

**ANALISIS KESTABILAN LERENG PADA TAMBANG  
BATUBARA *PIT* BARAT PT. PROLINDO CIPTA  
NUSANTARA DESA SEBAMBAN BARU  
KECAMATAN SEI LOBAN KABUPATEN  
TANAH BUMBU PROVINSI  
KALIMANTAN SELATAN**

**SKRIPSI**



**OLEH :**

**SARA SIALLAGAN**  
**DBD 114 171**

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN/PRODI TEKNIK PERTAMBANGAN  
2019**

**ANALISIS KESTABILAN LERENG PADA TAMBANG  
BATUBARA *PIT* BARAT PT. PROLINDO CIPTA  
NUSANTARA DESA SEBAMBAN BARU  
KECAMATAN SEI LOBAN KABUPATEN  
TANAH BUMBU PROVINSI  
KALIMANTAN SELATAN**

**SKRIPSI**

Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Srata-1  
Pada Jurusan/Prodi Teknik Pertambangan



**OLEH :**

**SARA SIALLAGAN**  
**DBD 114 171**

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN/PRODI TEKNIK PERTAMBANGAN  
2019**

## SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : SARA SIALLAGAN  
NIM : DBD 114 171  
JURUSAN : TEKNIK PERTAMBANGAN

Menyatakan bahwa penyusunan Skripsi ini adalah hasil penelitian saya sendiri, terkecuali kutipan-kutipan yang telah saya jelaskan sumbernya didaftar pustaka. Apabila terdapat pelanggaran dalam Penulisan dan Penyusunan Skripsi ini, saya bersedia untuk menerima sanksi sesuai aturan dan ketentuan yang berlaku.

Palangka Raya, Oktober 2019

METERAI  
TEMPEL

Penulis,

7926EAHF063901809

6000  
ENAM RIBU RUPIAH



**SARA SIALLAGAN**  
**NIM. DBD 114 171**

**HALAMAN PENGESAHAN**

SKRIPSI

ANALISIS KESTABILAN LERENG PADA TAMBANG BATUBARA P/T BARAT  
PT. PROLINDO CIPTA NUSANTARA DESA SEBAMBAN BARU/  
KECAMATAN SEI LOBAN KABUPATEN TANAH BUMBU  
PROVINSI KALIMANTAN SELATAN

Oleh :

**SARA SIALLAGAN**  
DBD 114 171

Telah dipertahankan di depan Tim Dosen Penguji pada Selasa, 22 Oktober 2019  
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Susunan Tim Penguji,

1. **Ir. YULIAN TARUNA, M.Si**  
NIP. 19580705 198903 1 019

Ketua

2. **FAHRUL INDRAJAYA, S.T., M.T**  
NIP. 19791215 200812 1 001

Sekretaris

3. **HEPRYANDI LUWYK DJANAS USUP, S.T., M.T**  
NIP. 19810211 200604 1 001

Anggota

4. **NENY SUKMAWATIE, S.Hut., M.P**  
NIP. 19760614 200801 2 020

Anggota

5. **FERDINANDUS, S.T., M.T**  
NIP. 19891116 201903 1 009

Anggota



Menyetujui,  
Ketua Jurusan/Program Studi Teknik Pertambangan  
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

**FAHRUL INDRAJAYA, S.T., M.T**  
NIP. 19791215 200812 1 001

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

**Exodus 14:14**

“The LORD will fight for you; you need only to be still.”

**SALAM TAMBANG !!!**

**Skripsi ini saya persembahkan untuk :**

**Tuhan Yesus Kristus untuk setiap penyertaan dan pertolongan-Nya.  
“To God be the Glory, for the things He has done”**

**Bapak dan Mamak**

**Terimakasih untuk setiap doa yang tak pernah putus – putusnya bagi saya di perantauan ini. Bahwa tak ada yang lebih kuat dari apapun di dunia ini selain doa dari kalian. Kerana sejauh apapun jarak doa akan selalu sampai.**

**Bang Darma, Bang Eli, Kak Donna, Kak Lusi dan Samuel.**

**Terimakasih untuk setiap dukungan moril maupun materil, untuk setiap nasihat dan semangat yang senantiasa kalian berikan. Terimakasih sudah menjadi tempat untuk bercerita dan mengadu.**

**Terimakasih kepada SS'Olshop Palangka Raya, Blessing Flower Pky, dan Evlogia Palangka Raya yang sudah menjadi donator bagi saya selama masa kuliah.**

**Aldy Butar-Butar, George Situmorang, Kaizen Sinaga, dan Rointo Berutu.**

**Terimakasih untuk ilmu, waktu, nasihat dan semua saran membangun dari kalian yang sangat membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih sudah menjadi tempat saya untuk bertukar pikiran hehe**

**Terimakasih untuk setiap dukungan, bantuan dari teman-teman seperjuangan di perantauan sekaligus penghibur dikala susah : Indra, Lakoy, Bang Jabat, Rizal, Andy, Tulang Charles, Santo, Meli, Taufik, Maro, Ricky, Ibeth, Sinta, Ramos, Mona, Wiwid, Afther, Meyna, Firdaus, dan Butet.**

**Kepada seluruh Keluarga Besar Teknik Pertambangan Angkatan 2014.**

**Terimakasih untuk setiap cerita dan kenangan yang kita ukir bersama selama masa kuliah. Keep Solid sokab ....**

## **TUHAN YESUS MEMBERKATI**

**- @sarasiallagan -**

## KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, karena berkat karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini dengan baik. Skripsi ini merupakan kebutuhan dan kewajiban mahasiswa Teknik Pertambangan Universitas Palangka Raya sebagai bentuk penelitian mahasiswa terhadap perusahaan guna memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan program Sarjana Strata-1. Skripsi ini diharapkan mampu memperkenalkan lingkungan kerja dan mempersiapkan mahasiswa agar berkualifikasi siap terjun ke dunia kerja.

Penulisan Laporan Skripsi ini berdasarkan hasil penelitian lapangan yang dilaksanakan pada tanggal 01 Oktober 2018 hingga 30 November 2018 dengan judul penelitian **"Analisis Kestabilan Lereng Pada Tambang Batubara Pit Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara Desa Sebamban Baru, Kecamatan Sei Loban, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan"**.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Tuhan Yesus Kristus yang telah menolong dan menemani saya dalam setiap proses serta memberikan kelancaran dalam segala hal.
2. Orang Tua dan seluruh keluarga yang telah memberi dukungan doa, moral dan materi dalam penyelesaian laporan Skripsi ini.
3. Bapak Ir. Waluyo Nuswantoro, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

4. Bapak Fahrul Indrajaya, S.T., M.T selaku Ketua Jurusan/Prodi Teknik Pertambangan Universitas Palangka Raya.
5. Bapak Yossa Yonathan Hutajulu, S.T., M.T selaku Sekretaris Jurusan/Prodi Teknik Pertambangan Universitas Palangka Raya.
6. Bapak Ir. Yulian Taruna, M.Si selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Fahrul Indrajaya, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II.
7. Bapak Hepryandi Luwyk Djanas Usup, S.T., M.T selaku Dosen Penguji I, Ibu Neny Sukmawatie, S.Hut., M.P selaku Dosen Penguji II, dan Bapak Ferdinandus, S.T., M.T selaku Dosen Penguji III.
8. Para Dosen Pengajar dan Staff di Jurusan/Prodi Teknik Pertambangan Universitas Palangka Raya.
9. Seluruh sahabat dan teman yang telah banyak membantu dan mendukung penulisan Skripsi ini, terkhususnya kepada “Keluarga Besar Teknik Pertambangan Angkatan 2014”

Penulis menyadari sepenuhnya di dalam laporan ini masih banyak terdapat kekurangan baik dalam penulisan ataupun keterbatasan pengetahuan penulis. Oleh karena itu, penulis memohon maaf sekaligus mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari setiap pembaca.

Palangka Raya, Oktober 2019

Penulis

## SARI

Lokasi penelitian terletak pada lereng *sidewall Pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara tepat disebelah Selatan batas konsesi IUP, dimana lereng telah membentuk kondisi bukaan *final* (tidak terjadi *development* pada *sidewall*), sehingga diperlukan analisis kestabilan lereng guna menjaga kestabilan bentuk *final* lereng tersebut. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh nilai Faktor Keamanan menggunakan *Slide V.6.0* terhadap lereng keseluruhan aktual kondisi kering  $FK=1.691$ , pada kondisi basah  $FK=1.314$ . Lereng keseluruhan rekomendasi geotek kondisi kering diperoleh nilai  $FK=1.549$  dan pada kondisi basah  $FK=1.301$ . Sedangkan nilai Faktor Keamanan menggunakan *Metode Bishop* terhadap lereng keseluruhan aktual kondisi kering diperoleh  $FK=1.787$  dan pada kondisi basah  $FK=1.437$ . Untuk lereng keseluruhan rekomendasi geotek pada kondisi kering diperoleh nilai  $FK=1.554$  dan pada kondisi basah  $FK=1.311$ . Peneliti merekomendasikan agar dilakukan perubahan geometri lereng dimana lereng rekomendasi peneliti dimodelkan berdasarkan tinggi alat gali (*excavator*) yang digunakan untuk membentuk jenjang pada lereng *sidewall* dengan memperhitungkan ukuran *bucket excavator* yang digunakan sehingga pembuatan desain lereng rekomendasi peneliti dapat dibuat dengan lebih mudah. Lereng rekomendasi peneliti membentuk 5 bench dengan setiap jenjang memiliki tinggi 10 meter, lebar 5 meter, dan *overall slope angle*  $37^{\circ}$ . Perubahan sudut jenjang lereng rekomendasi dimaksudkan agar lebih mengurangi pengambilan OB dan meningkatkan jumlah produksi batubara. Selain itu, pembuatan *bench* di atas lapisan batubara berfungsi untuk menahan longsor yang mungkin terjadi, juga menghindari kontaminasi lapisan batuan yang di atasnya akibat adanya air hujan, sehingga tidak menurunkan kualitas dari batubara tersebut. Dengan menggunakan *Slide V.6.0* diperoleh nilai Faktor Keamanan lereng rekomendasi peneliti pada kondisi kering  $FK=1.518$  dan pada kondisi basah  $FK=1.300$ . Sedangkan hasil analisis nilai Faktor Keamanan menggunakan *Metode Bishop* terhadap lereng rekomendasi peneliti diperoleh  $FK=1.530$  pada kondisi kering dan  $FK=1.425$  pada kondisi basah.

**Kata Kunci:** Analisis Kestabilan Lereng, *Sidewall*, Faktor Keamanan, Metode *Bishop*

## **ABSTRACT**

*The research location is located on the sidewall slope of Pit Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara and actually in south of the IUP concession boundary, where the slope has formed a final opening condition (no development occurs in the sidewall), so a slope stability analysis is needed to maintain the stability of the final shape of the slope. Based on the results of the study, the Safety Factor value obtained using Slide V.6.0 of the actual overall slope in dry conditions  $SF = 1,691$ , in wet conditions  $SF=1,314$ . The overall slope of the geotech recommendations in dry condition obtained  $SF=1,549$  and in wet conditions  $S=1,301$ . While the value of the Safety Factor uses the Bishop Method for the actual overall slope of the dry conditions obtained  $FK=1,787$  and in wet conditions  $SF=1,437$ . For the overall slope of the geotech recommendations in dry conditions the  $SF= 1.554$  and in the wet condition  $SF=1.311$ . The researcher recommends that a change in the geometry of the slope is made where the recommendation slope of the researcher is modeled based on the height of the excavator used to form the level on the sidewall slope by calculating the bucket size of the excavator used so that the making of the slope design of the research recommendation can be made more easily. The researchers' recommendation slopes form 5 benches with each level having a height of 10 meters, a width of 5 meters, and an overall slope angle of  $37^\circ$ . Changes in the slope level of the recommended slope are intended to further reduce Overburden collection and increase the amount of coal production. In addition, the making of benches on coal seams serves to withstand landslides that may occur, also to avoid contamination of the rock layers above due to rain water, so that it does not degrade the quality of the coal. By using Slide V.6.0, the safety factor value of the slope is recommended by researchers on dry conditions  $SF=1,518$  and on wet conditions  $SF=1,300$ . While the results of the analysis of the value of the Safety Factor using the Bishop Method on the slopes of the researchers' recommendations were obtained  $SF=1,530$  in dry conditions and  $SF=1,425$  in wet conditions.*

**Keywords:** *Slope Stability Analysis, Sidewall, Safety Factors, Bishop Methods*

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>SARI</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB I      PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Maksud dan Tujuan .....	2
1.3.1. Maksud.....	2
1.3.2. Tujuan .....	2
1.4. Manfaat .....	3
1.5. Batasan Masalah .....	4
<b>BAB II     KAJIAN PUSTAKA</b>	
2.1. Penelitian Terdahulu .....	5
2.2. Batubara .....	6
2.3. Lereng .....	10
2.4. Kelongsoran Lereng .....	10
2.5. Pengujian Laboratorium .....	11
2.6. Longsoran Busur ( <i>Circular Failure</i> ) .....	12
2.7. Kestabilan Lereng .....	13
2.8. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng.....	15
2.8.1. Persebaran Batuan .....	16
2.8.2. Struktur Geologi .....	16
2.8.3. Sifat Fisik Material .....	16
2.8.4. Sifat Mekanik Material .....	18
2.8.5. Relief Permukaan Bumi .....	19
2.8.6. Geometri Lereng .....	20
2.8.7. Kondisi Air Tanah.....	20
2.8.8. Iklim.....	20
2.8.9. Gaya-Gaya Luar.....	21
2.9. Konsep Faktor Keamanan Lereng .....	21
2.10. Peraturan Kestabilan Lereng Penambangan di Indonesia ...	22
2.11. Prinsip-Prinsip Dasar Metode Irisan .....	29

2.12. Analisis Kestabilan Lereng Irisan Bishop .....	35
2.13. Permodelan & Analisis Permodelan Lereng Menggunakan <i>Slide V.6.0</i> .....	38
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1. Gambaran Umum Wilayah Penelitian .....	40
3.1.1. Lokasi dan Kesampaian Daerah .....	40
3.1.2. Keadaan Iklim dan Curah Hujan .....	41
3.2. Kondisi Geologi .....	41
3.2.1. Kondisi Geologi Regional .....	41
3.2.1.1. Fisiografi.....	41
3.2.1.2. Statigrafi .....	42
3.2.1.3. Struktur Geologi .....	44
3.2.2. Kondisi Geologi Daerah Penelitian .....	44
3.2.2.1. Morfologi Daerah Penelitian .....	44
3.2.2.2. Litologi Daerah Penelitian.....	44
3.2.2.3. Struktur Geologi Daerah Penelitian.....	45
3.3. Alat dan Bahan .....	46
3.4. Tata Laksana .....	48
3.4.1. Langkah Kerja .....	48
3.4.2. Metode Penelitian .....	51
3.5. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian Skripsi.....	53
3.6. Waktu Penelitian.....	54
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Hasil .....	55
4.1.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian .....	55
4.1.1.1. Kondisi Lokasi Penelitian .....	55
4.1.1.2. Geometri Lereng <i>Actual Sidewall</i> Hasil <i>Section A-A'</i> .....	57
4.1.1.3. Material Penyusun Lereng .....	59
4.1.1.4. Karakteristik Material Penyusun Lereng ..	60
4.1.2. Analisis Kestabilan Lereng pada Pit Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara .....	61
4.1.2.1. Lereng Keseluruhan Aktual ( <i>Overall Slope</i> ).....	62
4.1.2.2. Lereng Rekomendasi Geotek .....	68
4.1.3. Rekomendasi Upaya Menjaga Stabilitas Lereng Tambang .....	74
4.2. Pembahasan .....	81
4.2.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian .....	81
4.2.1.1. Kondisi Lokasi Penelitian .....	81
4.2.1.2. Geometri Lereng <i>Actual Sidewall</i> Hasil <i>Section A-A'</i> .....	82
4.2.1.3. Material Penyusun Lereng .....	83
4.2.1.4. Karakteristik Material Penyusun Lereng ..	84

4.2.2.	Analisis Kestabilan Lereng pada Pit Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara .....	86
4.2.2.1.	Lereng Keseluruhan Aktual ( <i>Overall Slope</i> ).....	87
4.2.2.2.	Lereng Rekomendasi Geotek .....	88
4.2.3.	Rekomendasi Upaya Menjaga Stabilitas Lereng Tambang .....	89
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1.	Kesimpulan .....	91
5.2.	Saran .....	93
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
	<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1. Faktor Keamanan Perancangan Lereng .....	22
Tabel 2.2. Nilai Faktor dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang .....	23
Tabel 2.3. Persamaan Dan Variabel Yang Tidak Diketahui .....	32
Tabel 2.4. Asumsi Yang Digunakan Oleh Beberapa Metode Irisan .....	33
Tabel 2.5. Kondisi Kesetimbangan yang Dipenuhi .....	34
Tabel 3.1. Batas Koordinat Wilayah IUP PT Prolindo Cipta Nusantara ..	40
Tabel 3.2. Waktu Penelitian .....	54
Tabel 4.1. Geometri Lereng Aktual .....	57
Tabel 4.2. Material Penyusun Lereng .....	59
Tabel 4.3. Karakteristik Material Penyusun Lereng .....	60
Tabel 4.4. Perhitungan Faktor Keamanan <i>Overall Slope Actual</i> Kondisi Kering dengan Metode <i>Bishop</i> .....	64
Tabel 4.5. Perhitungan Faktor Keamanan <i>Overall Slope Actual</i> Kondisi Basah dengan Metode <i>Bishop</i> .....	67
Tabel 4.6. Perhitungan Faktor Keamanan Lereng Rekomendasi Geotek Kondisi Kering dengan Metode <i>Bishop</i> .....	70
Tabel 4.7. Perhitungan Faktor Keamanan Lereng Rekomendasi Geotek pada Kondisi Basah dengan Metode <i>Bishop</i> .....	73
Tabel 4.8. Perhitungan Faktor Keamanan Lereng Rekomendasi Peneliti pada Kondisi Kering dengan Metode <i>Bishop</i> .....	76
Tabel 4.9. Perhitungan Faktor Keamanan Lereng Rekomendasi Peneliti pada Kondisi Basah dengan Metode <i>Bishop</i> .....	79
Tabel 4.10. Nilai Perbandingan Faktor Keamanan Lereng <i>Actual</i> Hasil <i>Software Slide V.6.0</i> dan Perhitungan Metode <i>Bishop</i> .....	80

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1. Tipe Longsoran Busur .....	12
Gambar 2.2. Ketidakseimbangan Akibat Perubahan Tegangan .....	15
Gambar 2.3. Ketersingkapkan Bidang Lemah .....	15
Gambar 2.4. Ilustrasi Tambang Terbuka Batubara .....	28
Gambar 2.5. Ilustrasi Tambang Terbuka Mineral .....	28
Gambar 2.6. Model Lereng dengan Bidang Runtuh Berbentuk Busur ....	30
Gambar 2.7. Model Lereng dengan Bidang Runtuh Berupa Gabungan Sebuah Busur Lingkaran Dengan Segmen Garis Lurus .....	30
Gambar 2.8. Model Lereng dengan Bidang Runtuh Berupa Gabungan Beberapa Segmen Garis Lurus (Multilinier) .....	30
Gambar 2.9. Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan Bishop .....	35
Gambar 2.10. Diagram Menentukan Nilai $M_i$ .....	37
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian .....	53
Gambar 4.1. Lokasi Penelitian Lereng <i>Sidewall Pit Barat</i> .....	55
Gambar 4.2. Peta Lokasi Lubang Bor .....	56
Gambar 4.3. Dokumentasi Peneliti di Lapangan .....	56
Gambar 4.4. <i>Cross Section A-A'</i> Lereng <i>Sidewall Pit Barat</i> .....	57
Gambar 4.5. Penampang Sayaran A-A' Lereng <i>Sidewall Pit Barat</i> PT. Prolindo Cipta Nusantara .....	58
Gambar 4.6. Geometri Lereng Aktual Berdasarkan <i>Slide V.6.0</i> Hasil <i>Cross Section A-A'</i> Lereng <i>Sidewall Pit Barat</i> .....	58
Gambar 4.7. Nilai Faktor Keamanan Pada <i>Overall Slope Actual</i> Kondisi Kering Berdasarkan <i>Slide V.6.0</i> .....	62

Gambar 4.8.	Nilai Faktor Keamanan Pada <i>Overall Slope Actual</i> Kondisi Basah Berdasarkan <i>Slide V.6.0</i> .....	65
Gambar 4.9.	Nilai Faktor Keamanan Pada Lereng Rekomendasi Geotek Kondisi Kering Berdasarkan <i>Slide V.6.0</i> .....	68
Gambar 4.10.	Nilai Faktor Keamanan Pada Lereng Rekomendasi Geotek Kondisi Basah Berdasarkan <i>Slide V.6.0</i> .....	71
Gambar 4.11.	Nilai Faktor Keamanan Pada Lereng Rekomendasi Geotek Kondisi Basah Berdasarkan <i>Slide V.6.0</i> .....	74
Gambar 4.12.	Nilai Faktor Keamanan Pada Lereng Rekomendasi Peneliti Kondisi Kering Berdasarkan <i>Slide V.6.0</i> .....	77

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Summary of Direct Shear Test
- Lampiran B Spesifikasi Alat : Excavator PC400
- Lampiran C Spesifikasi Alat : Excavator PC800
- Lampiran D Data Curah Hujan Kabupaten Tanah Bumbu
- Lampiran E Peta Kesampaian Daerah PT. Prolindo Cipta Nusantara
- Lampiran F Peta Geologi Regional Kota Baru PT. Prolindo Cipta Nusantara
- Lampiran G Peta Izin Usaha Pertambangan PT. Prolindo Cipta Nusantara
- Lampiran H Peta Lokasi Penelitian *Pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara
- Lampiran I Peta Situasi Lereng *Sidewall Pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

PT. Prolindo Cipta Nusantara merupakan perusahaan pertambangan batubara yang terletak di Desa Sebamban Baru, Kecamatan Sei Loban, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan. Saat ini, *Pit Barat* adalah satu-satunya *pit* yang sedang beroperasi dalam kegiatan penambangan batubara dan menerapkan sistem penambangan terbuka (*surface mining*) dengan metode *open pit*. Metode tersebut menerapkan penggalian permukaan tanah dengan membentuk sisi bukaan *pit* yang diantaranya adalah *sidewall*.

Kegiatan penggalian permukaan tanah menyebabkan terjadinya perubahan gaya penggerak dan penahan pada lereng sisi *sidewall*. Perubahan gaya tersebut dipengaruhi oleh jenis material (dengan sifat fisik dan mekanik), struktur geologi (sebagai ciri adanya bidang diskontinu), geometri lereng, tinggi muka air tanah, serta iklim dan kondisi curah hujan yang tinggi.

Pada saat ini, lereng sisi *sidewall Pit Barat* telah membentuk kondisi bukaan *final* (tidak akan ada terjadi *development* pada sisi *sidewall*) sehingga diperlukan analisis kestabilan lereng guna menjaga kestabilan bentuk *final* lereng sisi *sidewall* di *Pit Barat*. Oleh sebab itu, penelitian ini akan membahas mengenai “Analisis Kestabilan Lereng Pada Tambang Batubara *Pit Barat* PT. Prolindo Cipta Nusantara Desa Sebamban Baru, Kecamatan Sei Loban, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan”.

## 1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana kondisi lereng pada tambang batubara *Pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara?
2. Berapakah nilai faktor keamanan lereng pada tambang batubara *Pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara?
3. Bagaimana lereng yang stabil berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng dengan menggunakan Metode *Bishop* pada tambang batubara *Pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara?

## 1.3. Maksud dan Tujuan

### 1.3.1. Maksud

Adapun maksud dari penulisan skripsi ini adalah untuk menganalisis kestabilan lereng pada tambang batubara *Pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara, Desa Sebamban Baru, Kecamatan Sei Loban, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan.

### 1.3.2. Tujuan

1. Untuk mengetahui bagaimana kondisi lereng pada tambang batubara *Pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara.
2. Untuk mengukur nilai faktor keamanan lereng pada tambang batubara *Pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara.
3. Untuk memperoleh rekomendasi desain lereng pada tambang batubara *Pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara.

#### 1.4. Manfaat

Adapun penulisan skripsi ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada beberapa pihak terkait, yaitu:

1. Bagi Peneliti

Selain sebagai salah satu syarat dalam menempuh gelar Sarjana Strata-1 pada Teknik Pertambangan, penulisan skripsi ini semakin menambah pengalaman dan pengetahuan peneliti dalam dunia pertambangan khususnya mengenai analisis kestabilan lereng dengan menggunakan metode Bishop.

2. Bagi Perusahaan

Penulisan skripsi ini memberikan *feedback* berupa hasil analisis kestabilan lereng sisi *sidewall Pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara serta rekomendasi bentuk geometri lereng yang aman sesuai dengan data-data yang diperoleh melalui perhitungan menggunakan metode Bishop.

3. Bagi Pembaca

Penulisan skripsi ini juga diharapkan dapat menambah wawasan kepada pembacanya mengenai ilmu geoteknik tambang khususnya pada analisis kestabilan lereng.

### 1.5. Batasan Masalah

Pembahasan skripsi ini dibatasi oleh:

1. Penelitian dilakukan pada lereng sisi *sidewall Pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara, dengan kondisi lithologi berdasarkan data *Log Bor GT-002*;
2. Data parameter karakteristik dan tebal perlapisan material diperoleh dari “*Geotechnical Drilling Report by PT Danmar Explorindo*”;
3. Dalam analisis kestabilan lereng pada kondisi jenuh, tinggi muka air tanah mengikuti permukaan lereng;
4. Analisis kelongsoran dilakukan dengan metode *Bishop* dan bantuan *Software Slide V.6.0*;
5. Rekomendasi pencegahan longsor hanya membahas rancangan dari segi teknis, tanpa mempertimbangkan segi ekonomi dan lingkungan;
6. Faktor yang menjadi acuan nilai kestabilan lereng adalah berdasarkan Kepmen 1827K/30/MEM/2018, Lampiran II, Halaman 56 - 59 dan Halaman 91 – 94.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Terdahulu

##### 1. Wendra Bangsawan, 2016

Pada penelitian terdahulu oleh Wendra Bangsawan (2016) diperoleh nilai FK pada keempat analisis yaitu 2,41; 1,07; 1,56; 3.16 . Hasil nilai Faktor Keamanan pada Analisis *Overall Slope* adalah 1,54. Dari nilai tersebut dikatakan lereng tersebut relatif aman dengan geometri lereng sesuai dengan kondisi aktual dengan ketentuan apabila nilai Faktor Keamanan  $> 1,5$  maka dapat disimpulkan bahwa lereng dalam keadaan stabil. Berdasarkan nilai Faktor Keamanan *Overall Slope*, *ultimate pit limit* dengan kedalaman yang diinginkan aman dilakukan sehingga tidak menambah biaya untuk pengangkutan *overburden* dikarenakan telah terjadinya kelongsoran.

##### 2. Muhammad Syarif, 2017

Pada penelitian terdahulu oleh Muhammad Syarif (2017), diperoleh perhitungan peneliti menyarankan nilai FK 1,683 berdasarkan *Software Slide V6.0* dan jika dihitung menggunakan Metode *Bishop* diperoleh nilai Faktor Keamanan sebesar 2,056. Menurut dasar teori yang digunakan oleh peneliti jika nilai Faktor Keamanan  $> 1,5$  maka lereng dikatakan stabil. Peneliti menyarankan perlu dilakukannya pemantauan air tanah disekitar lereng, sehingga analisis stabilitas lereng semakin akurat serta pengawasan secara teliti saat pembuatan *bench* agar mengikuti desain tambang yang dibuat.

### 1. Agus Sabar Sabdono, 2017

Pada penelitian terdahulu oleh Agus Sabar Sabdono (2017), memaparkan bahwa kondisi geologi pada Pit 7 West B, tersusun atas litologi batupasir kuarsa, batulempung dan batubara dan struktur geologi didominasi oleh kekar gerus dan kekar tarik. Tingkat kestabilan lereng *lowwall* dan *highwall Pit 7 West B* berada pada kategori aman, dengan nilai FK kondisi aktual *highwall* antara 2,3-3,5 dan *lowwall* antara 1,5-8,4, sedangkan nilai FK rekomendasi peneliti untuk *highwall* berkisar antara 1,3-1,9 dan *lowwall* antara 1,9-2,2. Untuk meningkatkan kestabilan lereng, peneliti menyarankan untuk memperkecil sudut lereng atau menurunkan tinggi lereng serta menghilangkan lapisan tanah penutup pada elevasi di atas 40 mdpl.

### 2.2. Batubara

Batubara terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan melalui proses pembatubaraan. Unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen dengan rumus formula empiris seperti  $C_{137}H_{97}O_{9}NS$  untuk bituminus dan  $C_{240}H_{90}O_{4}NS$  untuk antrasit. Klasifikasi batubara berdasarkan tingkat energinya (SNI-13-601-1999) dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu:

#### 1. Batubara Energi Rendah (Brown Coal)

Batubara paling rendah peringkatnya, mudah rapuh, lunak, memiliki kadar air tinggi (10-70%), terdiri atas batubara energi rendah lunak (soft brown coal) dan batubara lignitik yang memperlihatkan struktur kayu. Nilai kalorinya <7000 kalori per gram (dalam bentuk dry-ASTM).

## 2. Batubara Energi Tinggi (Hard Coal)

Batubara yang peringkatnya lebih tinggi dari brown coal, kompak, sulit rapuh, lebih keras, kadar air relatif rendah, struktur kayu tidak tampak lagi, pada saat penanganan (coal handling) relatif tahan terhadap kerusakan fisik. Nilai kalorinya >7000 kalori per gram (dalam bentuk dry-ASTM).

Klasifikasi batubara oleh American Society for Testing and Materials:

### 1. Rank Anthracitic

Merupakan Rank batubara paling tinggi, merupakan batubara berkualitas paling baik dimana persentase kandungan fixed carbonnya berkisar 86% - 98%. Terdiri atas beberapa grup, yaitu:

- Meta – Anthracite: batubara pada rank anthracite dengan kualitas paling baik, dimana kandungan fixed carbonnya bisa mencapai >98% serta persentase kandungan volatile matternya <2% (dalam keadaan dry).
- Anthracite: batubara pada rank anthracite yang mengandung persentase fixed carbon >92% - <98% serta persentase kandungan volatile matternya >2% - <8% (dalam keadaan dry).
- Semi – Anthracite: batubara pada rank anthracite yang mengandung persentase fixed carbon >86% - <92% serta persentase kandungan volatile matternya >9% - <14% (dalam keadaan dry).

### 2. Rank Bituminous

Memiliki persentase fixed carbon sebesar <69% - <86% serta persentase kandungan volatile matter >32% - <22%. Terdiri atas beberapa grup, yaitu:

- **Low–Volatile Bituminous:** batubara yang mengandung persentase fixed carbon sebesar  $>78\%$ - $<86\%$  serta persentase kandungan volatile matternya sebesar  $>14\%$  -  $<22\%$  (dalam keadaan dry).
- **Medium – Volatile Bituminous:** batubara dalam rank bituminous yang memiliki kandungan fixed carbon sebesar  $>69\%$ - $<78\%$  serta kandungan volatile matter sebesar  $>22\%$  -  $<31\%$  (dalam keadaan dry).
- **High – Volatile A Bituminous:** batubara dalam rank bituminous dengan fixed carbon sebesar  $<69\%$ , kandungan volatile matternya sebesar  $>31\%$ , serta nilai kalorinya  $>14000$  BTU/lb (dalam keadaan dry).
- **High – Volatile B Bituminous:** batubara dalam rank bituminous dengan nilai kalori  $>13000$  BTU/lb -  $<14000$  BTU/lb (dalam keadaan dry).
- **High – Volatile C Bituminous:** batubara dalam rank bituminous dengan nilai kalori  $>11500$  BTU/lb -  $<13000$  BTU/lb (dalam keadaan dry).

### 3. **Rank Sub-bituminous**

Merupakan Rank batubara yang mengandung nilai kalori  $>8300$  BTU/lb -  $<11500$  BTU/lb. Terdiri atas beberapa grup, yaitu:

- **Subbituminous A:** batubara dalam rank subbituminous yang mempunyai nilai kalori sebesar  $>10500$  BTU/lb -  $<11500$  BTU/lb (dalam keadaan dry).
- **Subbituminous B:** batubara dalam rank subbituminous yang mempunyai nilai kalori sebesar  $>9500$  BTU/lb -  $<10500$  BTU/lb (dalam keadaan dry).

- Subbituminous C: batubara dalam rank subbituminous yang mempunyai nilai kalori sebesar  $>8300$  BTU/lb -  $<9500$  BTU/lb (dalam keadaan dry).

#### 4. Rank Lignitic

Rank batubara yang paling rendah dan memiliki kualitas rendah dengan nilai kalori  $<6300$  BTU/lb -  $<8300$  BTU/lb. Terdiri atas beberapa grup, yaitu:

- Lignite A: batubara dalam rank lignitic yang mempunyai nilai kalori sebesar  $>6300$  BTU/lb -  $<8300$  BTU/lb (dalam keadaan dry).
- Lignite B: batubara dalam rank lignitic yang mempunyai nilai kalori  $<6300$  BTU/lb (dalam keadaan dry).

Proses perubahan sisa-sisa tanaman menjadi gambut hingga batubara disebut dengan istilah pembatubaraan (coalification). Secara ringkas ada 2 tahap proses yang terjadi, yakni:

##### 1. Tahap Diagenetik atau Biokimia

Tahap ini dimulai pada saat material tanaman terdeposisi hingga lignit terbentuk. Agen utama yang berperan dalam proses perubahan ini adalah kadar air, tingkat oksidasi dan gangguan biologis yang dapat menyebabkan proses pembusukan (dekomposisi) dan kompaksi material organik serta membentuk gambut.

##### 2. Tahap Malihan atau Geokimia

Tahap ini meliputi proses perubahan dari lignit menjadi bituminus dan akhirnya antrasit.

### 2.3. Lereng

Lereng adalah permukaan tanah yang memiliki dua elevasi berbeda dan memiliki kemiringan terhadap garis horizontal (membentuk sudut). Hal yang perhatian dari ahli-ahli geologi teknik, yaitu:

1. Lereng alami, yaitu lereng yang terbentuk akibat kegiatan alami, seperti erosi, gerakan tektonik dan sebagainya.
2. Lereng yang dibuat manusia, akibat penggalian atau pemotongan pada tanah asli untuk pembuatan jalan atau keperluan irigasi.
3. Lereng timbunan tanah, untuk jalan raya atau bendungan tanah.

### 2.4. Kelongsoran Lereng

Perbedaan elevasi lereng mengakibatkan pergerakan massa tanah dengan elevasi yang tinggi menuju elevasi yang lebih rendah dan akan timbul suatu gaya penggerak akibat adanya gaya gravitasi dan cenderung membuat blok di atas permukaan miring tersebut bergerak menuruni lereng. Jika gaya penggerak sangat besar dan kekuatan geser dari material penyusun lereng relative kecil, maka dapat terjadi longsor (Terzaghi and Peck, 1967).

Jika longsor pada permukaan bidang gelincir memotong dasar/di atas ujung dasar lereng dinamakan longsor lereng (*slope failure*). Lengkung kelongsoran disebut sebagai lingkaran ujung dasar (*toe circle*). Pada kondisi tertentu terjadi kelongsoran dangkal (*shallow slope failure*). Jika longsor terjadi dimana permukaan bidang gelincir berada agak jauh di bawah ujung dasar dinamakan longsong dasar (*base failure*).

## 2.5. Pengujian Laboratorium

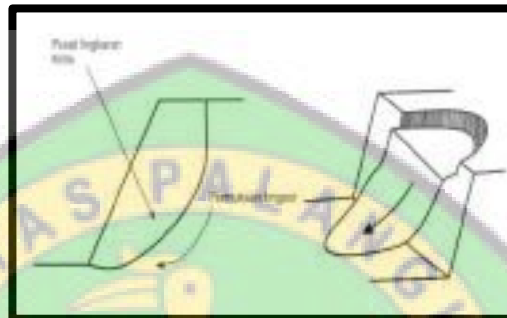
Untuk melakukan perancangan suatu lereng tambang diperlukan pengetahuan mengenai karakteristik material penyusunnya. Hal tersebut dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan penyelidikan lapangan ataupun dengan melakukan pengujian laboratorium terhadap contoh (*sample*) batuan dari hasil pemboran di lapangan (Irwandy Arif, 2016).

Pemboran menghasilkan data litologi dan contoh batuan dalam bentuk *core* yang diuji di laboratorium untuk menentukan sifat fisik batuan seperti: bobot isi, *specific gravity*, porositas, absorpsi, dan *void ratio*. Sifat mekanik batuan seperti: kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, modulus elastisitas, dan *nisbah poisson* yang menyusun material penutup *overburden*, *interburden*, maupun batuan dasar. Hasilnya diperlukan untuk menentukan tinggi dan sudut lereng yang aman dan ekonomis untuk penambangan maupun penimbunan. Jenis pengujian yang dilakukan adalah :

1. Uji sifat fisik untuk mendapatkan parameter *dry density* ( $\gamma$  dry), *saturated density* ( $\gamma_{sat}$ ), porositas ( $n$ ), dan derajat kejenuhan ( $S$ ).
2. Uji kuat tekan uniaksial, untuk mendapatkan parameter kuat tekan uniaksial ( $\sigma$  dan  $c$ ), modulus elastisitas ( $E$ ) dan *Poisson's ratio* ( $\nu$ ).
3. Uji kuat geser langsung (*direct shear*) maksimum (*peak*) dan sisa (*residu*) untuk mendapatkan parameter kohesi maksimum, sisa ( $c_{max}$  dan  $c_{sisa}$ ), sudut geser dalam maksimum dan sisa ( $\phi_{max}$  dan  $\phi$  sisa).
4. Uji triaksial untuk mendapatkan parameter kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ).

## 2.6. Longsoran Busur (*Circular Failure*)

Pada batuan keras longsoran busur terjadi jika batuan sudah mengalami pelapukan, mempunyai bidang lemah sangat rapat dan kedudukannya tidak dikenali lagi. Tanda suatu longsoran busur berupa rekahan tarik permukaan lereng, disertai menurunnya sebagian permukaan lereng disamping rekahan.



**Gambar 2.1. Tipe Longsoran Busur**

( Sumber : Hoek & Bray, 2005 )

Syarat - syarat terjadinya longsoran busur adalah :

1. Memiliki banyak bidang lemah dan arah longsorrannya bergerak sepanjang bidang lemah yang berbentuk busur.
2. Kemiringan lereng lebih besar dari kemiringan bidang lemah dan kemiringan bidang lemah lebih besar dari sudut geser dalam batuan.
3. Material pembentuk lereng diasumsikan homogen.
4. Kelongsoran terjadi pada bidang busur yang melewati lantai lereng.
5. Rekahan tarik vertikal diasumsikan terjadi atas lereng/muka lereng.
6. Kondisi air tanah bervariasi dari kering sampai jenuh total.
7. Posisi dari rekahan tarik dan permukaan busur adalah sama.

## 2.7. Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng didefinisikan sebagai ketahanan blok di atas suatu permukaan miring (dihitung dari garis horizontal) terhadap runtuh (*collapsing*) dan gelinciran (*slidding*) (Kliche, 1999).

Analisis kestabilan lereng baik pada tahap perancangan tambang terbuka maupun pasca tambang, merupakan bagian penting yang harus diperhatikan untuk mencegah terjadinya kelongsoran yang berakibat pada keselamatan pekerja dan peralatan (Harries, dkk., 2009).

Kestabilan lereng dipengaruhi oleh faktor geometri lereng, karakteristik fisik dan mekanik material penyusun lereng, air (hidrologi dan hidrogeologi), struktur bidang lemah batuan, tegangan alamiah dalam massa batuan, konsentrasi tegangan lokal, getaran (alamiah: gempa, dan buatan: efek peledakan, efek lalu lalang alat berat), iklim, hasil perbuatan pekerja tambang, serta pengaruh termik (Moshab, 1997).

Kestabilan lereng dapat dihitung dengan metode sayatan (*slice method*) menurut Metode *Bishop* dengan data yang diperlukan antaralain:

### 1. Geometri Lereng

Terdiri atas konfigurasi jenjang, sudut antar jenjang, dan sudut lereng total. Lereng yang terlalu tinggi akan mempengaruhi kestabilan lereng.

### 2. Data mekanika tanah

Terdiri dari data sudut geser dalam ( $\phi$ ), bobot isi tanah atau batuan ( $\gamma$ ), koehesi ( $c$ ) dan kadar air tanah ( $\omega$ ).

Faktor keamanan (*safety factor*) merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil, dengan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya longsor (*Hoek and Bray, 1981*).

Secara matematis faktor kestabilan lereng dinyatakan sebagai berikut:

Keterangan :

$$F = R / F_p \dots\dots\dots (2.1)$$

F = faktor kestabilan lereng

R = gaya penahan, berupa resultan gaya yang membuat lereng tetap stabil.

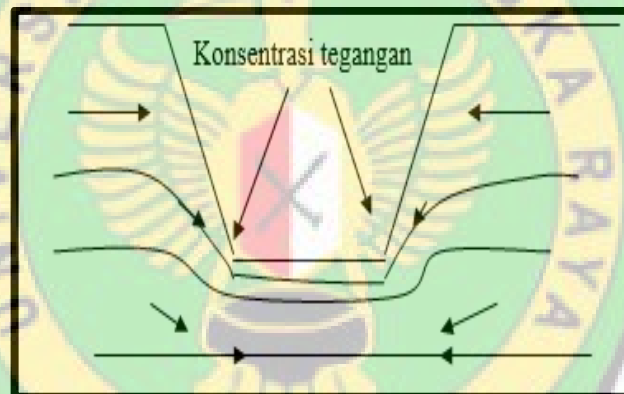
$F_p$  = gaya penggerak, berupa resultan gaya yang menyebabkan lereng longsor.

Tujuan dari analisis kestabilan lereng menurut Abramson (2002) :

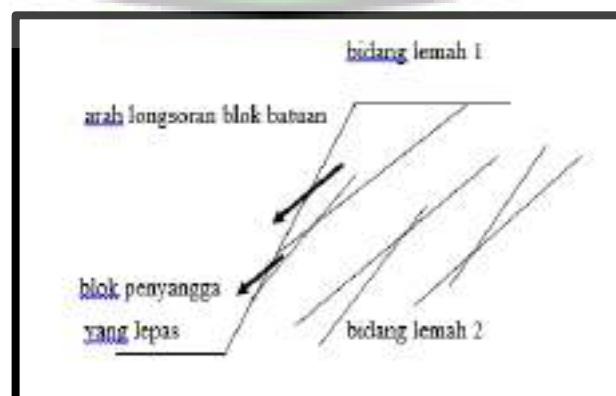
1. Memahami pembentuk dan jenis-jenis lereng alami serta hal-hal yang mempengaruhi karakteristik lereng tersebut.
2. Menilai kestabilan lereng pada kondisi berdasarkan jangka waktu pendek (biasanya selama tahap konstruksi) dan panjang.
3. Menilai kemungkinan terjadinya longsor yang melibatkan lereng alami dan lereng buatan.
4. Memahami mekanisme runtuh dan pengaruh dari faktor-faktor lingkungan serta menganalisis longsor yang terjadi.
5. Memungkinkan perancangan ulang suatu lereng yang telah runtuh, dan jika perlu melakukan perencanaan untuk pengukuran ulang sebagai langkah preventif.
6. Mempelajari pengaruh beban seismik (*seismic loading*) pada lereng.

## 2.8. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Dengan adanya penggalian, ketersingkapan bidang lemah semakin besar dan menyebabkan besarnya kemungkinan longsor. Makin besar geometri lereng, ketersingkapan bidang lemah akan makin besar. Semakin tinggi lereng, perubahan tegangan semakin besar dan bidang lemah yang tersingkap semakin banyak. Ketidakstabilan lereng disebabkan oleh perubahan tegangan akibat penghilangan beban pada sisi lereng yang lain. Perubahan tegangan ini menyebabkan bergesernya suatu blok tanah dimana kuat gesernya akan dilampaui yang pada akhirnya akan longsor.



**Gambar 2.2. Ketidakeimbangan Akibat Perubahan Tegangan**  
( Sumber : Pande, Beer, Williams. 1990 )



**Gambar 2.3. Ketersingkapan Bidang Lemah**  
( Sumber : Pande, Beer, Williams. 1990 )

Kestabilan suatu lereng tergantung beberapa faktor yaitu :

### **2.8.1. Persebaran Batuan**

Jenis batuan/tanah dan penyebaran serta hubungan antar batuan pada daerah penyelidikan harus diketahui karena sifat fisik dan mekanis suatu batuan berbeda, sehingga kekuatan menahan bebannya juga berbeda. Hal ini yang mempengaruhi kekuatan dari setiap lapisan penyusun lereng tambang.

### **2.8.2. Struktur Geologi**

Struktur geologi mempengaruhi kestabilan lereng sehingga perlu diperhatikan struktur regional dan lokal. Struktur geologi merupakan bidang lemah/bidang diskontinu dan sekaligus sebagai tempat merembesnya air sehingga batuan menjadi lebih mudah longsor. Struktur geologi batuan dapat dideskripsi dari data pemboran *full coring* maupun pengamatan di lapangan.

### **2.8.3. Sifat Fisik Material**

#### **1. Berat Satuan Material ( $\gamma$ )**

Merupakan perbandingan berat suatu material dengan volume total material. Hal ini menimbulkan tekanan air pori pada permukaan bidang dan menimbulkan beban yang menyebabkan longsor.

#### **2. Porositas**

Merupakan perbandingan antara volume pori batuan dengan volume keseluruhan batuan. Batuan dengan porositas besar akan menyerap banyak air sehingga berat batuan menjadi besar dan mengurangi kestabilan lereng.

Rumus porositas adalah sabagai berikut:

$$n = \frac{e}{1+e}$$

Keterangan :

n = porositas batuan

e = volume pori

1+e = volume keseluruhan batuan

### 3. Kadar Air dalam Batuan ( $\omega$ )

Perbandingan antara berat air dengan berat butiran batuan. Semakin banyak kandungan air dalam batuan, akan mempengaruhi tekanan air pori.

Kuat geser batuan semakin kecil, sehingga nilai FK lereng berkurang.

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

Keterangan :

$W_w$  = berat air

$W_s$  = berat butiran dalam batuan

### 4. Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Merupakan perbandingan volume air pori dengan volume isi pori seluruhnya. Makin jenuh batuan, kadar air dalam batuan makin besar maka akan memperbesar tekanan air pori dan memperkecil kuat geser material, sehingga nilai kestabilan lereng akan berkurang.

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$$

Keterangan :

$S_r$  = derajat kejenuhan

$V_v$  = volume isi pori keseluruhan

$V_w$  = volume air pori

#### 2.8.4. Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik material yang mempengaruhi kestabilan lereng :

##### 1. Kuat Tekan Tanah atau Batuan

Merupakan kapasitas struktur batuan/tanah dalam menahan beban yang mengurangi ukuran yang dapat diukur dengan memasukkannya dalam kurva tegangan-regangan dari data mesin uji laboratorium.

##### 2. Bobot Isi Tanah atau Batuan

Makin besar bobot isi lereng, gaya geser penyebab longsor semakin besar. Nilai bobot isi batuan terdiri dari nilai bobot isi batuan pada kondisi asli ( $\gamma_n$ ), kondisi kering ( $\gamma_d$ ) dan kondisi basah ( $\gamma_w$ ).

##### 3. Kuat Geser Tanah atau Batuan

Sifat fisik batuan dalam kestabilan lereng adalah bobot isi tanah ( $\gamma$ ), sedangkan sifat mekaniknya adalah kuat geser batuan, yang dinyatakan dengan parameter kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ). Kuat geser batuan berperan sebagai gaya penahan pada lereng.

##### 4. Kohesi Batuan ( $C$ )

Merupakan gaya tarik-menarik antar partikel dalam batuan. Makin besar kohesi batuan maka kuat geser semakin besar. Harga kohesi diperoleh dari pengujian kuat tekan triaksial, kemudian diplotkan dalam sebuah grafik antara tegangan normal dan tegangan geser. Selubung Mohr (*Mohr Circle Envelope*) membentuk garis jalur tegangan. Kemudian garis diproyeksikan terhadap sumbu  $y$  (tegangan geser) dan nilai kohesi pun diperoleh.

## 5. Sudut Geser Dalam Batuan ( $\Phi$ )

Merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya.

Untuk mengetahui nilai kohesi dan sudut geser dalam, dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\tau_{nt} = \sigma_n \tan \phi + c \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

$\tau_{nt}$  = tegangan geser

$\sigma_n$  = tegangan normal

$\phi$  = sudut geser dalam

C = kohesi

Pengujian *direct shear strength test/shear box test* adalah menggeser langsung contoh tanah/batuan di bawah kondisi beban normal tertentu. Pergeseran diberikan terhadap bidang pecah, sementara untuk tanah dilakukan pergeseran secara langsung pada contoh tanah. Beban normal yang diberikan diupayakan mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.

### 2.8.5. Relief Permukaan Bumi

Mempengaruhi laju erosi, pengendapan, menentukan arah aliran air permukaan dan mengakibatkan pengikisan. Akibatnya banyak dijumpai singkapan yang mempercepat proses pelapukan. Batuan menjadi lapuk dan mempengaruhi kuat batuan sehingga kemantapan lereng berkurang.

### 2.8.6. Geometri Lereng

Ditentukan dengan membuat penampang vertikal berdasarkan peta topografi. Untuk lereng buatan, geometri lereng ditentukan dari desain lereng yang akan dibuat. Lereng menjadi kurang stabil jika kemiringannya besar, apabila lereng sangat landai, lereng cenderung lebih kuat dan stabil. Namun jika lereng terlalu landai, maka jumlah bahan galian yang digali akan lebih sedikit karena *stripping ratio* semakin besar.

### 2.8.7. Kondisi Air Tanah

Keberadaan air dapat mengurangi kestabilan lereng, menurunkan kekuatan geser material akibat naiknya tekanan air pori, bertambahnya berat satuan material, timbulnya gaya rembesan karena pergerakan air. Perancangan lereng sebaiknya mempertimbangkan kondisi air tanah yang terburuk. Selain faktor curah hujan tinggi, kondisi air tanah yang berbahaya juga dapat disebabkan oleh kebocoran saluran irigasi, tersumbatnya sistem drainase serta retakan-retakan tarik yang terisi oleh air tanah.

### 2.8.8. Iklim

Iklim mempengaruhi perubahan temperatur. Temperatur yang cepat sekali berubah akan mempercepat proses pelapukan batuan. Untuk daerah tropis, pelapukan lebih cepat dibandingkan daerah dingin, karena itu singkapan batuan pada lereng di daerah tropis lebih cepat lapuk dan ini mengakibatkan lereng mudah tererosi dan longsor.

### 2.8.9. Gaya-Gaya Luar

Gaya dari luar yang mempengaruhi kestabilan lereng, antara lain :

1. Pemotongan pada kaki lereng
2. Getaran yang ditimbulkan oleh gempa bumi, peledakan, dan penggunaan alat-alat mekanis berat didekat tubuh lereng.
3. Beban dinamik akibat lalu lintas alat angkut yang bekerja.
4. Beban statik akibat dari bangunan maupun timbunan di atas lereng.

### 2.9. Konsep Faktor Keamanan Lereng

Kestabilan lereng, baik secara alami maupun buatan dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penggerak dan gaya-gaya penahan yang bertanggung jawab terhadap kestabilan lereng tersebut. Secara matematis, kestabilan lereng dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$F = \frac{\text{Gaya Penahan Longsor}}{\text{Gaya Penggerak Longsor}}$$

Apabila gaya penahan lebih besar daripada penggerak, lereng tersebut akan berada dalam kondisi yang stabil. Namun, apabila gaya penahan lebih kecil daripada gaya penggerak, lereng tersebut dinyatakan tidak stabil.

Ketentuan nilai faktor keamanan yang ada tidak menjamin 100% lereng dalam kondisi stabil dikarenakan kurang telitinya pengujian sample di laboratorium. Sample yang diambil belum mewakili kondisi litologi batuan dilapangan, dalam hal ini ukuran sample batuan yang digunakan dianggap mewakili litologi batuan penyusun lereng.

**Tabel 2.1.**  
**Faktor Keamanan Perancangan Lereng**

Nilai FK	Keadaan Lereng
<1,0	Tidak mantap
1,0-1,2	Kemantapan diragukan
1,3-1,4	Memuaskan untuk pemotongan dan penimbunan
<b>1,5-1,7</b>	<b>Mantap untuk bendungan</b>

( Sumber : Bendungan tipe urugan, Suyono Sosrodarsono 1977 )

Semakin tinggi nilai FK lereng, semakin baik namun secara ekonomi akan berbanding terbalik karena itu harus dicapai titik antara kedua hal sehingga mendapatkan titik optimum dari stabilitas lereng dan nilai ekonomis. Maka dari itu dalam penelitian perhitungan dan permodelan mengacu pada nilai **FK 1,5** untuk lereng tunggal maupun lereng keseluruhan.

## **2.10. Peraturan Kestabilan Lereng Penambangan di Indonesia**

Kepmen ESDM 1827K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang baik, menggantikan peraturan Kepmen 555K/26/MPE/1995 tentang Keselamatan dan kesehatan kerja pertambangan umum. Manfaat dan nilai tambah penghapusan/revisi peraturan :

1. Menyederhanakan proses bisnis dan rantai birokrasi dalam pelaksanaan kaidah teknik bidang minerba untuk mewujudkan good mining practice,
2. Memberikan pedoman bagi pemerintah dan pemerintah daerah provinsi dalam melaksanakan pemibinaan dan pengawasan terhadap minerba,
3. Meningkatkan efektifitas serta debirokratisasi dalam pengawasan.

Lereng Penambangan menurut Kepmen 1827K/30/MEM/2018, Lampiran II, Halaman 56 - 59 dimana Geoteknik Tambang paling kurang terdiri atas :

- a. Penyelidikan geoteknik meliputi jumlah, kedalaman, dan lokasi pengeboran inti, deskripsi litologi, preparasi conto geoteknik, pengukuran dan analisis struktur geologi, kegempaan, pengaruh peledakan, serta hasil penyelidikan hidrologi dan hidrogeologi;
- b. Pengujian conto geoteknik yang meliputi laboratorium pengujian dan hasil dari uji sifat fisik dan sifat mekanik conto;
- c. Pengolahan data hasil penyelidikan geoteknik dan pengujian conto geoteknik yang menggambarkan model dengan parameter yang ditetapkan dari hasil butir a dan b probabilitas longsor sebagaimana tabel berikut :

**Tabel 2.2.**  
**Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang**

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (Consequences of Failure/CoF)	Kriteria dapat diterima (Acceptance Criteria)		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (Min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (Probability of Failure) (maks) PoF ( $FK \leq 1$ )
Lereng Tunggal	Rendah s.d. Tinggi	1,1	Tidak ada	25-50%
Inter-ramp	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%

( Sumber : Kepmen 1827K/30/MEM/2018, Lampiran II, Halaman 57 )

- d. Kriteria keparahan longsor (consequences of failure) :
- i. Tinggi bila ada konsekuensi terhadap:
    - a. Kematian manusia;
    - b. Cidera berat manusia lebih dari 3 orang;
    - c. Kerusakan sarana - prasarana pertambangan lebih 50%
    - d. Terhentinya produksi lebih dari 24 jam;
    - e. Cadangan hilang dan tidak bisa diambil;
    - f. Kerusakan lingkungan yang berdampak sampai ke luar wilayah IUP termasuk pemukiman;
  - ii. Menengah bila ada konsekuensi terhadap:
    - a. Cidera berat manusia;
    - b. Kerusakan sarana dan prasarana pertambangan dari 25% sampai 50%;
    - c. Terhentinya produksi lebih dari 12 jam sampai kurang dari 24 jam;
    - d. Cadangan tertimbun tetapi masih diambil;
    - e. Kerusakan lingkungan di dalam wilayah iup.
  - iii. Rendah bila ada konsekuensi terhadap:
    - a. Cidera ringan manusia;
    - b. Kerusakan sarana dan prasarana pertambangan  $< 25\%$ ;
    - c. Terhentinya produksi kurang dari 12 jam;
- e. Khusus untuk lereng timbunan faktor keamanan dihitung dengan menggunakan kohesi dan sudut gesek dalam residual;

- f. Pengolahan data hasil penyelidikan geoteknik dan pengujian conto geoteknik yang menggambarkan model dengan parameter yang ditetapkan dari hasil butir a dan b untuk mendapatkan faktor keamanan lubang bukaan tambang bawah tanah fixed facility paling kurang senilai 2,0 dan untuk nonfixed facility paling kurang senilai 1,5;
- g. Rekomendasi hasil pengolahan data yang menjelaskan geometri dan dimensi bukaan tambang dan timbunan/penyanggaan yang diperlukan;
- h. Rekomendasi rencana pemantauan yang dilakukan untuk menilai kestabilan bukaan tambang;
- i. Dalam hal penyelidikan geoteknik dilakukan untuk tambang bawah tanah dilakukan pengklasifikasian massa batuan;
- j. Jumlah, kedalaman, dan lokasi pengeboran inti dapat mewakili keseluruhan litologi dan struktur geologi di area rencana bukaan tambang dan rencana konstruksi fasilitas pertambangan;
- k. Kegempaan meliputi koefisien gempa (peak ground acceleration) sesuai dengan sni 1726:2012 dan perubahannya;
- l. Pengaruh peledakan meliputi nilai percepatan getaran, frekuensi dan kecepatan partikel dan fragmentasi hasil peledakan;
- m. Dalam hal terjadi gempa dengan nilai koefisien gempa yang lebih besar dari standar dalam sni 1726:2012 dan perubahannya, koefisien gempa yang digunakan adalah koefisien gempa yang lebih besar tersebut;

Lereng Penambangan menurut Kepmen 1827K/30/MEM/2018, Lampiran II, Halaman 91 – 94 adalah sebagai berikut :

1. Dalam hal ditemukan kondisi geologi yang belum teridentifikasi dalam kajian geoteknik sebelumnya maka melakukan :
  - Langkah pengamanan terhadap lereng;
  - Meningkatkan intensitas pemantauan pergerakan lereng;
  - Memastikan tindak lanjut hasil pemantauan kestabilan lereng;
  - Membuat kajian geoteknik lanjutan yang sewaktu-waktu dapat diperiksa oleh Inspektur Tambang.
2. Setiap kejadian longsor pada lereng penambangan dilakukan pemeriksaan dan melakukan analisis ulang (back analysis) geoteknik;
3. Pada setiap lereng penambangan memiliki sistem penyaliran yang mampu mengalirkan debit air larian tertinggi;
4. Faktor Keamanan lereng tambang keseluruhan dihitung menggunakan kuat geser puncak, sedangkan untuk lereng tambang tunggal dan lereng timbunan dihitung menggunakan kuat geser residual;
5. Dalam hal nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor lereng tambang tidak memenuhi nilai dalam studi kelayakan maka berdasarkan hasil kajian teknis yang paling kurang mencakup geometri dan dimensi lereng tambang, umur pakai lereng, faktor keamanan lereng tambang, upaya penguatan lereng tambang, rencana pemantauan, dan tindak lanjut serta analisis risiko.

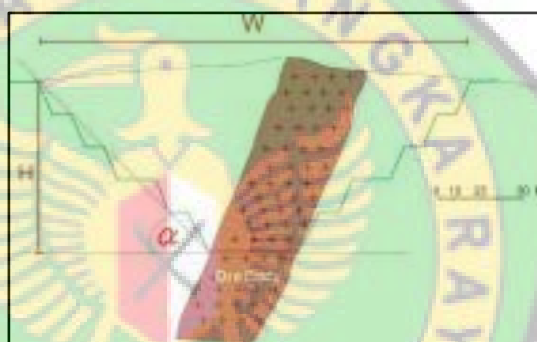
Terkait lereng akhir penambangan,

1. Pengaturan lereng akhir penambangan sesuai dengan dokumen studi kelayakan yang telah disetujui;
2. Bila lereng akhir penambangan tidak sesuai dengan rencana, dilakukan berdasarkan hasil kajian teknis untuk memastikan kestabilan lereng dan batas akhir penambangan;
3. Dalam proses pembentukan lereng akhir penambangan menggunakan peledakan dicegah terjadinya overbreak akibat peledakan dan baris terakhir lubang ledak sekurang-kurangnya berjarak 2 kali tinggi lereng tunggal dari rencana lereng akhir penambangan atau berdasarkan hasil kajian teknis;
4. Pemantauan kestabilan lereng akhir penambangan dilakukan secara terus menerus dengan menggunakan alat pantau yang memadai;
5. Kepala Teknik Tambang menetapkan kriteria hasil pemantauan kestabilan lereng akhir penambangan dan langkah tindak lanjut;
6. Dalam hal untuk tujuan tertentu kendaraan digunakan disediakan akses paling kurang satu setengah kali lebar alat yang digunakan;
7. Akses dilengkapi dengan tanggul pengaman dengan tinggi paling kurang  $\frac{3}{4}$  roda terbesar kendaraan yang digunakan;
8. Pada crest lereng diberikan tanggul pengaman yang berfungsi untuk menahan batuan yang jatuh dengan tinggi paling kurang 1 meter ditambah 4% dari tinggi lereng;

9. Lebar bukaan tambang paling kurang 1 kali total tebal lapisan termasuk interburden ditambah dengan kedalaman akhir dibagi tangen sudut keseluruhan hasil kajian kemantapan lereng, dikali 2 ;



**Gambar 2.4.** Ilustrasi Tambang Terbuka Batubara  
( Sumber : Kepmen 1827K/30/MEM/2018, Lampiran II, Halaman 93 )



**Gambar 2.5.** Ilustrasi Tambang Terbuka Mineral  
( Sumber : Kepmen 1827K/30/MEM/2018, Lampiran II, Halaman 94 )

10. Dalam hal kedalaman akhir penambangan lebih dari 45 meter maka tersedia 2 akses untuk jalan masuk dan jalan keluar;
11. Bila nilai Faktor Keamanan tidak memenuhi nilai dalam studi kelayakan maka berdasarkan hasil kajian teknis yang sekurang-kurangnya mencakup geometri dan dimensi lereng akhir tambang, faktor keamanan lereng akhir tambang, upaya penguatan lereng akhir tambang, rencana pemantauan dan tindak lanjut, serta analisis risiko;
12. Kajian teknis berkaitan dengan lereng akhir penambangan disampaikan dalam laporan khusus kepada Kepala Inspektur Tambang;

## 2.11. Prinsip – Prinsip Dasar Metode Irisan

Metode irisan menyatakan kondisi kestabilan suatu lereng dinyatakan dalam indeks yang disebut factor keamanan, yang didefinisikan sebagai berikut :

$$F = \frac{s}{\tau} = \frac{\text{Kekuatan geser material yang tersedia}}{\text{Kekuatan geser yang diperlukan agar tetap seimbang}}$$

Faktor Keamanan mempunyai nilai sama untuk setiap irisan. Kekuatan geser material yang tersedia untuk menahan material sehingga lereng tidak longsor dinyatakan dalam kriteria keruntuhan Mohr-coulomb sebagai berikut:

$$s = c' + (\sigma_n - u) \tan \phi$$

Keterangan :

$S$  = Kekuatan geser

$\sigma_n$  = Tegangan normal total

$C'$  = Kohesi efektif

$u$  = Tekanan air pori

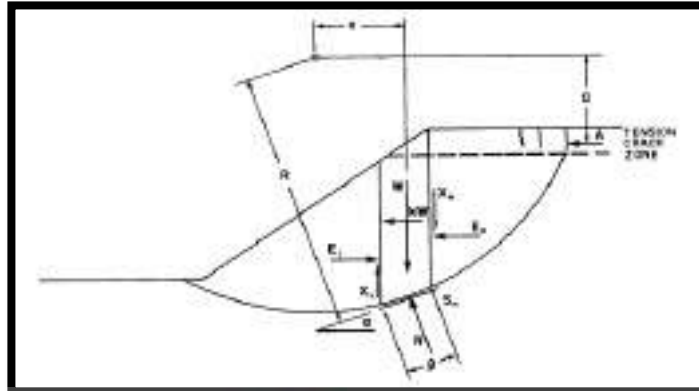
$\phi'$  = Sudut gesek efektif

Kekuatan geser dianggap tidak tergantung pada kondisi tegangan-regangan pada lereng. Besarnya tahanan gesek yang diperlukan agar lereng berada dalam kondisi tepat setimbang ( $S_m$ ) dapat dinyatakan dengan persamaan :

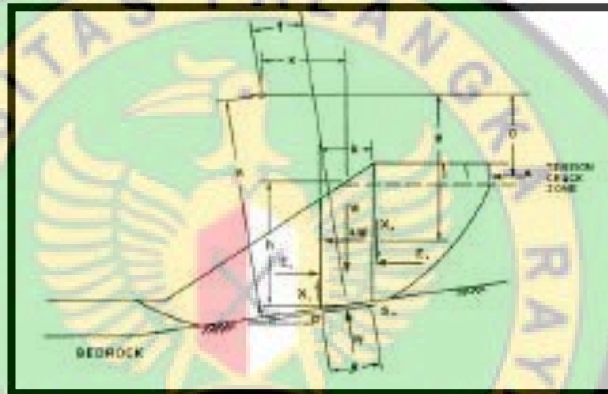
$$m = \frac{s \beta}{F} = \frac{(c' + (\sigma_n - u) \tan \phi') \beta}{F}$$

$$S_m = \frac{c' \beta + (N - u \beta) \tan \phi}{F}$$

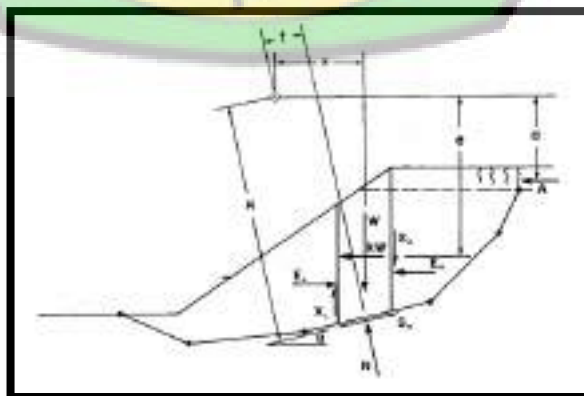
Geometri lereng dari bidang gelincir harus ditentukan dahulu. Untuk menyederhanakan perhitungan, bidang runtuh dianggap garis lurus atau gabungan beberapa garis lurus seperti pada gambar berikut:



**Gambar 2.6. Model Lereng dengan Bidang Runtuh Berbentuk Busur**  
( Sumber : Irwandy Arif, 2016 )



**Gambar 2.7. Model Lereng dengan Bidang Runtuh Berupa Gabungan  
Sebuah Busur Lingkaran dengan Segmen Garis Lurus.**  
( Sumber : Irwandy Arif, 2016 )



**Gambar 2.8. Model Lereng dengan Bidang Runtuh Berupa Gabungan  
Beberapa Segmen Garis Lurus (Multilinier).**  
( Sumber : Irwandy Arif, 2016 )

Keterangan dari gambar-gambar tersebut adalah sebagai berikut :

- W = Berat total Irisan
- N = Gaya normal total pada dasar irisan
- $S_m$  = Gaya geser pada dasar irisan yang diperlukan agar irisan berada dalam kondisi tepat setimbangan
- E = Gaya antar irisan horizontal, titik bawah L dan R menunjukkan masing- masing untuk sebelah kiri dan kanan dari irisan.
- X = Gaya antar irisan vertical, titik bawah L dan R menunjukkan masing- masing untuk sebelah kiri dan kanan dari irisan
- $kW$  = Gaya seismic hirzontal yang bekerja pada pusat massa irisan, dimana  $k$  adalah koefisien seismic
- R = Radius lingkaran untuk bidang runtuh busur lingkaran, atau lengan momen dari gaya geser  $S_m$  terdapat pusat momen untuk bidang runtuh yang bukan busur lingkaran
- f = jarak tegak lurus dari gaya normal N terhadap pusat momen
- x = jarak horizontal dari pusat massa irisan terhadap pusat momen
- e = Jarak vertikal dari pusat massa irisan terhadap pusat momen
- h = tinggi rata – rata irisan
- b = lebar irisan
- $\beta$  = Panjang dasar irisan ( $\beta = b \sec \alpha$ )
- a = Jarak vertical dari gaya hidrostatik pusat momen
- A = Gaya hidrosttik pada retakan Tarik

$\alpha$  = Sudut kemiringan dari garis singgung pada titik di tengah dasar irisan terhadap bidang horisontal. Sudut kemiringan bernilai positif apabila searah dengan kemiringan lereng, dan sebaliknya.

Setelah geometri bidang runtuh ditentukan selanjutnya massa di atas bidang runtuh dibagi ke dalam sejumlah irisan tertentu untuk mempertimbangkan terdapatnya variasi kuat geser dan tekanan air pori sepanjang bidang runtuh. Kestabilan lereng merupakan persoalan statik tak tentu, yaitu persoalan dimana terdapat lebih banyak variabel yang tak diketahui dibanding dengan jumlah persamaan yang ada.

**Tabel 2.3.**  
**Persamaan Dan Variabel yang Tidak Diketahui**

Persamaan	Keterangan
n	Keseimbangan momen untuk tiap irisan
n	Keseimbangan gaya dalam arah vertikal
n	Keseimbangan gaya dalam arah horisontal
n	Kriteria keruntuhan (Persamaan Mohr-Coulomb)
4n	Jumlah total persamaan
Variabel Yang Tak Diketahui	Variabel
1	Faktor keamanan (F)
n	Gaya normal pada dasar tiap irisan (N)
n	Titik kerja gaya Normal pada dasar tiap irisan
n	Gaya geser pada dasar tiap irisan (S <sub>m</sub> )
n – 1	Gaya geser antar-irisan (X)
1	Gaya normal antar-irisan (E)
n – 1	Titik kerja gaya antar-irisan (garis dorong)
6n – 2	Jumlah total variabel yang tidak diketahui

( Sumber : John Krahn, 2004 )

**Tabel 2.4**  
**Asumsi yang Digunakan oleh Beberapa Metode Irisan**

Metode	Asumsi
Irisan Biasa (Fellenius)	Resultan gaya antar-irisan sama dengan nol dan bekerja sejajar dengan permukaan bidang runtuh.
Bishop Yang Disederhanakan	Gaya geser antar-irisan sama dengan nol ( $X=0$ ).
Janbu Yang Disederhanakan	Gaya geser antar-irisan sama dengan nol ( $X=0$ ). Faktor koreksi digunakan sebagai faktor empiris untuk memasukkan efek dari gaya geser antar irisan
Janbu Yang Umum	Letak gaya antar-irisan didefinisikan oleh garis gaya antar irisan yang diasumsikan
Lowe-Karafiath	Kemiringan dari resultan gaya geser dan normal antar-irisan sama dengan rata-rata dari kemiringan permukaan lereng dan kemiringan bidang runtuh
Corps of Engineers	Kemiringan dari resultan gaya geser dan normal antar-irisan besarnya sama dengan : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kemiringan permukaan lereng, atau</li> <li>- Kemiringan dari kaki bidang runtuh ke puncak bidang runtuh.</li> </ul>
Spencer	Kemiringan dari resultan gaya geser dan normal antar irisan adalah sama untuk semua irisan.
Morgenstern-Price	Kemiringan gaya geser antar irisan besarnya sebanding dengan fungsi tertentu yang diasumsikan
Keseimbangan batas umum	Sudut gaya antar irisan besarnya sebanding dengan fungsi tertentu yang diasumsikan.

( Sumber : John Krahn, 2004 )

Jumlah asumsi yang digunakan menentukan kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi, apabila jumlah asumsinya melebihi  $(n - 2)$  maka tidak semua kondisi kesetimbangan dapat dipenuhi.

**Tabel 2.5.**  
**Kondisi Kesetimbangan yang Dipenuhi**

Metode	Keseimbangan		Keseimbangan Momen
	Vertikal	Horisontal	
Irisan Biasa (Fellenius)	Tidak	Tidak	Ya
Bishop Yang Disederhanakan	Ya	Tidak	Ya
Janbu Yang Disederhanakan	Ya	Ya	Tidak
Janbu Yang Umum	Ya	Ya	Tidak
Lowe-Karafiath	Ya	Ya	Tidak
Corps of Engineers	Ya	Ya	Tidak
Spencer	Ya	Ya	Ya
Morgenstern-Price	Ya	Ya	Ya
Keseimbangan Batas Umum	Ya	Ya	Ya

( Sumber : John Krahn, 2004 )

Berdasarkan kondisi keseimbangan yang dapat dipenuhi, metode irisan dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu:

1. Metode yang tidak memenuhi semua kondisi keseimbangan gaya dan momen, antara lain yaitu metode irisan biasa, metode Bishop yang disederhanakan, metode Janbu yang disederhanakan, dan metode Corps of Engineer.
2. Metode yang memenuhi semua kondisi keseimbangan gaya dan momen, antara lain yaitu Metode Spencer, Metode Morgenstern-Price dan Metode Keseimbangan Batas Umum.

## 2.12. Analisis Kestabilan Lereng Irisan Dengan Methode Bishop

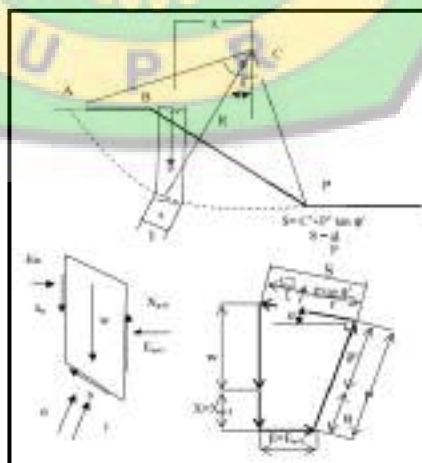
Metode bishop digunakan dalam menganalisa kestabilan lereng dengan memperhitungkan gaya-gaya antar irisan dan memperhitungkan komponen gaya-gaya *horizontal dan vertikal* dengan memperhatikan keseimbangan momen dari setiap potongan. Metode bishop mengasumsikan bidang longsor berbentuk busur lingkaran atau circular.

Methode Bishop menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan mempunyai resultan nol arah vertikal. Persamaan kuat geser adalah sebagai berikut:

$$\tau = \frac{c'}{F} + (\sigma - \mu) \frac{tg \phi}{F}$$

Keterangan:

- $\tau$  : Tegangan geser ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $c'$  : Kohesif tanah efektif
- $\sigma$  : Tegangan normal total pada bidang longsor ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $\mu$  : Tekanan air pori ( $\text{kN/m}^2$ )



**Gambar 2.9. Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Irisan Bishop**  
 ( Sumber: Bishop, A. W., 1995. *The Use of Slip Surfcae in The Stability of Analysis Slopes, Geotechnique, Vol 5. London* )

Dengan keterangan gambar sebagai berikut:

- S : Kekuatan geser efektif  
 s : Kekuatan geser yang ada  
 P' : Gaya normal efektif pada dasar irisan  
 $\phi'$  : Sudut geser dalam efektif  
 $\mu'$  : Tegangan air pori  
 c' : Kohesi efektif  
 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

Persamaan Faktor Keamanan untuk analisis stabilitas lereng dengan

Metode Bishop:

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + W_i (1 - r_u) \tan \theta'] \left( \frac{1}{\cos \theta_i (1 + \tan \theta' \times \tan \theta_i) / FK} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

Keterangan:

- FK : Faktor keamanan  
 $\theta_i$  : Sudut kemiringan irisan ke-i ( $^{\circ}$ )  
 c' : Kohesi tanah efektif (kN/m<sup>2</sup>)  
 b<sub>i</sub> : Lebar irisan ke-i (m)  
 W<sub>i</sub> : Berat irisan tanah ke-i (kN)

$\varphi'$  : Sudut geser dalam efektif ( $^{\circ}$ )

$\mu_i$  : Tekanan air pori irisan ke-i ( $\text{kN/m}^2$ )

Dimana, rasio tekanan air pori dapat di defenisikan sebagai berikut:

$$Ru = \frac{\mu b}{W} = \frac{\mu}{\gamma h}$$

Keterangan:

Ru : Rasio tekanan air pori

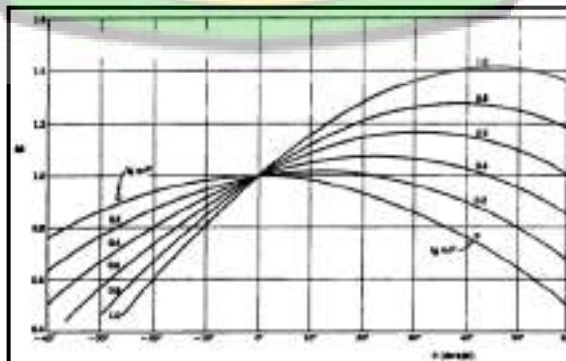
$\Gamma$  : Bobot isi tanah ( $\text{kN/m}^3$ )

$\mu$  : Tekanan air pori ( $\text{kN/m}^2$ )

h : Tinggi irisan rata-rata (m)

Metode Bishop ini menggunakan cara *Trial and error*, tetapi hasil hitungan lebih teliti. Lokasi lingkaran longsor kritis Metode *Bishop*, biasanya mendekati hasil lapangan, karena itu metode ini lebih disukai. Untuk memudahkan perhitungan dapat digunakan nilai fungsi  $M_i$  yaitu:

$$M_i = \cos \theta_i (1 + \text{tg } \theta_i \text{ tg } \varphi' / F)$$



**Gambar 2.10. Diagram Menentukan Nilai  $M_i$**

( Sumber : Bishop, A.W., 1955. *The Use of Slip Surface in The Stability of Analysis Slopes, Geotechnique, Vol 5 London* )

### 2.13. Permodelan & Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan *Slide V6.0*

*Rosience slide 6.0* adalah salah satu software geoteknik untuk perhitungan kestabilan lereng. Analisis kestabilan lereng memiliki kerumitan yang tinggi dengan banyak parameter karena itulah dalam menganalisis dibutuhkan hasil yang akurat dan detail guna mencegah terjadinya kesalahan dalam pengaplikasiannya. Langkah-langkah dalam menganalisis antara lain:

#### 1. Pembuatan Model

Melakukan import terhadap *section* lereng dalam bentuk dxf kemudian menentukan batas *boundary* terluar *section* dengan cara menyalin file koordinat x, y dari data *section* lereng dxf. Langkah ini diteruskan juga dengan membuat *boundary* batas material lapisan *soil*, OB, IB dan *seam* batubara dengan menggunakan masing-masing koordinat x dan y pada tiap-tiap lapisan. Langkah ini juga dilanjutkan dengan pembuatan *text* dari grid file dxf serta keterangan simbol dari material penyusun lereng.

#### 2. Mengidentifikasi *Project*

Mengatur model arah longsoran, metode analisis, model air tanah, serta jumlah irisan yang nantinya akan dihasilkan dari analisis.

#### 3. Mengidentifikasi Material

Material penyusun lereng yang akan di analisis dimasukan melalui *properties-define materials*. Lalu dilakukan pengisian terhadap material *name*. Karakteristik material yang dimasukkan kemudian adalah *unit weight* yang diperoleh dari nilai rata-rata tiap lapisan. Pengaturan selanjutnya dilakukan dengan pemilihan *strenght-type* berupa *Mohr-Coulomb* dan

dilanjutkan dengan pengisian nilai *cohesion* dan *phi* berdasarkan hasil laboratorium yang diperoleh dari nilai rata-rata masing-masing lapisan.

#### **4. Penentuan Material Boundary**

Dilakukan dengan menu *surface-surface option* selanjutnya dipilih material masing-masing berdasarkan *properties* yang telah diinput menggunakan *assign material*. Setiap material yang dipilih mewakili inputan *properties* masing-masing.

#### **5. Penentuan Bidang Gelincir**

Potensi bidang gelincir yang terjadi ditentukan dari *surface-surface option* dipilih *surface type-circular* untuk potensi longsor busur. Selanjutnya dipilih *auto grid* untuk penempatan titik pusat longsor dengan kemudian muncul spasi interval batas grid yang dimunculkan.

#### **6. Perhitungan FK**

Dilakukan dengan *compute* guna melakukan kalkulasi nilai faktor keamanan lereng berdasarkan metode analisis yang telah dipilih.

#### **7. Mengintrepetasi Hasil**

Setelah proses kalkulasi, hasil ditampilkan dengan proses *interpret* guna memunculkan hasil nilai faktor keamanan minimum. Untuk memunculkan irisan yang dibuat pada *show slide* dan setiap irisan memiliki perhitungan masing-masing setiap gaya yang bekerja pada irisan berdasarkan jumlah irisan.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Gambaran Umum Wilayah Penelitian

##### 3.1.1. Lokasi dan Kesampaian Daerah

PT. Prolindo Cipta Nusantara secara administratif berada pada Desa Sebamban Kecamatan Sei Loban Kabupaten Tanah Bumbu Provinsi Kalimantan Selatan dengan lokasi Izin Usaha Tambang seluas 350 hektar dengan batas - batas wilayah pertambangan sebagai berikut:

1. Sebelah utara : wilayah perkebunan kelapa sawit PT. Minamas.
2. Sebelah selatan : wilayah pertambangan PT. Sungai Danau Jaya.
3. Sebelah timur : wilayah pertambangan PT. Deky Kreasi.
4. Sebelah barat : wilayah pertambangan PT. Hati'if.

**Tabel 3.1.**  
**Batas Koordinat Wilayah IUP PT Prolindo Cipta Nusantara**

No.	Garis Bujur (BT)			Garis Lintang (LS)		
	0	'	“	0	'	“
1	115	36	54.0	3	36	32.4
2	115	38	7.4	3	36	32.5
3	115	38	7.4	3	37	20.1
4	115	36	44.4	3	37	20.1
5	115	36	44.4	3	36	54.0
6	115	36	54.0	3	36	54.0

( Sumber: PT. PCN Tahun 2016 )

Lokasi penelitian terletak  $\pm 220$  km ke arah Timur dari Banjarmasin dan  $\pm 410$  Km dari kota Palangka Raya melalui rute sebagai berikut :

1. Perjalanan di mulai dari Kota Palangka Raya, Kalimantan Tengah menuju Banjarbaru, Kalimantan Selatan menggunakan kendaraan darat dengan waktu tempuh  $\pm 4$  jam dengan kondisi jalan beraspal.
2. Perjalanan dilanjutkan dari Kota Banjarbaru, Kalimantan Selatan menuju Desa Sebamban Kecamatan Sei Loban Kabupaten Tanah Bumbu Kalimantan Selatan menggunakan kendaraan darat dengan waktu tempuh  $\pm 8$  jam dan kondisi jalan beraspal.

### **3.1.2. Keadaan Iklim dan Curah Hujan**

Wilayah PT. Prolindo Cipta Nusantara termasuk daerah beriklim tropis dengan 2 musim. Pada tahun 2017 curah hujan harian tertinggi 103 mm dan curah hujan harian terendah 0,5 mm sebanyak 205 hari. Sedangkan pada bulan Januari terhitung jumlah hujan sebanyak 22 hari.

## **3.2. Kondisi Geologi**

### **3.2.1. Kondisi Geologi Regional**

#### **3.2.1.1. Fisiografi**

Wilayah endapan batubara, secara fisiografi termasuk dalam cekungan asam dan terletak dibagian selatan Kalimantan Selatan. Cekungan asam ditempati oleh batuan sedimen Tersier setebal  $\pm 6000$  meter. Cekungan mengalami transgresi dari kala Eosen sampai dengan kala Miosen juga mengalami regresi pada kala Pliosen.

Saat terjadi transgresi, cekungan asam diendapkan dari batuan tua ke muda, dari Formasi Pudak, Formasi Manunggul, Formasi Tanjung, Formasi Berai dan Formasi Warukin. Aktifitas tektonik pada cekungan asam mempengaruhi proses pengendapan batuan di cekungan. Sebagai akibat dari aktifitas tektonik tersebut, terjadi pengangkatan pegunungan maratus, yaitu pada kalamiosen tengah dan kalaplistosen yang menyebabkan terjadinya pensesaran dan lipatan serta mengaktifkan struktur sesar yang lebih tua.

### **3.2.1.2. Stratigrafi**

Wilayah Sei Loban di tempati oleh batuan sedimen kapur, tersier dan kwarter. Urutan batuan sedimen tersebut dari tua pada daerah penyelidikan adalah sebagai berikut :

#### **1. Formasi Pitap**

Terdiri atas perselingan konglomerat, batupasir wacke dan batulanau, bersisipan batugamping, breksi, batulempung, basal dan konglomerat. Konglomerat umumnya berlapis baik, komponennya basal, batulempung, ultramafic, rijang, batugamping, gabbro dan diabas. Formasi diduga berumur kapur akhir dan terendapkan di lingkungan laut dangkal. Tebal satuan ini antara 1000 – 1500 meter. Formasi ini menjemari dengan Formasi Haruyan

#### **2. Formasi Tanjung**

Berumur eosin dan terdiri dari batupasir kuarsa berbutir halus sampai kasar. Tebal perlapisan 50–150 cm, struktur perlapisan cross beding (silangsiur), sisipan batulempung berwarna abu-abu. Pada

formasi ini ditemukan batubara berwarna hitam mengkilap dan batugamping berbentuk melensa berwarna abu-abu cerah.

### **3. Formasi Berai**

Di endapkan dalam lingkungan neritik dan ketebalan formasi  $\pm 1000$  meter. Diperkirakan berumur oligosen-miosenawal. Biasanya ditemukan batugamping berwarna abu-abu cerah yang kaya akan cangkang-cangkang kerang dan bersisipan.

### **4. Formasi Warukin**

Berumur miosen dan berhubungan tidak selaras dengan formasi Dahor. Formasi diendapkan di atas formasi berai dengan batuan penyusun seperti konglomerat, persilangan batulempung dan batulanau yang mengandung batubara. Satuan batuan tersebut di endapkan pada kondisi laut kalamiosen tengah dilingkungan paralik.

### **5. Formasi Dahor**

Terendapkan dalam lingkungan paralas dengan ketebalan formasi diperkirakan 250 meter, umurnya di antara dugaplioplistosen, biasanya pada formasi ini dijumpai batupasir kuarsa kurang padu, konglomerat dan batulempung lunak dengan sisipan lignit, kaolin dan limonit.

### **6. Satuan Alluvium**

Tersusun dari kerakal, krikil, pasir, lempung dan lumpur, hasil sedimentasi dari batuan induknya yang sudah tertransportasikan.

### 3.2.1.3. Struktur Geologi

Struktur geologi pada Kota Baru adalah lipatan dan sesar. Sumbu lipatan umumnya berarah barat daya–timur laut dan utara – selatan dan sejajar dengan arah sesar normal. Sesar mendatar berarah barat laut–tenggara dan barat daya–timur laut.

## 3.2.2. Kondisi Geologi Daerah Penelitian

### 3.2.2.1. Morfologi Daerah Penelitian

Topografi wilayah pesisir Kabupaten Tanah Laut mulai dari Pelaihari - Satui terdiri atas morfologi perbukitan bergelombang dan dataran. Morfologi perbukitan bergelombang terbentang di bagian utara jalan utama Pelaihari–Satui dengan elevasi berkisar antara 20–250 mdpl. Sungai-sungai yang mengalir ke arah pantai umumnya berpola hampir paralel dan bersifat aktif. Morfologi dataran terbentang 5–10 km dari garis pantai ke arah daratan dengan elevasi 70 m. Morfologi perbukitan bergelombang dengan elevasi berkisar antara 50–100 m terdapat di wilayah pesisir Pulau Laut sedangkan morfologi pedataran berada pada elevasi yang berkisar antara 20–50 m terdapat di kawasan daratan pesisir.

### 3.2.2.2. Litologi Daerah Penelitian

Susunan litologi pada daerah peneliti terdiri dari :

- **Satuan Batupasir**

Batupasir berwarna putih kelabu, keras, serpihan berupa lempengan bercampur lempung, halus kasar dengan komposisi

pasir kuarsa, sedimentasi pelapisan tidak sejajar dengan batupasir berwarna kuning keabu-abuan, bersifat lunak dengan ukuran butir 1/8-1 mm. Ketebalan antara 2-5 meter. Terbentuk di atas batuan non klastik/dibawah tanah pucuk terbentuk karena endapan erosi sungai hingga di atas 10 meter. Pada daerah endapan dasar biasanya tidak akan terjadi perubahan penyebaran terkecuali di daerah terbentuknya belokan sungai yang terdapat disebelah barat laut telah dijumpai adanya perbedaan struktur dan keadaan morfologi.

- **Satuan Batulempung**

Batulempung berwarna abu-abu, lunak, abu-abu kehitaman bercampur karbon bersifat karbonatan dan banyak dijumpai dalam bentuk lapisan pengapit batubara. Lanau lunak sedang, abu-abu cerah, bersifat homogen, tebal masing-masing bervariasi.

- **Batubara**

Berwarna hitam kecoklatan, berserat, kekerasan sedang.

### 3.2.2.3. Struktur Geologi Daerah Penelitian

Struktur geologi pada daerah penelitian ini berupa sesar, perlipatan dan kelurusan yang secara umum berarah ke barat daya – timur laut dan utara – selatan dan sejajar dengan arah sesar normal. Sesar mendatar berarah ke barat laut–tenggara dan barat daya – timur laut. Sesar terdiri dari sesar normal, sesar geser dan sesar naik yang melibatkan batuan sedimen yang berumur Tersier dan pra-Tersier.

Kelurusan ini diduga merupakan jejak/petunjuk sesar dan kekar yang berarah sejajar dengan struktur umum. Lipatan-lipatan berupa sinklin dan antiklin seperti halnya sesar dan kelurusan, juga berarah sejajar dengan struktur regional. Mengingat litologi daerah ini didominasi oleh batuan yang berumur tersier, diduga kehadiran sesar, kelurusan dan lipatan berhubungan erat dengan kegiatan tektonik yang terjadi pada zaman itu (Tersier).

### 3.3. Alat Dan Bahan

Adapun alat yang digunakan dalam kegiatan penelitian antara lain :

#### 1. Buku Lapangan (Catatan Harian) dan Alat Tulis

Buku lapangan dan alat tulis untuk mencatat data atau point-point penting yang diperlukan dalam penelitian. Buku lapangan yang digunakan berukuran kecil agar lebih mudah digunakan pada saat berada di lapangan.

#### 2. Kamera

Kamera berfungsi untuk mengambil gambar-gambar yang diperlukan selama proses kegiatan yang berlangsung dilapangan.

#### 3. Alat Pelindung Diri (APD)

Alat pelindung diri ini meliputi *safety shoes*, helmet, rompi *reflector*, masker dan *black glasses*. Peralatan ini berfungsi untuk melindungi diri dari hal-hal yang tidak diinginkan (mengurangi resiko terjadinya kecelakaan).

#### 4. Laptop

Laptop berfungsi untuk mengolah data–data yang telah diperoleh baik dari media buku–buku referensi maupun dari catatan lapangan dengan menggunakan beberapa aplikasi seperti:

- ***Software Slide V.6.0***

*Slide V.6.0* merupakan suatu alat bantu untuk mempermudah analisis data kestabilan lereng secara mudah, cepat dan akurat.

Aplikasi ini dapat merancang desain geometri jenjang yang meliputi tinggi, lebar, dan kemiringan jenjang lereng tambang beserta tingkat faktor keamanannya. Aplikasi ini dapat menghasilkan nilai faktor keamanan dari beberapa metode yang salah satunya adalah metode *bishop*.

- ***Software Surpac 6.3***

*Surpac* adalah *software* yang digunakan untuk *geology*, *surveying*, dan juga untuk *IT* dan *finance*. Dalam penelitian ini *Surpac 6.3* digunakan untuk menghitung geometri lereng seperti tinggi jenjang, lebar jenjang, dan sudut pada jenjang.

- ***Software Arcgis 9.3***

Dalam penelitian ini *Software Arcgis 9.3* digunakan untuk mengolah beberapa peta yang berhubungan dengan penelitian diantaranya : Peta Kesampaian Daerah Penelitian, Peta Geologi Regional, Peta IUP, Peta Lokasi Daerah Penelitian, Peta *Drilling Progress*, dan Peta Situasi Lereng *Sidewall Pit* Barat.

## 5. Alat Tekan Uji Batuan Pada Laboratorium

Adapun alat-alat yang digunakan dalam melakukan kegiatan pengujian kuat tekan batuan pada laboratorium adalah sebagai berikut :

- Uniaxial Compressive Strength (UCS)
- Piknometer
- Casagrande
- Hidrometer
- Satu set Ayakan No.4, No.10, No.20, No.40, No.60, No.80, No.100, No.200 & Sieve Shaker
- Mold & Hammer
- Alat Geser Langsung
- Alat Sondir & kelengkapannya
- Alat Konsolidometer
- Alat Uji Triaksial
- Oven

## 3.4. Tata Laksana

### 3.4.1. Langkah Kerja

Adapun langkah kerja yang dilakukan dalam dalam kegiatan peneitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari beberapa studi literatur/referensi mengenai analisis kestabilan lereng dengan menggunakan Metode *Bishop*.

2. Melakukan orientasi lapangan sebelum melakukan pengambilan data-data yang diperlukan dalam penyusunan laporan Skripsi. Orientasi lapangan juga berguna membantu peneliti untuk beradaptasi lebih baik dengan lingkungan/kondisi daerah penelitian.
3. Pengambilan data primer dan data sekunder di lokasi penelitian.

I. Data Primer:

a. Geometri lereng yang terdiri dari :

- Tinggi Lereng
- Lebar Jenjang,
- Tinggi Jenjang,
- Kemiringan Jenjang,

II. Data Sekunder:

- a. Peta Kesampaian Daerah
- b. Peta Geologi Regional
- c. Peta Topografi Daerah Penelitian
- d. Peta Izin Usaha Penambangan (IUP)
- e. Peta Lokasi Daerah Penelitian
- f. Peta *Drilling Progress*
- g. Data Geotek
- h. Data Curah Hujan
- i. Litologi Daerah Penelitian
- j. Nilai Kuat Tekan Batuan Berdasarkan Uji Laboratorium

#### 4. Tahapan Pengolahan dan Evaluasi Data

Data yang telah diperoleh baik dari data primer maupun data sekunder selanjutnya diolah dengan menggunakan bantuan *Software Slide 6.0 dan Surpac 6.3* dengan tahapan secara ringkas mengenai pengolahan dan analisis data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Membuat sayatan sesuai dengan lokasi daerah penelitian berdasarkan peta *topografi* dengan menggunakan alat bantu *Software Surpac 6.3* sehingga menghasilkan model penampang sebagai gambaran untuk geometri lereng keseluruhan secara aktual (*overall slope actual*);
- b. Import *boundaries* ke dalam *Software Slide V.6.0*;
- c. Menentukan *project setting* dan *analysis setting* pada *Software Slide V.6.0*;
- d. Setelah model *Overall Slope Actual* terbentuk, selanjutnya input data *lithology* dengan memilih *add material boundaries* pada toolbar *Software Slide V.6.0*;
- e. Memasukkan parameter material dan parameter geser massa batuan seperti kohesi, berat jenis basah, berat jenis kering, dan sudut geser batuan untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan
- f. Menentuksn *surface* (klik *auto grid*);
- g. *Compute* dan *Interpretasi* lereng yang sedang di analisis;
- h. *Output* nilai faktor keamanan lereng;

- i. Menganalisis nilai faktor keamanan *overall slope actual* berdasarkan metode *bishop*;
  - j. Menampilkan irisan dari *overall slope actual* sebagai acuan untuk menghitung Faktor Keamanan secara manual;
  - k. Mensimulasi geometri lereng sebagai upaya optimasi perancangan rekomendasi lereng;
5. Tahap Penyusunan Laporan Skripsi

Hasil dari data keseluruhan dirangkum ke dalam bentuk laporan tertulis untuk dipertanggung-jawabkan sebagai laporan hasil penelitian Skripsi.

#### **3.4.2. Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan oleh peneliti adalah metode kuantitatif yaitu metode penelitian yang bersifat induktif, objektif dan diperoleh berupa angka-angka atau pernyataan yang dinilai. Penelitian ini merupakan kuantitatif yang bersifat komparatif karena dalam penelitian ini dilakukan perbandingan antara dua variabel kondisi yaitu aktual dan rencana untuk mengatasi masalah. Penelitian dilaksanakan melalui prosedur sebagai berikut :

1. Studi literatur yaitu melakukan studi atau mencari yang digunakan berasal dari buku, jurnal penelitian, laporan, internet serta makalah-makalah yang berkaitan dengan analisis kestabilan lereng tambang.

2. Kegiatan Studi Lapangan

Kegiatan studi lapangan merupakan pengamatan di lapangan terhadap kondisi lereng *sidewall* pada *pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara lalu mencatat hasil pengamatan di lapangan terkait kondisi lereng di lokasi penelitian.

3. Pengelompokan Data.

Data yang diperoleh dari hasil studi literatur dan studi lapangan, kemudian dikelompokkan menjadi data sekunder dan data primer. Data sekunder adalah data penunjang yang didapat peneliti dari pihak Perusahaan/Instansi yang terkait dengan penelitian. Data primer adalah data yang diambil peneliti dilapangan dan diolah oleh peneliti sendiri.

4. Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menggunakan metode *Bishop*. Selanjutnya setelah mendapatkan parameter-parameter material dan parameter geser batuan, menentukan faktor keamanan dengan menggunakan *Software Slide V.6.0*.

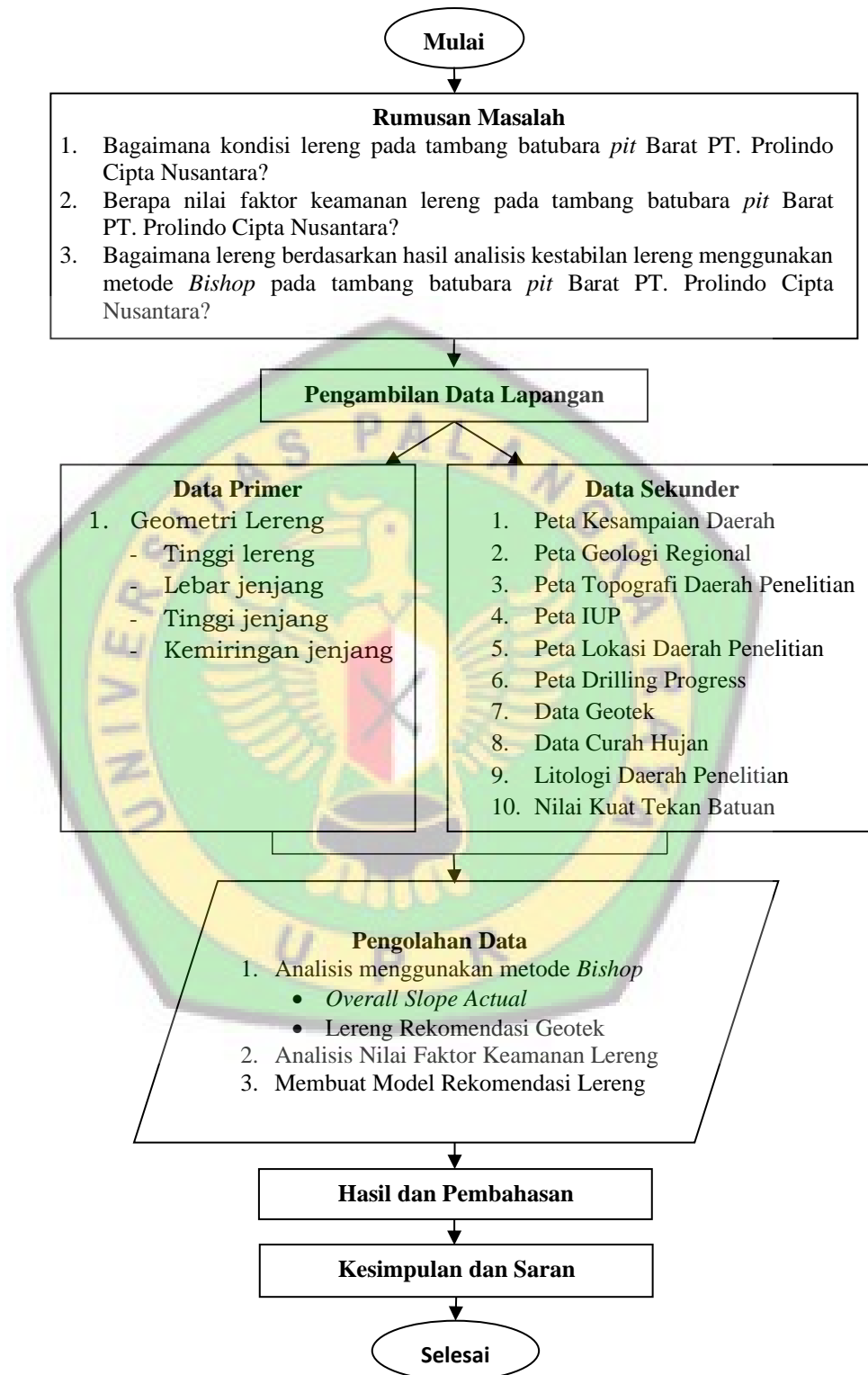
5. Pembahasan

Melakukan analisa terhadap data-data hasil penelitian sehingga didapatkan solusi guna penyelesaian masalah.

6. Kesimpulan dan Saran

Sebagai rekomendasi kepada perusahaan untuk menyelesaikan permasalahan di lapangan yang terkait dengan hasil penelitian.

### 3.5. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian Skripsi



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

### 3.6. Waktu Penelitian

Penelitian Skripsi ini dilakukan selama  $\pm$  2 bulan, mencakup keseluruhan kegiatan pengambilan dan pengolahan data, yaitu pada 01 Oktober 2018 sd 30 November 2018. Adapun rincian kegiatan pelaksanaan Penelitian Skripsi adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.2. Waktu Penelitian**

No.	Uraian Kegiatan	Oktober 2018				November 2018				Desember 2018				Januari – Maret 2019				April 2019				Mei – Agustus 2019				September 2019				Oktober 2019			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Konsultasi Judul Skripsi	■																															
2.	Penelitian di Lapangan	■	■																														
3.	Pengambilan Data	■	■	■																													
4.	Pengolahan Data		■	■																													
5.	Pembuatan Laporan			■																													
6.	Konsultasi Proposal Skripsi																																
7.	Seminar Proposal Skripsi																																
8.	Konsultasi Hasil Skripsi																		■	■	■	■	■	■	■								
9.	Seminar Hasil Skripsi																														■		
10.	Sidang Skripsi																																■

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.3. Hasil

##### 4.3.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

###### 4.3.1.1. Kondisi Lokasi Penelitian

PT. Prolindo Cipta Nusantara merupakan perusahaan tambang terbuka yang terletak di Desa Sebamban Baru Kecamatan Sei Loban Kabupaten Tanah Bumbu Provinsi Kalimantan Selatan dengan luas wilayah 350 jjHa. Lokasi penelitian terletak pada lereng *sidewall pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara. Posisi dari lereng *sidewall* ini berada tepat disebelah Selatan batas konsesi IUP (Izin Usaha Pertambangan) PT. Prolindo Cipta Nusantara.



Gambar 4.1. Lokasi Penelitian Lereng *Sidewall* Pit Barat

Berdasarkan PCN Geotechnical Drill Data by PT. Danmar Explorindo, lubang bor GT-002 merupakan titik bor yang paling dekat dengan lereng *Sidewall*, dimana lereng *Sidewall* merupakan lereng menjadi lokasi daerah penelitian.



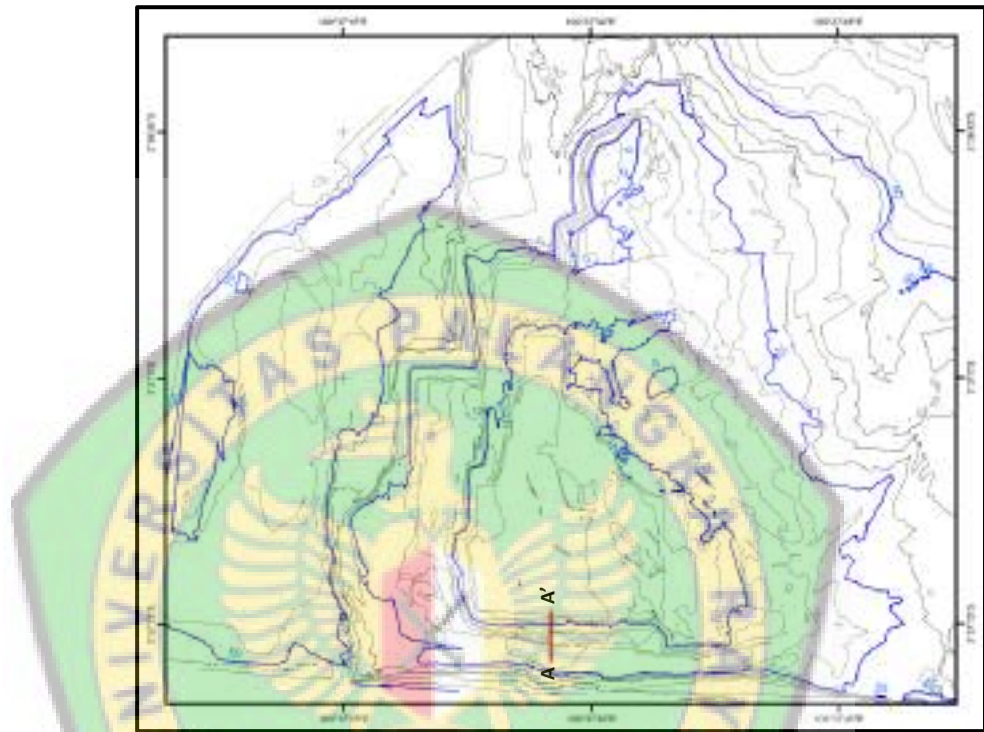
**Gambar 4.2. Peta Lokasi Lubang Bor**  
( Sumber : Data Geotek PT. Prolindo Cipta Nusantara, 2018 )



**Gambar 4.3. Dokumentasi Peneliti di Lapangan**

#### 4.3.1.2. Geometri Lereng *Actual Sidewall* Hasil *Section A-A'*

Sayatan pada lereng *Sidewall* diambil hanya 1 *section* yang dianggap dapat mewakili kondisi lereng di lokasi penelitian tersebut.

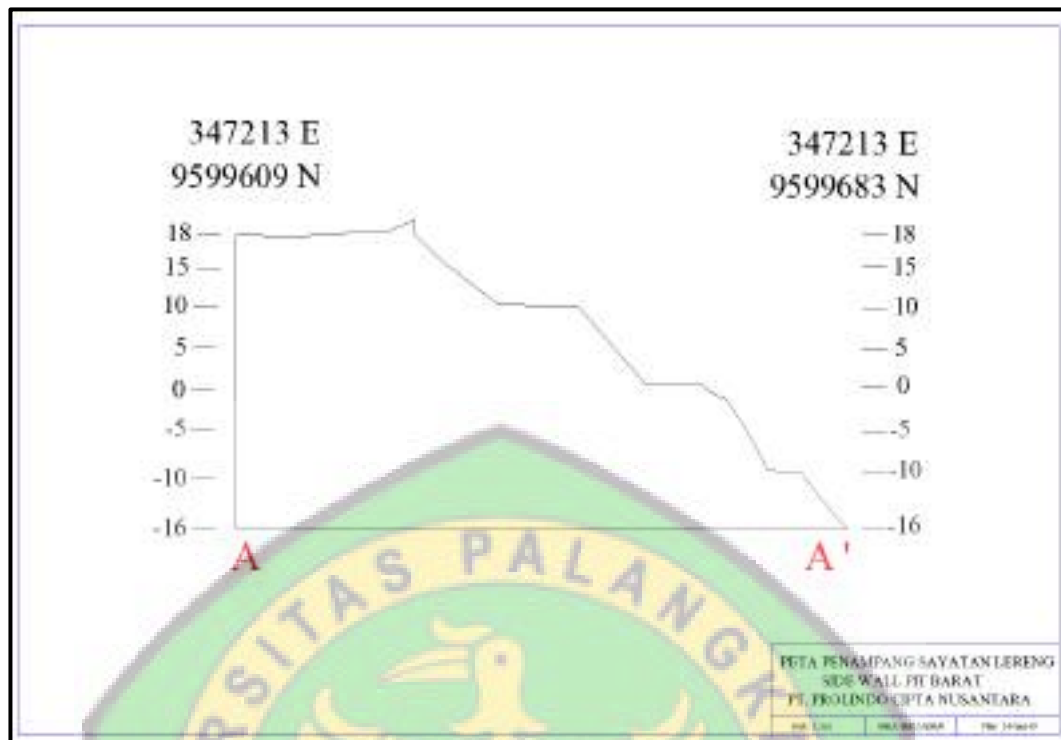


**Gambar 4.4. Cross Section A-A' Lereng Sidewall Pit Barat**

Berdasarkan kondisi aktual penampang lereng *Section A-A' mine out plan*, Lereng *Sidewall pit Barat* ini terdiri dari 4 bench dengan geometri lereng aktual sebagai berikut :

**Tabel 4.1.  
Geometri Lereng Aktual**

Parameter	Slope 1	Slope 2	Slope 3	Slope 4	Overall Slope
Tinggi jenjang (m)	10.183	9.452	10.202	7.534	70.902
Lebar jenjang (m)	9.619	6.945	3.954	106.353	287.117
Sudut kemiringan	40 <sup>0</sup>	49 <sup>0</sup>	52 <sup>0</sup>	53 <sup>0</sup>	35 <sup>0</sup>



Gambar 4.5. Penampang Sayatan A-A' Lereng *Sidewall Pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara



Gambar 4.6. Permodelan Geometri Lereng Aktual Berdasarkan *Slide V.6.0* Hasil *Cross Section A-A'* Lereng *Sidewall Pit* Barat

#### 4.3.1.3. Material Penyusun Lereng

Berdasarkan data pengeboran *coring* yang dilakukan pada bulan Desember 2017 - Januari 2018 yaitu titik bor GT-002 yang paling dekat dengan sisi *Sidewall* dengan kedalaman titik bor yakni 0 - 65,30 meter diperoleh lapisan batuan penyusun lereng yaitu *mudstone*, *sandstone*, *siltstone* dan *coal*.

**Tabel 4.2.**  
**Material Penyusun Lereng**

No	Depth		Length	Lithology
	From	To		
1	0.00	0.70	0.70	SOIL
2	0.70	3.00	2.30	MUDSTONE 1
3	3.00	8.30	5.30	COAL 1
4	8.30	9.80	1.50	SILTSTONE 1
5	9.80	16.65	6.85	SANDSTONE 1
6	16.65	18.06	1.41	MUDSTONE 2
7	18.06	18.70	0.64	SANDSTONE 2
8	18.70	20.77	2.07	MUDSTONE 3
9	20.77	22.23	1.46	SILTSTONE 2
10	22.23	23.30	1.07	MUDSTONE 4
11	23.30	24.43	1.13	SILTSTONE 3
12	24.43	25.50	1.07	MUDSTONE 5
13	25.50	45.42	19.52	COAL 2
14	45.42	46.80	1.38	MUDSTONE 6
15	46.80	48.30	1.50	SILTSTONE 4
16	48.30	51.70	3.40	MUDSTONE 7
17	51.70	53.78	2.08	SANDSTONE 3
18	53.78	54.34	0.56	MUDSTONE 8
19	54.34	59.30	4.96	SANDSTONE 4
20	59.30	61.42	2.12	SILTSTONE 5
21	61.42	62.53	1.11	MUDSTONE 9
22	62.53	63.01	0.48	COAL 3
23	63.01	65.30	2.29	MUDSTONE 10

( Sumber : Data Geotek PT. Prolindo Cipta Nusantara, 2018 )

#### 4.3.1.4. Karakteristik Material Penyusun Lereng

Analisis kemandapan lereng dilakukan berdasarkan karakteristik batuan pada masing-masing daerah kajian.

**Tabel 4.3.**  
**Karakteristik Material Penyusun Lereng**

NO.	SAMPLE CODE	Density		DIRECT SHEAR TEST + TRIAXIAL				Description of Soil/Rock
		Dry kN/m <sup>3</sup>	Wet kN/m <sup>3</sup>	Peak		Residual		
				Cohesion (Mpa)	Internal Friction Angel (°)	Cohesion (Mpa)	Internal Friction Angel (°)	
1	GT-002/S-03/DS-01	12.224	17.095	0.185	30.61	0.137	27.20	Mudstone
2	GT-002/S-03/DS-02							Mudstone
3	GT-002/S-03/DS-03							Mudstone
4	GT-002/S-04/DS-01	10.062	13	2.55	30.91	1.6	24.73	Coal
5	GT-002/S-04/DS-02							Coal
6	GT-002/S-04/DS-03							Coal
7	GT-002/S-08/DS-01	12.369	17.005	0.196	27.35	0.142	21.99	Sandstone
8	GT-002/S-08/DS-02							Sandstone
9	GT-002/S-08/DS-03							Sandstone
10	GT-002/S-08/DS-01	12.270	16.435	0.217	32.05	0.157	26.41	Siltstone
11	GT-002/S-08/DS-02							Siltstone
12	GT-002/S-08/DS-03							Siltstone

( Sumber : Data Geotek PT. Prolindo Cipta Nusantara, 2018 )

#### 4.3.2. Kestabilan Lereng pada Pit Barat Site Sebamban PT. Prolindo Cipta Nusantara

Persamaan faktor keamanan untuk analisis stabilitas lereng dengan *Metode Bishop* adalah :

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + W_i (1 - r_u) \tan \theta'] \left( \frac{1}{\cos \theta_i (1 + \tan \theta' \times \tan \theta_i) / FK} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

Dengan :

FK : Faktor keamanan

$\theta_i$  : Sudut kemiringan irisan ke-i ( $^{\circ}$ )

$c'$  : Kohesi tanah efektif ( $\text{kN/m}^2$ )

$b_i$  : Lebar irisan ke-i (m)

$W_i$  : Berat irisan tanah ke-i (kN)

$\phi'$  : Sudut geser dalam efektif ( $^{\circ}$ )

$\mu_i$  : Tekanan air pori irisan ke-i ( $\text{kN/m}^2$ )

Agar memudahkan perhitungan peneliti menggunakan Formula sebagai berikut :

$$M\alpha = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F}$$

$$N = \frac{1}{m\alpha} \left[ W - \frac{c\beta \sin \alpha - u\beta \sin \alpha \tan \phi}{F \text{ lama}} \right]$$

$$RM = \sum_{i=1}^n [c'\beta + (N - u\beta) \tan \phi]$$

$$DM = \sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i$$

$$\text{SF baru} = \frac{RM}{DM}$$

#### 4.3.2.1. Lereng Keseluruhan Aktual ( *Overall Slope Actual* )

Lereng keseluruhan merupakan gabungan beberapa jenjang tunggal untuk menentukan sudut lereng keseluruhan (*overall slope actual angle*). *Overall slope actual angle* adalah sudut yang sebenarnya dari dinding pit keseluruhan.

##### a. *Overall Slope Actual* Kondisi Kering



**Gambar 4.7. Nilai Faktor Keamanan Pada *Overall Slope Actual* Kondisi Kering Berdasarkan *Slide V.6.0***

Analisis perhitungan faktor keamanan *Overall Slope Actual* kondisi kering dengan Metode *Bishop*. Perhitungan pada irisan 1 berdasarkan data irisan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

- $$M\alpha = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F \text{ lama}}$$

$$= \cos(27.20) + \frac{\sin(27.20) \tan(45.597)}{1.69112}$$

$$= 1.165$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad N &= \frac{1}{m\alpha} \left[ W - \frac{c'\beta \sin\alpha - u\beta \sin\alpha \tan\phi}{F \text{ lama}} \right] \\
 &= \frac{1}{m\alpha} \left[ W - \frac{(c')(b \sec\alpha) (\sin\alpha) - u\beta \sin\alpha \tan\phi}{F \text{ lama}} \right] \\
 &= \frac{1}{1.165} \left[ 0.366 - \frac{(2.579) \sin(27.20) - 0}{1.69112} \right] \\
 &= -0.586
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad RM &= \sum_{i=1}^n [c'\beta + (N - u\beta) \tan\phi] \\
 &= \sum_{i=1}^n [5.641 + (-0.586 - 0) \tan(45.597)] \\
 &= 5.043
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad DM &= \sum_{i=1}^n W_i \sin\theta_i \\
 &= \sum_{i=1}^n (0.842) \sin(45.597) \\
 &= 0.385
 \end{aligned}$$

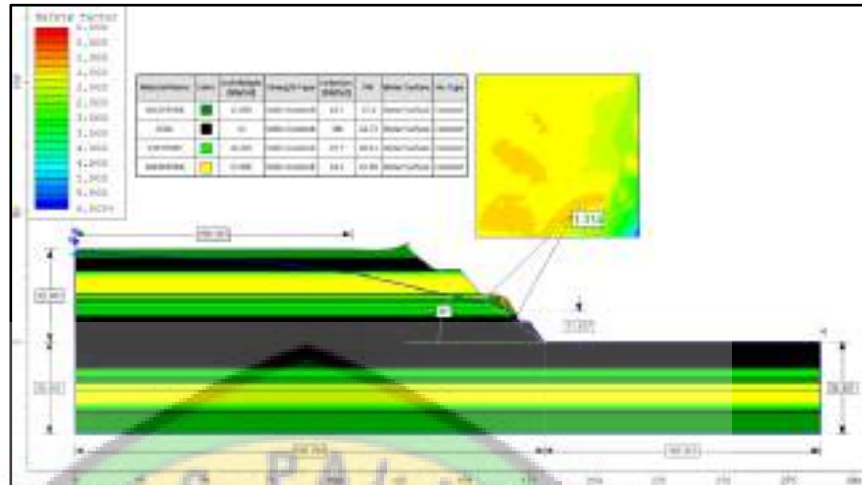
Begitupun untuk perhitungan selanjutnya hingga irisan ke 25. Setelah didapatkan hasil penjumlahan RM dan DM pada tiap irisan, selanjutnya menghitung Faktor Keamanannya (FK).

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad FK &= \frac{RM}{DM} \\
 &= \frac{254.079}{142.160} \\
 &= 1.787
 \end{aligned}$$

**Tabel 4.4. Perhitungan Faktor Keamanan *Overall Slope Actual* Kondisi Kering dengan Metode *Bishop***

Slice	b (m)	$\alpha$ (°)	$\theta$ (°)	c'	w (kN)	$\beta = b \sec \alpha$	$u\beta$ (kN)	c' $\beta$ (kN)	$m^a$	c' $\beta \sin \alpha$	$u\beta \sin \alpha \tan \theta$	1/ $m^a$	N	RM	DM	SF
1	0.366	27.20	45.597	13.70	0.842	0.412	0	5.641	1.165	2.579	0	0.858	-0.586	5.043	0.385	1.787
2	0.366	27.20	44.942	13.70	2.508	0.412	0	5.641	1.159	2.579	0	0.863	0.848	6.488	1.146	
3	0.318	21.99	44.336	14.20	3.503	0.343	0	4.872	1.144	1.824	0	0.874	2.120	6.943	1.312	
4	0.318	21.99	43.779	14.20	4.687	0.343	0	4.872	1.139	1.824	0	0.878	3.167	7.907	1.755	
5	0.394	27.20	43.161	13.70	7.403	0.443	0	6.075	1.143	2.777	0	0.875	5.040	10.802	3.384	
6	0.394	27.20	42.484	13.70	9.117	0.443	0	6.075	1.137	2.777	0	0.880	6.574	12.096	4.167	
7	0.394	27.20	41.814	13.70	10.790	0.443	0	6.075	1.131	2.777	0	0.884	8.087	13.309	4.932	
8	0.394	27.20	41.151	13.70	12.423	0.443	0	6.075	1.126	2.777	0	0.888	9.578	14.445	5.678	
9	0.394	27.20	40.494	13.70	14.017	0.443	0	6.075	1.120	2.777	0	0.893	11.047	15.508	6.407	
10	0.394	27.20	39.844	13.70	15.574	0.443	0	6.075	1.115	2.777	0	0.897	12.496	16.502	7.119	
11	0.467	26.41	39.142	15.70	19.696	0.521	0	8.181	1.110	3.639	0	0.901	15.810	21.049	8.761	
12	0.467	26.41	38.388	15.70	19.666	0.521	0	8.181	1.104	3.639	0	0.906	15.864	20.749	8.747	
13	0.467	26.41	37.642	15.70	20.049	0.521	0	8.181	1.098	3.639	0	0.910	16.292	20.747	8.917	
14	0.467	26.41	36.904	15.70	20.514	0.521	0	8.181	1.093	3.639	0	0.915	16.797	20.795	9.124	
15	0.467	26.41	36.144	15.70	23.087	0.521	0	8.181	1.088	3.639	0	0.919	19.246	22.238	10.269	
16	0.502	27.20	35.365	13.70	24.374	0.565	0	7.739	1.081	3.537	0	0.925	20.607	22.364	11.141	
17	0.502	27.20	34.593	13.70	23.390	0.565	0	7.739	1.076	3.537	0	0.930	19.797	21.392	10.692	
18	0.437	26.41	-33.877	15.70	18.329	0.488	0	7.655	0.719	3.405	0	1.391	22.691	-7.579	8.153	
19	0.437	26.41	-33.217	15.70	16.427	0.488	0	7.655	0.723	3.405	0	1.382	19.925	-5.392	7.307	
20	0.437	26.41	-32.562	15.70	14.477	0.488	0	7.655	0.728	3.405	0	1.374	17.128	-3.283	6.439	
21	0.437	26.41	-31.912	15.70	12.486	0.488	0	7.655	0.732	3.405	0	1.366	14.310	-1.256	5.554	
22	0.433	27.20	-31.270	13.70	10.222	0.486	0	6.664	0.725	3.046	0	1.379	11.610	-0.386	4.672	
23	0.433	27.20	-30.634	13.70	7.397	0.486	0	6.664	0.729	3.046	0	1.371	7.672	2.121	3.381	
24	0.433	27.20	-30.003	13.70	4.455	0.486	0	6.664	0.733	3.046	0	1.364	3.619	4.575	2.036	
25	0.433	27.20	-29.376	13.70	1.489	0.486	0	6.664	0.737	3.046	0	1.356	-0.423	6.903	0.681	
<b>TOTAL</b>														<b>254.079</b>	<b>142.160</b>	

**b. Overall Slope Actual Kondisi Basah**



**Gambar 4.8. Nilai Faktor Keamanan Pada Overall Slope Actual Kondisi Basah Berdasarkan Slide V.6.0**

Analisis perhitungan faktor keamanan *Overall Slope Actual* kondisi basah dengan Metode *Bishop*. Perhitungan pada irisan 1 berdasarkan data irisan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad M\alpha &= \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F \text{ lama}} \\
 &= \cos(27.20) + \frac{\sin(27.20) \tan(-45.597)}{1.31444} \\
 &= 0.534
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad N &= \frac{1}{m\alpha} \left[ w - \frac{c'\beta \sin \alpha - u\beta \sin \alpha \tan \phi}{F \text{ lama}} \right] \\
 &= \frac{1}{m\alpha} \left[ w - \frac{(c') (b \sec \alpha) (\sin \alpha) - u\beta \sin \alpha \tan \phi}{F \text{ lama}} \right] \\
 &= \frac{1}{0.534} \left[ 1.778 - \frac{(5.641) \sin(27.20) - 0}{1.31444} \right] \\
 &= -1.467
 \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned} \text{RM} &= \sum_{i=1}^n [c'\beta + (N - u\beta) \tan \phi] \\ &= \sum_{i=1}^n [5.641 + (-1.467 - 0) \tan(-45.597)] \\ &= 7.139 \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned} \text{DM} &= \sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i \\ &= \sum_{i=1}^n (1.178) \sin(-45.597) \\ &= 0.538 \end{aligned}$$

Begitupun untuk perhitungan selanjutnya hingga irisan ke 25. Setelah didapatkan hasil penjumlahan RM dan DM pada tiap irisan, selanjutnya menghitung Faktor Keamanannya (FK).

- $$\begin{aligned} \text{FK} &= \frac{\text{RM}}{\text{DM}} \\ &= \frac{282.299}{196.468} \\ &= 1.437 \end{aligned}$$

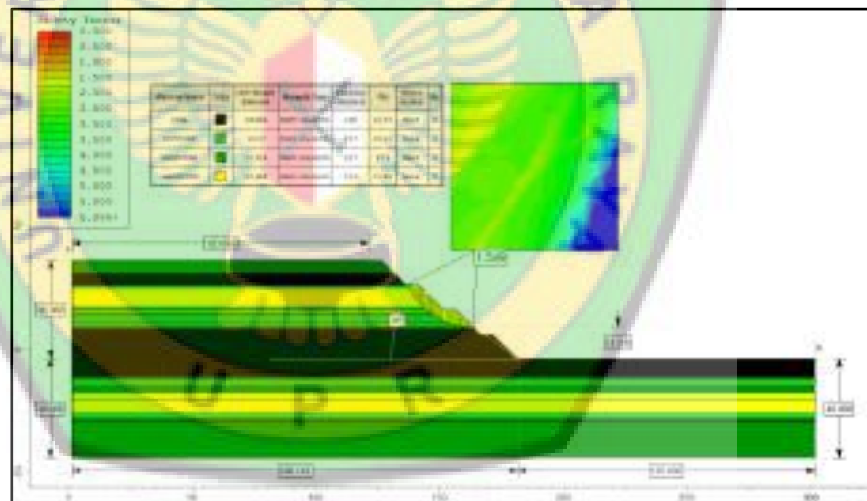
**Tabel 4.5. Perhitungan Faktor Keamanan *Overall Slope Actual* Kondisi Basah dengan Metode *Bishop***

Slice	b (m)	$\alpha$ (°)	$\theta$ (°)	c'	w (kN)	$\beta = b \sec \alpha$	$u\beta$ (kN)	c' $\beta$ (kN)	$m^a$	c' $\beta \sin \alpha$	$u\beta \sin \alpha \tan \theta$	1/ $m^a$	N	RM	DM	FK
1	0.366	27.20	-45.597	13.70	1.178	0.412	0	5.641	0.534	2.579	0	1.871	-1.467	7.139	0.538	1.437
2	0.366	27.20	-44.942	13.70	3.507	0.412	0	5.641	0.542	2.579	0	1.844	2.849	2.798	1.603	
3	0.318	21.99	-44.336	14.20	4.885	0.343	0	4.872	0.649	1.824	0	1.541	5.389	-0.394	1.829	
4	0.318	21.99	-43.779	14.20	6.512	0.343	0	4.872	0.654	1.824	0	1.528	7.832	-2.633	2.438	
5	0.394	27.20	-43.161	13.70	10.281	0.443	0	6.075	0.563	2.777	0	1.775	14.502	-7.524	4.700	
6	0.394	27.20	-42.484	13.70	12.678	0.443	0	6.075	0.571	2.777	0	1.751	18.506	-10.873	5.795	
7	0.394	27.20	-41.814	13.70	15.018	0.443	0	6.075	0.578	2.777	0	1.729	22.314	-13.886	6.865	
8	0.394	27.20	-41.151	13.70	17.302	0.443	0	6.075	0.586	2.777	0	1.708	25.942	-16.596	7.909	
9	0.394	27.20	-40.494	13.70	19.532	0.443	0	6.075	0.592	2.777	0	1.688	29.401	-19.031	8.928	
10	0.394	27.20	-39.844	13.70	21.709	0.443	0	6.075	0.599	2.777	0	1.669	32.703	-21.215	9.923	
11	0.467	26.41	-39.142	15.70	27.397	0.521	0	8.181	0.620	3.639	0	1.612	39.709	-24.138	12.186	
12	0.467	26.41	-38.388	15.70	27.227	0.521	0	8.181	0.628	3.639	0	1.594	38.975	-22.698	12.110	
13	0.467	26.41	-37.642	15.70	27.658	0.521	0	8.181	0.635	3.639	0	1.576	39.218	-22.067	12.302	
14	0.467	26.41	-36.904	15.70	28.225	0.521	0	8.181	0.642	3.639	0	1.559	39.681	-21.617	12.554	
15	0.502	27.20	-36.144	13.70	31.751	0.565	0	7.739	0.635	3.537	0	1.574	45.733	-25.665	14.513	
16	0.502	27.20	-35.365	13.70	33.555	0.565	0	7.739	0.643	3.537	0	1.556	48.029	-26.349	15.338	
17	0.502	27.20	-34.593	13.70	32.180	0.565	0	7.739	0.650	3.537	0	1.539	45.396	-23.569	14.709	
18	0.437	26.41	-33.877	15.70	25.125	0.488	0	7.655	0.668	3.405	0	1.496	33.712	-14.979	11.175	
19	0.437	26.41	-33.217	15.70	22.385	0.488	0	7.655	0.674	3.405	0	1.484	29.366	-11.574	9.957	
20	0.437	26.41	-32.562	15.70	19.728	0.488	0	7.655	0.680	3.405	0	1.472	25.220	-8.450	8.775	
21	0.437	26.41	-31.912	15.70	17.061	0.488	0	7.655	0.685	3.405	0	1.460	21.128	-5.502	7.589	
22	0.433	27.20	-31.27	13.70	13.941	0.486	0	6.664	0.678	3.046	0	1.474	17.137	-3.743	6.372	
23	0.433	27.20	-30.634	13.70	10.045	0.486	0	6.664	0.683	3.046	0	1.463	11.306	-0.031	4.591	
24	0.433	27.20	-30.003	13.70	6.160	0.486	0	6.664	0.689	3.046	0	1.452	5.580	3.442	2.816	
25	0.4327	27.20	-29.376	13.70	2.083	0.486	0	6.664	0.694	3.046	0	1.442	-0.339	6.855	0.952	
<b>TOTAL</b>														<b>282.299</b>	<b>196.468</b>	

#### 4.1.2.2. Lereng Rekomendasi Geotek

Lereng rekomendasi geotek merupakan gabungan beberapa jenjang tunggal dimana geometri lereng rekomendasi geotek tersebut telah ditentukan berdasarkan SOP (Standar Operasional Perusahaan) pada umumnya memiliki tinggi jenjang 10 meter, lebar jenjang 5 meter, dan sudut kemiringan lereng ditentukan berdasarkan rekomendasi terbaik yaitu  $36^{\circ}$  untuk *overall slope* dan  $45^{\circ}$  untuk *single slope*. Lereng secara keseluruhan dinyatakan aman/stabil apabila memiliki nilai Faktor Keamanan lebih dari 1.30.

##### a. Lereng Rekomendasi Geotek Kondisi Kering



**Gambar 4.9. Nilai Faktor Keamanan Lereng Rekomendasi Geotek Kondisi Kering Berdasarkan *Slide V.6.0***

Analisis perhitungan faktor keamanan lereng rekomendasi geotek pada kondisi kering dengan Metode *Bishop*. Perhitungan pada irisan 1 berdasarkan data irisan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad M\alpha &= \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F \text{ lama}} \\
 &= \cos(24.73) + \frac{\sin(24.73) \tan(-63.2016)}{1.54906} \\
 &= 0.374
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad N &= \frac{1}{m\alpha} \left[ w - \frac{c'\beta \sin \alpha - u\beta \sin \alpha \tan \phi}{F \text{ lama}} \right] \\
 &= \frac{1}{m\alpha} \left[ w - \frac{(c')(b \sec \alpha) (\sin \alpha) - u\beta \sin \alpha \tan \phi}{F \text{ lama}} \right] \\
 &= \frac{1}{0.374} \left[ 0.246 - \frac{(32.832) \sin(24.73) - 0}{1.54906} \right] \\
 &= -22.806
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad RM &= \sum_{i=1}^n [c'\beta + (N - u\beta) \tan \phi] \\
 &= \sum_{i=1}^n [32.832 + (-22.806 - 0) \tan(-63.2016)] \\
 &= 77.983
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad DM &= \sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i \\
 &= \sum_{i=1}^n (0.346) \sin(-63.2016) \\
 &= 0.145
 \end{aligned}$$

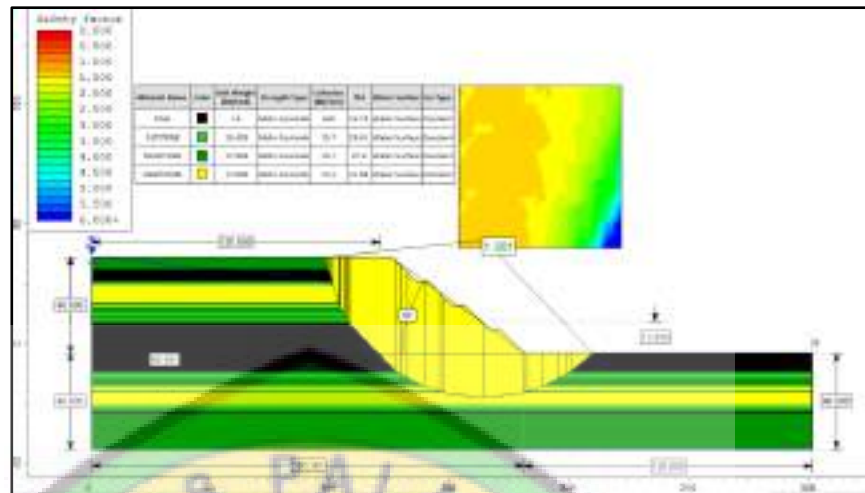
Begitupun untuk perhitungan selanjutnya hingga irisan ke 25. Setelah didapatkan hasil penjumlahan RM dan DM pada tiap irisan, selanjutnya menghitung Faktor Keamanannya (FK).

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad FK &= \frac{RM}{DM} \\
 &= \frac{1149.118}{739.605} \\
 &= 1.554
 \end{aligned}$$

**Tabel 4.6. Perhitungan Faktor Keamanan Lereng Rekomendasi Geotek Kondisi Kering dengan Metode *Bishop***

Slice	b (m)	$\alpha$ (°)	$\theta$ (°)	c'	w (kN)	$\beta = b \sec \alpha$	$u\beta$ (kN)	c' $\beta$ (kN)	$m^a$	c' $\beta \sin \alpha$	$u\beta \sin \alpha \tan \theta$	1/ $m^a$	N	RM	DM	SF	
1	0.186	24.73	-63.202	160	0.346	0.205	0	32.832	0.374	13.735	0	2.677	-22.806	77.983	0.145	1.554	
2	0.823	26.41	-61.247	15.7	30.630	0.919	0	14.428	0.372	6.417	0	2.686	71.140	-115.225	13.624		
3	1.086	21.99	-57.797	14.2	45.590	1.171	0	16.627	0.543	6.226	0	1.840	76.496	-104.832	17.071		
4	1.086	21.99	-54.213	14.2	77.280	1.171	0	16.627	0.592	6.226	0	1.689	123.765	-155.060	28.937		
5	1.086	21.99	-50.919	14.2	76.370	1.171	0	16.627	0.630	6.226	0	1.588	114.915	-124.873	28.596		
6	1.086	21.99	-47.846	14.2	91.501	1.171	0	16.627	0.660	6.226	0	1.515	132.500	-129.733	34.262		
7	1.086	21.99	-44.945	14.2	94.324	1.171	0	16.627	0.686	6.226	0	1.458	131.642	-114.762	35.319		
8	1.589	27.2	-41.578	13.7	136.229	1.787	0	24.481	0.628	11.190	0	1.593	205.541	-157.864	62.270		
9	0.799	21.99	-38.680	14.2	86.760	0.862	0	12.242	0.734	4.584	0	1.363	114.211	-79.193	32.487		
10	1.009	27.2	-36.581	13.7	81.599	1.135	0	15.545	0.670	7.106	0	1.492	114.871	-69.707	37.299		
11	1.009	27.2	-34.300	13.7	77.862	1.135	0	15.545	0.688	7.106	0	1.453	106.485	-57.095	35.590		
12	1.009	27.2	-32.080	13.7	73.407	1.135	0	15.545	0.704	7.106	0	1.420	97.692	-45.689	33.554		
13	1.365	26.41	-29.540	15.7	91.005	1.524	0	23.932	0.733	10.645	0	1.364	114.792	-41.120	40.478		
14	1.365	26.41	-26.690	15.7	80.341	1.524	0	23.932	0.751	10.645	0	1.331	97.792	-25.230	35.735		
15	1.277	27.2	-23.997	13.7	71.915	1.436	0	19.667	0.758	8.990	0	1.319	87.212	-19.157	32.872		
16	1.277	27.2	-21.449	13.7	80.086	1.436	0	19.667	0.773	8.990	0	1.293	96.036	-18.063	36.607		
17	1.269	26.41	-18.951	15.7	86.900	1.417	0	22.250	0.797	9.896	0	1.255	101.013	-12.435	38.652		
18	1.269	26.41	-16.498	15.7	93.221	1.417	0	22.250	0.811	9.896	0	1.234	107.122	-9.477	41.464		
19	1.269	26.41	-14.076	15.7	92.013	1.417	0	22.250	0.824	9.896	0	1.214	103.958	-3.816	40.927		
20	1.028	27.2	-11.905	13.7	62.000	1.156	0	15.835	0.827	7.238	0	1.209	69.302	1.226	28.340		
21	1.028	27.2	-9.977	13.7	51.726	1.156	0	15.835	0.838	7.238	0	1.194	56.183	5.952	23.644		
22	1.028	27.2	-8.061	13.7	40.970	1.156	0	15.835	0.848	7.238	0	1.180	42.822	9.771	18.727		
23	1.028	27.2	-6.154	13.7	49.786	1.156	0	15.835	0.858	7.238	0	1.166	52.604	10.164	22.757		
24	1.028	27.2	-4.254	13.7	28.176	1.156	0	15.835	0.867	7.238	0	1.153	27.094	13.820	12.879		
25	1.028	27.2	-2.358	13.7	16.120	1.156	0	15.835	0.877	7.238	0	1.140	13.049	15.298	7.368		
<b>TOTAL</b>														<b>1149.118</b>	<b>739.605</b>		

**b. Lereng Rekomendasi Geotek Kondisi Basah**



**Gambar 4.10. Nilai Faktor Keamanan Pada Lereng Rekomendasi Geotek Kondisi Basah Berdasarkan Slide V.6.0**

Analisis perhitungan faktor keamanan lereng rekomendasi geotek pada kondisi basah dengan Metode *Bishop*. Perhitungan pada irisan 1 berdasarkan data irisan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad M\alpha &= \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F \text{ lama}} \\
 &= \cos(27.2) + \frac{\sin(27.2) \tan(81.4447)}{1.30052} \\
 &= 3.226
 \end{aligned}$$

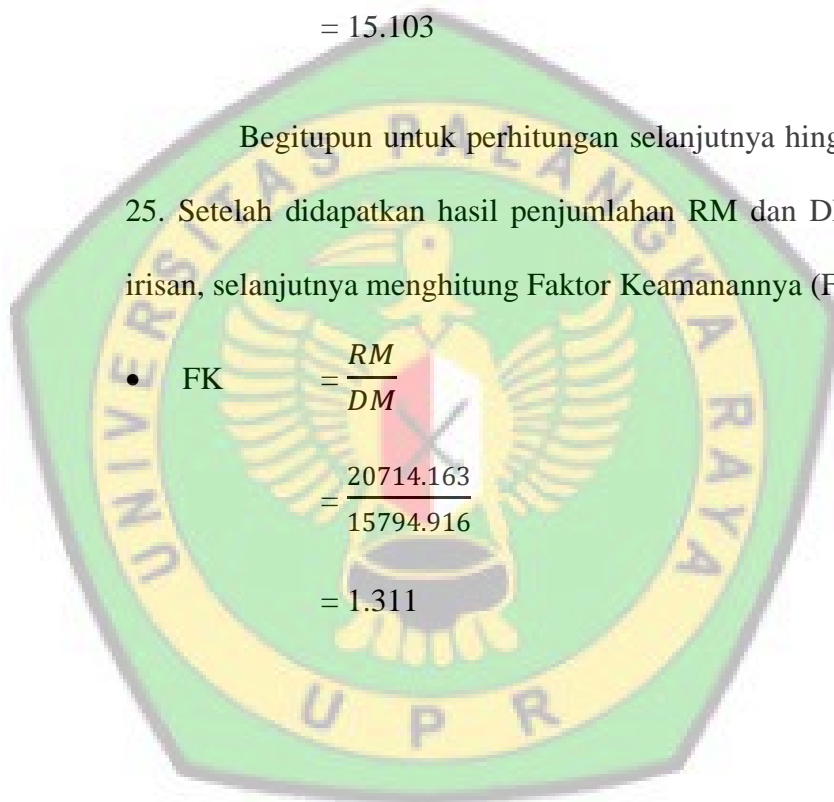
$$\begin{aligned}
 \bullet \quad N &= \frac{1}{m\alpha} \left[ W - \frac{c'\beta \sin \alpha - u\beta \sin \alpha \tan \phi}{F \text{ lama}} \right] \\
 &= \frac{1}{m\alpha} \left[ W - \frac{(c) (b \sec \alpha) (\sin \alpha) - u\beta \sin \alpha \tan \phi}{F \text{ lama}} \right] \\
 &= \frac{1}{3.226} \left[ 33.0407 - \frac{(11.746) \sin(27.2) - 0}{1.30052} \right] \\
 &= 8.963
 \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned} \text{RM} &= \sum_{i=1}^n [c'\beta + (N - u\beta) \tan \phi] \\ &= \sum_{i=1}^n [11.746 + (8.963 - 0) \tan(81.4447)] \\ &= 71.325 \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned} \text{DM} &= \sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i \\ &= \sum_{i=1}^n (33.0407) \sin(81.4447) \\ &= 15.103 \end{aligned}$$

Begitupun untuk perhitungan selanjutnya hingga irisan ke 25. Setelah didapatkan hasil penjumlahan RM dan DM pada tiap irisan, selanjutnya menghitung Faktor Keamanannya (FK).

- $$\begin{aligned} \text{FK} &= \frac{\text{RM}}{\text{DM}} \\ &= \frac{20714.163}{15794.916} \\ &= 1.311 \end{aligned}$$



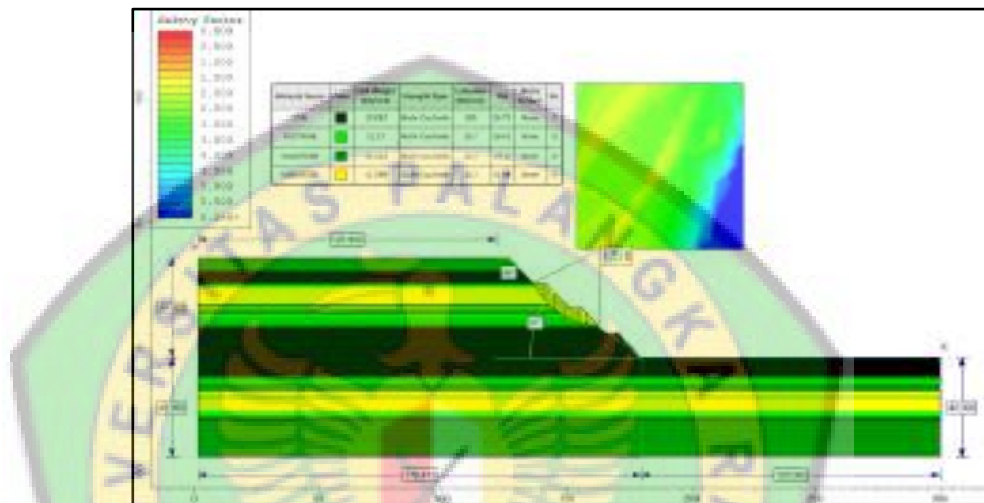
**Tabel 4.7. Perhitungan Faktor Keamanan Lereng Rekomendasi Geotek pada Kondisi Basah dengan Metode *Bishop***

Slice	b (m)	$\alpha$ (°)	$\theta$ (°)	c'	w (kN)	$\beta = b \sec \alpha$	$u\beta$ (kN)	c' $\beta$ (kN)	m <sup>a</sup>	c' $\beta \sin \alpha$	$u\beta \sin \alpha \tan \theta$	1/m <sup>a</sup>	N	RM	DM	FK
1	0.763	27.2	81.445	13.7	33.041	0.857	0	11.746	3.226	5.369	0	0.310	8.963	71.325	15.103	
2	1.240	24.73	76.836	160	150.120	1.365	0	218.359	2.284	91.349	0	0.438	34.979	367.916	62.802	
3	0.436	26.41	73.782	15.7	73.249	0.487	0	7.648	2.071	3.402	0	0.483	34.098	124.876	32.580	
4	2.504	21.99	69.920	14.2	597.096	2.701	0	38.348	1.715	14.359	0	0.583	341.750	973.219	223.579	
5	0.626	27.2	66.066	13.7	193.218	0.704	0	9.640	1.681	4.406	0	0.595	112.907	264.023	88.320	
6	0.297	21.99	65.086	14.2	96.980	0.321	0	4.552	1.547	1.705	0	0.646	61.837	137.683	36.313	
7	1.020	27.2	63.773	13.7	356.290	1.147	0	15.708	1.603	7.180	0	0.624	218.842	459.916	162.859	
8	0.775	26.41	62.046	15.7	293.695	0.865	0	13.582	1.540	6.041	0	0.649	187.681	367.244	130.633	
9	0.598	27.2	60.791	13.7	239.412	0.673	0	9.215	1.518	4.212	0	0.659	155.574	287.480	109.435	
10	0.661	26.41	59.686	15.7	276.589	0.738	0	11.582	1.481	5.151	0	0.675	184.135	326.515	123.024	
11	0.664	27.2	58.560	13.7	290.375	0.747	0	10.230	1.464	4.676	0	0.683	195.844	330.576	132.730	
12	19.346	24.73	45.814	160	11115.900	21.299	0	3407.919	1.239	1425.678	0	0.807	8085.376	11726.301	4650.256	
13	2.166	27.2	32.503	13.7	1449.370	2.435	0	33.363	1.113	15.250	0	0.898	1291.275	856.078	662.504	1.311
14	2.590	26.41	30.078	15.7	1693.980	2.892	0	45.400	1.094	20.193	0	0.914	1534.632	934.215	753.468	
15	7.192	27.2	25.304	13.7	4623.590	8.086	0	110.775	1.056	50.635	0	0.947	4343.241	2164.149	2113.433	
16	6.022	21.99	19.055	14.2	906.900	6.494	0	92.219	1.027	34.531	0	0.974	857.455	388.392	339.584	
17	2.039	27.2	15.355	13.7	235.440	2.293	0	31.412	0.986	14.358	0	1.014	227.601	93.912	107.619	
18	16.380	21.99	7.217	14.2	6640.290	17.665	0	250.848	0.964	93.929	0	1.038	6815.420	1113.843	2486.422	
19	16.380	21.99	-7.217	14.2	4948.350	17.665	0	250.848	0.891	93.929	0	1.123	5473.924	-442.281	1852.884	
20	2.039	27.2	-15.355	13.7	500.367	2.293	0	31.412	0.793	14.358	0	1.261	617.135	-138.055	228.717	
21	6.022	21.99	-19.055	14.2	1333.310	6.494	0	92.219	0.828	34.531	0	1.208	1578.593	-453.042	499.251	
22	7.192	27.2	-25.304	13.7	1256.130	8.086	0	110.775	0.723	50.635	0	1.383	1682.956	-684.884	574.174	
23	2.590	26.41	-30.078	15.7	345.179	2.892	0	45.400	0.698	20.193	0	1.434	472.584	-228.308	153.533	
24	2.166	27.2	-32.503	13.7	236.428	2.435	0	33.363	0.665	15.250	0	1.503	337.653	-181.768	108.071	
25	9.303	24.73	-38.836	160	352.873	10.242	0	1638.768	0.649	685.567	0	1.540	-268.393	1854.836	147.622	
<b>TOTAL</b>														<b>20714.163</b>	<b>15794.916</b>	

#### 4.1.3. Rekomendasi Upaya Menjaga Stabilitas Lereng Tambang

Dari hasil perhitungan yang ada, peneliti memberikan rekomendasi berupa perubahan geometri lereng terhadap lereng *sidewall*.

##### a. Lereng Rekomendasi Peneliti Kondisi Kering



**Gambar 4.11. Nilai Faktor Keamanan Lereng Rekomendasi Peneliti Kondisi Kering Berdasarkan Slide V.6.0**

Analisis perhitungan faktor keamanan lereng rekomendasi peneliti pada kondisi kering dengan Metode *Bishop*. Perhitungan pada irisan 1 berdasarkan data irisan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad M\alpha &= \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F \text{ lama}} \\
 &= \cos(24.73) + \frac{\sin(24.73) \tan(-63.524)}{1.51835} \\
 &= 0.335
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad N &= \frac{1}{m\alpha} \left[ W - \frac{c'\beta \sin\alpha - u\beta \sin\alpha \tan\phi}{F \text{ lama}} \right] \\
 &= \frac{1}{m\alpha} \left[ W - \frac{(c')(b \sec\alpha) (\sin\alpha) - u\beta \sin\alpha \tan\phi}{F \text{ lama}} \right] \\
 &= \frac{1}{0.335} \left[ 0.341 - \frac{(32.375) \sin(24.73) - 0}{1.51835} \right] \\
 &= -24.159
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad RM &= \sum_{i=1}^n [c'\beta + (N - u\beta) \tan\phi] \\
 &= \sum_{i=1}^n [32.375 + (-24.159 - 0) \tan(-63.524)] \\
 &= 80.882
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad DM &= \sum_{i=1}^n W_i \sin\theta_i \\
 &= \sum_{i=1}^n (0.341) \sin(-63.524) \\
 &= 0.143
 \end{aligned}$$

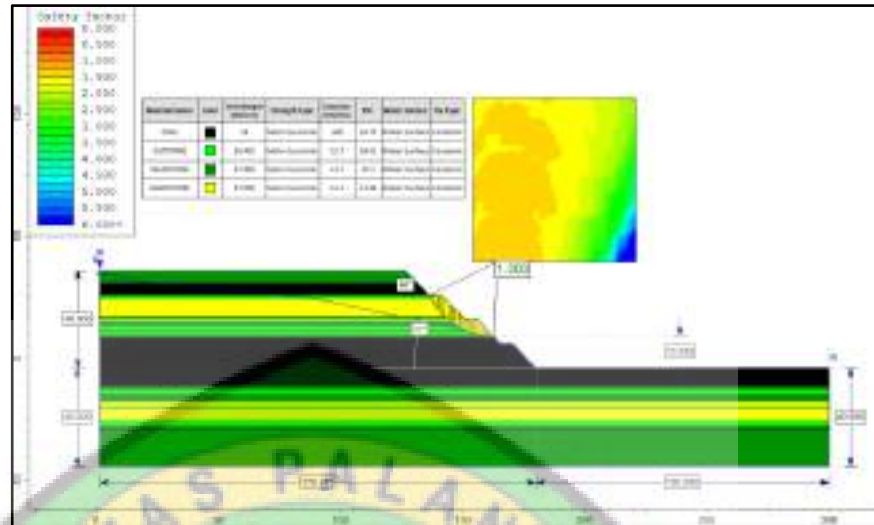
Begitupun untuk perhitungan selanjutnya hingga irisan ke 25. Setelah didapatkan hasil penjumlahan RM dan DM pada tiap irisan, selanjutnya menghitung Faktor Keamanannya (FK).

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad FK &= \frac{RM}{DM} \\
 &= \frac{1093.091}{714.221} \\
 &= 1.530
 \end{aligned}$$

**Tabel 4.8. Perhitungan Faktor Keamanan Lereng Rekomendasi Peneliti Kondisi Kering dengan Metode *Bishop***

Slice	b (m)	$\alpha$ (°)	$\theta$ (°)	c'	w (kN)	$\beta = b \sec \alpha$	$u\beta$ (kN)	c' $\beta$ (kN)	$m^a$	c' $\beta \sin \alpha$	$u\beta \sin \alpha \tan \theta$	1/ $m^a$	N	RM	DM	SF																							
1	0.184	24.73	-63.524	160	0.341	0.202	0	32.375	0.355	13.544	0	2.816	-24.159	80.882	0.143	1.530																							
2	0.813	26.41	-61.556	15.7	20.494	0.907	0	14.243	0.355	6.335	0	2.818	45.997	-70.671	9.116		1.530																						
3	1.076	21.99	-58.080	14.2	35.298	1.161	0	16.480	0.531	6.171	0	1.882	58.781	-77.880	13.217			1.530																					
4	1.076	21.99	-54.468	14.2	66.823	1.161	0	16.480	0.582	6.171	0	1.718	107.848	-134.538	25.022				1.530																				
5	1.076	21.99	-51.153	14.2	79.744	1.161	0	16.480	0.621	6.171	0	1.610	121.861	-134.830	29.860					1.530																			
6	1.076	21.99	-48.063	14.2	92.612	1.161	0	16.480	0.653	6.171	0	1.532	135.653	-134.511	34.678						1.530																		
7	1.076	21.99	-45.149	14.2	95.135	1.161	0	16.480	0.679	6.171	0	1.472	134.055	-118.274	35.623							1.530																	
8	1.579	27.2	-41.764	13.7	137.319	1.775	0	24.322	0.621	11.117	0	1.611	209.474	-162.733	62.768								1.530																
9	0.795	21.99	-38.849	14.2	67.012	0.857	0	12.169	0.729	4.557	0	1.372	87.852	-58.589	25.092									1.530															
10	1.004	27.2	-36.737	13.7	81.654	1.129	0	15.462	0.665	7.068	0	1.504	115.838	-70.997	37.324										1.530														
11	1.004	27.2	-34.442	13.7	77.559	1.129	0	15.462	0.683	7.068	0	1.464	106.748	-57.746	35.452											1.530													
12	1.004	27.2	-32.209	13.7	72.747	1.129	0	15.462	0.700	7.068	0	1.429	97.307	-45.837	33.253												1.530												
13	0.906	26.41	-30.133	15.7	61.004	1.012	0	15.884	0.726	7.065	0	1.378	77.662	-29.195	27.134													1.530											
14	0.906	26.41	-28.205	15.7	76.112	1.012	0	15.884	0.739	7.065	0	1.354	96.758	-36.006	33.854														1.530										
15	0.906	26.41	-26.310	15.7	80.875	1.012	0	15.884	0.751	7.065	0	1.332	101.522	-34.313	35.972															1.530									
16	1.272	27.2	-24.076	13.7	71.499	1.431	0	19.599	0.755	8.959	0	1.325	86.896	-19.227	32.682																1.530								
17	1.272	27.2	-21.510	13.7	79.812	1.431	0	19.599	0.771	8.959	0	1.297	95.894	-18.194	36.482																	1.530							
18	1.267	26.41	-18.994	15.7	86.776	1.415	0	22.217	0.795	9.882	0	1.258	100.991	-12.545	38.597																		1.530						
19	1.267	26.41	-16.520	15.7	93.078	1.415	0	22.217	0.809	9.882	0	1.236	107.042	-9.531	41.400																			1.530					
20	1.267	26.41	-14.078	15.7	87.396	1.415	0	22.217	0.822	9.882	0	1.216	98.383	-2.455	38.873																				1.530				
21	1.122	27.2	-11.799	13.7	63.955	1.261	0	17.277	0.827	7.897	0	1.210	71.084	2.428	29.234																					1.530			
22	1.122	27.2	-9.677	13.7	50.750	1.261	0	17.277	0.838	7.897	0	1.193	54.348	8.009	23.198																						1.530		
23	1.122	27.2	-7.569	13.7	36.926	1.261	0	17.277	0.849	7.897	0	1.177	37.349	12.314	16.879																							1.530	
24	1.122	27.2	-5.471	13.7	32.561	1.261	0	17.277	0.861	7.897	0	1.162	31.792	14.232	14.884																								1.530
25	1.122	27.2	-3.3797	13.7	7.60259	1.261	0	17.277	0.872	7.897	0	1.147	2.755	17.114	3.475																								
<b>TOTAL</b>														<b>1093.091</b>	<b>714.211</b>																								

**b. Lereng Rekomendasi Peneliti Kondisi Basah**



**Gambar 4.12. Nilai Faktor Keamanan Pada Lereng Rekomendasi Peneliti Kondisi Basah Berdasarkan Slide V.6.0**

Analisis perhitungan faktor keamanan lereng rekomendasi peneliti pada kondisi basah dengan Metode *Bishop*. Perhitungan pada irisan 1 berdasarkan data irisan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad M\alpha &= \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F \text{ lama}} \\
 &= \cos(24.73) + \frac{\sin(24.73) \tan(-63.534)}{1.30024} \\
 &= 0.262
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad N &= \frac{1}{m\alpha} \left[ W - \frac{c'\beta \sin \alpha - u\beta \sin \alpha \tan \phi}{F \text{ lama}} \right] \\
 &= \frac{1}{m\alpha} \left[ W - \frac{(c') (b \sec \alpha) (\sin \alpha) - u\beta \sin \alpha \tan \phi}{F \text{ lama}} \right] \\
 &= \frac{1}{0.262} \left[ 0.44081 - \frac{(32.375) \sin(24.73) - 0}{1.30024} \right] \\
 &= - 38.031
 \end{aligned}$$

- $RM = \sum_{i=1}^n [c'\beta + (N - u\beta) \tan \phi]$   
 $= \sum_{i=1}^n [32.375 + (-38.031 - 0) \tan(-63.524)]$   
 $= 108.734$

- $DM = \sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i$   
 $= \sum_{i=1}^n (0.44082) \sin(24.73)$   
 $= 0.184$

Begitupun untuk perhitungan selanjutnya hingga irisan ke 25. Setelah didapatkan hasil penjumlahan RM dan DM pada tiap irisan, selanjutnya menghitung Faktor Keamanannya (FK).

- $FK = \frac{RM}{DM}$   
 $= \frac{1144.926}{803.641}$   
 $= 1.425$

**Tabel 4.9. Perhitungan Faktor Keamanan Lereng Rekomendasi Peneliti pada Kondisi Basah dengan Metode *Bishop***

Slice	b (m)	$\alpha$ (°)	$\theta$ (°)	c'	w (kN)	$\beta = b \sec \alpha$	$u\beta$ (kN)	$c'\beta$ (kN)	$m^a$	$c'\beta \sin \alpha$	$u\beta \sin \alpha \tan \theta$	$1/m^a$	N	RM	DM	FK
1	0.184	24.73	-63.524	160	0.440805	0.202	0	32.375	0.262	13.544	0	3.812	-38.031	108.734	0.184	1.425
2	0.813	26.41	-61.5559	15.7	13.9133	0.907	0	14.243	0.264	6.335	0	3.786	34.229	-48.946	6.189	
3	1.076	21.99	-58.0795	14.2	47.4968	1.161	0	16.480	0.465	6.171	0	2.151	91.946	-131.120	17.785	
4	1.076	21.99	-54.4677	14.2	77.5898	1.161	0	16.480	0.524	6.171	0	1.908	139.016	-178.182	29.053	
5	1.076	21.99	-51.153	14.2	103.103	1.161	0	16.480	0.570	6.171	0	1.755	172.655	-197.900	38.606	
6	1.076	21.99	-48.0627	14.2	-48.0627	1.161	0	16.480	0.607	6.171	0	1.648	-87.041	113.361	-17.997	
7	1.076	21.99	-45.1488	14.2	130.666	1.161	0	16.480	0.638	6.171	0	1.568	197.439	-181.987	48.927	
8	1.579	27.2	-41.764	13.7	89.99	1.775	0	24.322	0.575	11.117	0	1.738	141.513	-102.045	41.134	
9	0.795	21.99	-38.8488	14.2	92.3524	0.857	0	12.169	0.695	4.557	0	1.438	127.783	-90.751	34.581	
10	1.004	27.2	-36.737	27.2	112.878	1.129	0	30.698	0.627	14.032	0	1.595	162.810	-90.820	51.596	
11	1.004	27.2	-34.4423	13.7	107.656	1.129	0	15.462	0.648	7.068	0	1.542	157.668	-92.667	49.209	
12	1.004	27.2	-32.2091	13.7	100.932	1.129	0	15.462	0.668	7.068	0	1.497	142.968	-74.601	46.136	
13	0.906	26.41	-30.1333	15.7	74.9784	1.012	0	15.884	0.697	7.065	0	1.435	99.767	-42.026	33.350	
14	0.906	26.41	-28.2045	15.7	57.74	1.012	0	15.884	0.712	7.065	0	1.404	73.446	-23.504	25.682	
15	0.906	26.41	-26.3099	15.7	60.4662	1.012	0	15.884	0.726	7.065	0	1.376	75.751	-21.570	26.895	
16	1.272	27.2	-24.0758	13.7	98.4053	1.431	0	19.599	0.732	8.959	0	1.365	124.963	-36.236	44.981	
17	1.272	27.2	-21.5101	13.7	110.032	1.431	0	19.599	0.751	8.959	0	1.332	137.364	-34.538	50.295	
18	1.267	26.41	-18.994	15.7	119.576	1.415	0	22.217	0.778	9.882	0	1.286	143.949	-27.332	53.186	
19	1.267	26.41	-16.5202	15.7	128.017	1.415	0	22.217	0.794	9.882	0	1.259	151.626	-22.755	56.941	
20	1.267	26.41	-14.0779	15.7	119.917	1.415	0	22.217	0.810	9.882	0	1.235	138.689	-12.562	53.338	
21	1.122	27.2	-11.7992	13.7	87.3349	1.261	0	17.277	0.816	7.897	0	1.226	99.587	-3.526	39.921	
22	1.122	27.2	-9.67731	13.7	69.1384	1.261	0	17.277	0.829	7.897	0	1.206	76.030	4.312	31.603	
23	1.122	27.2	-7.56881	13.7	50.608	1.261	0	17.277	0.843	7.897	0	1.187	52.847	10.255	23.133	
24	1.122	27.2	-5.47058	13.7	30.8041	1.261	0	17.277	0.856	7.897	0	1.169	28.899	14.509	14.080	
25	1.122	27.2	-3.3797	13.7	10.5692	1.261	0	17.277	0.869	7.897	0	1.151	5.175	16.972	4.831	
<b>TOTAL</b>														<b>1144.926</b>	<b>803.641</b>	

**Tabel 4.10. Nilai Perbandingan Faktor Keamanan Berdasarkan Hasil *Software Slide V6.0* dan Perhitungan Metode Bishop**

Parameter	Overall Actual Slope		Lereng Rekomendasi Geotek		Lereng Rekomendasi Peneliti	
			36°			
	Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet
Software Slide V.6.0	1.691	1.314	1.549	1.301	1.518	1.300
Metode Bishop	1.787	1.437	1.554	1.311	1.530	1.425
Keterangan	<b>STABIL</b>	<b>STABIL</b>	<b>STABIL</b>	<b>STABIL</b>	<b>STABIL</b>	<b>STABIL</b>

Nilai dari **Tabel 4.10** berdasarkan Kepmen 1827K/30/MEM/2018, Lampiran II, Halaman 56 - 59 dan Halaman 91 – 94 menunjukkan bahwa lereng tersebut dalam kondisi stabil/tidak stabil sesuai dengan ketentuan sebagai berikut :

FK < 1.30 = Lereng Tidak Aman

FK = 1.30 = Lereng Kritis

FK > 1.30 = Lereng Aman

## 4.1. Pembahasan

### 4.2.1. Gambaran Lokasi Penelitian

#### 4.2.1.1. Kondisi Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak pada lereng *Sidewall pit* Barat, dimana lereng tersebut berada tepat disebelah Selatan batas konsesi IUP PT Prolindo Cipta Nusantara dan telah membentuk kondisi bukaan *final* yakni tidak akan ada terjadi *development* pada sisi *sidewall*, sehingga diperlukan analisis kestabilan lereng guna menjaga kestabilan bentuk *final* lereng sisi *sidewall* di *Pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara. Berdasarkan PCN Geotechnical Drill Data by PT. Danmar Explorindo, arah (*strike*) dan kemiringan (*dip*) satuan batubara di lokasi ini secara umumnya sama dengan lapisan *Overburden* yakni N180°E / 9-10° pada elevasi 18.

Pada galian tambang batubara *pit* Barat PT Prolindo Cipta Nusantara terdiri dari tiga bagian yaitu :

1. **Highwall**

Merupakan permukaan kerja tambang terbuka yaitu khususnya tambang batubara terbuka, permukaan atau lereng dibagian yang lebih tinggi dari tambang terbuka kontur. Dapat juga berarti sisi bukaan tanah/batuan sisi tanah buangan arah tegak lurus terhadap sisi buangan dan arah kemajuan tambang.

## 2. **Low-wall**

Merupakan sisi bukaan tanah penutup batubara atau bahan galian tambang lainnya pada tambang terbuka. Lowwall dapat ditentukan (searah) berdasarkan Bedding dip suatu permukaan tanah.

## 3. **Sidewall**

Merupakan dinding pada area sisi samping suatu lubang bukaan tambang. Umumnya Sidewall ini tegak lurus terhadap low-wall dan highwall pada area pit.

### **4.2.1.2. Geometri Lereng *Actual Sidewall Hasil Section A-A'***

Untuk dapat melakukan analisis kestabilan lereng perlu diketahui penampang melintang (*cross section*) dan *material properties* dari lereng *sidewall*. Pada lereng *sidewall* Pit Barat PT Prolindo Cipta Nusantara penampang melintang yang digunakan diambil dari geometri lereng aktual *pit* Barat tahun 2018 yakni penampang bagian (*section A-A'*) yang ditunjukkan **Gambar 4.4**.

Berdasarkan aktual penampang lereng *Section A-A' mine out plan*, Lereng *Sidewall pit* Barat ini terdiri dari 4 bench dengan kemiringan *Overall* yang dibentuk pada lereng *sidewall pit* Barat adalah  $35^{\circ}$ , lebar overall bench 287.117 m dan tinggi overall slope 70.902 meter dengan geometri lereng aktual yang ditunjukkan pada **Tabel 4.1**.

#### 4.2.1.3. Material Penyusun Lereng

Lapisan litologi data material propertis pada lereng diambil berdasarkan PCN Geotechnical Drill Data by PT. Danmar Explorindo ditunjukkan pada **Tabel 4.2**. Pada lubang bor GT-002 diperoleh lapisan batuan penyusun lereng sebagai berikut:

##### 1. Sandstone

Terdiri dari butiran mineral berukuran pasir/bahan organik, di dalamnya terdapat semen yang mengikat butiran-butiran pasir, biasanya terdiri dari partikel matriks (lanau atau lempung) yang menempati ruang antar butiran pasir. Batu pasir merupakan jenis batuan sedimen yang paling umum dan banyak ditemukan dalam cekungan sedimen di seluruh dunia. Di bawah permukaan, batu pasir sering berfungsi sebagai akuifer air tanah untuk atau sebagai reservoir minyak dan gas alam. Perlu dipahami perbedaan istilah antara "Batu Pasir" dan "Pasir". Kata pasir pada batu pasir mengacu pada ukuran partikel butiran dalam batuan, dimana partikel atau butiran terdiri dari berbagai ukuran yaitu 1/16 mm - 2 mm.

##### 2. Mudstone

Merupakan jenis batuan karbonat yang mengandung unsur butiran atau fragmennya kurang dari 10% dan fragmen tersebut berada dalam matriks yang berasal dari lumpur karbonat yang jumlahnya sekitar 90%, ukuran butiran penyusun mudstone ini dalam kisaran 0.0625 mm.

### 3. Siltstone

Batulanau adalah batuan sedimen klastik. Seperti namanya, batulanau terdiri dari (lebih dari 2/3 nya) partikel-partikel berukuran lanau, yang merupakan butiran berukuran 2–62  $\mu\text{m}$  atau 4 hingga 8 dalam skala Krumbein phi ( $\phi$ ) Batulanau berbeda secara signifikan dari batupasir dalam hal pori-porinya yang lebih kecil dan kecenderungan lebih tinggi untuk mengandung fraksi lanau yang signifikan. Meskipun sering tertukar dengan istilah serpih (shale), batulanau tidak memiliki fisilitas dan laminasi yang khas dari shale.

#### 4.2.1.4. Karakteristik Material Penyusun Lereng

Pada penelitian ini nilai karakteristik material penyusun lereng yang digunakan pada material adalah nilai residual. Hal ini bertujuan untuk mengantisipasi kondisi terburuk dari material penyusun lereng. Selain itu dengan menggunakan nilai residual, diasumsikan bahwa ketika lereng dinyatakan stabil dengan menggunakan nilai residual, maka akan menghasilkan nilai Faktor Keamanan yang lebih tinggi lagi pada kondisi sebenarnya. Nilai karakteristik material penyusun lereng berdasarkan hasil uji laboratorium adalah sebagai berikut :

#### 1. Mudstone

Berdasarkan hasil uji laboratorium yang terdapat pada data geotek PT. Prolindo Cipta Nusantara diperoleh berat volume kering dari material mudstone adalah sebesar 12,224  $\text{kN/m}^3$  dan berat

volume basah adalah sebesar  $17.095 \text{ kN/m}^3$ . Melalui uji tekan batuan yang dilakukan diperoleh nilai kohesi dari material mudstone sebesar  $13.7 \text{ kN/m}^3$  dengan nilai sudut geser dalam sebesar  $27.20^\circ$ .

## **2. Coal**

Berdasarkan hasil uji laboratorium diperoleh berat volume kering dari batubara adalah sebesar  $10.062 \text{ kN/m}^3$  dan berat volume basah adalah sebesar  $13 \text{ kN/m}^3$ . Melalui uji tekan batuan yang dilakukan diperoleh pula nilai kohesi dari batubara adalah sebesar  $1.6 \text{ kN/m}^3$  dengan nilai sudut geser dalam sebesar  $24.73^\circ$ .

## **3. Sandstone**

Berdasarkan hasil uji laboratorium yang terdapat pada data geotek PT. Prolindo Cipta Nusantara diperoleh berat volume kering dari material sandstone adalah sebesar  $12.369 \text{ kN/m}^3$  dan berat volume basah adalah sebesar  $17.005 \text{ kN/m}^3$ . Melalui uji tekan batuan yang dilakukan diperoleh pula nilai kohesi dari material sandstone adalah sebesar  $14.2 \text{ kN/m}^3$  dengan nilai sudut geser dalam  $21.99^\circ$ .

## **4. Siltstone**

Berdasarkan hasil uji laboratorium yang terdapat pada data geotek PT. Prolindo Cipta Nusantara diperoleh berat volume kering dari material siltstone adalah sebesar  $12.270 \text{ kN/m}^3$  dan berat volume basah adalah sebesar  $16.435 \text{ kN/m}^3$ . Melalui uji tekan batuan yang dilakukan diperoleh pula nilai kohesi dari material siltstone adalah sebesar  $15.7 \text{ kN/m}^3$  dengan nilai sudut geser dalam  $26.41^\circ$ .

#### 4.2.2. Analisis Kestabilan Lereng pada Pit Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara

Mengingat banyaknya faktor yang mempengaruhi tingkat kestabilan lereng penambangan maka hasil analisa dengan  $FK = 1.00$  belum dapat menjamin bahwa lereng tersebut dalam kondisi stabil. Hal ini disebabkan karena ada beberapa faktor yang perlu diperhitungkan dalam analisa faktor keamanan lereng penambangan, seperti kekurangan dalam pengujian conto di laboratorium bahwasannya conto batuan yang diambil sebagai bahan Analisa uji laboratorium belum mewakili keadaan sebenarnya di lapangan. Faktor lain yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah tinggi muka air tanah pada lereng, getaran akibat kegiatan peledakan di lokasi penambangan, beban alat mekanis yang beroperasi, dll.

Beberapa rekomendasi variasi sudut lereng secara keseluruhan yang dinyatakan stabil berdasarkan PCN Geotechnical Drill Data by PT. Danmar Explorindo apabila memiliki nilai Faktor Kemanan lebih dari 1.30. Dengan demikian, diperlukan suatu nilai faktor keamanan minimum dengan suatu nilai tertentu yang disarankan sebagai batas faktor keamanan terendah yang masih aman sehingga lereng dapat dinyatakan stabil atau tidak. Pada penelitian ini, nilai acuan faktor keamanan minimum yang digunakan adalah  $FK \geq 1.30$  sesuai dengan Kepmen 1827K/30/MEM/2018, Lampiran II, Halaman 56 - 59 dan Halaman 91 – 94.

#### 4.2.2.1. Lereng Keseluruhan Aktual (*Overall Slope*)

Lereng pada sisi *sidewall* memiliki lapisan batuan penyusun dengan ketebalan yang beragam dengan lapisan batuan di dominasi oleh lapisan *mudstone* dan *sandstone*. Lereng keseluruhan adalah lereng gabungan yang terdiri dari beberapa slope dan didapatkan lebar overall slope 287.117 m dan tinggi overall slope 70.902 meter, dan kemiringan keseluruhan sebesar 35°. Data-data geometri lereng digunakan sebagai data permodelan lereng pada *Software Slide V.6.0*. Selain itu, data geoteknik seperti nilai kohesi, sudut geser tanah, dan berat jenis basah maupun kering yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai dari Faktor Keamanan lereng.

Berdasarkan perhitungan menggunakan *Software Slide V.6.0* pada lereng keseluruhan (*Overall Slope*) dalam keadaan kering diperoleh FK sebesar 1.691. Sedangkan pada analisis perhitungan menggunakan *Metode Bishop* didapatkan FK sebesar 1.787 sehingga dari hasil Faktor Keamanan yang didapatkan maka dapat disimpulkan lereng dalam keadaan stabil ( $FK > 1.30$ ).

Berdasarkan perhitungan menggunakan *Software Slide V.6.0* pada lereng keseluruhan (*Overall Slope*) dalam keadaan basah diperoleh FK sebesar 1.314. Sedangkan pada analisis perhitungan menggunakan *Metode Bishop* didapatkan FK sebesar 1.437 sehingga dari hasil Faktor Keamanan yang didapatkan maka dapat disimpulkan lereng dalam keadaan stabil ( $FK < 1.30$ ).

#### 4.2.2.2. Lereng Rekomendasi Geotek

Geometri lereng rekomendasi geotek dimodelkan berdasarkan berdasarkan SOP (Standar Operasional Perusahaan) yang pada umumnya memiliki tinggi jenjang 10 meter, lebar jenjang 5 meter, dengan sudut kemiringan lereng ditentukan berdasarkan rekomendasi terbaik yaitu  $45^{\circ}$ .

Data-data geometri lereng digunakan sebagai data permodelan lereng pada *Software Slide V.6.0*. Selain itu, data geoteknik seperti nilai kohesi, sudut geser tanah, dan berat jenis basah maupun kering yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai dari Faktor Keamanan lereng.

Berdasarkan perhitungan menggunakan *Software Slide V.6.0* pada lereng rekomendasi *geotek* dalam keadaan kering diperoleh FK sebesar 1.549. Sedangkan pada analisis perhitungan menggunakan *Metode Bishop* didapatkan FK sebesar 1.554 sehingga dari hasil Faktor Keamanan yang didapatkan maka dapat disimpulkan lereng dalam keadaan stabil ( $FK > 1.30$ ).

Berdasarkan perhitungan menggunakan *Software Slide V.6.0* pada lereng rekomendasi geotek dalam keadaan basah diperoleh FK sebesar 1.301. Sedangkan pada analisis perhitungan menggunakan *Metode Bishop* didapatkan FK sebesar 1.311 sehingga dari hasil Faktor Keamanan yang didapatkan maka dapat disimpulkan lereng dalam keadaan tidak stabil ( $FK < 1.3$ ).

#### 4.2.3. Rekomendasi Upaya Menjaga Stabilitas Lereng Tambang

Berdasarkan hasil perhitungan, peneliti memberikan rekomendasi berupa perubahan geometri lereng. Lereng rekomendasi peneliti dimodelkan berdasarkan tinggi alat gali (*excavator*) yang digunakan untuk membentuk jenjang pada lereng *sidewall* yaitu Excavator PC 400 dan PC 800 komatsu, dengan memperhitungkan lebar dan ukuran *bucket excavator* yang digunakan sehingga pembuatan desain lereng yang direkomendasikan peneliti dapat dibuat dengan lebih mudah. Lereng yang rekomendasi peneliti membentuk 5 bench dengan masing-masing jenjang (*slope*) memiliki tinggi jenjang 10 meter, lebar jenjang 5 meter. Perubahan tinggi dan lebar jenjang lereng rekomendasi ini dimaksudkan agar lebih mempermudah alat dalam membentuk *bench*.

Untuk sudut lereng secara keseluruhan (*overall slope angle*) peneliti mengubah besar sudut yang aktual sebesar  $34^{\circ}$  menjadi lebih curam yaitu sebesar  $37^{\circ}$ , dengan masing-masing besar sudut jenjang tunggal (*single slope angle*) adalah  $46^{\circ}$ . Perubahan besar sudut jenjang lereng rekomendasi ini dimaksudkan agar lebih mengurangi pengambilan OB dan juga meningkatkan jumlah produksi batubara.

Berdasarkan perhitungan menggunakan *Software Slide V.6.0* pada lereng rekomendasi peneliti dalam keadaan kering diperoleh FK sebesar 1.518. Sedangkan pada analisis perhitungan menggunakan *Metode Bishop* didapatkan FK sebesar 1.530 sehingga dari hasil

Faktor Keamanan yang didapatkan maka dapat disimpulkan lereng dalam keadaan stabil ( $FK > 1.30$ ).

Berdasarkan perhitungan menggunakan *Software Slide V.6.0* pada lereng rekomendasi peneliti dalam keadaan basah diperoleh FK sebesar 1.300. Sedangkan pada analisis perhitungan menggunakan *Metode Bishop* didapatkan FK sebesar 1.425 sehingga dari hasil Faktor Keamanan yang didapatkan maka dapat disimpulkan lereng dalam keadaan tidak stabil ( $FK < 1.30$ ).

Penambahan 2 *bench* dengan lebar 5 m dan tinggi 10 m dilakukan untuk menambah nilai faktor keamanan lereng *sidewall* sehingga mengurangi kemungkinan lereng longsor. Pembuatan *bench* di atas lapisan batubara berfungsi untuk menahan longsor yang mungkin terjadi, juga menghindari kontaminasi lapisan batuan yang di atasnya akibat adanya air hujan, sehingga tidak menurunkan kualitas dari batubara tersebut.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa *safety factor* menggunakan metode *Bishop* pada lereng *sidewall*, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian terletak pada lereng *Sidewallll pit* Barat, dimana lereng telah membentuk kondisi bukaan *final* yakni tidak akan terjadi *development* pada sisi *sidewall*, sehingga diperlukan analisis kestabilan lereng guna menjaga kestabilan bentuk *final* lereng *sidewall* di *Pit* Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara. Posisi lereng *sidewallll* berada disebelah Selatan batas konsesi IUP PT Prolindo Cipta Nusantara dengan arah (*strike*) dan kemiringan (*dip*) satuan batubara di lokasi ini secara umumnya sama dengan lapisan OB yakni  $N180^{\circ}E / 9^{\circ}$  pada elevasi 18.
2. Berdasarkan model lereng pada Pit Barat PT. Prolindo Cipta Nusantara didapatkan hasil FK sebagai berikut:
  - a. Analisis nilai FK menggunakan *Software Slide V.6.0*:
    - Lereng Keseluruhan Aktual Kondisi Kering FK = 1.691
    - Lereng Keseluruhan Aktual Kondisi Basah FK = 1.314
    - Lereng Keseluruhan Rekomendasi Geotek Kondisi Kering FK = 1.549
    - Lereng Keseluruhan Rekomendasi Geotek Kondisi Basah FK = 1.301

- b. Analisis nilai FK menggunakan perhitungan *Metode Bishop*:
- Lereng Keseluruhan Aktual Kondisi Kering FK = 1.787
  - Lereng Keseluruhan Aktual Kondisi Basah FK = 1.437
  - Lereng Keseluruhan Rekomendasi Geotek Kondisi Kering FK = 1.554
  - Lereng Keseluruhan Rekomendasi Geotek Kondisi Basah FK = 1.311

3. Rekomendasi peneliti berupa perubahan geometri lereng yang dimodelkan berdasarkan tinggi alat gali (*excavator*) yang digunakan untuk membentuk jenjang pada lereng *sidewall* dengan memperhitungkan lebar dan ukuran *bucket excavator* yang digunakan sehingga pembuatan desain lereng yang direkomendasikan peneliti dapat dibuat dengan lebih mudah. Lereng rekomendasi peneliti membentuk 5 bench dengan setiap jenjang memiliki tinggi jenjang 10 meter, lebar jenjang 5 meter, dan sudut lereng keseluruhan (*overall slope angle*) sebesar  $45^{\circ}$ . Perubahan tinggi dan lebar jenjang lereng rekomendasi ini dimaksudkan agar lebih mempermudah alat dalam membentuk *bench* sedangkan perubahan besar sudut jenjang lereng rekomendasi ini dimaksudkan agar lebih mengurangi pengambilan OB dan juga meningkatkan jumlah produksi batubara. Perubahan geometri lereng rekomendasi peneliti diperoleh nilai FK sebagai berikut :

- Analisis nilai FK menggunakan *Software Slide V.6.0* :
  - Lereng Keseluruhan Rekomendasi Peneliti Kondisi Kering  
FK = 1.518
  - Lereng Keseluruhan Rekomendasi Peneliti Kondisi Basah  
FK = 1.300
- Analisis FK menggunakan perhitungan *Metode Bishop* :
  - Lereng Keseluruhan Rekomendasi Peneliti Kondisi Kering  
FK = 1.530
  - Lereng Keseluruhan Rekomendasi Peneliti Kondisi basah  
FK = 1.425

## 5.2. Saran

1. Perlu dilakukan pemantauan air tanah disekitar lereng, sehingga analisis stabilitas lereng semakin akurat.
2. Perlunya pengawasan secara teliti saat pembuatan *bench* agar mengikuti desain tambang yang di buat.
3. Membuat rambu / *boundry* dengan pita menyala atau *safety line* agar bisa terlihat di malam hari, untuk mempermudah para pekerja alat untuk membuat bench sesuai rancangan desain.
4. Perlunya perhatian khusus terhadap bidang lemah dan perlapisan material yang dapat mempengaruhi terjadinya kelongsoran.
5. Hendaknya melakukan analisis kestabilan lereng secara berkala (setiap ada perubahan kedalaman lereng).

## DAFTAR PUSTAKA

- Abramson, L.W., Lee., T.S., Sharma, S., dan Boyle, G.M. 2002. **“Slope Stability and Stabilization Methods”**. New York: Wiley and Sons Inc.
- Arif, Irwandy. 2016 **“Geoteknik Tambang – Mawujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng”**. Jakarta: PT. Gramedia.
- Bangsawan, Wendra. 2017. **“Analisis Geoteknik Pada Bukaannya Tambang Batu Bara di PT. Pada Idi, Kalimantan Tengah Desa Lewu Hulu Kecamatan Lahei Barat Kabupaten Barito Utara Provinsi Kalimantan Tengah”** [Skripsi]. Palangka Raya: Universitas Palangka Raya.
- Bienawzki, Z. T. 1989. **“Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologist in Mining, Civil and Petroleum Engineering. New York”**.
- Bishop, A. W. 1955. **“The use of the slip circle in the stability analysis of slopes, Geotechnique, 7-17”**
- Bowles, J.E. 1991. **“Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah), Edisi kedua”**. Jakarta: Erlangga.
- Cherianto, Octavian. 2014. **“Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawan Citraland Sta.1000 m”** [Skripsi]. Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- Deere, D. U., and Deere, D. W. 1998. **“Rock Classification System for Engineering Purpose: The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. L. Kirkadie, ed., ASTM 1984”**.
- Hoek, E, and Bray, J. W. 1981. **“Rock Slope Engineering”**. London: Institution of Mining and Metallurgy.
- Hoek, E. dan Brown, E.T. 1997. **“Practical estimates of rock mass strength. Intl. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts. 34 (8), 1165-1186”**.
- Hormazabal, E, F. Rovira, M. Walker and C. Carranza-Torres. 2009. **“Analysis And Design Of Slopes For Rajo Sur, An Open Pit Mine Next To The Subsidence Crater Of El Teniente Mine In Chile”** [Slope Design Analysis Journal]. Santiago, Chile: Universidad de los Andes.

- International Society for Rocks Mechanics Suggested Method. 1981. **“Rock Characterization, Testing, and Monitoring. Ed. E. T. Brown”**. Pergamon: Oxford.
- Kepmen ESDM 1827K/30/MEM/2018 tentang **Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan**.
- Kliche, C.A. 1999. **“Rock Slope Stability, Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc (SME)”**.
- Krahn, J. 2004. **“Stability Modeling With Slope/W, 1<sup>st</sup> edition”**. Canada: GEO SLOPE/W International, Ltd.
- Kramadibrata, S. 1990. **“The influence of Spesimen Size on Strength of Intact Rock. Western Australian Conference of Mining Geomechanics”**. Western Australian: WASM Kalfoorlie.
- Nian, T. K, G. Q. Chen, M. T. Luan, Q. Yang, D. F. Zheng. 2008. **“Limit analysis of the stability of slopes reinforced with piles against landslide in nonhomogeneous and anisotropic soils” [Canadial Geotechnical Journal]**. China: Institute of Geotechnical Engineering, State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering
- Sabdono. Agus Sabar. 2017. **“Analisis Kestabilan Lereng Pit 7 West B Tambang Batubara PT. Buma Site Binungan, Berau, Kalimantan Timur” [Skripsi]**. Semarang: Universitas Dipenegoro.
- Suyono Sosrodarsono, Ir, Kensaku Takeda. 1977. **“Bendungan Tipe Urugan”**. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Syarif, Muhammad. 2017. **“Analisis Kestabilan Lereng Pit A Site Samboja PT Lembuswana Perkasa Kecamatan Samboja Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur” [Skripsi]**. Palangka Raya: Universitas Palangka Raya.
- Terzaghi, K., and Peck, R. B. 1987. **“Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa”**. Jakarta: Erlangga.