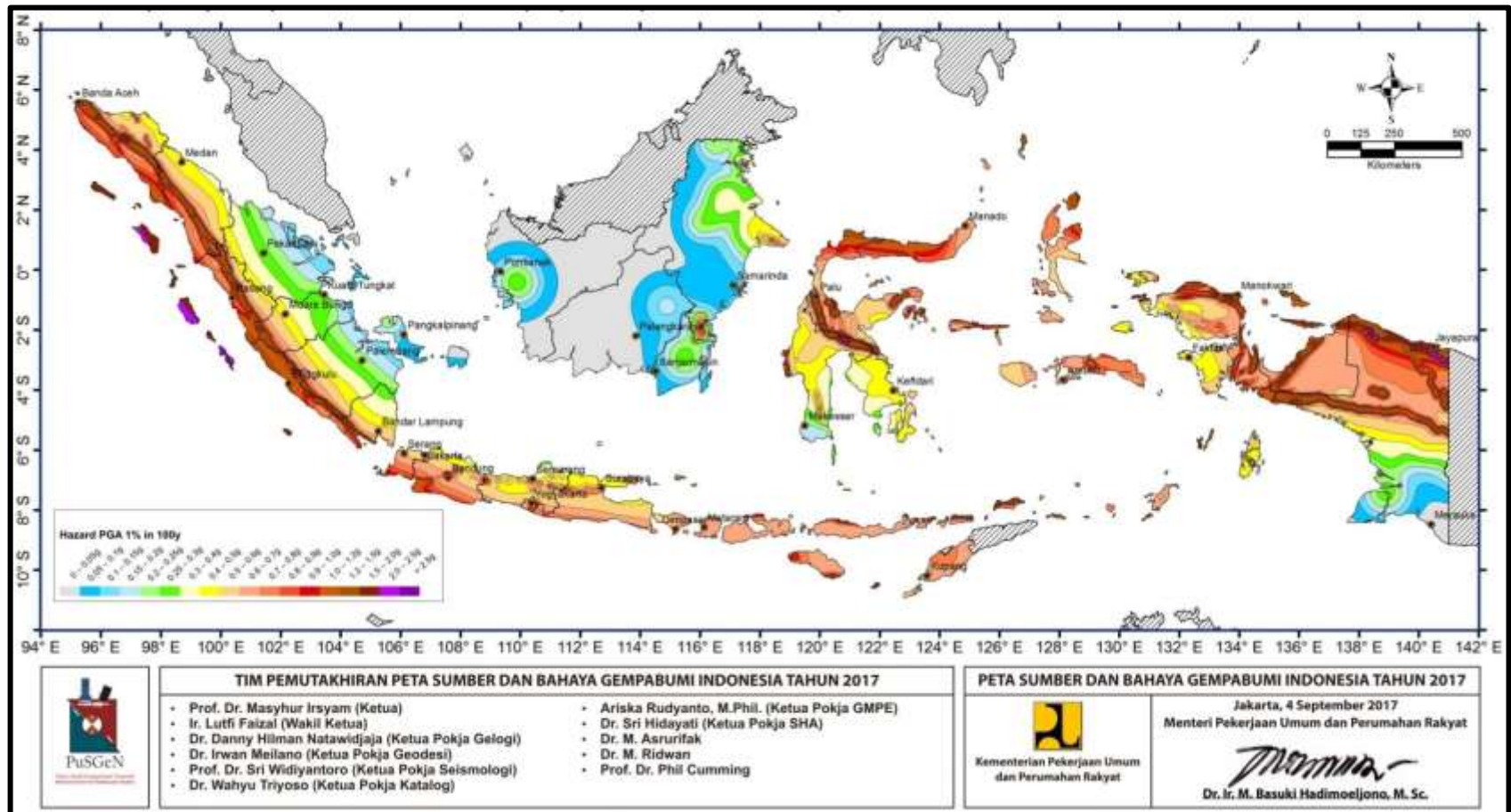
$\phi$  : Sudut gesek dalam ( $^\circ$ )



Gambar 3.14

Distribusi Gaya-gaya Akibat Pengaruh Beban Seismik (Hoek & Bray, 1981)

Faktor keamanan dihitung dengan menggunakan persamaan (3.15) sebagai salah satu gaya penggerak dan gaya penahan pada metode perhitungan faktor keamanan yang digunakan. Sementara itu, berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempabumi Indonesia Tahun 2017, wilayah IUP PT SCM memiliki pengaruh percepatan gempa (PGA) sebesar  $< 0,25$  g (Gambar 3.15).



Gambar 3.15

Peta Sumber dan Bahaya Gempabumi Indonesia Tahun 2017( Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2017)

### 3.6. Analisis Kemantapan Lereng Dengan Metode Keseimbangan Batas

Analisis longsor dan kestabilan lereng dinding akhir pada rencana penambangan dengan menggunakan konsep keseimbangan batas, secara prinsip gaya geser yang diperlukan untuk mempertahankan kemantapan akan dibandingkan dengan gaya yang menyebabkan longsor. Pada longsor berbentuk busur, gaya-gaya tersebut diperhitungkan pada bidang gelincir yang berbentuk busur. Gaya penyebab longsor yang selanjutnya disebut sebagai momen penggerak berasal dari berat tanah/batuan dan berat air yang berada di atas bidang gelincir. Gaya atau momen penahan longsor berasal dari kekuatan geser tanah/batuan sepanjang bidang gelincir. Kedua momen ini dibandingkan sehingga didapatkan faktor keamanan (FK) pada bidang yang berbentuk busur tersebut.

#### 3.6.1 Metode *Bishop Simplified*

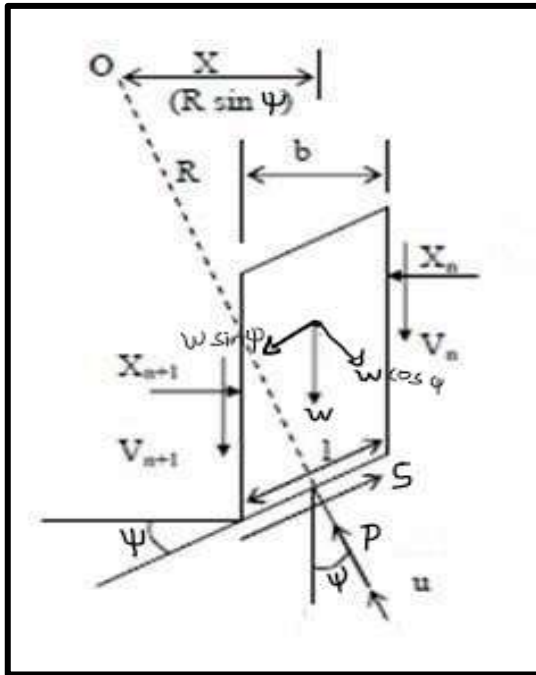
Salah satu dari metode keseimbangan batas untuk longsor busur (*Circular Failure*) yaitu metode Bishop. Metode ini menjelaskan keseimbangan gaya vertikal untuk setiap segmen dan keseimbangan momen keseluruhan yang berkaitan dengan pusat lingkaran. Lapisan yang berada di atas bidang longsor dibagi dalam beberapa segmen tegak agar perlapisan tanah/batuan dapat dipertimbangkan lebar dari tiap segmen tidak harus sama. Gaya normal pada dasar tiap segmen ditentukan dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam arah vertikal. Metode ini mengabaikan gaya gesek pada segmen dan kemudian mengasumsikan suatu gaya normal cukup untuk mendefinisikan gaya – gaya antara segmen (Bishop, 1955).

Gaya normal pada dasar tiap segmen ditentukan dengan menjumlahkan gaya – gaya dalam arah vertikal. Lereng perlu dibagi dalam sejumlah segmen untuk melakukan perhitungan kemantapan lereng, supaya variasi lapisan tanah/batuan dapat dipertimbangkan, dan gaya normal (P) pada bidang gesek dapat ditentukan.

$$\text{Momen penggerak segmen} = W \cdot x \dots\dots\dots(3.16)$$

Momen penggerak seluruhnya diperoleh dengan menjumlahkan momen dari setiap segmen (Lihat Gambar 3.16), yaitu:





Gambar 3.16

Distribusi Gaya-Gaya dan Momen pada Metode Bishop (Hoek & Bray, 1981)

Momen penggerak seluruhnya =  $\sum W \cdot x$ .....(3.17)

=  $\sum W \cdot R \sin \psi$ .....(3.18)

=  $R \sum W \sin \psi$ .....(3.19)

Faktor keamanan ( F ) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}}$$

$$FK = \frac{\text{Kekuatan gesek yang ada}}{\text{Kekuatan gesek yang diperlukan}} \dots\dots\dots(3.20)$$

Jika kekuatan gesek = s ,

maka kekuatan gesek untuk mempertahankan kemantapan =  $\frac{s}{FK}$

Bila S = gaya pada dasar segmen,

maka  $S = s \cdot l / FK$  sehingga :

Momen melawan segmen =  $( s \cdot l / FK ) \cdot R$ .....(3.21)

Momen melawan seluruhnya =  $\sum ( s \cdot l / FK ) R$ .....(3.22)

$$= \frac{R}{FK} \sum s \cdot l \dots\dots\dots(3.23)$$

Dengan mempersamakan momen melawan dengan momen penggerak, maka :

$$R \sum W \sin \psi = \frac{R}{FK} \sum s.l \dots \dots \dots (3.24)$$

Sehingga :

$$FK = \frac{R \sum s.l}{R \sum W \sin \psi} \dots \dots \dots (3.25)$$

$$= \frac{\sum s.l}{\sum W \sin \psi} \dots \dots \dots (3.26)$$

Nilai FK ditentukan pada banyak lingkaran sampai terdapat nilai FK yang terkecil. Lingkaran dengan nilai FK terkecil disebut lingkaran kritis.

Untuk menyelesaikan perhitungan  $s$  diganti dengan  $c + (\sigma - u) \tan \phi$ , sehingga :

$$FK = \frac{\sum (c.l + (\sigma.l - u.l) \tan \phi)}{\sum W \sin \psi} \dots \dots \dots (3.27)$$

$$FK = \frac{1}{\sum W \sin \psi} \sum (c.l + (P - u.l) \tan \phi) \dots \dots \dots (3.28)$$

Nilai berat segmen ( $W$ ), sudut kemiringan segmen ( $\psi$ ) dan panjang dasar segmen ( $l$ ) dapat diperoleh secara langsung untuk setiap segmen, dan  $c$  serta  $\phi$  dapat ditentukan di laboratorium. Nilai tegangan air pori ( $u$ ) juga dapat ditentukan di lapangan. Hanya nilai gaya normal efektif ( $P'$ ) yang belum diketahui. Pada cara bishop besarnya  $P'$  diperoleh dengan menguraikan gaya – gaya lain pada arah vertikal (Bowles, 1984).

$$\left( \frac{P' \tan \phi}{F} \right) \sin \psi + \left( \frac{c.l}{F} \right) \sin \psi + P' \cos \psi + u.l \cos \psi = W + (X_n - X_{n+1}) \dots \dots (3.29)$$

$$\left\{ \frac{(P - u.l) \tan \phi}{F} \right\} \sin \psi + \left\{ \frac{c.l}{F} \right\} \sin \psi + \{(P - u.l) \cos \psi\} + u.l \cos \psi = W + (X_n - X_{n+1}) (3.30)$$

$$\left\{ \frac{(P - u.l) \tan \phi}{F} \right\} \sin \psi + \{(P - u.l) \cos \psi\} = W + (X_n - X_{n+1}) - \left\{ \frac{c.l}{F} \right\} \sin \psi - u.l \cos \psi$$

$$(P - u.l) = \frac{W + (X_n - X_{n+1}) - l \left( \frac{c}{F} \sin \psi + u \cos \psi \right)}{\cos \psi + \frac{\tan \phi \cdot \sin \psi}{F}} \dots \dots \dots (3.31)$$

Pada cara bishop ini, nilai  $(X_n - X_{n+1})$  dianggap = 0 sehingga :

$$(P - u \cdot l) = \frac{W - l \left( \frac{c}{F} \sin \psi + u \cos \psi \right)}{\cos \psi + \frac{\tan \phi \sin \psi}{F}} \dots \dots \dots (3.32)$$

Jadi :

$$FK = \frac{1}{\sum W \sin \psi} \sum \left[ c \cdot l + \left\{ \frac{W - l \left( \frac{c \sin \psi}{F} + u \cos \psi \right)}{\cos \psi + \frac{\tan \phi \cdot \tan \psi}{F}} \right\} \tan \phi \right] \dots \dots \dots (3.33)$$

$$FK = \frac{1}{\sum W \sin \psi} \sum \left[ c \cdot l + \left\{ \frac{\frac{W}{\cos \psi} - \left( l \cdot \frac{c \tan \psi}{F} + l \cdot u \right)}{1 + \frac{\tan \phi \cdot \tan \psi}{F}} \right\} \tan \phi \right] \dots \dots \dots (3.34)$$

$$FK = \frac{1}{\sum W \sin \psi} \sum \left[ \frac{c \cdot l \left( 1 + \frac{\tan \phi \cdot \tan \psi}{F} \right) + \left( \frac{W}{\cos \psi} - \frac{c \cdot l \tan \psi}{F} - l \cdot u \right) \tan \phi}{1 + \frac{\tan \phi \cdot \tan \psi}{F}} \right] \dots \dots (3.35)$$

$$FK = \frac{1}{\sum W \sin \psi} \sum \left[ \frac{c \cdot \frac{b}{\cos \alpha} \left( 1 + \frac{\tan \phi \cdot \tan \psi}{F} \right) + \left( \frac{W}{\cos \psi} - c \frac{b \tan \alpha}{\cos \psi} - \frac{b}{\cos \psi} \cdot u \right) \tan \phi}{1 + \frac{\tan \phi \cdot \tan \psi}{F}} \right]$$

$$FK = \frac{1}{\sum W \sin \psi} \sum \left[ \frac{\left\{ c \cdot b \left( 1 + \frac{\tan \phi \cdot \tan \psi}{F} \right) + \left( W - c \cdot b \frac{\tan \psi}{F} - b \cdot u \right) \tan \phi \right\} \sec \psi}{1 + \frac{\tan \phi \cdot \tan \psi}{F}} \right] \dots (3.36)$$

$$FK = \frac{1}{\sum W \sin \psi} \sum \left[ \frac{\left\{ c \cdot b \left( 1 + \frac{\tan \phi \cdot \tan \psi}{F} - \frac{\tan \phi \cdot \tan \psi}{F} \right) + (W - b \cdot u) \tan \phi \right\} \sec \psi}{1 + \frac{\tan \phi \cdot \tan \psi}{F}} \right] \dots (3.37)$$

Jadi :

$$FK = \frac{1}{\sum W \sin \psi} \sum \left[ \frac{\{c \cdot b + (W - b \cdot u) \tan \phi\} \sec \psi}{1 + \frac{\tan \phi \cdot \tan \psi}{F}} \right] \dots \dots \dots (3.38)$$

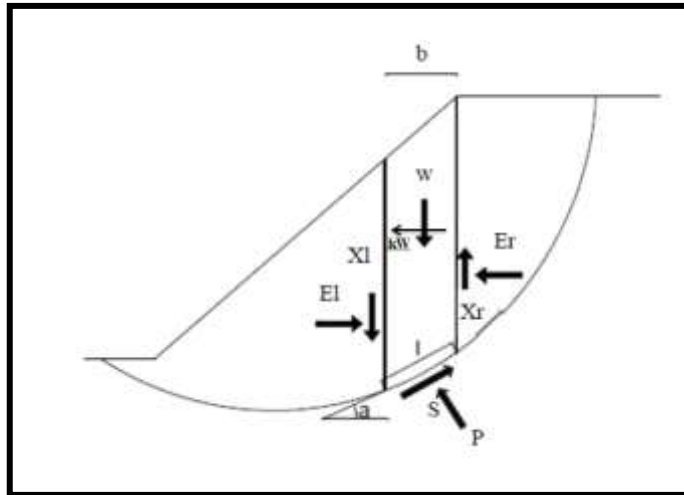
Keterangan :

- FK = Faktor Keamanan
- F = Perkiraan Faktor Keamanan
- W = Berat Segmen (kN)
- c = Kohesi (kPa)
- l = Lebar Dasar Segmen (m)
- b = Lebar Irisan Segmen (m)
- u = Tekanan Air Pori (kPa)
- φ = Sudut Gesek Dalam (°)
- ψ = Sudut Kemiringan Segmen (°)

Dengan cara perhitungan berulang-ulang (*iterative*) di berbagai busur yang diperkirakan sebagai bidang gelincirnya, akan diperoleh faktor keamanan terkecil yang menyatakan bidang gelincir paling berbahaya.

### 3.6.2 Metode *Janbu Simplified*

Metode Janbu yang disederhanakan termasuk salah satu metode yang populer dan sering digunakan dalam analisis kestabilan lereng. Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu gaya geser antar irisan sama dengan nol. Metode ini memenuhi kesetimbangan gaya dalam arah vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan gaya dalam arah horisontal untuk semua irisan, namun kesetimbangan momen tidak dapat dipenuhi. Sembarang bentuk bidang runtuh dapat dianalisis dengan metode ini.



Gambar 3.17  
 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Irisan Metode *Janbu Simplified*  
 (Hoek & Bray, 1981)

Gaya normal pada dasar irisan Janbu memiliki kesamaan dengan gaya normal pada metode bishop sederhana. Gaya normal di dasar dan tiap irisan ditentukan dengan menjumlahkan gay-gaya dalam arah vertikal

$$FK = \frac{\sum [c \cdot b(W - b \cdot u) \tan \phi] \left( \frac{\sec \alpha^2}{1 + \tan \phi \tan \alpha / F} \right)}{\sum W \tan \alpha} \dots\dots\dots (3.39)$$

Keterangan:

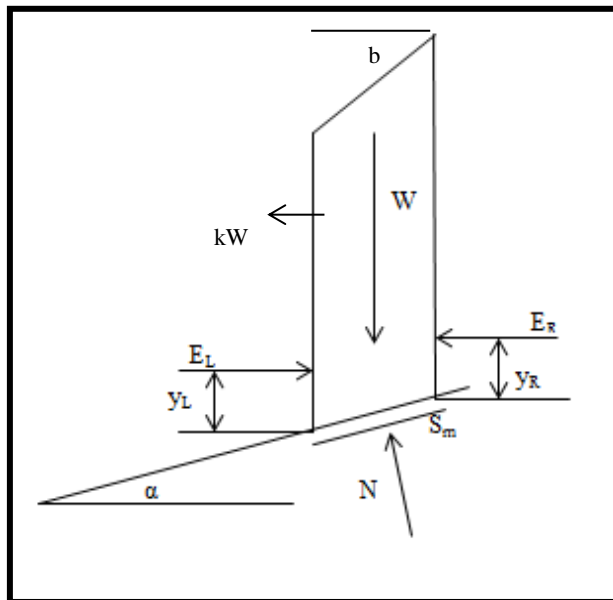
- S : kuat geser efektif
- s : kuat geser yang ada
- c : kohesi
- P' : gaya normal efektif pada dasar irisan
- $\phi$  : sudut gesek dalam
- u : tekanan air pori
- F : FK
- l : panjang dasar irisan
- W : berat irisan
- b : lebar irisan
- R : radius lingkaran bidang gelincir
- $X_n, X_{n+1}$  : gaya-gaya vertikal pada batas irisan
- $E_n, E_{n+1}$  : gaya-gaya horisontal pada batas irisan

### 3.6.3. Metode *Morgenstern-Price*

Metode *Morgenstern-Price* dikembangkan terlebih dahulu daripada metode kesetimbangan batas umum. Metode ini dapat digunakan untuk semua bentuk bidang runtuh dan telah memenuhi semua kondisi kesetimbangan. Metode *Morgenstern-Price* menggunakan asumsi yang sama dengan metode kesetimbangan batas umum yaitu terdapat hubungan antara gaya geser antar-irisan dan gaya normal antar-irisan, yang dapat dinyatakan dengan persamaannya sebagai berikut:

$$X = \lambda f(x)E \dots\dots\dots(3.40)$$

Terdapat perbedaan cara perhitungan faktor keamanan diantara metode *Morgenstern-Price* dan metode kesetimbangan batas umum. Dalam metode kesetimbangan batas umum, perhitungan faktor keamanan dilakukan dengan menggunakan kesetimbangan gaya dalam arah horisontal dan kesetimbangan momen pada pusat gelinciran untuk semua irisan. Sementara itu metode *Morgenstern-Price*, perhitungan faktor keamanan dilakukan dengan menggunakan kondisi kesetimbangan gaya dan momen dari setiap irisan.



Gambar 3.18  
Gaya-Gaya yang Bekerja pada Tiap Irisan Metode *Morgenstern-Price*  
(*Hoek & Bray, 1981*)

Gaya geser antar-irisan pada sisi kiri dan kanan untuk setiap irisan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$X_L = \lambda f (X_L) E_L \dots \dots \dots (3.41)$$

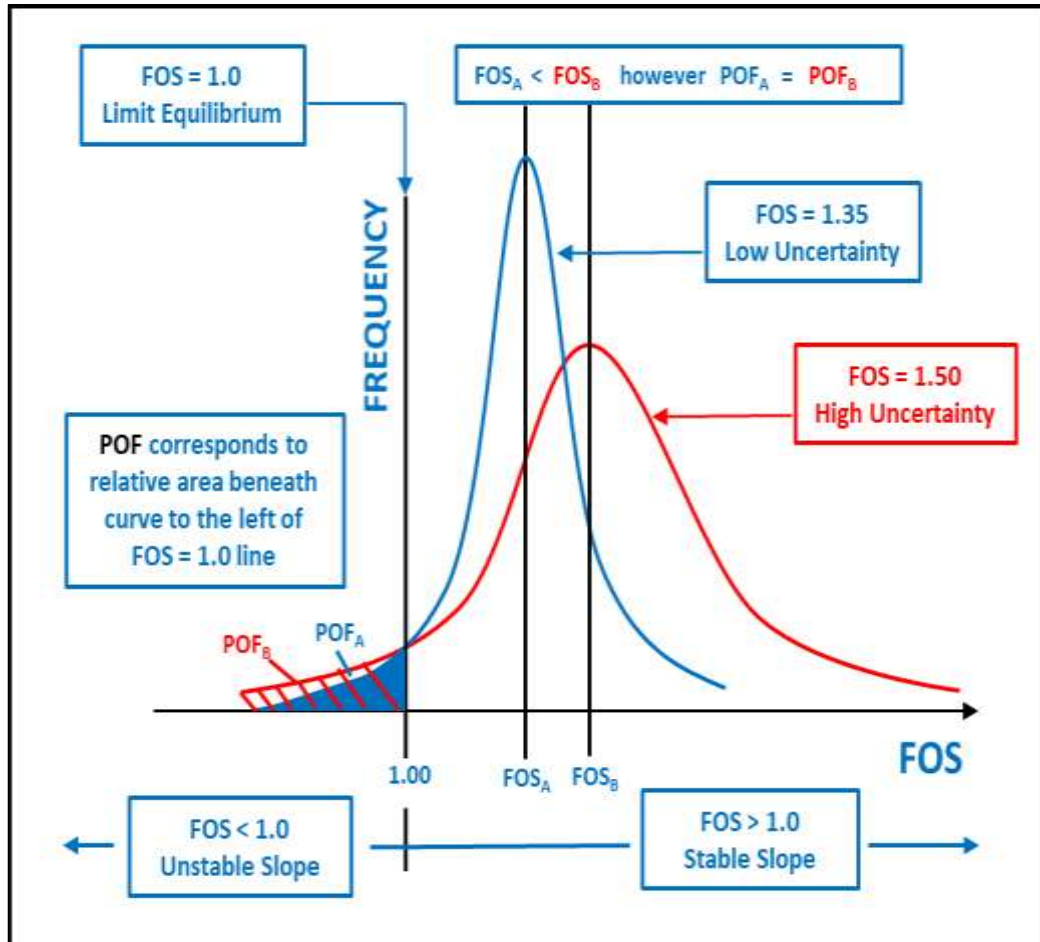
$$X_R = \lambda f (X_R) E_R \dots \dots \dots (3.42)$$

Prinsip dari perhitungan faktor keamanan dalam metode *Morgenstern-Price* adalah mencari pasangan nilai faktor keamanan dan faktor skala, sehingga syarat batas pada irisan terakhir dapat dipenuhi. Persyaratan lainnya yang harus dipenuhi adalah tidak ada gaya normal pada dasar irisan yang mempunyai nilai negatif dan semua titik kerja gaya antar irisan harus berada di dalam massa gelinciran.

### 3.7 Konsep Probabilitas Longor

Stabilitas suatu lereng secara sederhana diindikasikan dengan nilai Faktor Keamanan (FK) yang merupakan rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak. Dalam ranah probabilitas, kedua input parameter baik gaya penahan maupun gaya penggerak merupakan fungsi dari variabel acak yang berdistribusi probabilitas. Dengan mengombinasikan keduanya, probabilitas longsor akan didapatkan.

Pada Gambar 3.19 dibahas konsep sederhana dari probabilitas (kemungkinan) longsor suatu lereng dengan menggambarkan FK sebagai fungsi variabel acak yang berdistribusi probabilitas. Probabilitas Longsor (PL) dihitung sebagai rasio antara area pada distribusi  $FK < 1$  dibagi dengan total area pada kurva distribusi probabilitas. Semakin mengkerucut bentuk kurva fungsi distribusi probabilitas nilai FK, menandakan semakin kecil ketidakpastian nilai FK yang ada atau tingkat distribusi nilai FK lebih homogen.



Gambar 3.19  
 Konsep Probabilitas Longsor (Tapia dkk., 2007)

Metode yang paling banyak digunakan dalam perhitungan Probabilitas Longsor (PL) adalah metode kesetimbangan batas dengan simulasi *Monte Carlo*. Metode ini sangat berguna dalam pemecahan permasalahan yang berkaitan dengan variabel acak, selain sederhana juga lebih fleksibel dalam menggabungkan suatu varietas distribusi probabilitas yang cukup besar tanpa banyak penafsiran (Hammah & Yacoub, 2009). Dalam hal ini setiap parameter masukan diberi nilai sampel. Secara acak dari distribusinya dan untuk setiap rangkaian nilai input acak PL dihitung. Dengan mengulangi proses ini berkali-kali, diperoleh distribusi dari PL tersebut. PL dapat dihitung sebagai rasionya antara jumlah kasus yang gagal ( $FK < 1$ ) dan jumlah total simulasi konsep PL adalah diilustrasikan pada Gambar 3.17. Menurut definisi pada gambar adalah hubungan linier antara nilai PL dan kemungkinan longsor, sedangkan hal yang sama tidak berlaku untuk FK.



Menurut definisi pada gambar adalah hubungan linier antara nilai PL dan kemungkinan longsor, sedangkan hal yang sama tidak berlaku untuk FK. FK yang lebih besar tidak selalu mewakili sebuah lereng lebih aman, seperti besarnya ketidakpastian implisit tidak terwakili oleh nilai FK. Lereng dengan FK 3 tidak dua kali lebih stabil seperti satu dengan FK 1,5, sedangkan lereng dengan PL 5% dua kali lebih stabil daripada PL sebesar 10%.

Dalam metode probabilistik, terdapat beberapa parameter yang dibutuhkan dalam analisis kestabilan lereng, yaitu nilai rata-rata, standar deviasi, nilai relatif maksimum dan minimum.

- Standar deviasi adalah suatu nilai yang menunjukkan tingkat variasi kelompok atau ukuran standar penyimpangan dari rata-ratanya. Persamaan standar deviasi adalah sebagai berikut:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2} \dots\dots\dots(3.43)$$

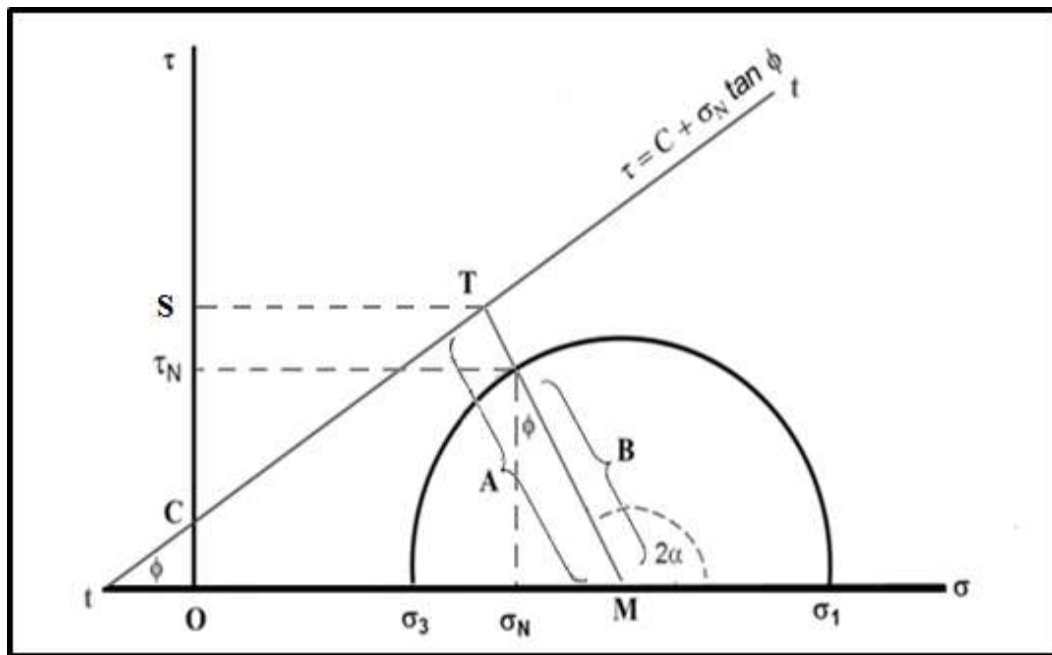
- Nilai relatif maksimum didapatkan dari nilai maksimum dikurangi nilai rata-rata (Azizi, 2014), sedangkan nilai relatif minimum didapatkan dari nilai rata-rata dikurangi nilai minimum (Azizi, 2014). Nilai relatif maksimum dan nilai relatif minimum ini digunakan sebagai sebagai salah satu variabel statistik dalam analisis nilai faktor keamanan dan nilai probabilitas longsor.

### 3.8 Kriteria Keruntuhan Mohr - Coulomb

Menurut Saptono 2012, kriteria runtuh *Mohr – Coulomb* sampai saat ini masih banyak digunakan untuk menganalisis lereng. Kriteria runtuh *Mohr – Coulomb* sangat sederhana dan sangat praktis pada penerapannya, yaitu dengan hanya mengetahui kohesi dan sudut gesek dalam maka kriteria runtuh sudah dapat diperoleh. Kriteria runtuh *Mohr-Coulomb* merupakan kriteria yang pertama & sederhana, walaupun kurang teliti dalam mempresentasikan batuan. Kriteria ini sering digunakan untuk memecahkan permasalahan mekanika tanah, karena pada umumnya tanah memiliki selubung kuat dengan kuat tarik = nol. Untuk mendapatkan kohesi dan sudut gesek dalam juga dapat dilakukan dengan cara membuat garis regresi linier dari titik – titik tegangan normal ( $\sigma_n$ ) dan tegangan

geser ( $\tau$ ) hasil uji geser langsung laboratorium. Sudut gesek dalam ditentukan dari sudut yang dibentuk oleh garis regresi dengan garis horisontal, dan kohesi dari titik perpotongan garis regresi pada garis koordinat tegangan geser ( $\tau$ ) pada sistem koordinat  $\sigma_n - \tau$ .

Menurut Rai, dkk. (2013), untuk mempermudah perhitungan didalam kriteria runtuh *Mohr-Cuolomb* maka selubung *Mohr* dianggap sebagai garis lurus dan persamaannya dinyatakan sebagai kriteria runtuh *Mohr-Coulomb* yang didefinisikan pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20  
Kriteria *Mohr-Coulomb* (Rai dkk, 2013)

$$\tau = c + \mu \sigma_n \dots\dots\dots(3.44)$$

Keterangan :

- $\tau$  = Tegangan geser (kPa)
- $\sigma_n$  = Tegangan normal (kPa)
- $\mu$  = Koefisien gesek dalam dari batuan =  $\tan \phi$
- $c$  = Kohesi (kPa)

Misalkan,  $\sigma_1$  dan  $\sigma_3$  masing-masing adalah tegangan utama maksimum dan minimum, maka kriteria *Mohr-Coulomb* dapat ditulis sebagai berikut.

$$A = \left[ \frac{c}{\tan \phi} + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \right] \sin \phi \dots\dots\dots(3.45)$$

$$B = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \dots\dots\dots(3.46)$$

Faktor keamanan dengan menggunakan kriteria runtuh *Mohr-Coulomb* ditentukan berdasarkan jarak dari titik pusat lingkaran *Mohr* ke garis kekuatan batuan (kurva intrinsik) dibagi dengan jari-jari setengah lingkaran *Mohr-Coulomb*. Faktor keamanan ini menyatakan perbandingan keadaan kekuatan batuan terhadap tegangan yang bekerja pada batuan tersebut.

$$\text{Faktor Keamanan} = \frac{A}{B} = \frac{\left[ \frac{c}{\tan \phi} + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \right] \sin \phi}{\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}} \dots\dots\dots(3.47)$$

Keterangan :

A = Jarak dari titik pusat lingkaran *Mohr* ke kurva intrinsik

B = Jari-jari setengah lingkaran *Mohr-Coloumb*

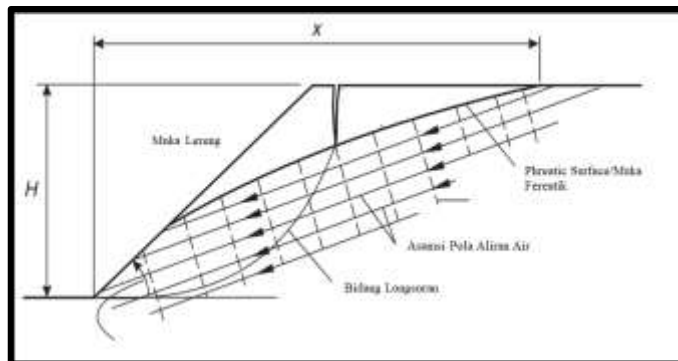
### 3.9 Asumsi Aliran Air Bawah Tanah Menurut Hoek & Bray (1981)

Dalam perhitungan nilai faktor keamanan lereng dan pengaruh tekanan air terhadap nilai FK diperlukan asumsi yang dapat menunjukkan bentuk aliran air bawah tanah pada lereng dan mendekati bentuk aliran aslinya di lapangan.

Diketahui bahwa aliran air bawah tanah dominan mengalir pada lokasi bidang lemah batuan, dimana batuan bersifat *impermeable*. Dalam lereng dengan litologi tanah, batuan bongkaran (*waste rock*) maupun batuan lepas memiliki permeabilitas yang lebih besar dibanding batuan asli (*intact rock*) oleh karena itu bentuk aliran air bawah tanah pada lereng akan menunjukkan bentuk aliran yang umum.

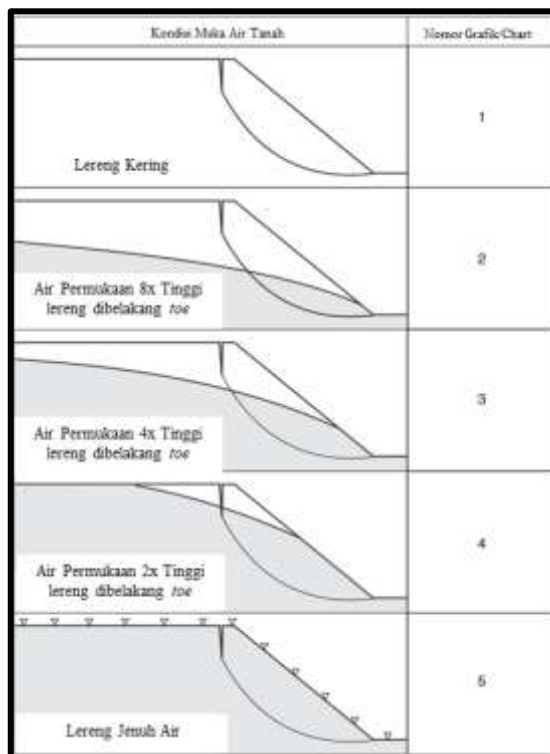
Muka freatik yang terdapat pada lereng menunjukkan batas tekanan air pori sama dengan tekanan atmosfer (Gambar 3.21), sehingga garis aliran air atau *flow line* akan sejajar dengan muka fereatic tersebut. Permukaan muka freatic tersebut diasumsikan dengan perhitungan “x” sebagai jarak dari dasar lereng dikalikan

dengan tinggi lereng “H”, perhitungan tersebut diusulkan oleh L. Casagrande (1934) dan didiskusikan oleh Taylor (1937) dalam tulisannya.



Gambar 3.21  
Konsep Penentuan Bentuk Aliran Air Bawah Tanah  
(Hoek & Bray, 1981)

Permodelan bentuk aliran air bawah tanah pada lereng dapat dilihat pada Gambar 3.22 disesuaikan dengan lima kondisi muka air tanah.



Gambar 3.22  
Bentuk Aliran Air pada Lereng Tiap Kondisi MAT  
(Hoek & Bray, 1981)

## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN**

#### **4.1 Penyelidikan Lapangan**

##### 4.1.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada WIUP mineral milik PT. Sulawesi Cahaya Mineral (lihat Lampiran B). Setelah dilakukan pengeboran eksplorasi dapat diketahui jenis tanah dan batuan pada lokasi tersebut yang terdiri atas lapisan *soil*, *limonite*, *saprolite* dan *peridotite ultramafic*.

##### 4.1.2 Peta Topografi dan Peta Lokasi Lubang Bor Daerah Penelitian

Peta topografi digunakan untuk mengetahui kondisi permukaan tanah (ketinggian) di daerah penelitian. Berdasarkan peta topografi dan pengamatan lapangan langsung, daerah penelitian merupakan daerah dataran alluvial. Peta lokasi lubang bor kemudian digunakan untuk mengetahui lokasi titik bor di daerah penelitian. Peta lubang bor dan peta layout topografi daerah penelitian dapat dilihat pada Lampiran B.

##### 4.1.3 Sayatan Lubang Bor Geoteknik

Sayatan lubang bor geoteknik digunakan sebagai dasar rancangan lereng penambangan. Litologi pembentuk lereng penambangan di daerah penelitian dapat diketahui dari sayatan lubang bor geoteknik tersebut. Rancangan lereng yang akan dibuat pada penelitian ini adalah lereng tunggal dan lereng keseluruhan. Sayatan lubang bor geoteknik dapat dilihat pada Lampiran C yang terdiri atas dua sayatan yang mewakili dua titik lubang bor geoteknik.

##### 4.1.4 Data Geoteknik Lapangan

Pada penelitian ini percontoh tanah dan batuan yang diambil berasal dari hasil pengeboran geoteknik yang dilakukan di lapangan. Pengeboran geoteknik yang dilakukan berasal dari dua lubang bor. Kode lubang bor geoteknik yang akan diambil contohnya dan koordinat lokasinya tertera pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1  
Kode Lubang Bor Geoteknik

No	Lubang Bor	Koordinat (m)		
		<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	<i>Elevation</i>
1	J070913/GT06/SCM	367051,0	9672047,1	441,7
2	J092529/GT07/SCM	367452,5	9670852,3	382,0

Untuk penamaan lubang bor di lapangan digunakan kode GT dan J, dimana kode GT digunakan oleh peneliti geoteknik sedangkan kode J digunakan oleh *Wellsite Geologist* PT. Sulawesi Cahaya Mineral (PT. SCM).

Urutan kegiatan yang dilaksanakan dalam kegiatan penyelidikan lapangan untuk pengambilan contoh dari lubang bor tersebut adalah :

1. Persiapan Bahan dan Alat untuk Menangani Conto

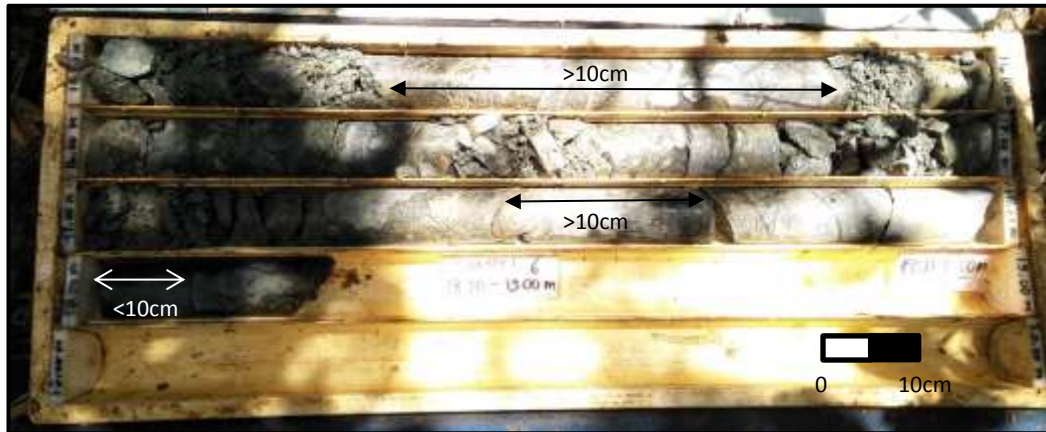
Pekerjaan yang dilakukan adalah mempersiapkan bahan dan alat yang akan digunakan untuk melindungi dan menyimpan contoh.

Tabel 4.2  
Peralatan dan Bahan Yang Digunakan

No	Bahan/peralatan	Fungsi
1	Pipa paralon beserta tutupnya	Pelindung terluar
2	Alumunium foil	Mencegah penguapan air
3	Serbuk gergaji kayu	Meredam benturan core
4	Pisau	Memotong core
5	Lakban	Merekatkan tutup paralon
6	Plastik mika	Mencegah penguapan air

2. Menghitung RQD (*Rock Quality Designation*)

Pekerjaan ini dilakukan dengan melakukan pengukuran panjang pecahan *core* yang lebih besar dari 10 cm (lihat Gambar 4.1 dan 4.2). Dua lubang bor geoteknik yang diukur diperoleh nilai RQD untuk masing-masing lubang bor.



Gambar 4.1  
Perhitungan RQD pada *Core box*



Gambar 4.2  
*Core* Hasil Pengeboran Geoteknik

### 3. Pengambilan Conto/*Sampling*

Hasil pengeboran geoteknik yang telah diukur untuk penentuan RQD di tempatkan pada *core box* yang selanjutnya dipilih untuk dijadikan conto uji di laboratorium. *Core* yang akan diambil sebagai conto selajutnya dipotong. Masing-masing conto yang diambil untuk diberi nama dengan huruf sesuai

dengan nama lubang bor, litologi dan kedalaman contoh pada lubang bor. Adapun nama lubang bor dan jenis litologi yang digunakan untuk melakukan pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Lampiran I.

Tabel 4.3  
Kode Percontoh dan Jenis Litologi

NO.	LUBANG BOR	KODE SAMPEL	LITOLOGI
1	GT 06	J070913/GT06/SCM/1/1	<i>SOIL</i>
2		J070913/GT06/SCM/2/2	<i>SOIL</i>
3		J070913/GT06/SCM/8/4	<i>LIMONITE</i>
4		J070913/GT06/SCM/12/5	<i>LIMONITE</i>
5		J070913/GT06/SCM/17/6	<i>SAPROLITE</i>
6		J070913/GT06/SCM/21/7	<i>SAPROLITE</i>
7		J070913/GT06/SCM/29/8	<i>PERIDOTITE</i>
8	GT 07	J092529/GT07/SCM/2/2	<i>SOIL</i>
9		J092529/GT07/SCM/3/3	<i>LIMONITE</i>
10		J092529/GT07/SCM/27/7	<i>LIMONITE</i>
11		J092529/GT07/SCM/43/11	<i>LIMONITE</i>
12		J092529/GT07/SCM/52/12	<i>PERIDOTITE</i>

#### 4. Pengepakan dan Pengiriman Conto

Conto yang telah dipilih untuk dikirim ke laboratorium selanjutnya dikemas dengan menggunakan bahan dan peralatan yang tersedia.

#### 4.2. Pengujian Laboratorium

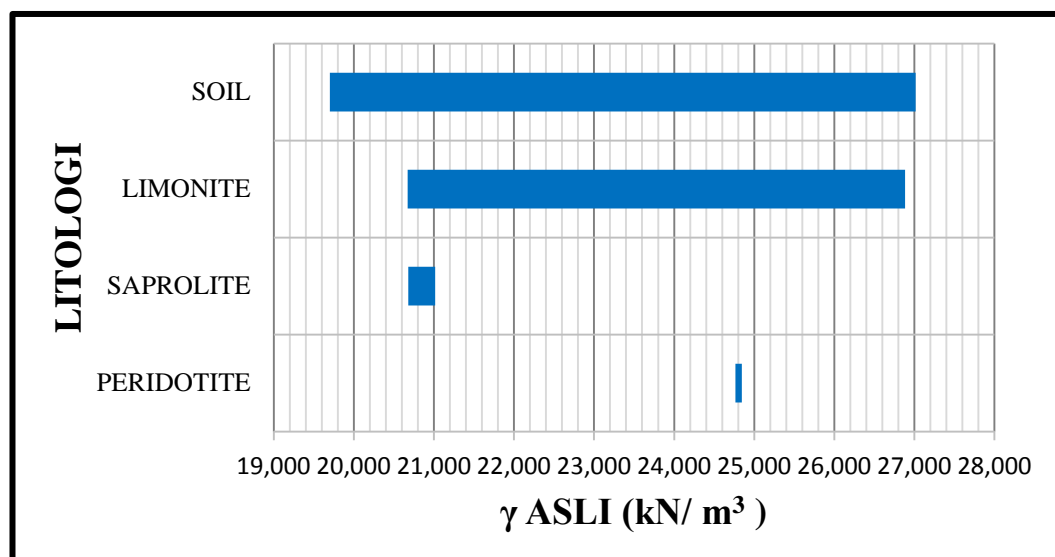


#### 4.2.1 Pengujian Sifat Fisik

Dalam pengujian sifat fisik pada tanah akan diperoleh hasil antara lain: bobot isi tanah, kadar air, batas cair, batas plastis, indeks plastisitas. Dalam pengujian sifat fisik pada batuan akan diperoleh hasil antara lain: bobot isi asli, bobot isi jenuh, bobot isi kering, berat jenis asli, berat jenis semu, kadar air asli, kadar air jenuh, derajat kejenuhan, porositas, angka pori. Hasil pengujian sifat fisik tanah sesuai dengan litologi dapat dilihat, Tabel 4.4 dan Lampiran D.

Tabel 4.4  
Nilai Minimal, Maksimal dan Rata-rata Hasil Pengujian Bobot Isi Sampel Uji

Litologi	$\gamma$ asli ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )		
	Min	Max	Rata-rata
<i>Soil</i>	19,700	27,016	23,583
<i>Limonite</i>	20,672	26,882	22,700
<i>Saprolite</i>	20,682	21,016	20,849
<i>Peridotite</i>	24,767	24,844	24,811



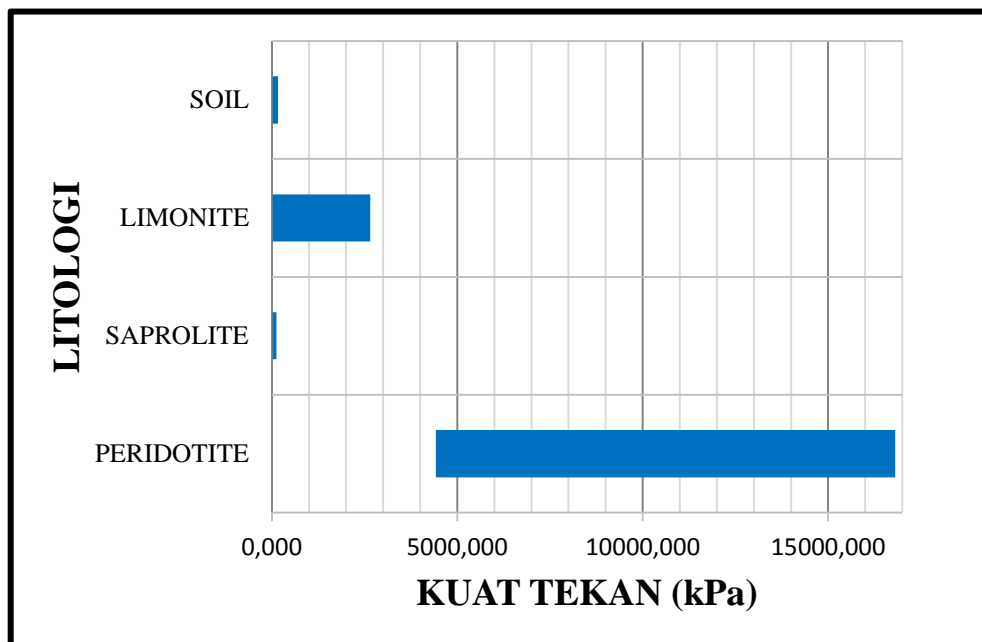
Gambar 4.3  
Rentang Nilai Hasil Pengujian Bobot Isi Asli Sampel Uji

#### 4.2.2 Pengujian Kuat Tekan Uniaksial

Diameter conto dari hasil pengeboran geoteknik adalah 6 cm dipotong untuk mendapatkan ukuran tinggi dua kali diameternya. Hal tersebut sesuai standar ISRM (1981) yakni  $2 < L/D < 2,5$  dengan L adalah tinggi dan D adalah diameter conto. Adapun hasil dari pengujian kuat tekan uniaksial setiap litologi dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Lampiran E.

Tabel 4.5  
Nilai Minimal, Maksimal dan Rata-rata Hasil Pengujian Kuat Tekan Uniaksial Sampel Uji

Litologi	Kuat Tekan (kPa)		
	Min	Max	Rata-rata
<i>Soil</i>	19,091	39,374	26,262
<i>Limonite</i>	20,455	2650	563,07
<i>Saprolite</i>	20,277	23,031	21,654
<i>Peridotite</i>	4420	16810	10615



Gambar 4.4  
Rentang Nilai Hasil Pengujian Kuat Tekan Uniaksial Sampel Uji

#### 4.2.3 Pengujian Kuat Geser Langsung Tanah dan Batuan

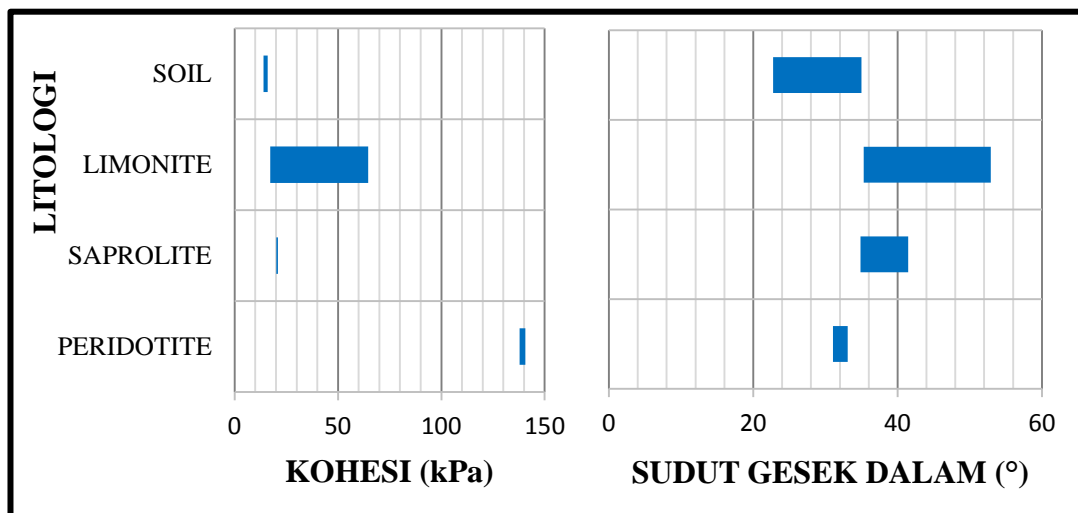
Uji kuat geser langsung dalam dua kondisi diantaranya kondisi puncak (*peak*) pada tanah dan sisa (*residual*) pada batuan. Pada uji kuat geser langsung tanah dan batuan digunakan ukuran conto yang tidak terlalu spesifik seperti pada uji kuat tekan uniaksial. Pada pengujian kuat geser tanah disesuaikan dari ukuran conto. Pada pengujian kuat geser batuan disesuaikan dari ukuran cetakan. Setelah conto telah disiapkan maka cetakan diisi dengan semen kemudian ditunggu hingga 3-4 hari untuk melepas cetakan dan disimpan hingga 2-3 minggu sehingga cetakan yang dihasilkan siap untuk diuji.

Setelah semen pada cetakan kering maka conto siap untuk digunakan. Pada uji kuat geser langsung residu yang digunakan adalah conto yang sudah patah.

Uji geser langsung dilakukan untuk mendapatkan nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) tanah dan batuan, kemudian dilakukan perbandingan terhadap kedua parameter tersebut dengan variasi tegangan normal yang diberikan pada uji kuat geser langsung. Selain itu, parameter tersebut akan digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng pada masing-masing kondisi. Hasil pengujian kuat geser langsung dapat dilihat Tabel 4.6 dan Lampiran F.

Tabel 4.6  
Nilai Minimal, Maksimal dan Rata-rata Hasil Pengujian Kuat Geser Langsung Sampel Uji

Litologi	c (kPa)			$\phi$ (°)		
	Min	Max	Rata-rata	Min	Max	Rata-rata
Soil	13,969	15,944	15,007	22,737	34,989	29,578
Limonite	17,222	64,685	29,047	35,308	52,903	42,694
Saprolite	20,126	20,963	20,544	34,860	41,486	38,173
Peridotite	137,911	140,716	139,313	31,060	33,100	32,080



Gambar 4.5  
Rentang Nilai Hasil Pengujian Kuat Geser Langsung Sampel Uji

### 4.3. Rancangan Geometri Lereng Penambangan

Rancangan geometri lereng penambangan perlu dilakukan karena merupakan salah satu data masukan untuk kegiatan perencanaan tambang, selain itu juga mengacu pada Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang perlunya rekomendasi hasil pengolahan data geoteknik yang menjelaskan geometri dan dimensi lereng tambang yang diperlukan. Sehingga perlu dilakukan rancangan geometri lereng penambangan untuk menentukan tinggi dan sudut kemiringan lereng, baik lereng tunggal maupun keseluruhan berdasarkan kekuatan material penyusun lereng.

#### 4.3.1 Material Penyusun Lereng

Berdasarkan hasil pengeboran eksplorasi pada daerah penelitian didapatkan empat lapisan material yaitu *Soil*, *Limonite*, *Saprolite* dan *Peridotite*. Perusahaan berencana untuk melakukan penambangan pada material endapan bijih nikel yaitu *Limonite* dan *Saprolite*, akan tetapi tidak menutup kemungkinan juga untuk dilakukan penambangan pada material *Peridotite*, yang dapat digunakan sebagai bahan pembuatan jalan tambang.

Menurut hasil analisis nilai kuat tekan, masing-masing material memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 0,563 MPa untuk material *Limonite*, 0,021 MPa untuk material *Saprolite* dan 10,615 MPa untuk material *Peridotite*, sedangkan menurut Bieniawski (1973) material dengan nilai kuat tekan kurang dari 1 MPa

termasuk material dengan klasifikasi tanah, sehingga dapat disimpulkan bahwa material *Limonite* dan *Saprolite* termasuk material dengan klasifikasi tanah, sedangkan material *Peridotite* termasuk material dengan klasifikasi batuan.

#### 4.3.2 Rancangan Geometri Lereng Tunggal

Perancangan lereng tunggal dengan asumsi tanah/batuan homogen sehingga arah lereng tunggal dianggap sama. Rancangan geometri lereng tunggal menggunakan pendekatan sebagai berikut:

1. Variasi material lereng dianggap homogen dan parameter kekuatan batuan yang digunakan merupakan hasil dari uji laboratorium.
2. Dalam analisis lereng tunggal material dalam satu perlapisan dianggap homogen dan memiliki kohesi ( $c$ ) dan sudut gesek dalam ( $\Phi$ ) dari pengujian kuat geser langsung residu dikarenakan lereng diasumsikan mengalami gangguan akibat kegiatan penambangan.
3. Pemodelan lereng tunggal dilakukan pada masing-masing litologi dengan simulasi tinggi lima meter dengan sudut kemiringan lereng  $40^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $55^\circ$  dan  $60^\circ$ .
4. Lereng tunggal dianggap stabil apabila memiliki  $FK > 1,1$  dan  $PL < 25\% - 50\%$  sesuai dengan Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018.
5. Metode kestabilan lereng yang digunakan adalah kesetimbangan batas (metode Bishop, Janbu dan Morgenstern-Price) dan Analisis Probabilistik (*Probabilistic of Failure*) dengan pendekatan perhitungan kriteria keruntuhan *Mohr-Coulomb*.
6. Analisis dilakukan pada lereng dengan MAT kondisi jenuh.
7. Perusahaan menetapkan tinggi lereng tunggal adalah 5 m, menyesuaikan dengan alat gali-muat yang digunakan yaitu PC-200.
8. Percepatan seismik horizontal digunakan berdasarkan Gambar 3.15 Peta Zonasi Gempa Indonesia bernilai  $< 0,25$  gal.

#### 4.3.3 Rancangan Geometri Lereng Keseluruhan

Perhitungan analisis kestabilan lereng keseluruhan menggunakan metode kesetimbangan batas dengan metode Bishop dan Analisis Probabilistik.

Berdasarkan data hasil uji kuat tekan, material di daerah penelitian termasuk sangat lunak karena bernilai kurang dari 1 MPa maka asumsi utama longsor yang terjadi adalah longsor busur (Bieniawski, 1973). Perhitungan menggunakan data hasil pengujian sifat fisik dan sifat mekanik yang telah dilakukan di laboratorium.

1. Analisis kestabilan lereng dilakukan pada penampang lereng yang memotong lubang bor geoteknik J070913/GT06/SCM untuk *section north-south* dan J092529/GT07/SCM untuk *section north-south*.
2. Muka air tanah diasumsikan berdasarkan grafik/*chart* aliran air pada lereng menurut *Hoek & Bray* (1981)
3. Variasi kemiringan lereng keseluruhan didapatkan berdasarkan perbedaan lebar jenjang yaitu 27°(lebar 6m), 29°(lebar 5,25m), 31°(lebar 4,5m), 33°(lebar 3,75m) dan 35°(lebar 3m).
4. Sudut kemiringan lereng tunggal 50° digunakan sebagai dasar dalam perancangan geometri lereng keseluruhan.
5. Percepatan seismik horizontal digunakan berdasarkan Gambar 3.15 Peta Zonasi Gempa Indonesia bernilai <0,25 gal.
6. Lereng keseluruhan dianggap stabil apabila sesuai dengan kriteria Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 (FK >1,2-1,3 dan PL <15%-20%), namun dengan pertimbangan perusahaan diubah menjadi FK >1,2 karena lokasi IUP jauh dari pemukiman dan tinggi lereng keseluruhan kategori rendah.
7. Metode kestabilan lereng yang digunakan adalah Kestimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*) metode Bishop, Janbu, GLE/Morgenstern-Price dan Analisis Probabilistik (*Probabilistic of Failure*) dengan pendekatan perhitungan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb.

#### **4.4. Hasil Analisis Kestabilan Lereng**

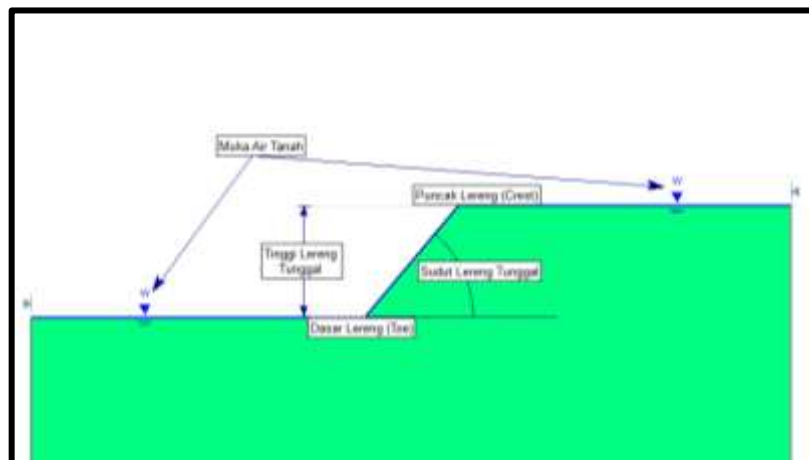
Analisis kestabilan lereng untuk lereng tunggal dan lereng keseluruhan menggunakan masukan data *Mean* (rata-rata), *Standard Deviation*, *Relative Minimum* dan *Relative Maximum* dari hasil uji laboratorium, dengan asumsi bahwa karakteristik batuan sejenis pada lokasi penyelidikan dianggap homogen sebagai data masukan dalam perhitungan nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor.

Tabel 4.7  
Parameter Masukan Analisis Lereng

<i>Lithology</i>	<i>Parameter</i>	<i>Mean</i>	<i>Standard Deviation</i>	<i>Relative Minimum</i>	<i>Relative Maximum</i>
<i>Soil</i>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	23,583	3,679	3,883	3,433
	c (kPa)	15,007	0,992	1,038	0,937
	$\phi$ (°)	29,578	6,250	6,841	5,410
<i>Limonite</i>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	22,700	2,741	2,028	4,180
	c (kPa)	29,047	20,182	11,825	35,637
	$\phi$ (°)	42,694	8,404	7,387	7,898
<i>Saprolite</i>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	20,849	0,236	0,167	0,167
	c (kPa)	20,544	0,592	0,418	0,419
	$\phi$ (°)	38,173	4,686	3,313	3,313
<i>Peridotite</i>	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	24,811	0,000	0,000	0,000
	c (kPa)	139,313	1,983	1,402	1,402
	$\phi$ (°)	32,080	1,442	1,020	1,020

#### 4.4.1 Analisis Kestabilan Lereng Tunggal

Analisis kestabilan lereng tunggal menggunakan data bobot isi ( $\gamma$ ), nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) yang didapat berdasarkan hasil pengujian laboratorium. Data masukan yang digunakan untuk analisis lereng tunggal dapat dilihat pada Tabel 4.7. Hasil perhitungan didapat dari pemodelan lereng pada masing-masing litologi dengan tinggi lereng lima meter serta variasi sudut kemiringan lereng mulai dari 40°, 45°, 50°, 55° dan 60°. Hasil analisis FK dan PL dengan tinggi 5 meter lihat Tabel 4.8, Tabel 4.9, Tabel 4.10 dan Tabel 4.11, untuk lebih lengkap permodelannya dapat dilihat pada Lampiran G.



Gambar 4.6  
Model Geometri Lereng Tunggal

Tabel 4.8  
 Hasil Analisis Faktor Keamanan Lereng Tunggal Kondisi Jenuh

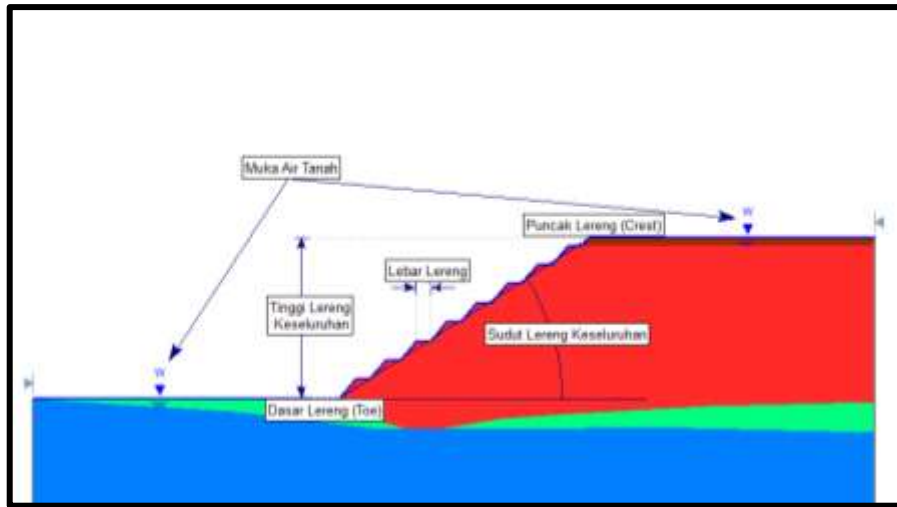
Litologi	Sudut Kemiringan Lereng	Nilai Faktor Keamanan		
		Bishop	Janbu	GLE
<i>Limonite</i>	40°	1,688	1,491	2,01
	45°	1,58	1,416	1,595
	50°	1,483	1,329	1,495
	55°	1,376	1,249	1,386
	60°	1,265	1,159	1,283
<i>Saprolite</i>	40°	1,287	1,134	1,305
	45°	1,198	1,071	1,213
	50°	1,116	0,995	1,129
	55°	1,024	0,925	1,038
	60°	0,931	0,845	0,946
<i>Peridotite</i>	40°	4,195	3,672	4,209
	45°	4,228	3,694	4,242
	50°	4,255	3,712	4,269
	55°	4,279	3,729	4,293
	60°	4,286	3,72	4,302

Tabel 4.9  
 Hasil Analisis Probabilitas Longsor Lereng Tunggal Kondisi Jenuh

Litologi	Sudut Kemiringan Lereng	Nilai Probabilitas Longsor (%)		
		Bishop	Janbu	GLE
<i>Limonite</i>	40°	0	0,1	0
	45°	14,4	22,5	11,5
	50°	0,9	6,9	0,5
	55°	6,8	12,6	4,929
	60°	11,5	19,7	19
<i>Saprolite</i>	40°	0	0	0
	45°	0	0	0
	50°	0	60,7	0
	55°	2,9	100	0,1
	60°	100	100	100
<i>Peridotite</i>	40°	0	0	0
	45°	0	0	0
	50°	0	0	0
	55°	0	0	0
	60°	0	0	0



#### 4.4.2 Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan



Gambar 4.7  
Model Geometri Lereng Keseluruhan

Analisis kestabilan lereng keseluruhan dilakukan pada penampang sayatan yang memotong lubang bor geoteknik. Analisis kestabilan lereng menggunakan nilai parameter hasil uji laboratorium dengan nilai rata-rata, metode kesetimbangan batas, variasi kemiringan lereng (lebar lereng) keseluruhan  $27^\circ(6\text{m})$ ,  $29^\circ(5,25\text{m})$ ,  $31^\circ(4,5\text{m})$ ,  $33^\circ(3,75\text{m})$  dan  $35^\circ(3\text{m})$ , serta variasi ketinggian bentuk aliran air bawah permukaan mengikuti grafik/chart aliran air bawah permukaan *Hoek & Bray*, 1981.

Analisis lereng keseluruhan lubang bor geoteknik J070913 untuk sayatan *north-south* direncanakan hingga ketinggian 27 meter sedangkan untuk lubang bor geoteknik J092529 untuk sayatan *north-south* direncanakan hingga ketinggian 42 meter.

Analisis lereng keseluruhan digunakan untuk mengetahui sudut kemiringan lereng optimum yang dapat dibentuk pada daerah penambangan. Lereng keseluruhan dikatakan aman apabila memiliki  $FK \geq 1,2$ .

Analisis ketinggian lereng jenuh pada sudut kemiringan lereng optimum dilakukan untuk mengetahui batas ketinggian maksimum lereng tanpa perlu dilakukan drainase serta untuk mengetahui ketinggian lereng maksimum saat kondisi lereng jenuh.

Untuk parameter batuan yang digunakan dalam analisis lereng keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.12.

4.4.2.1 Analisis Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik J070913/GT06/SCM untuk Sayatan *North-South*

Hasil permodelan lereng keseluruhan dikorelasikan berdasarkan variasi sudut kemiringan lereng (lebar lereng) untuk ketinggian lereng 27 m.

Tabel 4.10

Hasil Analisis Faktor Keamanan Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik J070913/GT06/SCM untuk Sayatan *North-South* Ketinggian 27 meter

Sudut Lereng Keseluruhan	Lebar Bench	Muka Air Tanah	Faktor Keamanan		
			Bishop	Janbu	GLE
27°	6 m	Kering	1,375	1,293	1,378
		8H	1,252	1,135	1,255
		4H	1,088	0,98	1,101
		2H	0,827	0,754	0,846
		Jenuh	0,708	0,649	0,732
29°	5,25 m	Kering	1,316	1,246	1,314
		8H	1,203	1,077	1,214
		4H	1,039	0,932	1,051
		2H	0,787	0,712	0,815
		Jenuh	0,667	0,61	0,695
31°	4,5 m	Kering	1,26	1,18	1,261
		8H	1,164	1,024	1,168
		4H	1,009	0,897	1,025
		2H	0,754	0,678	0,779
		Jenuh	0,631	0,559	0,651
33°	3,75 m	Kering	1,206	1,129	1,206
		8H	1,129	0,986	1,126
		4H	0,967	0,864	0,982
		2H	0,713	0,635	0,742
		Jenuh	0,585	0,521	0,617
35°	3 m	Kering	1,142	1,08	1,141
		8H	1,088	0,956	1,085
		4H	0,944	0,843	0,963
		2H	0,685	0,613	0,707
		Jenuh	0,532	0,484	0,56

Tabel 4.11  
 Hasil Analisis Probabilitas Longsor Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik  
 J070913/GT06/SCM untuk Sayatan *North-South* Ketinggian 27 meter

Sudut Lereng Keseluruhan	Lebar Bench	Muka Air Tanah	Probabilitas Longsor (%)		
			Bishop	Janbu	GLE
27°	6 m	Kering	0	0	0
		8H	0	0	0
		4H	2,2	55,1	1,4
		2H	100	100	100
		Jenuh	100	100	100
29°	5,25 m	Kering	0	0	0
		8H	0	7,4	0
		4H	18,4	83,4	12,1
		2H	100	100	100
		Jenuh	100	100	100
31°	4,5 m	Kering	0	0	0
		8H	0	31,2	0
		4H	37,2	96,7	25,8
		2H	100	100	100
		Jenuh	100	100	100
33°	3,75 m	Kering	0	0,9	0
		8H	0,4	53,3	0,6
		4H	67	100	55,6
		2H	100	100	100
		Jenuh	100	100	100
35°	3 m	Kering	0,2	6,1	0,1
		8H	3,6	72,1	4,1
		4H	77,3	100	66,713
		2H	100	100	100
		Jenuh	100	100	100

4.4.2.2 Analisis Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik J070913/GT06/SCM untuk Sayatan *North-South*

Hasil permodelan lereng keseluruhan dikorelasikan berdasarkan variasi sudut kemiringan lereng untuk ketinggian lereng 42 m.

Tabel 4.12

Hasil Analisis Faktor Keamanan Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik J092529/GT07/SCM untuk Sayatan *North-South* Ketinggian 42 meter

Sudut Lereng Keseluruhan	Lebar Bench	Muka Air Tanah	Faktor Keamanan		
			Bishop	Janbu	GLE
27°	6 m	Kering	1,508	1,409	1,512
		8H	1,292	1,156	1,307
		4H	1,129	1,004	1,151
		2H	0,821	0,741	0,857
		Jenuh	0,797	0,835	0,718
29°	5,25 m	Kering	1,441	1,346	1,449
		8H	1,263	1,12	1,278
		4H	1,108	0,977	1,134
		2H	0,814	0,734	0,847
		Jenuh	0,744	0,672	0,787
31°	4,5 m	Kering	1,35	1,275	1,355
		8H	1,235	1,083	1,251
		4H	1,09	0,948	1,108
		2H	0,794	0,726	0,818
		Jenuh	0,675	0,616	0,714
33°	3,75 m	Kering	1,283	1,206	1,284
		8H	1,206	1,046	1,216
		4H	1,054	0,919	1,062
		2H	0,771	0,706	0,796
		Jenuh	0,624	0,559	0,665
35°	3 m	Kering	1,207	1,136	1,211
		8H	1,145	1,011	1,149
		4H	0,998	0,886	1,004
		2H	0,734	0,666	0,762
		Jenuh	0,558	0,498	0,605

Tabel 4.13  
 Hasil Analisis Probabilitas Longsor Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik  
 J092529/GT07/SCM untuk Sayatan *North-South* Ketinggian 42 meter

Sudut Lereng Keseluruhan	Lebar Bench	Muka Air Tanah	Probabilitas Longsor (%)		
			Bishop	Janbu	GLE
27°	6 m	Kering	0	0	0
		8H	0	4,2	0
		4H	7,6	34,5	2,3
		2H	76,9	94	66,2
		Jenuh	80,5	73	95,1
29°	5,25 m	Kering	0	0	0
		8H	0	9,7	0
		4H	11,7	44,5	4,2
		2H	80,5	95,4	71,3
		Jenuh	91,4	98,1	84,1
31°	4,5 m	Kering	0	1,9	0
		8H	0,4	16,1	0
		4H	15,1	53,7	14,5
		2H	84,1	95,5	80,3
		Jenuh	96,9	99,9	94,8
33°	3,75 m	Kering	1,7	5,2	1,6
		8H	5	25,8	5
		4H	23	65,4	21,3
		2H	86,7	95,4	83,4
		Jenuh	99,4	100	97,3
35°	3 m	Kering	5,5	11,5	5,4
		8H	10,2	37,3	10,2
		4H	31,8	76,8	30,6
		2H	85,3	98,6	81,928
		Jenuh	100	100	99,798

## **BAB V**

### **PEMBAHASAN**

PT. Sulawesi Cahaya Mineral merupakan perusahaan penambangan bijih nikel laterit dengan metode penambangan tambang terbuka (*open pit mining*) yang akan membuka kegiatan penambangannya di Kecamatan Rounta, Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara. Pada kegiatan penambangan, semakin tegak lereng maka akan semakin banyak perolehan bahan galian yang didapatkan. Akan tetapi semakin tegak suatu lereng, kemungkinan terjadinya longsor pada lereng tersebut juga semakin besar. Oleh karena itu untuk menentukan kemiringan lereng yang optimum dibutuhkan suatu rekomendasi geoteknik, berupa rancangan geometri lereng tunggal (*singe slope*) dan rancangan geometri lereng keseluruhan (*overall slope*), sehingga akan mengurangi kemungkinan terjadinya longsor dan menciptakan kondisi kerja yang lebih aman.

#### **5.1. Analisis Rancangan Lereng**

##### **5.1.1 Rancangan Lereng Tunggal**

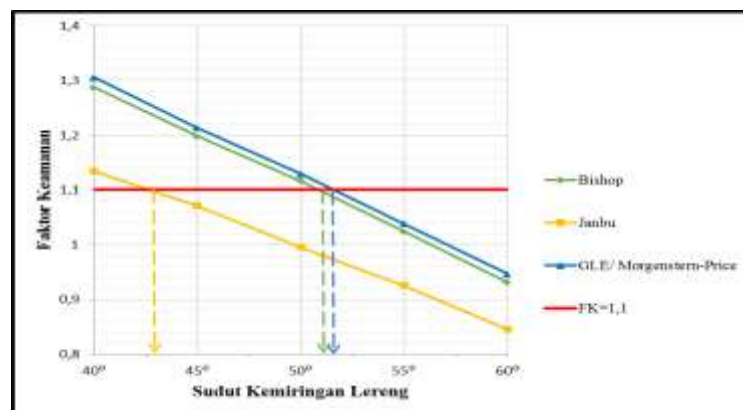
Geometri lereng meliputi tinggi dan sudut lereng sangat mempengaruhi kestabilan dari suatu lereng. Jika terjadi perubahan geometri jenjang maka akan mempengaruhi besar kecilnya nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor lereng. Semakin besar nilai FK maka semakin aman keadaan lereng tersebut, akan tetapi semakin besar nilai PL maka semakin tidak aman keadaan lereng tersebut. Adanya perubahan geometri lereng maka tingkat kestabilan suatu lereng juga berbeda. Salah satu cara untuk meningkatkan tingkat kestabilan lereng yaitu dengan cara melandaikan lereng dengan mengurangi sudut kemiringan lereng. Pengaruh geometri lereng terhadap besar kecilnya nilai FK dan PL yang menentukan lereng tersebut dapat dikatakan aman atau tidak dapat dilihat pada Tabel 4.8, Tabel 4.9, Tabel 4.10 dan Tabel 4.11.

Pada perancangan geometri lereng tunggal dilakukan simulasi permodelan dengan tinggi lereng tunggal 5 meter dan variasi sudut kemiringan lereng

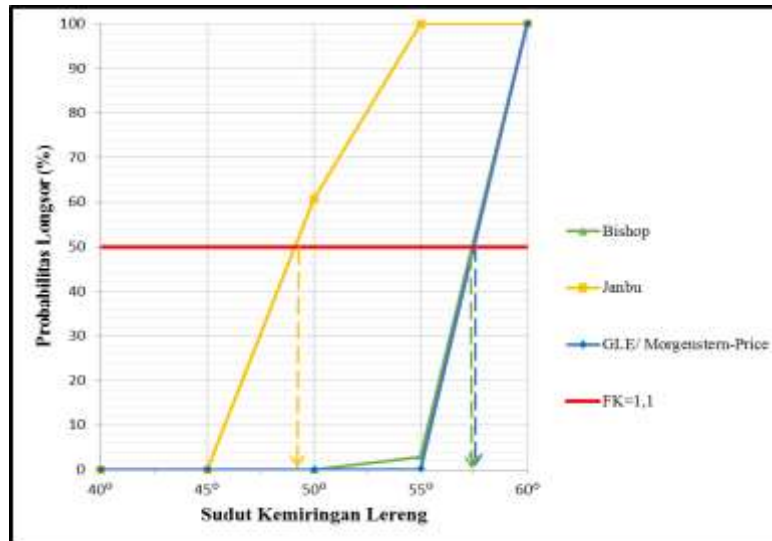
40°,45°,50°,55° dan 60°. Penentuan tinggi geometri lereng tunggal 5 meter disesuaikan dengan spesifikasi “*maximum digging depth*” (5380 mm) alat gali muat yang digunakan oleh perusahaan (*Backhoe* Komatsu PC-200) serta tidak dilakukan simulasi permodelan lereng dengan sudut kemiringan yang curam dikarenakan litologi yang berada di daerah penelitian termasuk dalam klasifikasi tanah (*soil*) dan batuan dengan kekuatan sangat lemah (*very low strength*) berdasarkan tabel klasifikasi kekuatan batuan menurut Bieniawski, 1973.

Dalam merancang suatu lereng hal yang diperhatikan adalah batas geometri maksimal suatu lereng yang dapat dibentuk untuk memperoleh lereng yang stabil. Setelah dilakukan simulasi permodelan menggunakan perangkat lunak *Rockscience Slide v.8.0*, didapat hasil bahwa pada lereng tunggal kondisi jenuh dengan ketinggian 5m material *saprolite* merupakan material yang memiliki nilai FK dan PL yang paling rendah, sehingga dapat mewakili semua material sebagai kondisi paling pesimis.

Pemilihan geometri lereng tunggal dilakukan dengan ketentuan bahwa permodelan lereng tunggal tersebut memiliki nilai  $FK \geq 1,1$  dan  $PL \leq 25\%-50\%$  pada kondisi muka air tanah jenuh. Sesuai hasil perolehan nilai FK dan PL yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 serta analisis pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2, dapat disimpulkan bahwa dengan metode Bishop dan Morgenstern-Price sudut kemiringan lereng tunggal 50° adalah geometri yang optimal dan masih dalam kondisi stabil ( $FK \geq 1,1$  dan  $PL \leq 25\%-50\%$ ), sehingga geometri tersebut dapat diterima untuk diaplikasikan pada rancangan lereng keseluruhan.



Gambar 5.1  
 Analisis Faktor Keamanan Lereng Tunggal Litologi Saprolit  
 Dalam Kondisi Jenuh Berdasarkan Variasi Sudut Kemiringan Lereng



Gambar 5.2

Analisis Probabilitas Longsor Lereng Tunggal Litologi Saprolit Dalam Kondisi Jenuh Berdasarkan Variasi Sudut Kemiringan Lereng

Dilihat dari Tabel 4.8, Tabel 4.9, Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 dapat disimpulkan bahwa :

1. Saprolite merupakan material yang memiliki nilai FK yang paling rendah dan PL yang paling tinggi, sehingga dapat mewakili semua material sebagai kondisi paling pesimis.
2. Nilai probabilitas longsor berbanding terbalik dengan nilai faktor keamanan. Semakin jenuh kondisi lereng nilai FK akan semakin kecil. Berbanding terbalik dengan probabilitas longsor, semakin jenuh kondisi lereng nilai PL akan semakin besar.
3. Analisis grafis nilai FK pada permodelan lereng tunggal dengan variasi kemiringan menghasilkan hubungan persamaan linear.
4. Pada lereng jenuh dengan ketinggian 5 m, sudut kemiringan lereng tunggal 50° adalah geometri yang optimal.
5. Nilai probabilitas longsor berbanding terbalik dengan nilai faktor keamanan.

#### 5.2.2 Rancangan Lereng Keseluruhan

Lereng keseluruhan dirancang dari gabungan beberapa lereng tunggal, maka diperlukan simulasi permodelan menggunakan perangkat lunak *Rockscience Slide v.8.0* untuk mendapatkan nilai FK dan PL sehingga bisa diketahui apakah geometri lereng keseluruhan dalam kondisi stabil atau tidak. Analisis lereng



keseluruhan diawali dengan mensimulasikan variasi kemiringan lereng (lebar lereng) keseluruhan  $27^\circ(6\text{m})$ ,  $29^\circ(5,25\text{m})$ ,  $31^\circ(4,5\text{m})$ ,  $33^\circ(3,75\text{m})$  dan  $35^\circ(3\text{m})$  dengan geometri lereng tunggal dengan ketinggian 5 meter.

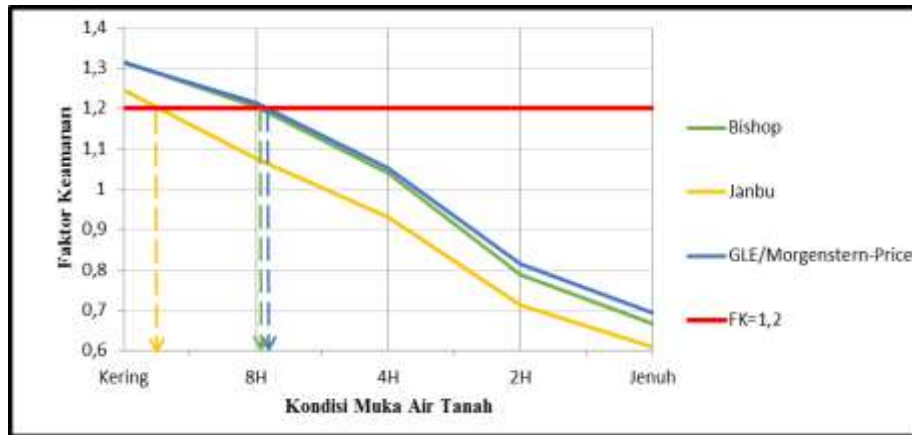
Rancangan lereng yang stabil dapat meminimalkan kemungkinan terjadinya longsor. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kestabilan lereng, dan ada kriteria tertentu suatu lereng dapat dikatakan stabil atau tidak. Penelitian ini menggunakan nilai FK deterministik dan nilai PL, dimana lereng keseluruhan dapat dikatakan stabil/aman apabila lereng tersebut memiliki nilai  $FK \geq 1,2$  dan nilai  $PL \leq 15\%-20\%$  sesuai aturan yang telah ditetapkan.

Pemilihan rekomendasi geometri lereng keseluruhan didasarkan oleh beberapa ketentuan yaitu:

1. Lereng keseluruhan dibentuk oleh geometri lereng tunggal dengan sudut kemiringan lereng tunggal  $50^\circ$ .
2. Hasil permodelan lereng keseluruhan berada pada kondisi stabil/aman apabila memiliki nilai  $FK \geq 1,2$  dan nilai  $PL \leq 15\%-20\%$ .
3. MAT pada kondisi paling pesimis yaitu pada kondisi agak kering (8H). Tinggi MAT kering tidak dipakai karena lereng pada kondisi kering tanpa ada air jarang terjadi.

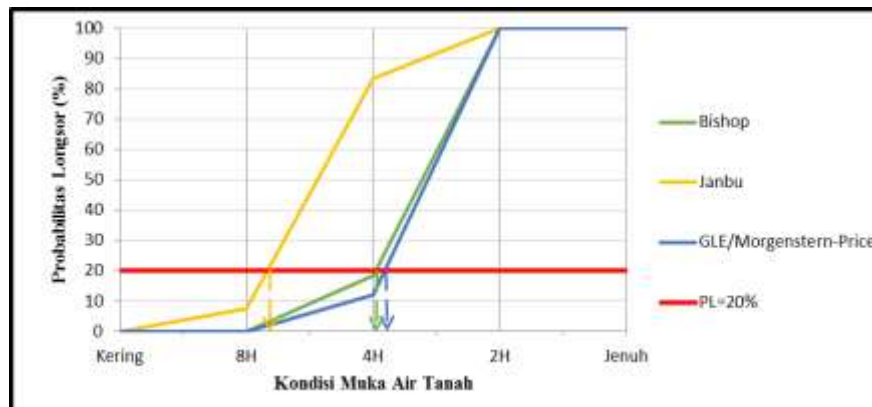
Berdasarkan hasil analisis simulasi permodelan geometri lereng keseluruhan, dapat ditentukan geometri lereng keseluruhan optimum yang memenuhi ketentuan-ketentuan diatas.

1. Berdasarkan nilai FK dan PL hasil simulasi permodelan pada Tabel 4.10, Tabel 4.11 dan analisis grafis pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4, dapat ditentukan geometri lereng keseluruhan lubang bor geoteknik J070913/GT06/SCM sayatan *north-south* ketinggian 27 m yang optimum. Dapat disimpulkan bahwa dengan metode Bishop dan Morgenstern-Price, sudut kemiringan lereng keseluruhan  $29^\circ$  adalah geometri yang optimal dan masih dalam kondisi stabil ( $FK \geq 1,2$  dan  $PL \leq 15\%-20\%$ ) pada kondisi MAT agak kering (8H). Dimana sudut kemiringan lereng keseluruhan  $29^\circ$  bisa didapatkan apabila menerapkan jenjang dengan lebar 5,25 m.



Gambar 5.3

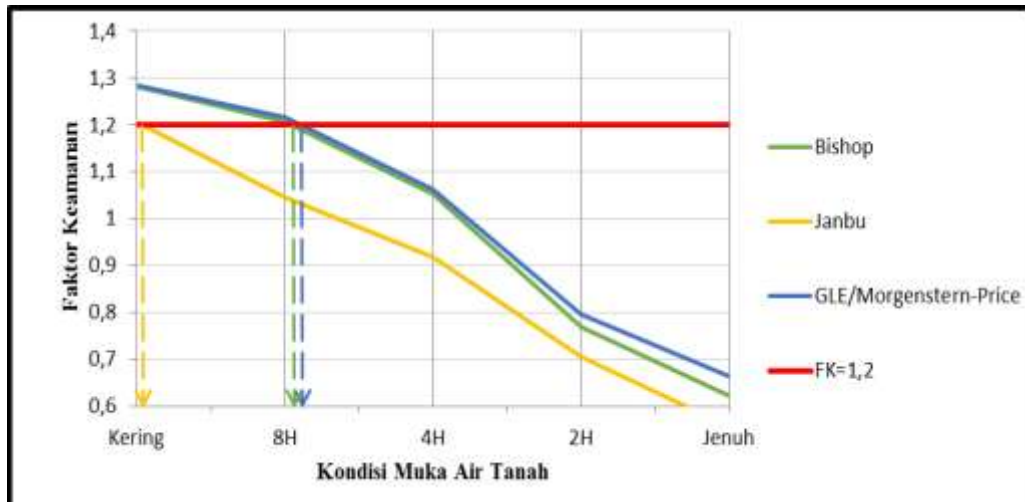
Analisis Faktor Keamanan Lereng Keseluruhan dengan Kemiringan 29° pada Lubang Bor Geoteknik J070913/GT06/SCM untuk Sayatan *North-South* Ketinggian 27 meter



Gambar 5.4

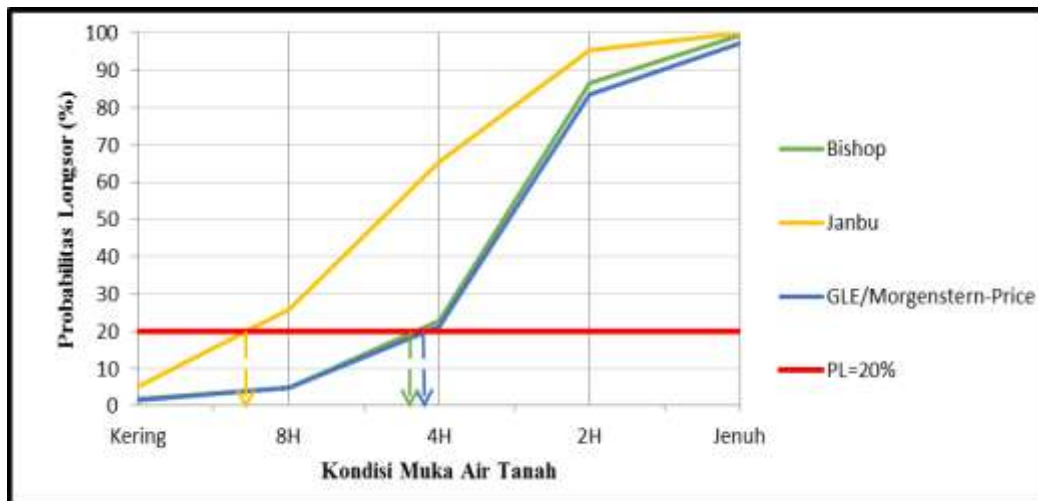
Analisis Probabilitas Longsor Lereng Keseluruhan dengan Kemiringan 29° pada Lubang Bor Geoteknik J070913/GT06/SCM untuk Sayatan *North-South* Ketinggian 27 meter

2. Berdasarkan nilai FK dan PL hasil simulasi permodelan pada Tabel 4.12, Tabel 4.13 dan analisis grafis pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6, dapat ditentukan geometri lereng keseluruhan lubang bor geoteknik J092529/GT07/SCM sayatan north-south ketinggian 42 m yang optimum. Dapat disimpulkan bahwa dengan metode Bishop dan Morgenstern-Price, sudut kemiringan lereng keseluruhan 33° adalah geometri yang optimal dan masih dalam kondisi stabil ( $FK \geq 1,2$  dan  $PL \leq 15\%-20\%$ ) pada kondisi MAT agak kering (8H). Dimana sudut kemiringan lereng keseluruhan 33° bisa didapatkan apabila menerapkan jenjang dengan lebar 3,75 m.



Gambar 5.5

Analisis Faktor Keamanan Lereng Keseluruhan dengan Kemiringan  $33^\circ$  pada Lubang Bor Geoteknik J092529/GT07/SCM untuk Sayatan *North-South* Ketinggian 42 meter



Gambar 5.6

Analisis Probabilitas Longsor Lereng Keseluruhan dengan Kemiringan  $33^\circ$  pada Lubang Bor Geoteknik J092529/GT07/SCM untuk Sayatan *North-South* Ketinggian 42 meter

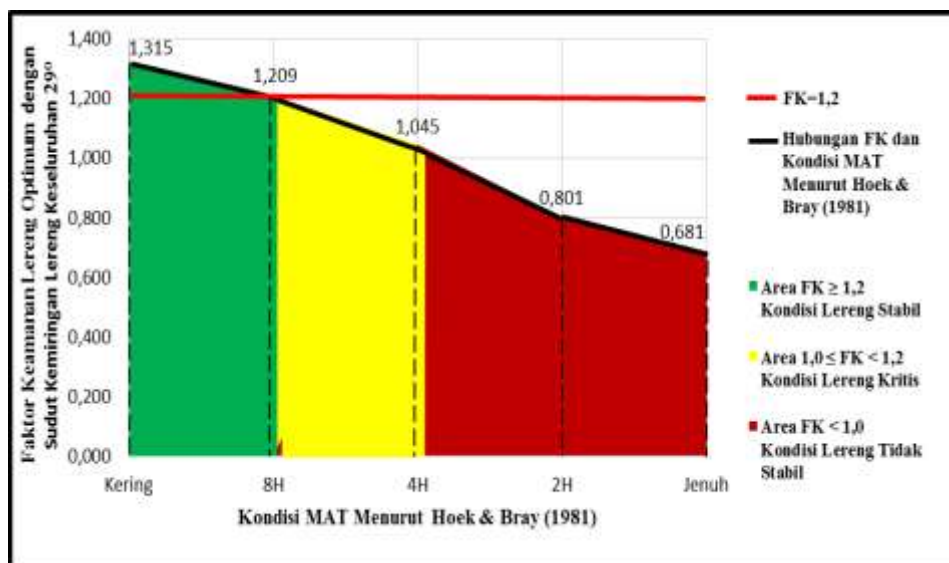
Berdasarkan simulasi permodelan rancangan geometri lereng pada sayatan *north-south* yang memotong lubang bor geoteknik J070913 dan sayatan *north-south* yang memotong lubang bor geoteknik J092529, didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 4.10, Tabel 4.11, Tabel 4.12 dan Tabel 4.13. Dari hasil simulasi permodelan tersebut, kemudian diolah menjadi analisis grafis yang dapat dilihat pada Gambar 5.3, Gambar 5.4, Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 yang kemudian dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Nilai probabilitas longsor berbanding terbalik dengan nilai faktor keamanan. Semakin jenuh kondisi lereng nilai FK akan semakin kecil. Berbanding terbalik dengan probabilitas longsor, semakin jenuh kondisi lereng nilai PL akan semakin besar.
2. Semakin landai geometri sudut kemiringan lereng keseluruhan maka faktor keamanan semakin besar, sedangkan semakin curam geometri sudut kemiringan lereng keseluruhan maka semakin kecil faktor keamanan.
3. Semakin kecilnya sudut kemiringan lereng keseluruhan maka akan diikuti dengan semakin kecilnya probabilitas longsor.
4. Semakin besarnya lebar *bench* lereng keseluruhan maka akan diikuti dengan semakin kecilnya faktor keamanan.
5. Berdasarkan analisis FK dan PL dengan metode Bishop dan Morgenstern-Price, geometri lereng optimum pada lubang bor J070913/GT06/SCM yang memiliki ketinggian 27m adalah lereng dengan sudut kemiringan keseluruhan  $29^\circ$  yang didapatkan dengan menerapkan jenjang dengan lebar 5,25m.
6. Berdasarkan analisis FK dan PL dengan metode Bishop dan Morgenstern-Price, geometri lereng optimum pada lubang bor J092529/GT07/SCM yang memiliki ketinggian 42m adalah lereng dengan sudut kemiringan keseluruhan  $33^\circ$  yang didapatkan dengan menerapkan jenjang dengan lebar 3,75m.

## **5.2. Analisis Area Pengaruh Kondisi MAT Terhadap Nilai FK Lereng Keseluruhan Optimum**

Gambar 5.7 menunjukkan lima kondisi MAT menurut *Hoek & Bray*, 1981 pada lereng keseluruhan lubang bor geoteknik J070913/GT06/SCM sayatan *north-south*, grafik pada gambar tersebut menunjukkan area nilai FK lereng optimum dengan sudut kemiringan keseluruhan  $29^\circ$ . Nilai masukan yang digunakan adalah hasil rata-rata nilai FK dengan metode Bishop dan Morgenstern-Price. Pada lereng keseluruhan lubang bor geoteknik J070913/GT06/SCM sayatan *north-south* yang bernilai  $FK \geq 1,2$  berada pada area berwarna hijau, bernilai  $FK = 1,2 - 1,0$  berada pada area berwarna kuning dan bernilai  $FK \leq 1,0$  berada pada area berwarna merah.

Area hijau menunjukkan toleransi keadaan lereng stabil, dimana keadaan stabil ( $FK \geq 1,2$ ) terjadi pada lereng kondisi kering hingga keadaan 5,487% lebih basah dari lereng kondisi agak kering (8H). Area kuning menunjukkan toleransi keadaan lereng kritis ( $FK = 1,2-1,0$ ), dimana keadaan kritis terjadi pada keadaan 5,487% lebih basah dari lereng kondisi agak kering (8H) hingga keadaan 18,442% lebih basah dari lereng kondisi sebagian jenuh (4H). Area merah menunjukkan toleransi keadaan lereng tidak stabil ( $FK \leq 1,0$ ), dimana keadaan tidak stabil terjadi pada keadaan 18,442% lebih basah dari lereng kondisi sebagian jenuh (4H) hingga lereng kondisi jenuh.

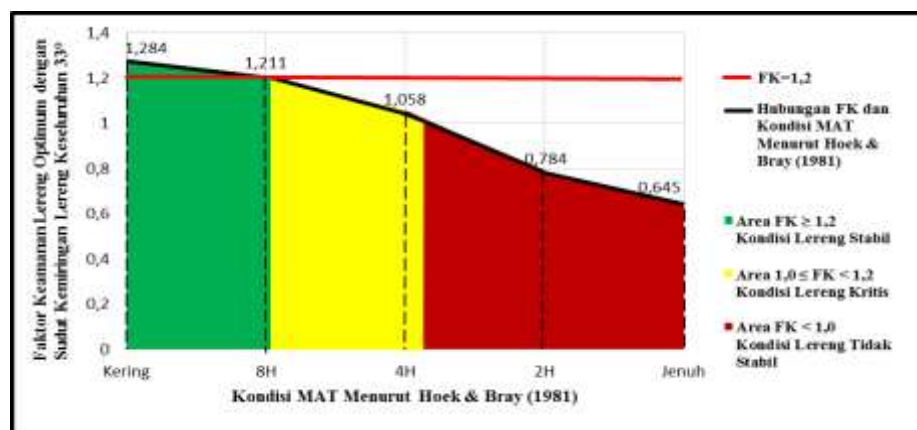


Gambar 5.7

Analisis Area Pengaruh Kondisi MAT Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik J070913/GT06/SCM untuk Sayatan *North-South* dengan Ketinggian 27 meter dan Sudut Kemiringan Lereng Keseluruhan  $29^\circ$

Gambar 5.8 menunjukkan lima kondisi MAT menurut *Hoek & Bray*, 1981 pada lereng keseluruhan lubang bor geoteknik J092529/GT07/SCM sayatan *north-south*, grafik pada gambar tersebut menunjukkan area nilai FK lereng optimum dengan sudut kemiringan keseluruhan  $33^\circ$ . Nilai masukan yang digunakan adalah hasil rata-rata nilai FK dengan metode Bishop dan Morgenstern-Price. Pada lereng keseluruhan lubang bor geoteknik J092529/GT07/SCM sayatan *north-south* yang bernilai  $FK \geq 1,2$  berada pada area berwarna hijau, bernilai  $FK = 1,2-1,0$  berada pada area berwarna kuning dan bernilai  $FK \leq 1,0$  berada pada area berwarna merah.

Area hijau menunjukkan toleransi keadaan lereng stabil, dimana keadaan stabil ( $FK \geq 1,2$ ) terjadi pada lereng kondisi kering hingga keadaan 7,189% lebih basah dari lereng kondisi agak kering (8H). Area kuning menunjukkan toleransi keadaan lereng kritis ( $FK = 1,2-1,0$ ), dimana keadaan kritis terjadi pada keadaan 7,189% lebih basah dari lereng kondisi agak kering (8H) hingga keadaan 21,167% lebih basah dari lereng kondisi sebagian jenuh (4H). Area merah menunjukkan toleransi keadaan lereng tidak stabil ( $FK \leq 1,0$ ), dimana keadaan tidak stabil terjadi pada keadaan 21,167% lebih basah dari lereng kondisi sebagian jenuh (4H) hingga lereng kondisi jenuh.

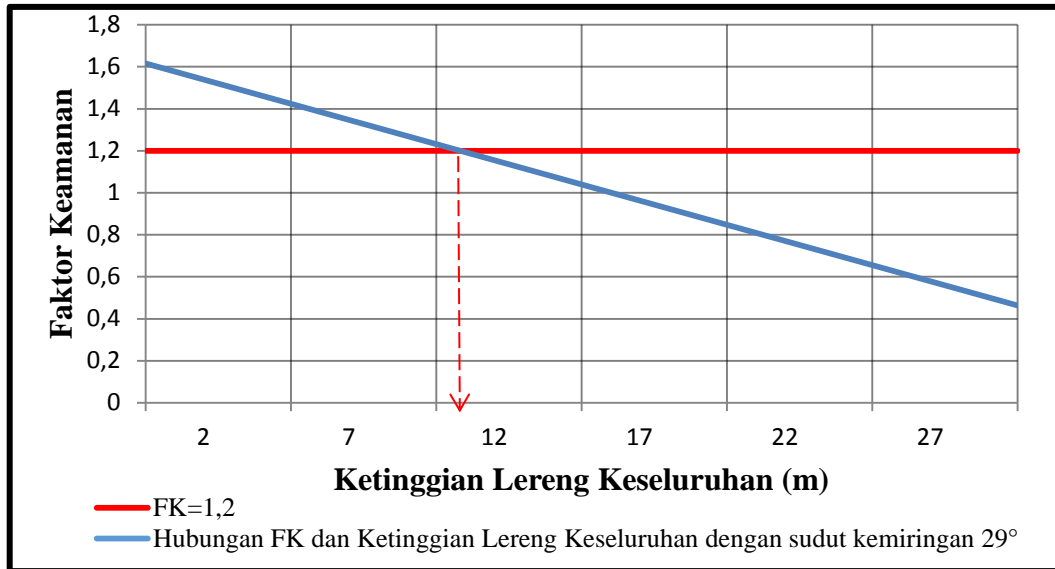


Gambar 5.8

Analisis Area Pengaruh Kondisi MAT Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik J092529/GT07/SCM untuk Sayatan *North-South* dengan Ketinggian 42 meter dan Sudut Kemiringan Lereng Keseluruhan  $33^\circ$

Analisis batas ketinggian suatu lereng dalam kondisi terlemahnya atau saat kondisi jenuh air diperlukan untuk menentukan ketinggian maksimum pada kemiringan lereng optimum paling pesimis dan untuk memperkirakan batas ketinggian maksimum konstruksi lereng tanpa perlu dilakukan kegiatan drainase.

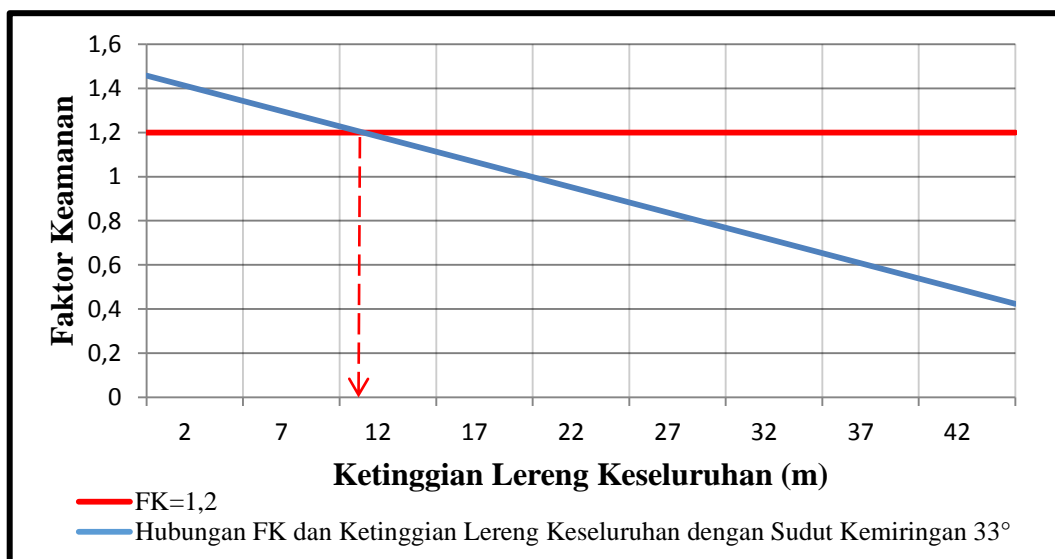
Lereng keseluruhan pada lubang bor geoteknik J070913/GT06/SCM sayatan *north-south* pada Gambar 5.9 menunjukkan batas ketinggian lereng  $29^\circ$  yang masih dalam keadaan stabil meskipun dalam kondisi jenuh 11 meter, sehingga lereng keseluruhan pada lubang bor geoteknik J070913/GT06/SCM sayatan *north-south* dapat dikonstruksi tanpa perlu dilakukan drainase hingga ketinggian lereng 11 meter.



Gambar 5.9

Analisis Ketinggian Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik  
J070913/GT06/SCM untuk Sayatan *North-South*

Lereng keseluruhan pada lubang bor geoteknik J092529/GT07/SCM sayatan *north-south* pada Gambar 4.14 menunjukkan batas ketinggian lereng  $33^\circ$  yang masih dalam keadaan stabil meskipun dalam kondisi jenuh ialah 11 meter, sehingga lereng keseluruhan pada lubang bor geoteknik J092529/GT07/SCM sayatan *north-south* dapat dikonstruksi tanpa perlu dilakukan drainase hingga ketinggian lereng 11 m.

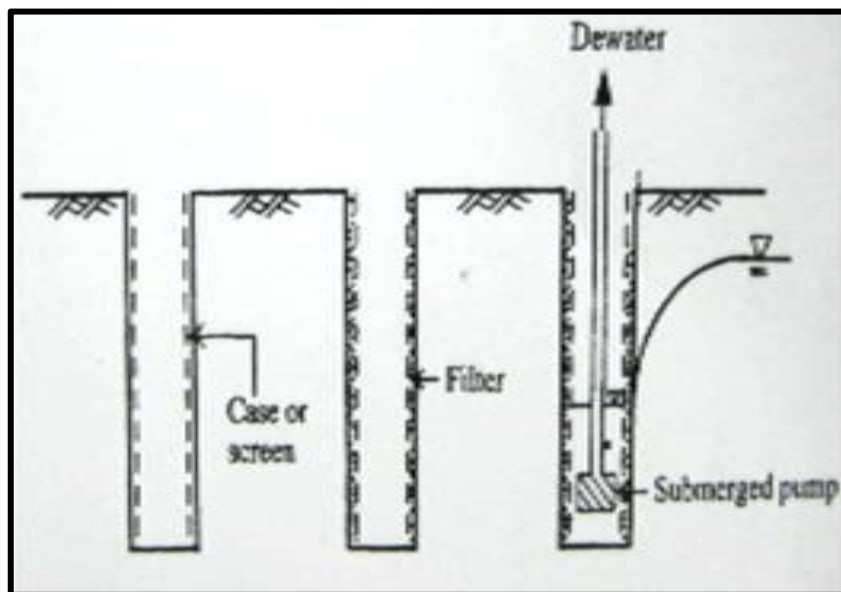


Gambar 5.10

Analisis Ketinggian Lereng Keseluruhan Lubang Bor Geoteknik  
J092529/GT07/SCM untuk Sayatan *North-South*

Sebelum dilakukan konstruksi lereng keseluruhan dengan ketinggian lebih dari 11 meter, perlu dilakukan penanganan terhadap air tanah pada lereng yaitu dengan menerapkan metode penyaliran *Mine Drainage*. Perlu diterapkannya *Mine Drainage* karena selain bermanfaat untuk menjaga kestabilan lereng, berguna juga untuk mencegah masuknya air ke daerah penambangan. Dalam penerapan *Mine Drainage*, metode Pemompaan Dalam (*Deep Well Pump*) merupakan metode yang dapat digunakan untuk menurunkan muka air tanah pada lereng hingga berada pada kondisi yang diharapkan yaitu Agak Kering (8H).

Metode *Deep Well Pump* umumnya dilakukan dengan menggunakan bantuan pompa *submersible* (jenis pompa yang dapat diletakkan di dalam air) atau dapat juga menggunakan pompa sentrifugal. Dalam metode ini, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah melakukan konstruksi sumuran sesuai dengan kedalaman yang telah didesain. Selanjutnya kedalam sumuran tersebut di pasang suatu selubung dengan maerial seperti PVC untuk mengurangi resiko keruntuhan dinding lubang bor. Diameter selubung dan dinding sumuran kemudian diisi dengan material granular (pasir) yang berfungsi sebagai filter. Pompa dimasukkan ke dalam lubang bor dan pompa akan bekerja secara otomatis jika tercelup air. Sesuai dengan jenis dan susunan pompa yang digunakan, kedalaman memompa bisa mencapai lebih dari 50 meter.



Gambar 5.11  
Konstruksi *Deep Well* (Budiarto, 1997)



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian dan hasil penelitian serta pembahasan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan:

1. Setelah dilakukan analisis kestabilan lereng dengan menggunakan analisis probabilitas dan metode kesetimbangan batas didapatkan alternatif geometri lereng sebagai berikut:
  - a. Pada lereng tunggal litologi saprolit (litologi terlemah) kondisi jenuh diperoleh geometri lereng dengan sudut  $50^\circ$  dan tinggi 5 meter. Dengan menggunakan metode Bishop diperoleh nilai  $FK = 1,116$  dan  $PL = 0\%$ , sedangkan dengan metode GLE/Morgenstern-Price diperoleh nilai  $FK = 1,129$  dan  $PL = 0\%$ .
  - b. Pada lereng keseluruhan J070913/GT06 sayatan *North-South* dengan tinggi 27 meter diperoleh geometri lereng dengan kemiringan  $29^\circ$  dan lebar *bench* 5,25 meter pada kondisi Agak Kering (8H). Dengan menggunakan metode Bishop diperoleh nilai  $FK = 1,203$  dan  $PL = 0\%$ , dengan metode GLE/Morgenstern-Price diperoleh nilai  $FK = 1,214$  dan  $PL = 0\%$ , sedangkan dengan metode Janbu hanya nilai  $PL$  yang dapat dinyatakan stabil yaitu 7,4%.
  - c. Pada lereng keseluruhan J092529/GT07 sayatan *North-South* dengan tinggi 42 meter diperoleh geometri lereng dengan kemiringan  $33^\circ$  dan lebar *bench* 3,75 meter pada kondisi Agak Kering (8H). Dengan menggunakan metode Bishop diperoleh nilai  $FK = 1,206$  dan  $PL = 5\%$ , sedangkan dengan metode GLE/Morgenstern-Price diperoleh nilai  $FK = 1,216$  dan  $PL = 5\%$ .

2. Muka air tanah sangat berpengaruh terhadap nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor lereng sehingga hasil analisis area pengaruh MAT diperlukan sebagai parameter pengontrolan FK lereng:
  - a. Lereng keseluruhan J070913/GT06 dengan geometri ketinggian 27 meter, kemiringan  $29^\circ$  dan lebar *bench* 5,25 meter berada pada keadaan stabil ( $FK \geq 1,2$ ) apabila MAT berada pada kondisi kering hingga keadaan 5,487% lebih basah dari lereng kondisi agak kering (8H).
  - b. Lereng keseluruhan J092529/GT07 dengan geometri ketinggian 42 meter, kemiringan  $33^\circ$  dan lebar *bench* 3,75 meter berada pada keadaan stabil ( $FK \geq 1,2$ ) apabila MAT berada pada kondisi kering hingga keadaan 7,189% lebih basah dari lereng kondisi agak kering (8H).

Hasil analisis batas ketinggian lereng optimum dalam kondisi terlemah atau kondisi lereng jenuh air:

- a. Lereng Keseluruhan J070913 sayatan *North-South* : 11 meter
- b. Lereng Keseluruhan J092529 sayatan *North-South* : 11 meter

## 6.2. Saran

1. Perlu dilakukan penambahan jumlah pengeboran geoteknik di pit Papa Bravo, agar data yang diperoleh dapat lebih mewakili kekuatan massa tanah dan batuan di semua wilayah pit Papa Bravo.
2. Perlu dilakukan tindakan pemantauan lereng untuk mengetahui kondisi dari lereng penggalian yang memungkinkan adanya masalah baru pada struktur geologi yang mempengaruhi kestabilan lereng, sehingga dapat menjadi menjadi informasi peringatan awal (*early warning*) untuk dapat dilakukan penindakan lebih awal merancang kembali lereng dan tindakan yang diperlukan.
3. Perlu dilakukan tindakan pemantauan kondisi MAT lereng dengan pemasangan *piezometer*, dengan tujuan untuk mendapatkan data tinggi MAT yang aktual setiap harinya. Serta dilakukan pula penanganan terhadap air permukaan dan air tanah dengan dibuat saluran penyaliran, baik dibagian atas maupun dibagian bawah lereng dengan tujuan untuk mengurangi kandungan air dalam badan lereng yang dapat menurunkan kuat geser material.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S. dan Boyce, G. M., 2002. *Slope Stability Concepts. Slope Stabilisation and Stabilisation Methods*, Second edition, published by John Willey & Sons, Inc
2. Arief, S. 2007. *Dasar-Dasar Analisis Kestabilan Lereng*. PT INCO, Sorowako
3. Arif, I. 2016. *Geoteknik Tambang Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
4. Azizi. 2014. *Pengembangan Metode Penentuan Reliabilitas Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara di Indonesia*. Bandung : Disertasi Institut Teknologi Bandung (ITB)
5. Bieniawski. 1973. *Engineering Classification of Jointed Rock Masses*. South Africa : Civil Engineering.
6. Bishop, A.W. 1955. *The Use of Slip Circle in the Stability Analysis of Slope*. *Geotechnique*.
7. Budiarto. 1997. *Sistem Penyaliran Tambang*. Jurusan Teknik Pertambangan, Faklutas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.
8. Casagrande, L. 1934. *Naherungsverfahren zur Ermittlung der Sickerung in geschutteten Dammen auf underchlaassiger Sohle*. *Die Bautechnik*.
9. Gadwin, G. 1981. *Soil Mechanics, 4<sup>th</sup> edition*. Erlangga, Jakarta.
10. Hamilton, W.B. 1979. *Tectonics of the Indonesian Region*. Washington : United States Department of the Interior.
11. Hariyatno, H.C. 2014. *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
12. Hoek, E. dan Bray, J. 1981. *Rock Slope Engineering*. London and New York: Institution of Mining and Metallurgy.
13. Irsyam, M., Faizal, L., Natawudjaja, D.H., Meilano, I., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Rudyanto, A., Hidayati, S., Asrurifak, M., Ridwan, M. Dan Cumming, P. 2017. *Peta Zonasi Gempa Indonesia*, Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia
14. Kadarusman, A., Miyashita, S., Maruyama, S., Parkinson, C.D. dan Ishikawa, A. 2004. *Setting Tektonik dan Peta Geologi Pulau Sulawesi*
15. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik*.

16. Morgentern, N.R dan Price, V.E. 1965. The Analysis of The Stability of General Slip Surface. Geothenuque. London.
17. PT. Sulawesi Cahaya Mineral. Dokumen Eksplorasi PT. Sulawesi Cahaya Mineral. Sulawesi Tenggara
18. Rai, M.A., Kramadibrata, S. dan Wattimena, R.K. 2013. Mekanika Batuan. Laboratorium Geomekanik dan Peralatan Tambang Institut Teknologi Bandung, Bandung.
19. Rusmana, E., Sukido, Sukarna, D., Haryono, E. dan Simanjuntak, T.O. 1993. Peta Geologi Lembar Lasusua Kendari, Sulawesi skala 1 : 250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
20. Saptono, S. 2012. Pengembangan Metode Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Karakterisasi Batuan di Tambang Terbuka Batubara, Disertasi, Institut Teknologi Bandung.
21. Simanjuntak, T.O., Rusmana, E., Sukido, Sukarna, D. dan Haryono E. 1993. Peta Geologi Lembar Lasusua, Konawe.
22. Tapia, A., Contreras, L.F., Jefferies, M. dan Steffen, O. 2007. *Risk Evaluation of Slope Failure at the Chuquicamata Mine, Australian Centre for Geomechanics, Perth.*
23. Standar Nasional Indonesia (SNI) 8460. 2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
24. Subekti, I. 2017. *Geologi Teknik*. Yogyakarta: Teknosain
25. Taylor, D.W. 1937. *Stability of Earth Slopes. J. Boston Soc. Civil Engineers.*
26. Wyllie, D.C. dan Mah, C.W. 2004. *Rock Slope Engineering (Civil and Mining) 4<sup>th</sup> edition*. New York: Spon Press.
27. Wesley, L.D. 2010. *Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

**LAMPIRAN A**  
**DATA CURAH HUJAN PT. SCM TAHUN 2004-2017**

Tabel A.1  
Jumlah Hari Hujan PT. SCM Tahun 2004

TANGGAL	BULAN											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
1	63	18	24	16	6	2	18	13	0	0	0	0
2	17	10	0	0	4	51	9	6	0	0	0	0
3	5	0	0	0	2	1	12	21	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	3	4	43	0	0	0	0
5	56	0	38	0	7	9	10	0	0	0	0	0
6	53	6	0	31	9	0	2	0	0	0	0	0
7	21	0	0	8	5	0	0	2	0	0	0	0
8	22	0	0	17	3	40	0	0	0	0	0	0
9	0	10	0	0	0	16	0	7	0	0	0	0
10	0	0	0	0	11	7	0	4	0	0	0	0
11	24	0	0	0	1	9	12	0	0	0	0	0
12	19	0	0	0	0	4	17	0	10	0	0	0
13	12	0	0	0	0	46	21	0	23	0	0	0
14	52	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0
15	38	0	3	53	0	0	7	0	0	0	0	0
16	26	0	0	42	0	0	3	0	0	0	0	0
17	10	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	18	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
19	6	0	0	0	0	18	18	0	0	0	0	0
20	31	0	26	0	0	42	25	0	0	0	0	0
21	49	0	0	16	0	17	0	2	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
23	6	0	0	24	0	0	4	0	0	0	0	0
24	18	6	0	10	0	3	8	0	0	0	0	0
25	3	0	0	0	0	2	27	0	0	0	0	0
26	0	0	0	42	0	19	21	0	0	0	0	0
27	0	0	13	18	0	22	13	0	0	0	0	0
28	0	4	0	40	10	35	19	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	29	3	0	0	0	0	0
30	0		52	26	0	9	0	0	0	0	0	0
31	0		0		0		0	0	0	0		0
Jml. Curah Hujan	531	72	164	343	58	392	262	99	33	0	0	0
Hujan Maks	63	18	52	53	11	51	27	43	23	0	0	0
Rata-rata	17.1	2.5	5.3	11.4	1.9	13.1	8.5	3.2	1.1	0.0	0.0	0.0
Jml. Hari Hujan	20	7	7	13	10	22	21	9	2	0	0	0

Tabel A.2  
Jumlah Hari Hujan PT. SCM Tahun 2005

TANGGAL	BULAN											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
1	0	17	0	0	12	0	0	15	0	0	0	5
2	18	29	0	0	39	6	6	9	0	0	0	0
3	12	7	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0
4	5	11	4	0	0	7	3	0	0	14	0	26
5	0	8	33	0	0	3	0	0	20	0	0	15
6	45	1	8	9	23	0	0	0	0	0	0	0
7	55	0	46	75	0	0	0	0	0	0	0	94
8	30	0	57	70	19	0	0	0	0	0	0	
9	15	18	1	81	15	7	0	0	0	0	0	0
10	20	20	0	80	12	1	2	0	25	0	0	0
11	9	67	22	29	30	40	0	0	0	0	0	4
12	8	59	24	48	0	0	0	0	0	65	31	7
13	9	70	32	49	0	0	0	0	0	25	42	12
14	9	0	38	0	9	0	0	0	5	30	34	17
15	21	0	60	0	17	0	0	0	21	0	0	5
16	0	1	65	29	25	0	4	0	0	80	0	23
17	0	24	0	22	37	0	0	0	0	0	20	0
18	13	2	0	40	10	0	6	0	0	70	32	0
19	47	40	0	49	28	2	1	0	10	0	0	0
20	41	43	0	50	0	0	0	0	20	0	0	0
21	40	0	70	51	13	5	0	0	0	0	41	0
22	13	0	69	3	20	7	0	0	0	0	16	0
23	2	0	11	7	41	0	0	0	0	10	0	0
24	0	0	0	5	34	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	1	0	8	0	0	17	0	0	45	0
26	5	52	10	0	1	0	0	0	0	90	48	0
27	0	50	12	0	7	0	0	0	0	0	34	0
28	0	55	16	0	0	0	14	5	90	24	55	0
29	0		20	0	5	0	7	0	30	0	0	0
30	0		20	16	10	6	11	0	20	0	0	0
31	10		0		0		0	0		0		0
Jml. Curah Hujan	427	574	619	713	415	94	64	46	241	408	398	208
Hujan Maks	55	70	70	81	41	40	14	17	90	90	55	94
Rata-rata	13.8	20.5	20.0	23.8	13.4	3.1	2.1	1.5	8.0	13.2	13.3	6.9
Jml. Hari Hujan	21	19	21	18	22	11	10	4	9	9	11	10

Tabel A.3  
Jumlah Hari Hujan PT. SCM Tahun 2006

TANGGAL	BULAN											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
1	9	0	10	2	20	17	0	0	0	0	0	0
2	14	0	11	0	9	13	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	16	0	8	0	0	0	0	0	0
4	0	0	9	16	0	27	20	0	0	0	0	0
5	0	0	13	11	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	3	15	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0
8	0	49	0	9	11	0	0	9	0	0	0	0
9	29	41	0	7	0	69	0	31	0	0	0	0
10	4	20	0	28	0	77	0	0	0	0	0	0
11	48	22	0	0	0	16	11	0	0	0	0	0
12	0	10	16	0	0	28	17	0	0	0	0	0
13	0	17	19	0	0	0	8	0	0	0	0	0
14	0	2	37	60	44	0	1	0	0	0	0	0
15	32	0	53	63	49	5	0	0	4	0	0	0
16	51	0	0	14	22	19	0	0	7	0	0	0
17	0	3	0	27	20	51	0	0	0	0	0	0
18	0	4	0	0	5	68	24	14	0	0	0	0
19	3	6	0	0	1	82	3	8	0	0	0	0
20	8	1	0	4	12	94	0	16	0	0	0	0
21	12	0	0	8	0	19	0	0	0	0	0	0
22	1	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	55	7	0	0	0	0	8	0	0	0
24	0	0	0	3	68	0	0	0	5	0	0	0
25	0	31	41	12	71	0	0	0	1	0	0	0
26	18	35	49	1	31	0	0	0	0	0	0	0
27	22	0	0	0	29	30	0	0	0	0	0	0
28	21	0	0	6	40	27	0	0	0	0	0	0
29	2		0	13	10	0	0	0	0	0	0	0
30	7		0	15	0	0	0	0	0	0	0	0
31	16		0		0		0	0		0		0
Jml. Curah hujan	297	241	313	330	474	650	84	78	25	0	0	0
Hujan Max	51	49	55	63	71	94	24	31	8	0	0	0
Rata - rata	9.6	8.6	10.1	11.0	15.3	21.7	2.7	2.5	0.8	0.0	0.0	0.0
Jml. Hari Hujan	17	13	11	22	18	17	7	5	5	0	0	0



Tabel A.4  
Jumlah Hari Hujan PT. SCM Tahun 2007

TANGGAL	BULAN											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
1	0	5	4	0	18	0	0	0	13	0	0	0
2	5	5	0	0	5	0	0	0	20	0	0	0
3	20	1	0	0	1	0	6	4	32	0	0	0
4	19	0	8	27	0	14	0	6	16	0	0	0
5	2	0	20	18	0	19	13	3	15	0	0	0
6	0	0	2	0	15	0	0	7	13	0	0	0
7	0	15	5	0	7	22	0	0	0	5	0	0
8	0	21	0	0	0	2	0	10	0	12	0	0
9	18	19	0	26	14	5	0	0	0	0	0	0
10	29	10	19	7	0	8	0	5	0	0	0	0
11	32	0	12	0	25	51	10	1	0	6	0	0
12	0	0	27	2	14	34	4	2	0	0	0	0
13	0	0	2	0	11	59	27	45	0	0	0	0
14	36	3	0	31	0	65	114	0	0	8	0	0
15	30	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0
16	16	0	5	0	0	3	3	0	0	0	0	0
17	28	21	0	1	0	14	43	9	0	0	0	0
18	7	24	0	4	0	5	23	64	0	20	0	0
19	0	3	16	16	0	0	58	44	0	0	0	0
20	0	16	24	0	2	0	52	5	0	0	0	0
21	7	2	38	0	0	0	29	4	0	0	0	0
22	36	0	0	0	8	0	11	5	0	0	0	0
23	23	0	0	31	2	10	24	3	0	7	0	0
24	0	0	29	21	0	0	21	0	0	0	0	0
25	46	0	0	23	0	9	10	0	0	0	0	0
26	11	2	17	6	8	2	0	0	0	14	0	0
27	30	39	21	0	0	26	0	0	0	0	0	0
28	8	0	30	0	14	17	0	33	0	0	0	0
29	20		38	0	0	40	0	12	0	0	0	0
30	15		0	2	31	0	0	0	0	0	0	0
31	2		0		37		0	0		5		0
Jml. Curah hujan	440	186	317	215	212	451	448	262	109	77	0	0
Hujan Max	46	39	38	31	37	65	114	64	32	20	0	0
Rata - rata	14.7	6.9	10.2	7.2	6.8	15.0	14.5	8.5	3.6	2.5	0.0	0.0
Jml. Hari Hujan	22	15	18	14	16	20	16	18	6	8	0	0

Tabel A.5  
Jumlah Hari Hujan PT. SCM Tahun 2008

TANGGAL	BULAN											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
1	0	0	51	26	0	18	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	17	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	4	25	0	14	0	16	74	0	0	17
4	0	0	2	8	51	32	0	0	74	0	52	11
5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	54
6	0	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
8	5	0	10	0	0	3	0	0	0	0	0	0
9	6	0	0	0	23	20	0	0	21	0	0	9
10	0	0	3	36	0	0	0	0	8	0	0	16
11	0	11	0	0	0	12	0	74	0	0	0	31
12	13	36	0	1	0	15	0	0	5	50	0	7
13	0	26	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	10	0	45	0	0	0	0	0	6
15	16	0	5	0	61	0	0	0	0	0	0	21
16	0	34	0	0	0	0	0	51	0	0	12	3
17	34	0	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0
18	0	0	0	82	0	0	0	38	0	6	0	0
19	0	54	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0
20	19	4	21	2	20	0	0	62	0	0	0	8
21	7	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	20
22	0	57	0	13	0	0	0	11	0	0	0	50
23	0	0	12	0	25	4	0	124	0	49	12	0
24	15	7	0	0	15	15	0	6	0	0	0	62
25	0	0	0	0	23	11	0	42	0	0	18	15
26	0	0	27	18	0	4	0	59	0	0	0	0
27	0	0	0	2	30	0	0	0	0	0	22	0
28	0	0	0	10	38	11	0	0	0	0	0	33
29	0	0	0	32	108	0	0	0	0	0	0	12
30	0		7	3	49	0	0	0	0	2	17	0
31	0		0		81		0	9		0		0
Jml. Curah hujan	125	229	185	272	541	219	0	535	182	118	133	412
Hujan Max	34	57	51	82	108	45	0	124	74	50	52	62
Rata - rata	4.0	7.9	6.0	9.1	17.5	7.3	0.0	17.3	6.1	3.8	4.4	13.3
Jml. Hari Hujan	9	8	13	15	13	14	0	12	5	5	6	18

Tabel A.6  
Jumlah Hari Hujan PT. SCM Tahun 2010

TANGGAL	BULAN											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
1	6.5	19	0	10	0	0	0	0	0	0	35	0
2	0	41	12	0	12	0	0	0	0	0	0	0
3	0	5	0	13	0	0	30	0	0	13	0	0
4	0	0	0	20	16	0	0	0	0	0	0	69
5	26	0	0	12	7	5	145	0	0	6.5	0	15.5
6	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	40	0
7	11	3	16	0	0	0	0	0	17	0	0	0
8	0	24	0	15	14	0	0	0	24.5	5.9	0	7
9	0	2	0	35	0	0	0	0	0	32.1	4	0
10	38	6	18.5	5.5	20	65	0	0	0	43	0	4.5
11	0	0	18	0	20	0	0	0	0	0	0	21
12	0	0	38	0	0	6	0	0	0	0	0	0
13	33	0	6	0	12	0	4	0	0	1	0	0
14	0	0	40	3	0	0	50	0	0	0	0	0
15	32	0	0	0	0	23	11	0	0	27	0	20.5
16	0	0	0	31	5	9	147	0	0	12	0	0
17	7	0	0	0	0	43	55	0	0	25	0	0
18	0	0	0	0	0	0	38	0	0	0	0	0
19	0	0	0	7	6	46	0	0	0	0	0	0
20	7.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	10	16	0	0	0	10	0	0	0	2	0	0
22	52	4.5	17	0	8	0	6	0	0	0	0	0
23	0	52	4	0	0	69.5	20	0	0	0	23	24
24	18	9	0	0	0	15	0	0	0	0	0	17
25	0	30	0	0	50	0	0	0	0	14	0	50
26	0	0	24	0	0	29	0	0	7	9	0	0
27	11	35	1	0	26	4	9	0	0	0	0	0
28	0	0	1.5	0	0	0	4	0	0	0	0	0
29	23		0	0	0	0	81	0	0	0	68	19
30	24		61	0	6	0	30	0	0	16	0	0
31	0		20		0		0	0		5.2		0
Jml. Curah hujan	298.9	246.5	306	151.5	202	324.5	630	0	48.5	211.7	170	247.5
Hujan Maks	52	52	61	35	50	69.5	147	0	24.5	43	68	69
Rata-rata	9.6	8.8	9.9	5.1	6.5	10.8	20.3	0.0	1.6	6.8	5.7	8.0
Jml. Hari Hujan	14	13	15	10	13	12	14	0	3	14	5	10

Tabel A.7  
Jumlah Hari Hujan PT. SCM Tahun 2012

TANGGAL	BULAN											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
2	21	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	6	34	0	0	0	0	0	7.5	0	0	0	0
4	21	0	38	11	0	0	0	5	0	0	4	0
5	0	53	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0
6	0	0	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	32	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	5	47	0	40	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	4.5	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0
11	28.4	0	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	16	0	0	9	2	0	0	0	0	0	0	10
13	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	11	0	0	0	0	0	0	5	8	0	13.5
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	0	9.5
16	3	0	20	0	0	0	36	0	22	6	0	11
17	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	25	34
18	0	0	25	0	0	0	0	0	5	0	3	0
19	0	24	0	3	0	0	0	6.5	1.5	10	0	13
20	5	0	0	4	0	0	0	0	0	0	30	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0
23	88	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78.5
26	0	45.5	8	0	0	0	0	5	0	0	0	0
27	3.5	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	5	0	30	0	0	0	0	0	15	0	0
29	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0		0	18	0	0	0	0	52.5	0	0	0
31	30		48		0		0	0		0		0
Jml. Curah hujan	272.9	258	295	189	42	0	43	24	88	96	87	224.5
Hujan Maks	88	53	57	31	40	0	36	7.5	52.5	55	30	78.5
Rata-rata	8.8	9.2	9.5	6.3	1.4	0.0	1.4	0.8	2.9	3.1	2.9	7.2
Jml. Hari Hujan	12	10	9	10	2	0	2	4	6	6	6	8

Tabel A.8  
Jumlah Hari Hujan PT. SCM Tahun 2013

TANGGAL	BULAN											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
1	4	6	21	0	5	0	0	0	65	0	20	0
2	6	0	23	0	0	0	30	0	0	0	0	0
3	31	0	62	40	33	0	10	10	20	0	0	0
4	28.5	0	0	14	0	0	19	13	34.5	0	0	0
5	18	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	60
6	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	40	0	42	0	0	0	0	19
8	8	0	0	0	31	30	0	0	5	0	25	0
9	0	0	7	0	0	47	0	0	0	0	0	0
10	0	3.1	0	0		26.5	0	30	25	0	0	0
11	0	0	5	0	34	12.5	154	25	0	0	0	22
12	19	0	13	0	0	0	73	0	0	0	0	0
13	0	0	26	0	90	0	39	0	0	0	0	0
14	0	12	22.5	0	0	30	0	0	0	0	0	0
15	0	31	0	0	0	60	103	0	0	0	0	32
16	25	48.5	5	24	0	0	70.5	0	0	0	0	50
17	0	3.5	13	0	0	0	40	0	0	0	0	0
18	18	0	4	0	0	0	0	20	0	0	30	0
19	0	0	0	10.5	0	0	0	0	0	0	33	0
20	0	6.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	3	3	0	0	0	0	26	0	0	0	57	0
22	0	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	8	0	6	0	0	59	0	0	0	0	30
24	0	4	0	0	0	0	26	0	0	0	0	47
25	0	0	0	0	65	0	90	0	0	0	20	0
26	0	0	8	39	50	0	0	0	0	0	25	0
27	0	0	27	0	0	8	0	0	0	0	15	0
28	46	32.5	49	0	0	0	9	9	29	0	0	0
29	7	0	0	64	0	52	10	10	0	0	71	15
30	0		0	5	0	30.5	0	0	12	20	0	0
31	34.5		0				0	0		0		0
Jml. Curah Hujan	248	163	318.5	202.5	348	296.5	800.5	117	190.5	20	296	275
Hujan Maks	46	48.5	62	64	90	60	154	30	65	20	71	60
Rata-rata	8.0	5.6	10.3	6.8	12.0	9.9	25.8	3.8	6.4	0.6	9.9	8.9
Jml. Hari Hujan	13	12	17	8	8	9	16	7	7	1	9	8

Tabel A.9  
Jumlah Hari Hujan PT. SCM Tahun 2014

TANGGAL	BULAN											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
1	0	15	16	0	5	8.5	0	0	0	0	0	10
2	0	0	32	0	0	12	0	0	0	0	0	0
3	0	5	19	0	0	7	0	0	0	0	0	21.5
4	0	0	0	0	0	5	28	0	0	0	0	0
5	0	20	0	15	0	22	0	11	0	0	0	0
6	0	0	0	7	12	30.5	0	30.5	0	0	0	26
7	72	73.5	0	0	0	70	36	0	0	0	0	29
8	37	0	25	0	0	20.5	10	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0
10	0	0	20	0	0	49	96	0	0	0	15	30
11	0	21	0	0	0	0	0	51	0	0	0	0
12	0	19	0	30	0	63	0	12	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	47
14	0	0	15.5	0	0	5	8	0	0	0	13.5	0
15	63	0	0	0	70	0	0	0	0	0	10	0
16	0	0	31	0	20.5	48	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	27	3	0	30	0	0	0	30	0
18	0	4	0	13	0	0	70.5	0	0	0	0	0
19	100	10	0	0	0	0	15	0	0	10	0	30
20	0	0	0	10	9	30.5	0	0	0	0	0	25
21	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	50
22	0	30	17	40	0	0	0	0	0	0	0	0
23	13	41	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	14	0	12	0	0	0	0	55
26	10	20	0	0	11	0	0	0	0	0	0	17
27	0	17.5	50	0	0	0	0	0	0	0	0	10.5
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0		0	0	0	28	0	0	0	0	0	0
30	10		0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
31	0		0		0		0	0	0	0		0
Jml. Curah Hujan	305	276	265.5	149	144.5	429	305.5	107.5	0	10	68.5	361
Hujan Maks	100	73.5	50	40	70	70	96	51	0	10	30	55
Rata-rata	9.8	9.9	8.6	5.0	4.7	14.3	9.9	3.5	0.0	0.3	2.3	11.6
Jml. Hari Hujan	7	12	11	8	8	15	9	5	0	1	4	13

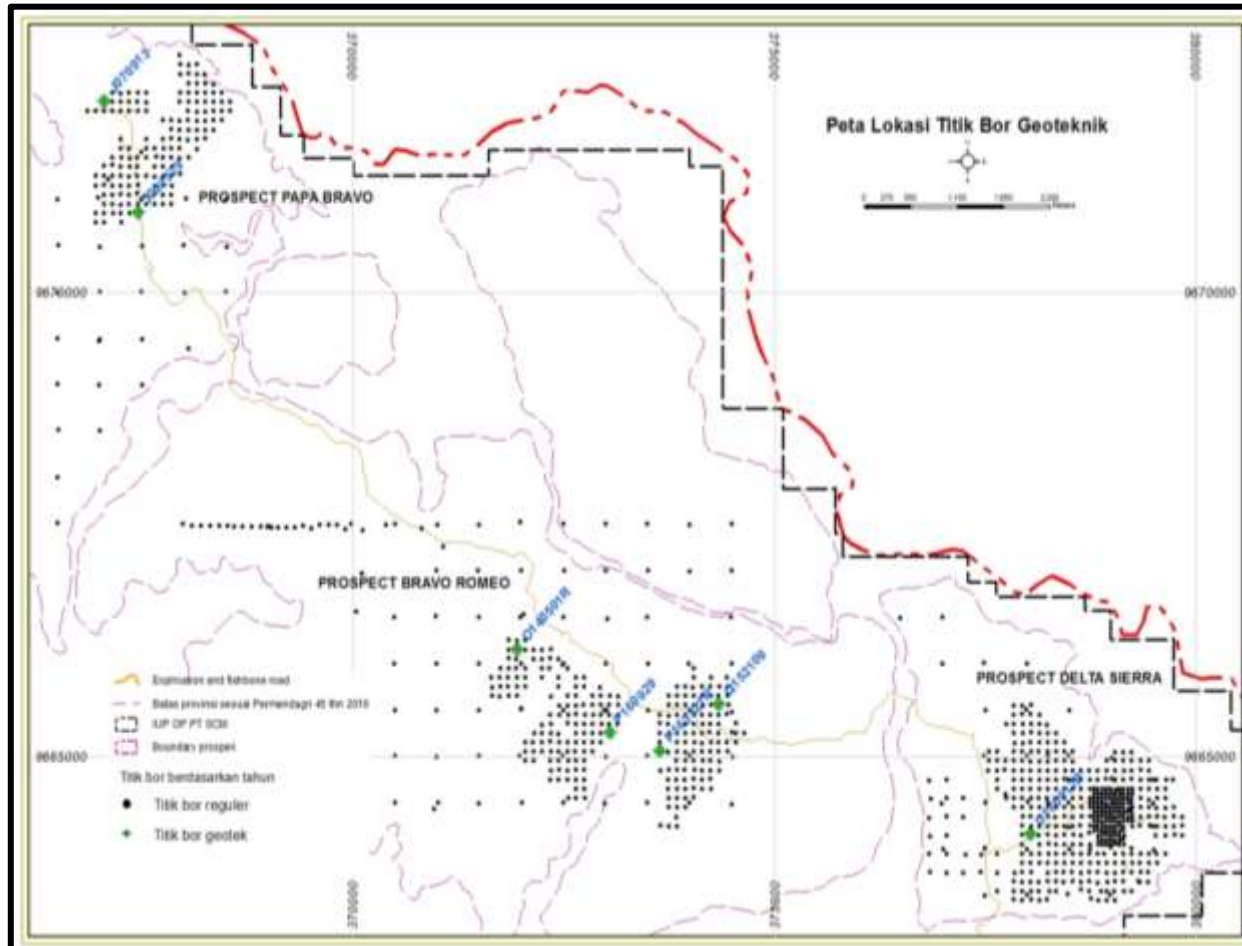
Tabel A.10  
Jumlah Hari Hujan PT. SCM Tahun 2017

TANGGAL	BULAN											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
1	17	0	54	3	0	70	0	7	0	2	0	0
2	19	14	62	35	0	14	0	0	4	0	0	0
3	0	0	19	25	10	25	5	0	4	0	0	0
4	15	0	25	28	28	56	0	0	0	0	3	0
5	23	0	12	13	7	4	0	0	0	0	0	0
6	0	0	18	0	42	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	8	0	0	0	0	4	21	2	0	0
8	0	0	15	9	0	0	0	2	0	0	0	0
9	0	1	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	28	17	0	6	0	0	0	0	0	0
11	47	8	20	24	0	56	16	0	0	0	1	0
12	18	49	5	18	56	10	0	38	0	0	1	0
13	17	2	35	28	0	20	5	0	0	0	27	0
14	0	20	15	35	74	1	63	0	25	0	9	0
15	0	0	4	0	0	2	0	0	2	1	51	0
16	0	29	24	0	0	27	0	2	5	0	2	0
17	164	38	26	0	8	0	0	0	0	0	28	0
18	0	17	7	52	17	0	10	14	0	0	32	0
19	0	0	13	0	5	16	28	7	0	0	1	0
20	0	0	19	16	0	0	0	0	0	0	66	0
21	0	0	7	0	0	29	0	0	6	0	55	0
22	142	69	153	0	0	0	0	4	6	6	4	0
23	33	0	10	15	5	0	0	15	0	0	23	0
24	0	2	36	15	7	0	0	0	22.5	0	10	0
25	0	27	3	0	8	16	0	0	7	0	37	0
26	45	19	4	0	9	4	25	0	0	4	46	0
27	15	6	7	6	9	5	91	0	0	8	100	0
28	14	0	31	7	0	0	0	0	0	4	23.5	0
29	8		23	12	5	4	0	0	0	0	1	0
30	25		40	5	24	8	0	0	0	15	1	0
31	0		33		23		4	0		0		0
Jml. Curah Hujan	602	301	761	365	337	373	247	93	102.5	42	521.5	0
Hujan Maks	164	69	153	52	74	70	91	38	25	15	100	0
Rata-rata	19.4	10.8	24.5	12.2	10.9	12.4	8.0	3.0	3.4	1.4	17.4	0.0
Jml. Hari Hujan	15	14	31	20	17	19	9	9	10	8	21	0

**LAMPIRAN B**  
**PETA LOKASI LUBANG BOR GEOTEKNIK**

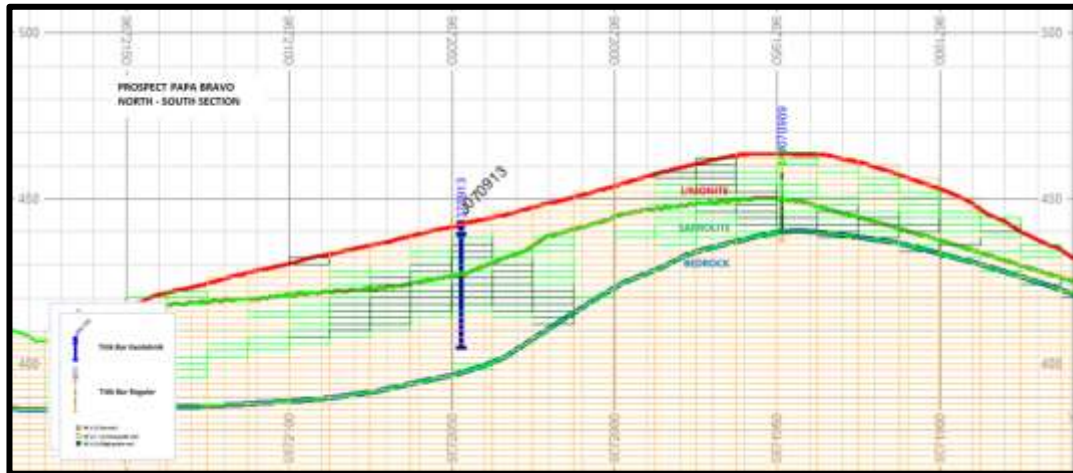


Gambar B.1  
Peta Lokasi Lubang Bor Geoteknik

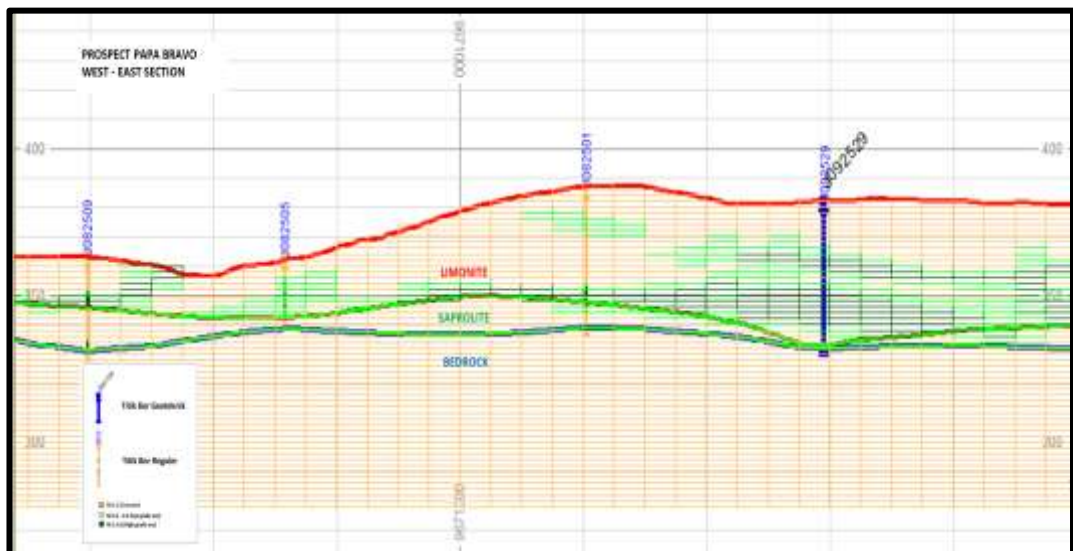


**LAMPIRAN C**  
**PENAMPANG SAYATAN LUBANG BOR GEOTEKNIK**

**Gambar C.1**  
**Penampang Sayatan Lubang Bor Geoteknik**  
**J070913/GT06/SCM North-South**



**Gambar C.2**  
**Penampang Sayatan Lubang Bor Geoteknik**  
**J092529/GT07/SCM North-South**



**LAMPIRAN D**  
**HASIL LABORATORIUM UJI SIFAT FISIK TANAH DAN**  
**BATUAN**

## LAMPIRAN D

### HASIL LABORATORIUM UJI SIFAT FISIK TANAH DAN BATUAN

Tabel D.1  
Hasil Laboratorium Uji Sifat Fisik Material Tanah

No	Kode Sampel	Litologi	Bobot Isi (kN/m <sup>3</sup> )	Berat Jenis	Kadar Air (%)	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Indeks Plastisitas (%)
1	J070913/GT06/SCM/1/1	Soil	19,700	2,560	26,388	34,770	26,388	8,382
2	J070913/GT06/SCM/2/2	Soil	24,033	2,964	27,495	33,945	27,495	6,450
3	J070913/GT06/SCM/8/4	Limonite	21,084	2,262	32,401	66,180	32,401	33,779
4	J070913/GT06/SCM/12/5	Limonite	20,672	2,277	22,626	36,830	22,626	14,204
5	J070913/GT06/SCM/17/6	Saprolite	20,682	2,953	47,599	68,170	47,599	20,571
6	J070913/GT06/SCM/21/7	Saprolite	21,016	2,717	38,221	43,300	38,221	5,079
7	J092529/GT07/SCM/2/2	Soil	27,016	3,294	29,470	35,430	29,470	5,960
8	J092529/GT07/SCM/3/3	Limonite	26,880	3,319	22,369	27,150	22,369	4,781
9	J092529/GT07/SCM/27/7	Limonite	20,741	2,852	44,506	65,880	44,506	21,374

Tabel D.2  
Hasil Laboratorium Uji Sifat Fisik Material Batuan

No.	Parameter	Kode Sampel		
		J070913/GT06/ SCM/29/8	J092529/GT07/ SCM/43/11	J092529/GT07/ SCM/52/12
		Peridotite Ultramafic	Limonite	Peridotite Ultramafic
1	Berat conto asli (Wn), gr	212,80	167,50	127,40
2	Berat conto kering (Wo), gr	210,00	162,80	120,50
3	Berat conto jenuh (Ww), gr	214,60	171,60	134,20
4	Berat conto jenuh tergantung dalam air (Ws), gr	130,40	103,60	83,90
5	Bobot isi asli (natural density), gr/cm <sup>3</sup>	2,53	2,46	2,53
6	Bobot isi kering (dry density), gr/cm <sup>3</sup>	2,49	2,39	2,40
7	Bobot isi jenuh (saturated density), gr/cm <sup>3</sup>	2,55	2,52	2,67
8	"Apperent specific gravity"	2,49	2,39	2,40
9	"True specific gravity"	2,64	2,75	3,29
10	Kadar air asli (natural water content), %	1,33	2,89	5,73
11	Kadar air jenuh (absorption), %	2,19	5,41	11,37
12	Derajat kejenuhan, %	60,87	53,41	50,36
13	Porositas, %	5,46	12,94	27,24
14	Void ratio	0,06	0,15	0,37

**LAMPIRAN E**  
**HASIL LABORATORIUM UJI KUAT TEKAN TANAH DAN**  
**BATUAN**

**LAMPIRAN E**

**HASIL LABORATORIUM UJI KUAT TEKAN TANAH DAN**

**BATUAN**

Tabel E.1  
Hasil Laboratorium Uji Kuat Tekan Bebas

No	Kode Sampel	Litologi	Parameter	
			Kuat Tekan (MPa)	Modulus Young (MPa)
1	J070913/GT06/SCM/1/1	Soil	0,019	0,659
2	J070913/GT06/SCM/2/2	Soil	0,020	0,659
3	J070913/GT06/SCM/8/4	Limonite	0,020	0,661
4	J070913/GT06/SCM/12/5	Limonite	0,023	0,997
5	J070913/GT06/SCM/17/6	Saprolite	0,020	0,641
6	J070913/GT06/SCM/21/7	Saprolite	0,023	0,659
7	J092529/GT07/SCM/2/2	Soil	0,039	0,648
8	J092529/GT07/SCM/3/3	Limonite	0,045	0,867
9	J092529/GT07/SCM/27/7	Limonite	0,077	1,772

Tabel E.2  
Hasil Laboratorium Uji Kuat Tekan Uniaksial

Parameter	Kode Sampel		
	J070913/GT06/ SCM/29/8	J092529/GT07/ SCM/43/11	J092529/GT07/ SCM/52/12
	Peridotite Ultramafic	Limonite	Peridotite Ultramafic
Kuat Tekan (MPa)	16,81	2,65	4,42
Nisbah Poisson	0,18	0,37	0,13
Modulus Young (MPa)	4899,56	379,13	590,24



**LAMPIRAN F**  
**HASIL LABORATORIUM UJI KUAT GESER TANAH DAN**  
**BATUAN**

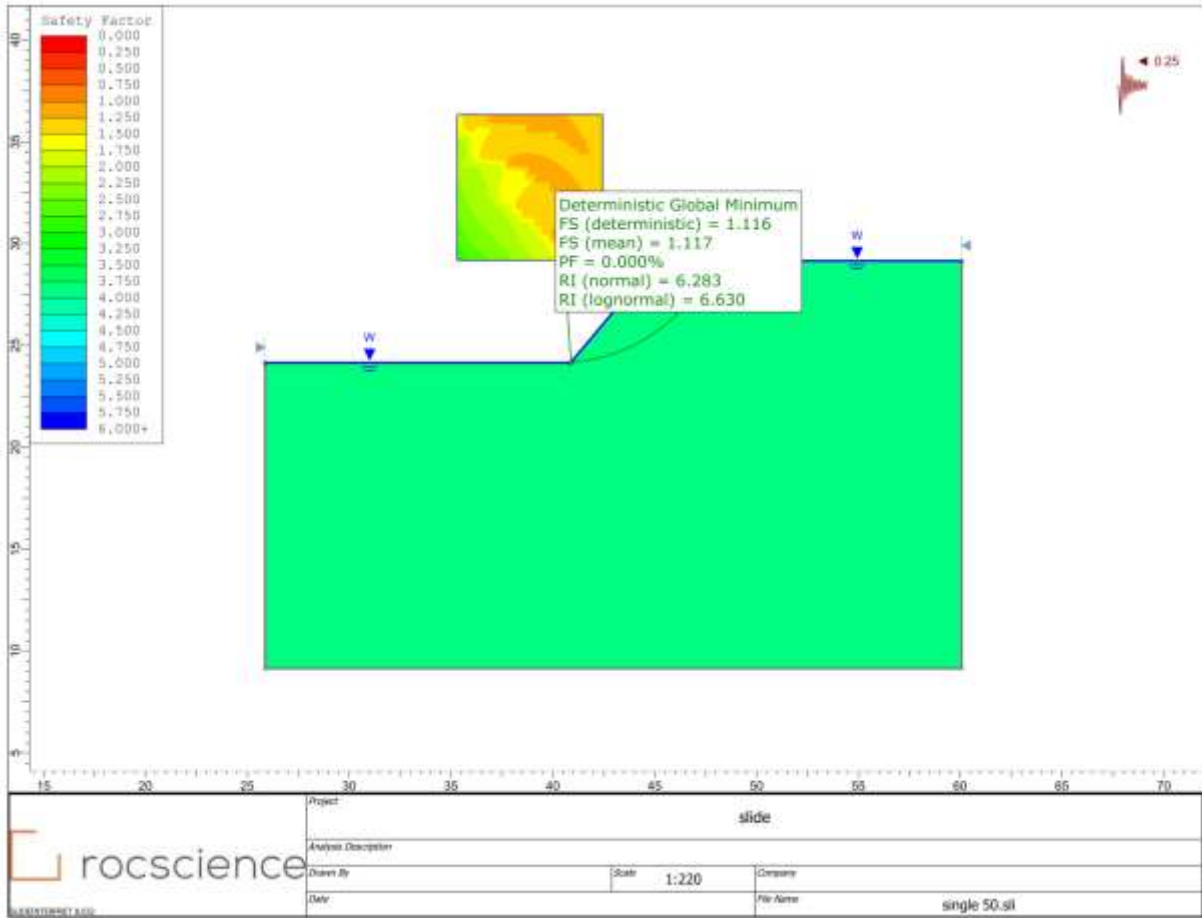
**LAMPIRAN F**  
**HASIL LABORATORIUM UJI KUAT GESER TANAH DAN**  
**BATUAN**

Tabel F.1  
 Hasil Laboratorium Uji Kuat Geser Tanah dan Batuan

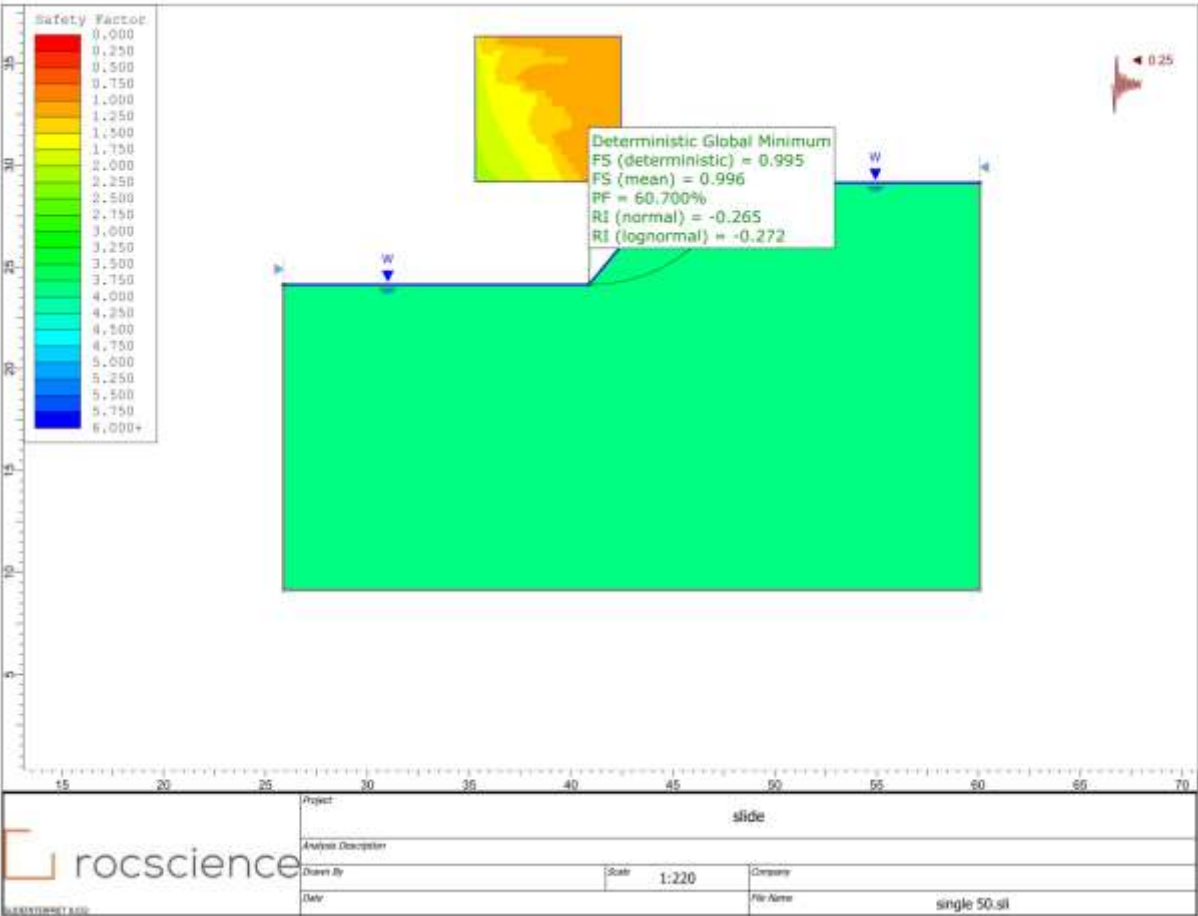
No	Kode Sampel	Litologi	Parameter	
			Kohesi (kPa)	Sudut Gesek Dalam (°)
1	J070913/GT06/SCM/1/1	Soil	15,108	31,009
2	J070913/GT06/SCM/2/2	Soil	15,944	22,737
3	J070913/GT06/SCM/8/4	Limonite	18,454	38,722
4	J070913/GT06/SCM/12/5	Limonite	19,291	35,946
5	J070913/GT06/SCM/17/6	Saprolite	20,126	34,860
6	J070913/GT06/SCM/21/7	Saprolite	20,963	41,486
7	J070913/GT06/SCM/29/8	Peridotite Ultramafic	140,716	31,060
8	J092529/GT07/SCM/2/2	Soil	13,969	34,989
9	J092529/GT07/SCM/3/3	Limonite	17,222	35,308
10	J092529/GT07/SCM/27/7	Limonite	25,585	52,903
11	J092529/GT07/SCM/43/11	Limonite	64,685	50,592
12	J092529/GT07/SCM/52/12	Peridotite Ultramafic	137,911	33,100

**LAMPIRAN G**  
**HASIL PERMODELAN LERENG TUNGGAL**

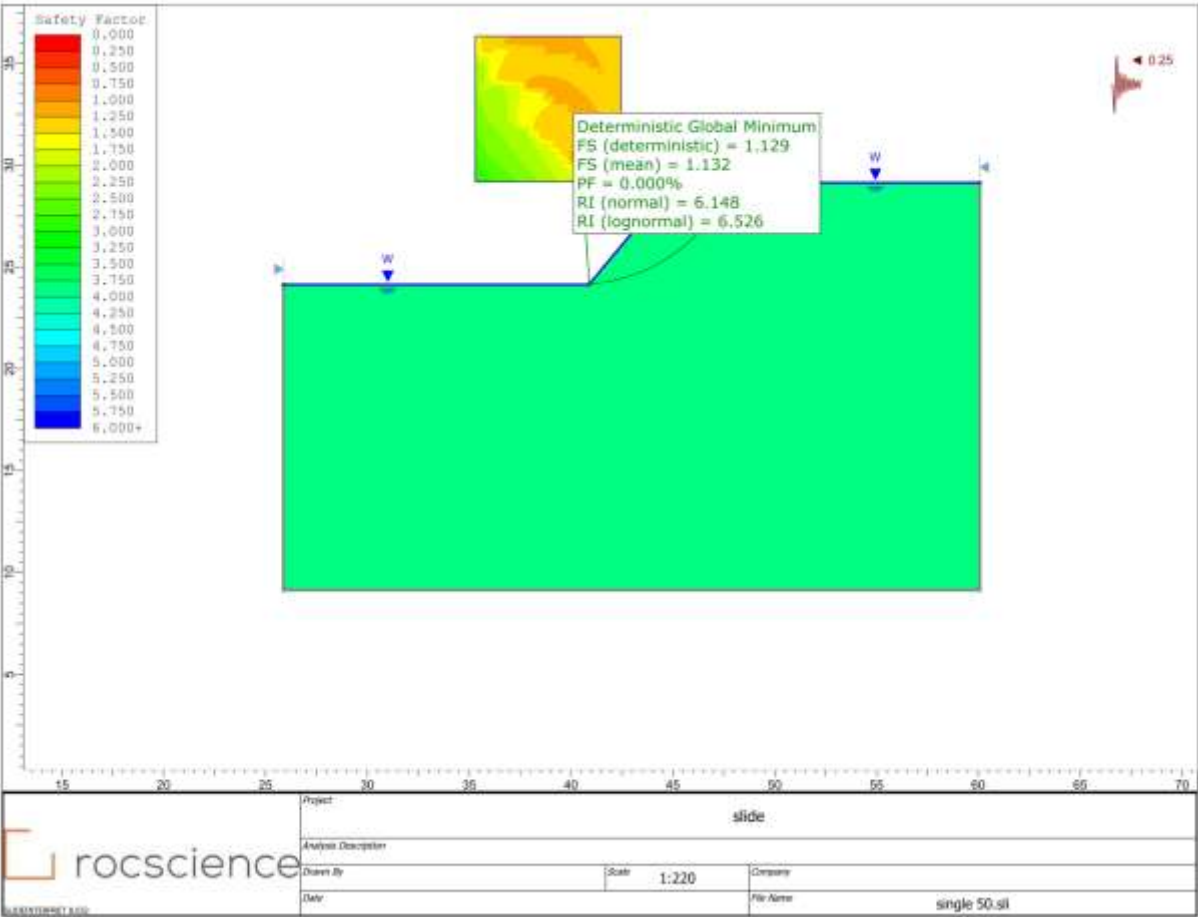
A. Lereng Tunggal 5 meter, Sudut 50°, MAT Kondisi Jenuh, Metode Bishop



B. Lereng Tunggal 5 meter, Sudut 50°, MAT Kondisi Jenuh, Metode Janbu

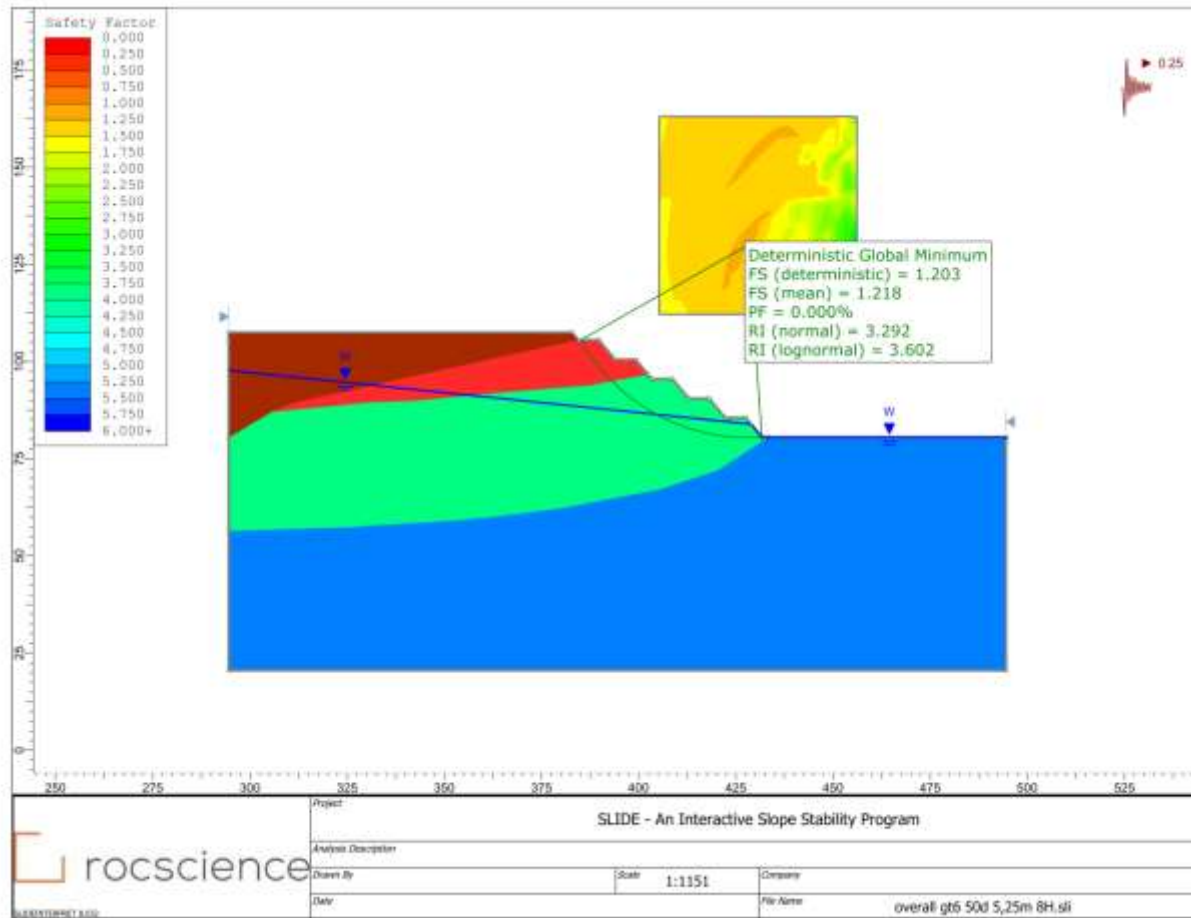


C. Lereng Tunggal 5 meter, Sudut 50°, MAT Kondisi Jenuh, Metode GLE/Morgenstern-Price



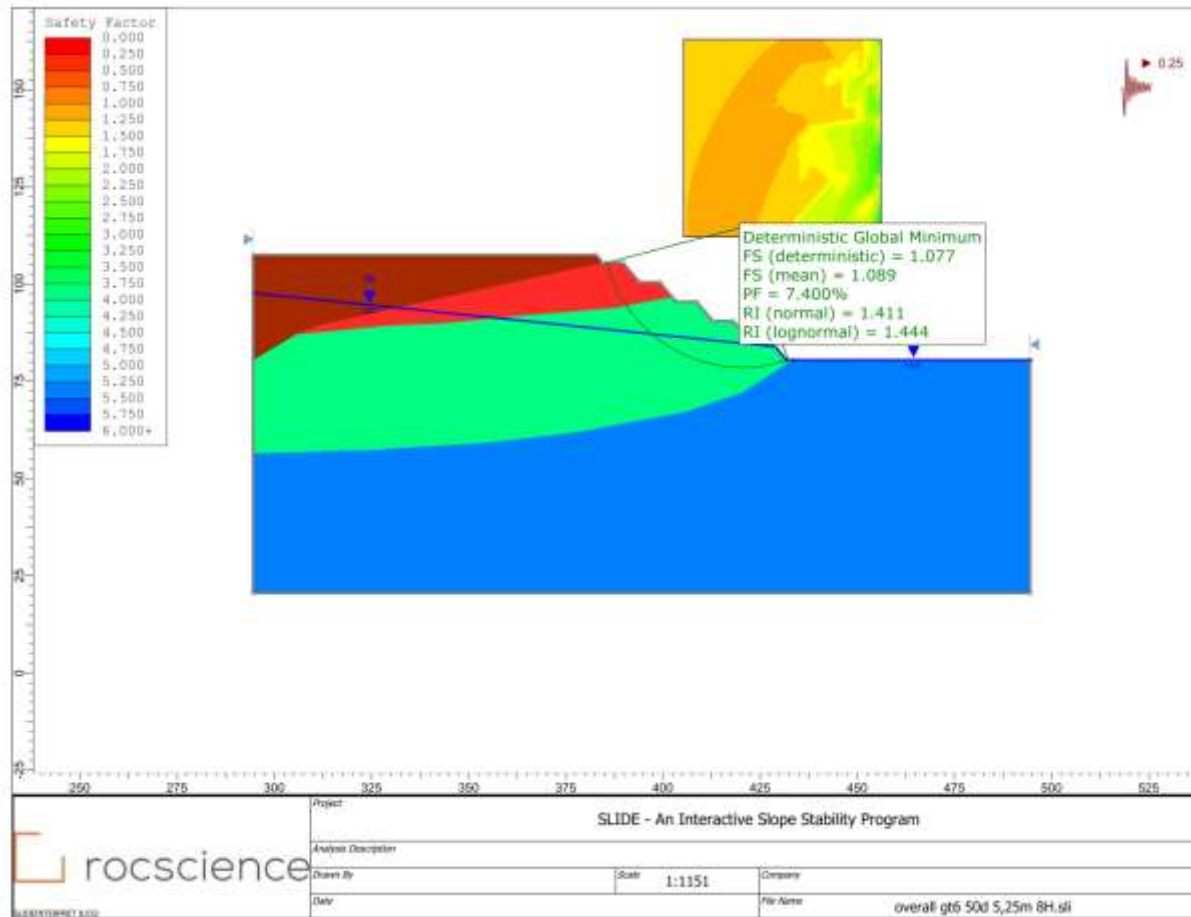
**LAMPIRAN H**  
**HASIL PERMODELAN LERENG KESELURUHAN**

A. Sayatan J070913/GT06/SCM Ketinggian 27m, Sudut Kemiringan 29°, Kondisi MAT 8H, Metode Bishop

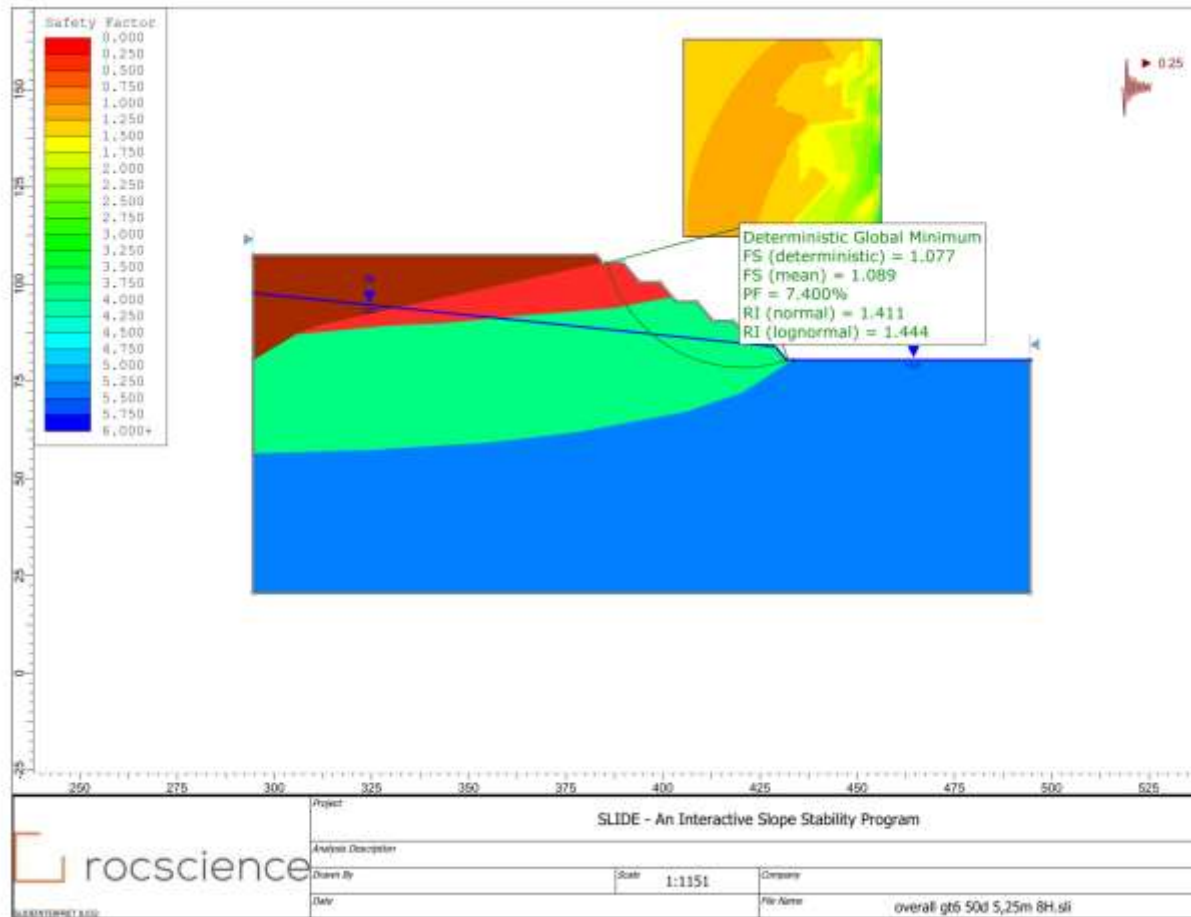




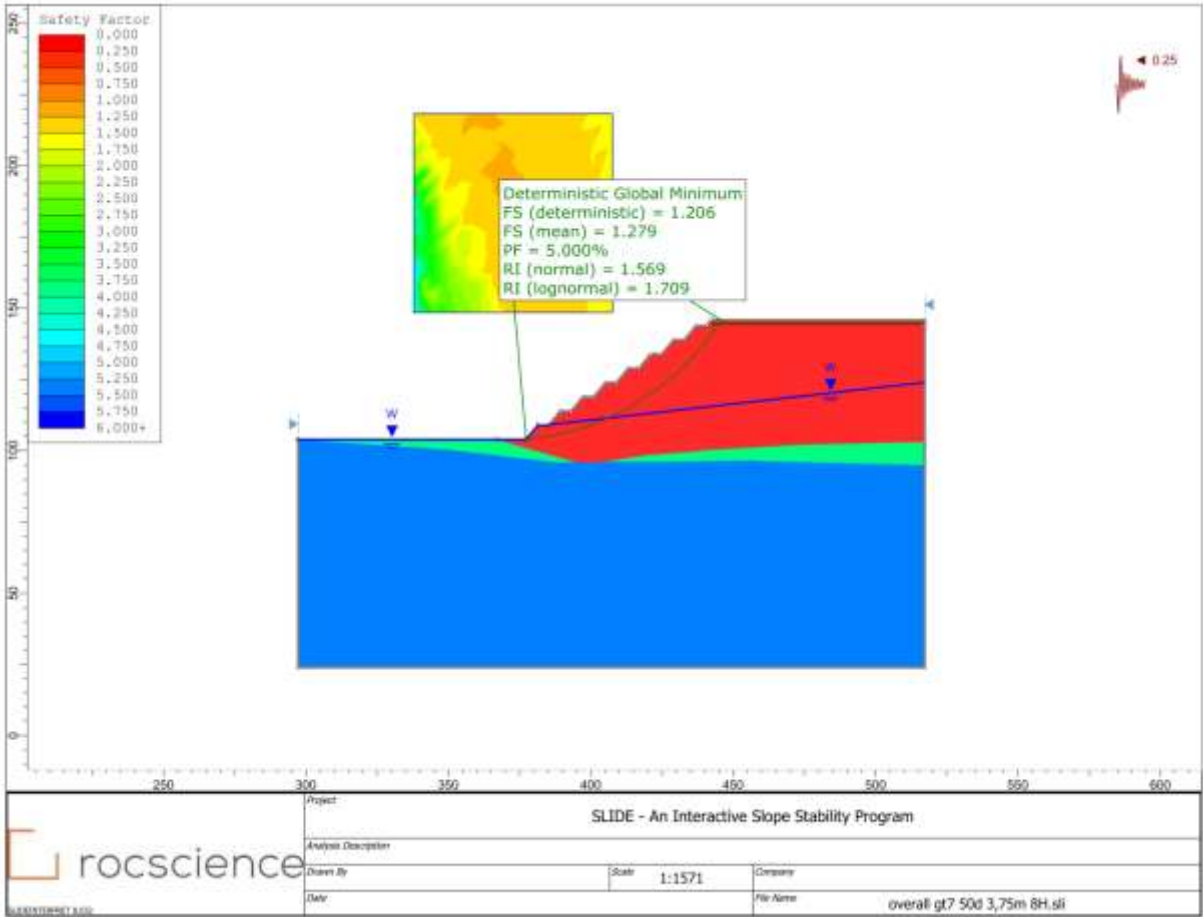
Sayatan J070913/GT06/SCM Ketinggian 27m, Sudut Kemiringan 29°, Kondisi MAT 8H, Metode Janbu



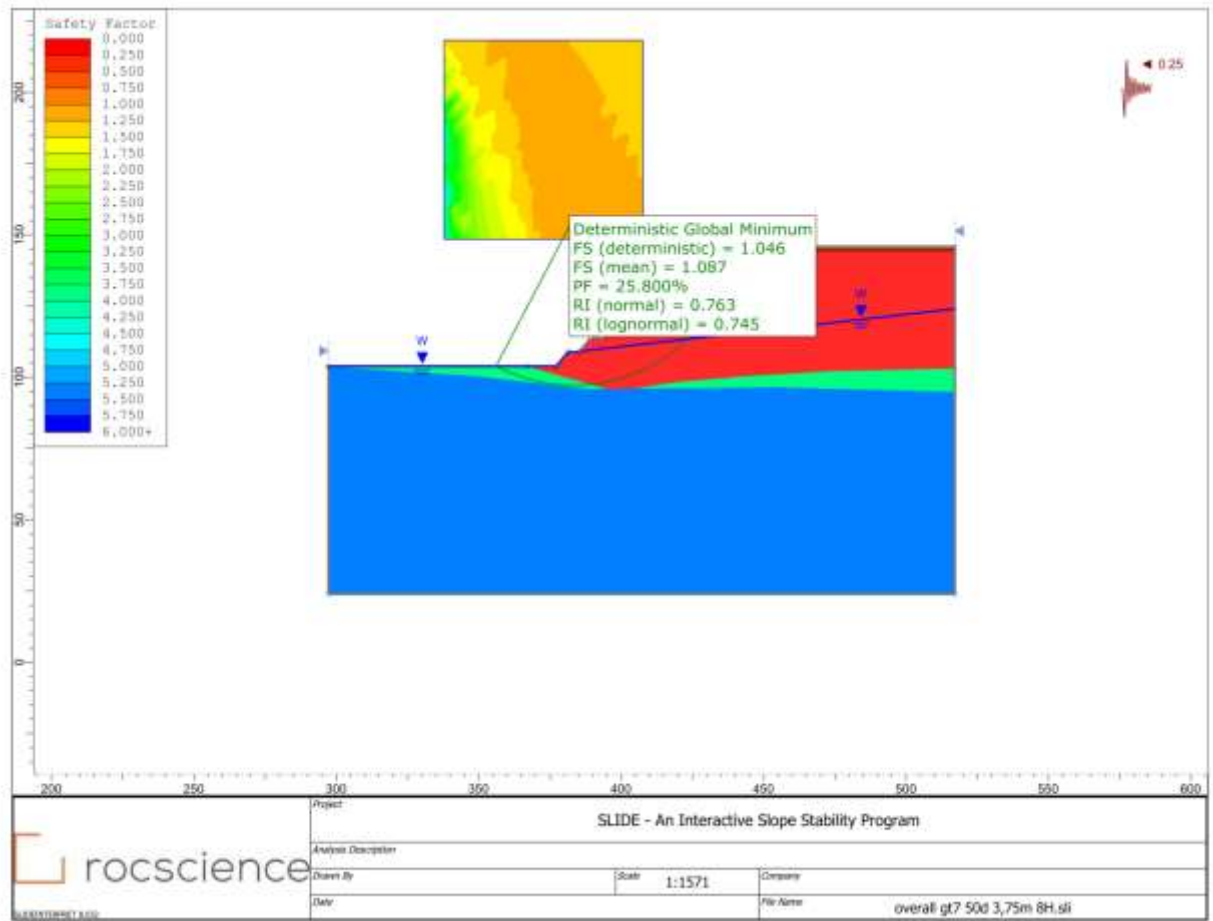
Sayatan J070913/GT06/SCM Ketinggian 27m, Sudut Kemiringan 29°, Kondisi MAT 8H, Metode GLE/Morgenstern-Price



B. Sayatan J070913/GT06/SCM Ketinggian 27m, Sudut Kemiringan 29°, Kondisi MAT 8H, Metode Bishop



Sayatan J070913/GT06/SCM Ketinggian 27m, Sudut Kemiringan 29°, Kondisi MAT 8H, Metode Janbu



Sayatan J070913/GT06/SCM Ketinggian 27m, Sudut Kemiringan 29°, Kondisi MAT 8H, Metode GLE/Morgenstern-Price

