

SKRIPSI GEOFISIKA

**ANALISIS KESTABILAN LERENG PADA TAMBANG BATUBARA
TERBUKA (*OPEN COAL PIT MINING*) LAPANGAN “X” BLOK BARAT
IUP PT. ALAMJAYA BARA PRATAMA Tbk**



Disusun dan Diajukan Oleh :

ERVIN BUDI SANJAYA

H221 16 313

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

HALAMAN JUDUL

**ANALISIS KESTABILAN LERENG PADA TAMBANG
BATUBARA TERBUKA (*OPEN COAL PIT MINING*)
LAPANGAN “X” BLOK BARAT IUP PT. ALAMJAYA BARA
PRATAMA Tbk**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada Departemen Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

OLEH:

ERVIN BUDI SANJAYA

H22116313

**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS KESTABILAN LERENG PADA TAMBANG BATUBARA
TERBUKA (*OPEN COAL PIT MINING*) LAPANGAN "X" BLOK BARAT
IUP PT ALAMJAYA BARA PRATMA Tbk**

Disusun dan diajukan oleh:

ERVIN BUDI SANJAYA

H22116313

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan
Ilmu Penegetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 16 Agustus 2021

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama


Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si
NIP. 196709032001121001


Syamsuddin, S.Si, MT
NIP. 197401152002121001

Ketua Program Studi,


Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 196709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ervin Budi Sanjaya
NIM : H22116313
Program Studi : Geofisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul

Analisis Kestabilan Lereng Pada Tambang Batubara Terbuka (*Open Coal Pit Mining*) Lapangan “X” Blok Barat IUP PT Alamjaya Bara Pratama Tbk

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain. Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Agustus 2021

Yang Menyatakan



ERVIN BUDI SANJAYA

ABSTRAK

Lereng pada tambang batubara terbuka harus di analisis kestabilan lerengnya untuk mencegah masalah keselamatan kerja, keamanan peralatan, dan benda-benda lainnya. Ukuran kestabilan lereng dapat diketahui dengan menghitung besarnya faktor keamanan (FK). Tujuan dari penelitian ini yaitu mendesain geometri lereng yang stabil pada pit X sisi selatan PT. Alamjaya Bara Pratama, dan menentukan hasil perhitungan faktor keamanan *Overall Slope* dengan Metode Kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*). Dalam penelitian ini dilakukan permodelan lereng tunggal dengan jumlah model sebanyak 15 model pada masing-masing lithologi. Sedangkan, untuk lereng keseluruhan digunakan 5 model. Dari kelima model tersebut, terdapat satu model dengan sudut lereng $33,67^\circ$ yang memenuhi standar stabilitas dengan nilai Faktor Keamanan akhir 1,925 dengan Metode *Bishop* yang berarti lereng dalam keadaan stabil.

Kata Kunci: Analisa Kestabilan Lereng, Metode Bishop, Overall Slope

ABSTRACT

Slopes in open coal mines must be analyzed for slope stability to prevent work safety problems, equipment security, and other objects. The size of slope stability can be determined by calculating the safety factor (SF). The purpose of this research is to design a stable slope geometry in pit X south side of PT. Alamjaya Bara Pratama, and determine the results of the calculation of the Overall Slope safety factor using the Limit Equilibrium Method. In this study, a single slope modeling was carried out with a total of 15 models in each lithology. Meanwhile, for the overall slope used 5 models. Of the five models, there is one model with a slope angle of 33.67° which meets the stability standard with a final Safety Factor value of 1.925 with the Bishop's Method which means the slope is in a stable state.

Keywords: Slope Stability Analysis, Bishop's Method, Overall Slope

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia-Nya kepada penulis. Shalawat serta salam penulis curahkan kepada *Rasulullah Shallallahu 'alaihi Wasallam*. Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis hingga terselesaikannya skripsi ini dengan judul “**Analisis Kestabilan Lereng Pada Tambang Batubara Terbuka (Open Coal Pit Mining) Lapangan ‘X’ Blok Barat IUP PT. Alamjaya Bara Pratama Tbk**”. Penyusunan skripsi ini untuk memenuhi persyaratan penyelesaian studi pada Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Penyusunan tugas akhir ini didasari oleh pentingnya kestabilan lereng terhadap keberlangsungan tambang dan keselamatan pekerja beserta asset yang ada di tambang khususnya eksploitasi batubara, sehingga penulis berharap tugas akhir ini dapat menjadi ide kepada pemerintah maupun pihak swasta dan manfaat bagi masyarakat dalam pengembangan dan pengawasan keamanan dalam tambang.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini memiliki banyak kekurangan dikarenakan terbatasnya kemampuan penulis dalam melakukan penelitian ini, sehingga penulis berharap kritik dan saran yang membangun guna menyempurnakan penelitian selanjutnya.

Pada kesempatan ini tidak lupa penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua penulis (**Ibu Dg. Nikati S.Pd** dan **Bapak Tajuddin**) atas bimbingan dengan penuh kasih sayang serta doa yang tidak henti-hentinya dipanjatkan untuk kesuksesan penulis dalam menempuh jenjang pendidikan hingga penyelesaian tugas akhir.
2. Bapak **Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si.** selaku pembimbing utama yang bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan arahan kepada penulis

untuk memberikan kritik dan saran dalam penulisan skripsi ini serta saran dan arahan dalam persoalan akademik.

3. Bapak **Syamsuddin, S.Si, MT** selaku pembimbing pertama dan dosen penasehat akademik atas ilmu, bimbingan, motivasi, dan nasehat yang diberikan kepada penulis.
4. Ibu **Dra Maria, M.Si** selaku tim penguji yang telah memberikan kritik, saran, dan masukan yang membangun kepada penulis selama penulisan skripsi.
5. Bapak **Sabrianto Aswad, S.Si, MT** atas kritik dan saran dalam penyempurnaan tugas akhir ini.
6. Seluruh dosen-dosen Geofisika Universitas Hasanuddin terima kasih telah memberikan ilmu yang bermanfaat selama penulis menjalankan studi.
7. Seluruh staf kepegawaian dan administrasi Geofisika Universitas Hasanuddin terkhusus.
8. Teman-teman Angkatan 2016 atas tawa, kebersamaan, suka duka, pengalaman, dan bantuannya selama 5 tahun dan akan terus berlanjut.
9. Sahabat sekaligus teman seperjuangan **Mufly Fadla** dan **Gebrina Rezki** atas support, bantuan, dampingan selama proses penyusunan tugas akhir, serta menjadi pendengar yang baik untuk penulis. Tak lupa pula seorang adik dan orang terkasih sebagai tempat bercerita dikala susah maupun senang **Febrianty Regina Rombe**.
10. Terakhir, terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dan tidak sempat disebutkan satu persatu, semoga segala kebaikan saudara(i)-ku diterima sebagai ibadah di sisi-Nya.

Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca maupun penulis. Penulis telah mengerahkan segala kemampuan dalam menyelesaikan skripsi ini, tapi sebagai manusia yang tak luput dari kesalahan, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan karena sesungguhnya kesempurnaan hanyalah milik-Nya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

DAFTAR ISI

SAMPUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Rumusan Masalah	2
I.3. Ruang Lingkup Penelitian	2
I.4. Tujuan Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1. Geologi Regional dan Stratigrafi	3
II.1.1 Geomorfologi.....	5
II.1.2 Struktur Geologi	5
II.2. Batubara di Indonesia	7
II.3. Tambang Batubara	8
III.3.1 Penambangan Terbuka (<i>Open Pit Mining</i>).....	9
III.3.2 Masalah Penambangan Sistem Terbuka Konvensional	10
II.4. Macam – Macam Longsor yang Terjadi pada Lereng Tambang.....	10
II.10.2 Longsor Busur.....	10
II.10.3 Longsor Bidang.....	11
II.10.4 Longsor Baji.....	11
II.10.5 Longsor Guling	12
II.5. Lereng	12
II.5.1 Lereng Alam	13
II.5.2 Lereng Buatan.....	13

II.6. Rancangan Lereng Tambang	15
II.6.1 Menentukan Kondisi Litologi dengan Data <i>Log</i>	15
II.6.2 <i>Bench</i>	18
II.6.3 <i>Overall Slope</i>	20
II.7. Penentuan Sifat Mekanik Batuan di Laboratorium.....	24
II.7.1 Uji Kuat Tekan <i>Uniaksial</i>	24
II.7.2 Uji Kuat Tarik Tak Langsung.....	24
II.7.3 <i>Point Loads Test</i>	25
II.7.4 Uji Kuat Tekan <i>Triaksial</i>	26
II.7.5 <i>Punch Shear Test</i>	27
II.7.6 Uji Kuat Geser	28
II.8. Analisis Kestabilan Lereng	29
II.9. Metode <i>Bishop</i>	36
BAB III METODE PENELITIAN	
III.1. Lokasi Penelitian	41
III.2. Perangkat dan Data Penelitian.....	42
III.3. Prosedur Penelitian	43
III.3.1 Pembuatan Curva Well Log.....	43
III.3.2 Litologi dan Ketebalan	43
III.3.3 Peta Persebaran Titik Bor	43
III.3.4 Analisis Model Cebakan.....	43
III.3.5 Penentuan Overburden dan Innerburden	43
III.3.6 Penentuan Model Geometri Lereng.....	44
III.3.7 Model Analisis Single Slope	44
III.3.8 Analisa Kestabilan Lereng.....	44
III.3.9 Pembuatan Model Geometri <i>Overall Slope</i>	44
III.3.10 Analisa Kestabilan Overall Slope.....	45
III.4. Diagram Alir Penelitian.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Pembuatan Curva <i>Well Log</i>	48
IV.2 Litologi dan Ketebalan	49
IV.3 Peta Sebaran Titik Bor.....	51

IV.4 Analisis Model Cebakan.....	52
IV.5 Penentuan <i>Overburden</i> dan <i>Innerburden</i>	53
IV.6 Penentuan Model Geometri Lereng.....	53
IV.7 Model Analisis <i>Single Slope</i>	55
IV.8 Analisa Kestabilan Lereng.....	56
IV.8.1 Analisis Kestabilan Lereng dengan Perhitungan Manual.....	56
IV.8.2 Analisis Kestabilan Lereng dengan <i>Geoslope/W</i>	63
IV.9 Analisa Stabilitas <i>Overall Slope</i>	76
BAB V HASIL PENUTUP	
V.1. Kesimpulan.....	83
V.2. Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Penyebab Gerakan Massa Tanah	14
Tabel 2.2.	Karakteristik <i>Log Gamma Ray</i> & Densitas Beberapa Batuan	17
Tabel 2.3.	Data Uji Sifat Mekanik Batuan.....	29
Tabel 2.4.	Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng	33
Tabel 2.5.	Faktor Keamanan Minimum Stabilitas Lereng.....	34
Tabel 2.6	Faktor Keamanan Lereng.....	34
Tabel 2.7	Kesetimbangan Pada Setiap Metode.....	36
Tabel 2.8.	Gaya Antar Irisan Pada Setiap Metode.....	36
Tabel 3.1.	Tabel Hasil Uji Laboratorium Contoh Batuan.....	42
Tabel 4.1.	Tabel Interpretasi Litologi	50
Tabel 4.2.	Hubungan Antara Stratigrafi dan Litologi	53
Tabel 4.3.	Data Geometri <i>Single Slope</i>	54
Tabel 4.4.	Data Tiap Irisan pada Contoh Properti Material Overburden B1 .	58
Tabel 4.5.	Tabulasi Perhitungan <i>Mi</i>	59
Tabel 4.6.	Tabulasi Perhitungan FK dengan Metode <i>Bishop</i>	60
Tabel 4.7.	Tabulasi Perhitungan <i>RM</i> dan <i>DM</i>	61
Tabel 4.8.	Tabulasi Angka FK dari Hasil Penyelesaian Angka Keamanan...	62
Tabel 4.9.	Parameter Tanah	63
Tabel 4.10.	Analisa Stabilitas Pada <i>Overburden</i> B1.....	64
Tabel 4.11.	Analisa Stabilitas Pada <i>Seam</i> B1	65
Tabel 4.12.	Analisa Stabilitas Pada <i>Interburden</i> B1-B2.....	66
Tabel 4.13.	Analisa Stabilitas Pada <i>Seam</i> B2	67
Tabel 4.14.	Analisa Stabilitas Pada <i>Interburden</i> B2-C.....	69
Tabel 4.15.	Analisa Stabilitas Pada <i>Seam</i> C	70
Tabel 4.16.	Analisa Stabilitas Pada <i>Interburden</i> C-D (<i>Claystone</i>).....	71
Tabel 4.17.	Analisa Stabilitas Pada <i>Interburden</i> C-D (<i>Sandstone</i>)	72
Tabel 4.18.	Analisa Stabilitas Pada <i>Seam</i> D	73
Tabel 4.19.	Analisa Stabilitas Pada <i>Under</i> D	74
Tabel 4.20.	Perbandingan Iterasi pada perhitungan manual dan <i>Geoslope/W</i> .	75
Tabel 4.21.	Hasil Analisa <i>Slope Stability</i>	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Peta Geologi Regional	3
Gambar 2.2. Klasifikasi Stratigrafi Cekungan Kutai	4
Gambar 2.3. Peta Geomorfologi	5
Gambar 2.4. Struktur Geologi Cekungan Kutai.....	6
Gambar 2.5 Skema Longsoran Busur	11
Gambar 2.6 Skema Longsoran Bidang	11
Gambar 2.7 Skema Longsoran Baji	12
Gambar 2.8 Skema Longsoran Guling.....	12
Gambar 2.9. Lereng Buatan pada Tambang Terbuka	14
Gambar 2.10 Penentuan Ketebalan dengan Menggunakan <i>Log Gamma Ray</i>	16
Gambar 2.11 Penentuan Ketebalan dengan Menggunakan <i>Log Density</i>	16
Gambar 2.12. Karakteristik <i>log</i> pada tiap batuan.....	18
Gambar 2.13. Geometri Lereng Tambang	18
Gambar 2.14 Geometri Lereng Tunggal	20
Gambar 2.15. Geometri Lereng Keseluruhan	20
Gambar 2.16. <i>Overall Slope</i> dengan <i>Ramp</i>	21
Gambar 2.17. Sudut <i>Interramp Slope</i>	22
Gambar 2.18. <i>Overall Slope</i> dengan <i>Working Bench</i>	23
Gambar 2.19. Sudut <i>Interramp Berasosiasi</i> dengan <i>Working Bench</i>	23
Gambar 2.20 Deformasi pada contoh batuan hasil uji UCS	24
Gambar 2.21 Lingkaran <i>Mohr</i> dan Kurva Intrinstik dari hasil uji <i>triaxial</i>	27
Gambar 2.22 Faktor Keamanan Sederhana.....	30
Gambar 2.23 Contoh Bidang Gelincir	37
Gambar 2.24 Gaya-gaya yang bekerja pada irisan	38
Gambar 2.25 Variasi nilai dari $m_a(n)$ dengan c_n dan $\tan \phi'/F_s$	40
Gambar 3.1. Peta Kesampaian Daerah Penelitian.....	41
Gambar 3.2 Contoh Lereng Tambang Batubara	41
Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian	46
Gambar 4.1. Hasil Pengolahan Data Log.....	48
Gambar 4.2. Peta Sebaran Titik Bor	51

Gambar 4.3. Model Endapan Batubara.....	52
Gambar 4.4 Geometri Lereng dengan Perbandingan 3:4.....	54
Gambar 4.5. <i>Import Region</i> kedalam Geostudio	55
Gambar 4.6. Memasukkan data Material	56
Gambar 4.7 Pembagian Longsor dalam Bentuk Irisan	57
Gambar 4.8. Model Irisan 11	57
Gambar 4.9 Hubungan antara Iterasi dan Faktor Keamanan.....	76
Gambar 4.10 Model 1 <i>Overall Slope</i>	78
Gambar 4.11 Model 2 <i>Overall Slope</i>	79
Gambar 4.12 Model 3 <i>Overall Slope</i>	79
Gambar 4.13 Model 4 <i>Overall Slope</i>	80
Gambar 4.14 Model 5 <i>Overall Slope</i>	81

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Pada tambang terbuka, ilmu geoteknik merupakan salah satu hal yang penting karena adanya suatu masalah pada kestabilan lereng. Lereng-lereng yang ada harus dianalisis kestabilannya, baik pada tahapan perancangan, tahap penambangan, maupun tahap pasca tambang, untuk mencegah bahaya longsor di waktu-waktu yang akan datang sebab menyangkut masalah keselamatan kerja, keamanan peralatan, dan benda-benda lainnya (Arief, 2016).

Longsoran disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah kondisi tanah asli yang tidak selalu sesuai dengan perencanaan yang diinginkan, misalnya lereng yang terlalu curam sehingga dilakukan pemotongan bukit, atau kondisi lain yang membutuhkan timbunan dan lain sebagainya, sehingga diperlukan analisis kestabilan lereng yang baik dan akurat. Ukuran kestabilan lereng dapat diketahui dengan menghitung besarnya faktor keamanan (FK).

Faktor keamanan dapat ditentukan baik dengan metode kesetimbangan batas maupun dengan metode yang lainnya. Metode kesetimbangan batas pada dasarnya menentukan gaya penahan dan penggerak pada lereng, salah satu yang cukup populer adalah Metode *Bishop*. Metode *Bishop* menghasilkan FK yang akurat dengan perhitungan yang lebih sederhana, dan hasil perhitungan FK pada lereng di tambang batubara juga menghasilkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan metode lain seperti Metode *Spencer*, dan Metode *Janbu*.

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut maka akan dilakukan penelitian tentang analisis kestabilan lereng pada *Pit "X"*, yang merupakan salah satu *pit* yang sedang dalam tahap penambangan.

I.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana rekomendasi desain geometri lereng yang stabil pada *pit X* sisi selatan PT. Alamjaya Bara Pratama ?
2. Bagaimana perhitungan faktor keamanan *Overall Slope* dengan Metode Keseimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*) ?

I.3. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada perhitungan faktor keamanan (FK) menggunakan metode *Bishop*, dengan tipe longsor busur, & tidak meninjau adanya kandungan air. Hasil analisa kemandapan lereng dapat diterima berdasarkan kriteria lereng stabil oleh Kepmen ESDM RI (2018) pada FK statis minimum yaitu $FK > 1,1$, *Bowles* $FK > 1,25$ dan SKBI-2.3.06, 1987 yaitu $FK > 1,5$ sebagai standarnya.

I.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

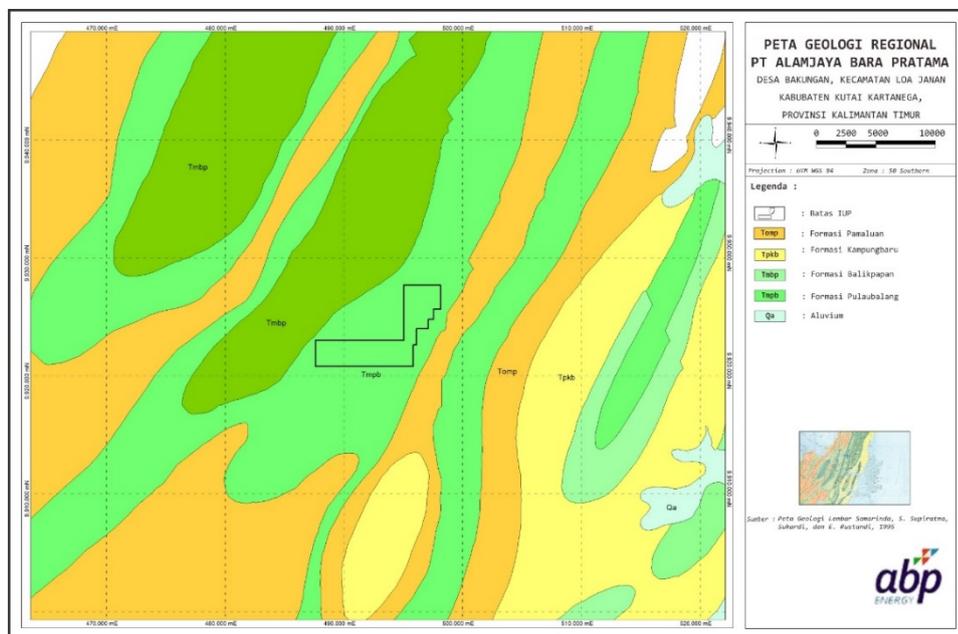
1. Mendesain geometri lereng yang stabil pada *pit X* sisi selatan PT. Alamjaya Bara Pratama.
2. Menentukan hasil perhitungan faktor keamanan *Overall Slope* dengan Metode Keseimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Geologi Regional dan Stratigrafi

Stratigrafi regional berdasarkan stratigrafi dan kesebandingan dengan peta geologi regional (gambar 2.1) lembar Samarinda, skala 1 : 250.000 oleh Sukardi, S. Supriatna, dan E. Rustandi, tahun 1995, dari yang tertua sampai yang termuda.



Gambar 2.1 Peta Geologi Regional (Sukardi dkk, 1995)

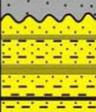
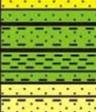
Pada peta geologi regional PT Alamjaya Bara Pratama, terdiri dari 4 formasi yaitu,

1. Formasi Pamaluan (Tomp) : Formasi ini terdiri dari batupasir kuarsa dengan sisipan batu lempung, serpih, batugamping, dan batulanau. Umur formasi Pamaluan adalah *Oligosen Akhir – Mioses Awal* dengan lingkungan pengendapan Neritik.
2. Formasi Pulau Balang (Tmp) : Formasi ini diendapkan secara selaras di atas Formasi Bebuluh, sedangkan dibagian atasnya berhubungan, menjemari

dengan Formasi Balikpapan. Litologi formasi ini terdiri dari *greywacke*, batupasir kuarsa, batugamping, tufa pasir dan batubara. Formasi Pulau Balang berumur *Miosen Tengah*.

3. Formasi Balikpapan (Tmbp) : Formasi ini berumur *Miosen Tengah – Miosen Akhir* dengan litologi berupa batupasir kuarsa dengan sisipan batulempung, batulanau, serpih, batugamping dan batubara. Formasi ini di endapkan secara selaras diatas Formasi Pulau Balang.
4. Formasi Kampungbaru (TmPk) : Litologi formasi ini terdiri dari batupasir kuarsa lepas dengan sisipan batulempung, batulanau, serpih, dan batubara muda (*lignite*). Umur formasi ini adalah *Miosen Akhir – Pliosen Akhir*. Lingkungan pengendapan Delta.
5. Endapan Aluvial (Qal) : Material lepas berupa lempung dan lanau, pasir lumpur dan kerikil, merupakan endapan pantai, rawa, dan sungai.

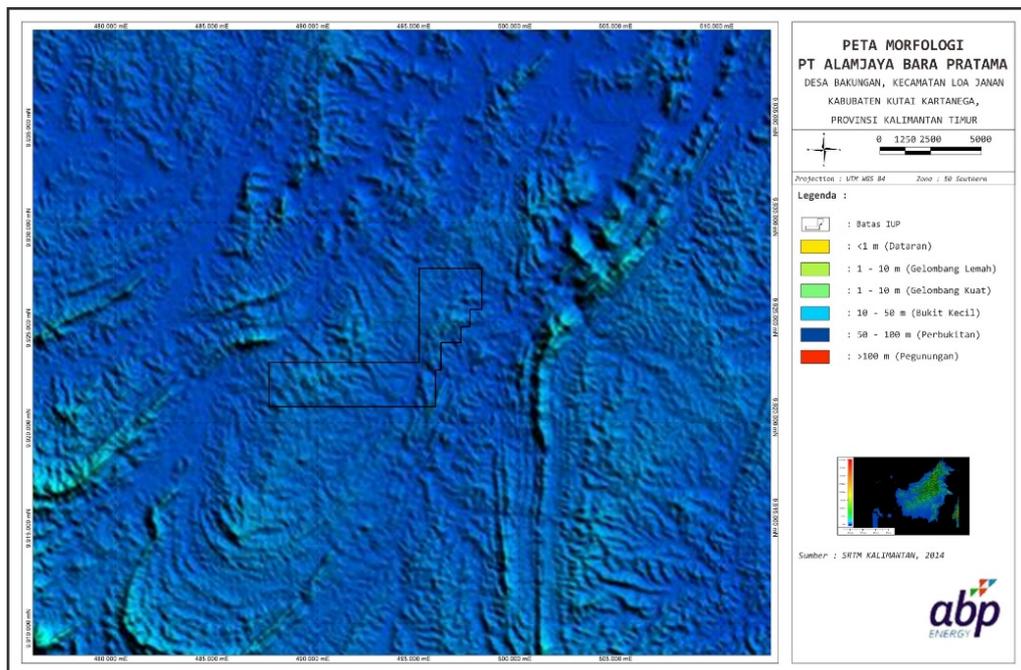
Secara singkat disajikan dalam gambar berikut ini :

UMUR	FORMASI	TEBAL (m)	LITOLOGI	DESKRIPSI	LINGKUNGAN PENGENDAPAN				
KUARTER	HOLOSEN	?		Material lepas berukuran lempung hingga pasir halus, dan material organik.	<i>Fluvial Lacustrine</i>				
	Alluvial (Qa)								
TERSIER	PLISTOSEN	900		Batupasir kuarsa yang bersifat lepas dengan sisipan batulempung, serpih, batulanau dan lignit.	Delta				
	Kampungbaru								
	MIOSEN ATAS					3000		Batulempung dan batupasir kuarsa dengan sisipan batulanau serpih, dan batubara	Delta
	Balikpapan								
	MIOSEN TENGAH								
Pulau Balang									
MIOSEN BAWAH	2000		Formasi Bebulu : batugamping dengan sisipan batugamping pasiran dan serpih.	Laut Dangkal (Neritik)					
Pamaluan					3000	Formasi Pamaluan : batupasir kuarsa dengan sisipan batulempung, serpih, batugamping dan batulanau.			

Gambar 2.2 Klasifikasi Stratigrafi Cekungan Kutai (Sukardi dkk, 1995)

II.1.1 Geomorfologi

Morfologi daerah penyelidikan seperti pada Gambar 2.3, termasuk kedalam satuan morfologi perbukitan lemah sampai sedang, mempunyai ketinggian berkisar antara 10 m sampai 120 m dengan *grade* kemiringan berkisar antara 5% – 15%, dengan kelurusan bukit berarah hampir utara-selatan hingga timurlaut-baratdaya yang di beberapa tempat membentuk pematang-pematang yang sempit, dimana arah dari pematang-pematang tersebut berarah sesuai dengan arah perlapisan batuan yang menyusunnya. Pola aliran di sekitar daerah penyelidikan pada umumnya adalah *Subdendritik*. Aliran sungai pada umumnya mengarah ke Timur Laut atau bermuara di Sungai Mahakam yang berada di sebelah Timur Laut daerah penyelidikan.



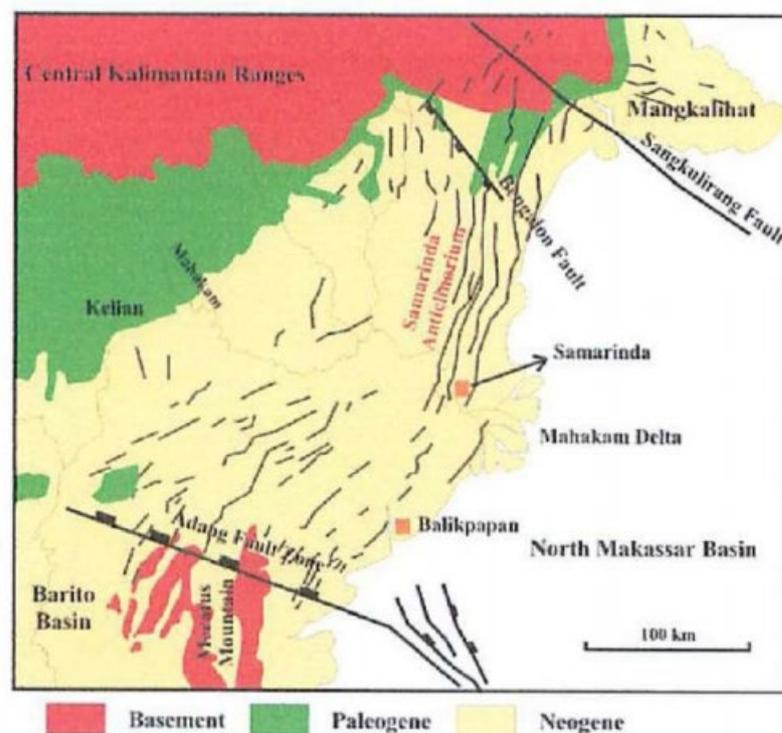
Gambar 2.3 Peta Geomorfologi Regional (Rizal, 2014)

II.1.2 Struktur Geologi

Cekungan Kutai terletak di bagian timur dari paparan *Sundaland*, yang merupakan perluasan lempeng kontinen Eurasia ke arah selatan. Cekungan Kutai di bagian

utara dibatasi oleh kelurusan Bengalong dan zona patahan Sangkuriang, di bagian selatan dibatasi oleh Sesar Adang, dibagian barat dibatasi oleh Punggungan Kalimantan bagian tengah, dan di sebelah timur dibatasi oleh Selat Makassar.

Cekungan kutai dihasilkan oleh proses pemekaran (*rift basin*) yang terjadi pada Eosen Tengah yang melibatkan pemekaran Selat Makassar bagian utara dan Laut Sulawesi. Selama Kapur Tengah sampai Eosen Awal, pulau Kalimantan merupakan tempat terjadinya *collision* dengan mikrokontinen, busur kepulauan, pengebakan lempeng *oceanic* dan intrusi granit, membentuk batuan dasar yang menjadi dasar dari Cekungan Kutai (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Struktur Geologi Cekungan Kutai (Allen & Chambers, 1998).

Pola stuktur yang berkembang di Cekungan Kutai didominasi oleh serangkaian lipatan dan patahan berarah NNE-SSW yang parallel dengan garis pantai timur.

Pola struktur ini dikenal sebagai *anticlinorium-Mahakam Foldbelt*. Sabuk Lipatan Mahakam ini berbentuk rangkaian antiklin asimetris, dan dipisahkan oleh sinklin yang lebar. Pola struktur di bagian barat Cekungan Kutai belum begitu diketahui secara pasti. Bagian barat cekungan mengalami pengangkatan hingga terjadi inversi yang menghilangkan endapan sedimen setebal 1.500-3.500 meter.

II.2 Batubara di Indonesia

Batubara adalah bahan bakar fosil. Batubara dapat terbakar, terbentuk dari endapan, batuan organik yang terutama terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara merupakan komponen yang sangat penting dalam sumberdaya energi dunia, dan diharapkan dapat memainkan peran penting dalam pemenuhan energi pada masa mendatang (World Coal Institute, 2005).

Batubara merupakan salah satu jenis bahan bakar fosil yang berasal dari endapan jasad renik tumbuhan prasejarah berumur ratusan juta tahun. Selain digunakan sebagai bahan bakar, batubara juga dimanfaatkan untuk pembangkit listrik dan dalam dunia perindustrian seperti produksi besi/baja (Santoso, 2014).

Proses terbentuknya batubara dijelaskan oleh Santoso (2014) dimana berbagai tanaman yang mati akan terurai di dalam tanah dan mulai terendapkan seiring berjalannya waktu hingga menjadi endapan gambut. Endapan gambut terbentuk dalam rawa-rawa di sekitar aliran sungai dan delta dalam rawa-rawa di sekitar aliran sungai dan delta. Dengan semakin dalamnya timbunan sisa tanaman, proses utama yang terjadi adalah proses geokimiawi. Pada proses ini sudah terjadi pematangan batubara, yaitu perubahan gambut menjadi lignit hingga mencapai antrasit. Proses ini sering disebut juga dengan pematubaraan dan penyebabnya meliputi suhu,

waktu dan tekanan.

Batubara terdapat diberbagai negara dan dimanfaatkan sebagai sumber energi di negara tersebut termasuk di Indonesia yang tersebar diberbagai pulaunya. Kementerian ESDM mencatat ada peningkatan jumlah potensi sumberdaya dan cadangan batubara pada 2018 yakni sebesar 166 milliar ton sumberdaya dan 37 milliar ton cadangan (Kementrian ESDM, 2018). Cadangan batubara ini sebagian besar tersebar di beberapa lokasi utama, yaitu Sumatera Barat, Riau, Sumatera Selatan serta Kalimantan Timur dan Selatan, dan beberapa lokasi lainnya. Sedangkan potensi cadangan batubara yang belum terekplorasi masih cukup besar (Gunara, 2017).

II.3 Tambang Batubara

Usaha pertambangan adalah semua usaha yang dilakukan oleh seseorang atau badan hukum atau badan usaha untuk mengambil bahan galian dengan tujuan untuk dimanfaatkan lebih lanjut bagi kepentingan manusia. Sedangkan kegiatan penambangan ialah serangkaian kegiatan mencari dan mempelajari kelayakan sampai dengan pemanfaatan mineral baik untuk perusahaan, masyarakat sekitar, maupun pemerintah (Sukandarumidi, 1999).

Penambangan yang berada di permukaan tanah atau dekat permukaan pada umumnya dilakukan dengan sistem penambangan terbuka (*open pit mining*) dengan mengupas tanah penutup di atasnya. Sementara penambangan yang berada di lapisan dalam dilakukan dengan penambangan dalam tanah (*underground mining*) dengan sistem pengeboran ataupun membuat terowongan bawah tanah, sehingga tidak banyak mengganggu kondisi permukaan lahan.

II.3.1 Penambangan Terbuka (*Open Pit Mining*)

Proses penambangan sistem terbuka pada prinsipnya dimulai dengan membersihkan permukaan tanah, kemudian mengupas tanah penutup, menggali bahan tambang, dan mengangkut bahan tambang ke tempat penampungan (*stockyard*) untuk selanjutnya dimanfaatkan sebagai bahan baku industri. Alur kegiatan penambangan selengkapnya adalah sebagai berikut (Arif, 2016) :

1. Pembersihan lahan dari vegetasi yang menutupi lapisan tanah permukaan (*clearing and grubing*) dilakukan dengan Buldozer dan Excavator.
2. Pengupasan tanah penutup. Tanah penutup dikupas dan diangkut ke tempat penimbunan sementara, atau ditata dan disebar di area pembuangan (*disposal*) akhir.
3. Penggalian dan pengambilan bahan tambang (*ore*) dengan alat gali muat (*ore getting*). Ore diangkut keluar melewati jalan tambang ke *Export Transite Ore (ETO)* dan *Export Final Ore (EFO)* di dekat pelabuhan.
4. Penimbunan kembali kolong bekas galian dengan tanah penutup. Setiap selesai penambangan, tanah penutup dan tanah sisa penambangan ditimbun kembali di area bekas galian sesuai dengan design yang telah ditentukan.
5. Penanaman kembali tanaman penutup tanah. Kegiatan penambangan terbuka pada prinsipnya diwajibkan untuk menutup kembali areal bekas tambang yang ditinggalkan agar tidak terjadi kerusakan lingkungan yang lebih besar dan dipulihkan kembali kondisi ekosistemnya sekurangkurangnya seperti kondisi sebelumnya.

II.3.2 Masalah Penambangan Sistem Terbuka Konvensional

Pada penambangan sistem terbuka nampak bahwa apabila penanganan kurang hati-hati permasalahan yang mungkin terjadi adalah perubahan bentang lahan, rusaknya struktur tanah, dan hilangnya tanah lapisan atas. Hasil penelitian Subardja (2009), menunjukkan bahwa lahan bekas penambangan rakyat sistem terbuka memiliki permukaan lahan tidak teratur, kesuburan tanah rendah, dan rawan erosi, sehingga daya dukung tanah untuk tanaman rendah.

Hancurnya struktur tanah timbunan juga menurunkan stabilitas tanah, merubah distribusi pori tanah yang berperan penting dalam memegang air, merusak saluran-saluran pori tanah yang berperan penting dalam meresapkan air ke dalam tanah, dan meningkatkan potensi terjadinya erosi (Subowo, 2011).

Struktur lereng yang kurang baik menyebabkan bahaya longsor di waktu-waktu yang akan datang karena hal ini menyangkut keselamatan kerja, keamanan peralatan dan benda-benda lainnya, serta keberlangsungan produksi.

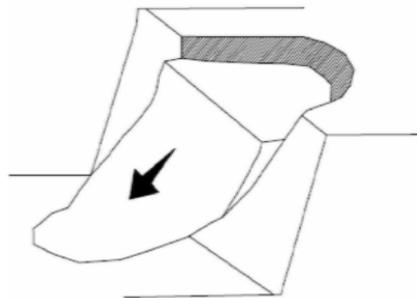
II.4 Macam – Macam Longsor yang Terjadi pada Lereng Tambang

Lereng tambang yang tidak stabil akan mengalami longsor sampai lereng tersebut menemukan keseimbangan yang baru dan menjadi stabil. Macam-macam longsor yang sering terjadi pada tambang adalah longsor busur, longsor bidang, longsor baji, dan longsor guling, serta longsor kombinasi dari keempat jenis longsor yang telah disebutkan sebelumnya (longsor kompleks).

II.4.1 Longsor Busur (*Circular Failure*)

Longsor jenis ini banyak terjadi pada lereng tanah dan batuan lapuk atau sangat

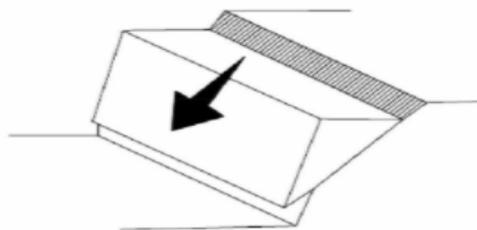
terkekarkan dan di lereng-lereng timbunan seperti pada Gambar 2.5. Longsoran busur hanya terjadi pada tanah atau material yang bersifat seperti tanah. Longsoran busur juga dapat terjadi pada batuan yang sangat lapuk serta banyak mengandung bidang lemah.



Gambar 2.5 Skema Longsoran Busur (Hoek & Bray, 1981)

II.4.2 Longsoran Bidang (*Plane Failure*)

Longsoran bidang, relatif jarang terjadi. Namun, jika ada kondisi yang menunjang terjadinya longsoran bidang, longsoran yang akan terjadi mungkin akan lebih besar (secara volume) daripada longsoran lain. Longsoran ini disebabkan oleh adanya struktur geologi yang berkembang, seperti kekar (*joint*) ataupun patahan yang dapat menjadi bidang luncur seperti pada Gambar 2.6.

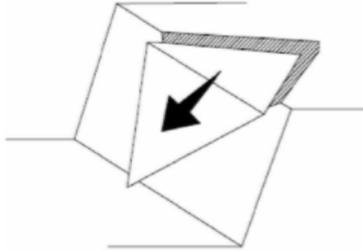


Gambar 2.6 Skema Longsoran Bidang (Hoek & Bray, 1981)

II.4.3 Longsoran Baji (*Wedge Failure*)

Longsoran baji merupakan jenis longsoran yang sering terjadi di lapangan. Sama halnya dengan longsoran bidang, longsoran baji juga diakibatkan oleh adanya

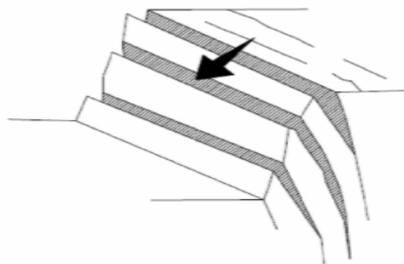
struktur geologi yang berkembang. Perbedaan pada longsoran baji adalah adanya dua struktur geologi yang berkembang dan saling berpotongan seperti Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema Longsoran Baji (Hoek & Bray, 1981)

II.4.4 Longsoran Guling (*Toppling Failure*)

Longsoran guling pada umumnya terjadi pada lereng yang terjal dan pada batuan yang keras, dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom. Longsoran guling ini terjadi apabila bidang-bidang lemah yang terdapat pada lereng mempunyai kemiringan yang berlawanan dengan kemiringan lereng seperti Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Skema Longsoran Guling (Hoek & Bray, 1981)

II.5 Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia. Lereng yang terbentuk secara alami maupun buatan manusia antara lain: galian dan timbunan tanggul dan dinding tambang terbuka (Metriani, 2019).

II.5.1 Lereng Alam

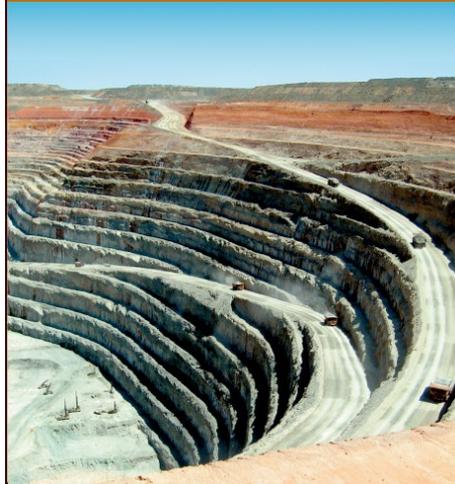
Lereng alam atau *natural slope* terbentuk karena proses alam. Dalam perencanaan teknik jalan, lereng alam sering dijumpai pada kawasan dengan topografi berbukit dan pegunungan. Lereng alam ialah apabila tidak ada penanganan terhadap lereng tersebut, baik berupa perubahan kemiringan atau penambahan dengan suatu konstruksi tertentu, sehingga kemantapan dan kestabilan dari lereng tersebut terbentuk akibat sifat, karakteristik, dan struktur tanah yang mengandalkan kestabilan internal.

II.5.2 Lereng Buatan

Pada penggalian tambang atau konstruksi galian pada pekerjaan teknik sipil merupakan salah satu contoh lereng buatan, sehingga lereng buatan adalah lereng yang terbentuk akibat aktivitas manusia. Terdapat pengertian beberapa jenis geometri pada lereng buatan tambang, antara lain *Single slope*, *Inter-ramp slope*, dan *Overall Pit Slope*.

Di dalam operasi penambangan, masalah kestabilan lereng akan ditemukan pada penggalian tambang terbuka (*open pit*), tempat penimbunan material buangan, penimbunan bijih, bendungan, dan infrastruktur lainnya. Jika lereng seperti pada Gambar 2.9, yang terbentuk sebagai akibat dari proses penambangan (*pit slope*) dan yang merupakan sarana penunjang operasi penambangan (bendungan, jalan, dan lain-lain) itu tidak stabil, kegiatan produksi akan terganggu dan mengakibatkan ketidaksinambungan produksi. Oleh karena itu, analisis kemantapan lereng merupakan suatu bagian yang penting dan harus dilakukan untuk mencegah terjadinya gangguan-gangguan terhadap kelancaran produksi serta bencana fatal

yang akan berakibat pada keselamatan pekerja dan peralatan (Harries dkk., 2009).



Gambar 2.9 Lereng Buatan pada Tambang Terbuka (Read & Stacey, 2010)

Secara umum, di daerah tropis seperti Indonesia, penyebab utama longsor lereng adalah air, baik tekanan air dalam rekahan, alterasi mineral, maupun erosi dari lapisan lunak. Penyebab dari longsor dapat dikategorikan dalam tiga faktor, yakni geometrik, hidraulik, dan mekanik. Namun, masih ada faktor lain yang diterjemahkan dalam faktor mekanik. Untuk lebih jelas disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penyebab Gerakan Massa Tanah (Arif, 2016)

No	Penyebab Eksternal	Penyebab Internal
1.	Perubahan geometri lereng	Longsor, progresif (Perekahan)
2.	Pembebasan Beban (Erosi, Penggalian)	Pelapukan Erosi <i>Seepage</i> (Pemipaan)
3.	Pembebanan (Penambahan Material)	
4.	Shock dan Vibrasi (Gempa Bumi)	
5.	Penurunan permukaan air	

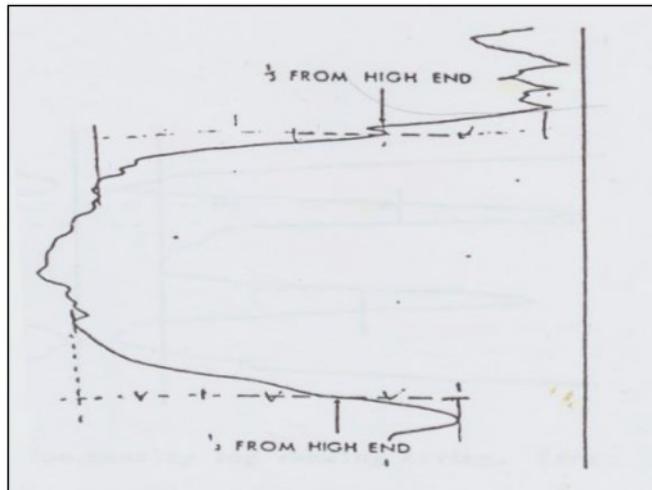
II.6 Rancangan Lereng Tambang

Dengan kemampuan geologi dan geoteknik yang baik, dapat dibuat model lereng tambang, lereng timbunan, serta lereng daerah infrastruktur yang stabil. Sebelum perancangan lereng dibuat, sebaiknya dipertimbangkan terlebih dahulu proses-proses alam yang mungkin terjadi (Bieniawski, 1984).

Langkah awal dari metodologi analisis kestabilan lereng tambang adalah pengumpulan data-data yang dibutuhkan dalam analisis. Salah satu caranya adalah penyelidikan lapangan yang harus dilakukan agar dapat diperoleh kondisi aktual dari massa tanah dan batuan pembentuk lereng tambang seperti pemetaan geologi, pengeboran geoteknik, pengambilan contoh inti (*core sampling*), pengukuran bidang diskontinu, pengujian mekanika batuan, *In-situ*, dan yang terakhir adalah pengujian metode geofisika.

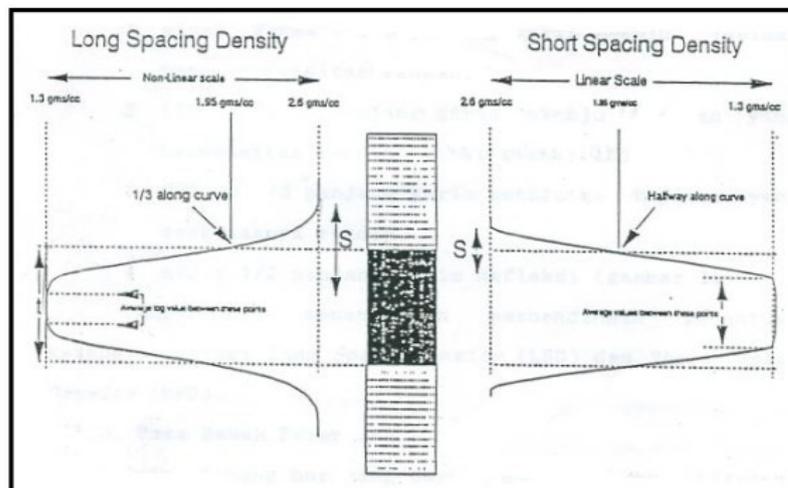
II.6.1 Menentukan Kondisi Litologi dengan Data *Log*

Penentuan ketebalan lapisan batubara biasanya menggunakan kombinasi beberapa *log* yakni *Density Log*, *Gamma Ray Log*, dan *Caliper*. *Log* dibuat secara khusus untuk menghasilkan kombinasi *log* yang dapat digunakan untuk menentukan ketebalan batubara. *Density log* dibagi atas dua tipe yaitu *Long Spacing Density* (LSD) dan *Short Spacing Density* (SSD). Tipe *log* Densitas yang digunakan dalam menentukan ketebalan pada lapisan batubara adalah *log* LSD. Menurut Akbari (2014), batasan untuk setiap *log* berbeda-beda yakni untuk *log Gamma Ray* = $1/3$ panjang garis menuju lapisan yang berdensitas rendah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Penentuan Ketebalan dengan Menggunakan *Log Gamma Ray* (Akbari, 2014)

Penarikan garis batas untuk *log* Densitas dibagi atas dua sesuai dengan tipenya yakni untuk $\log \text{LSD} = \frac{1}{3}$ panjang garis menuju lapisan yang berdensitas rendah dan untuk $\log \text{SSD} = \frac{1}{2}$ panjang garis defleksi (Gambar 2.11).



Gambar 2.11 Penentuan Ketebalan dengan Menggunakan *Log Density* (Syaeful dkk, 2017)

Setelah menentukan batas atas dan batas bawah dari lapisan batubara, maka selanjutnya ketebalan dari lapisan tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 yakni:

$$\text{Ketebalan Lapisan} = \text{Batas Bawah} - \text{Batas Atas} \quad (2.1)$$

Penentuan litologi pada setiap kedalaman di bawah permukaan bumi dilakukan dengan cara interpretasi data *log* geofisika yang didapatkan dari hasil penelitian di lapangan. Data yang digunakan dalam analisis elektrofases adalah data *log Gamma Ray* dan data bor yang telah dikoreksi posisi kedalaman batuanannya (Syaeful, 2017). Setiap lapisan batuan memiliki respon yang berbeda-beda pada kurva *log*, karenanya jenis litologi pada tiap kedalaman bawah permukaan dapat ditentukan. Tabel di bawah ini merupakan karakteristik dari beberapa batuan (Setiahadiwibowo, 2016) :

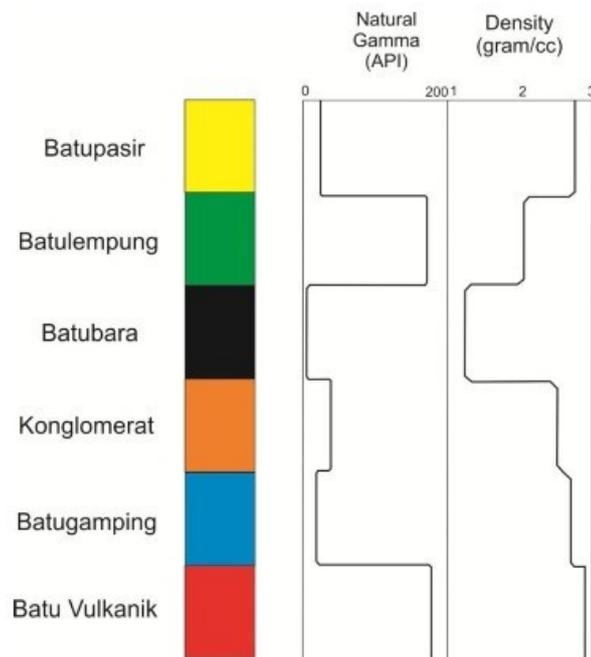
Tabel 2.2 Karakteristik *Log Gamma Ray* dan Densitas pada Beberapa Batuan

No.	Jenis Batuan	Nilai <i>Gamma Ray</i>	Nilai Densitas
1.	Batupasir	Agak Rendah	Menengah – Tinggi
2.	Batulempung	Menengah	Menengah
3.	Batubara	Rendah	Rendah
4.	Konglomerat	Menengah	Menengah
5.	Batugamping	Rendah	Menengah – Tinggi
6.	Batuan Vulkanik	Tinggi	Tinggi

(Sumber : Setiahadiwibowo, 2016)

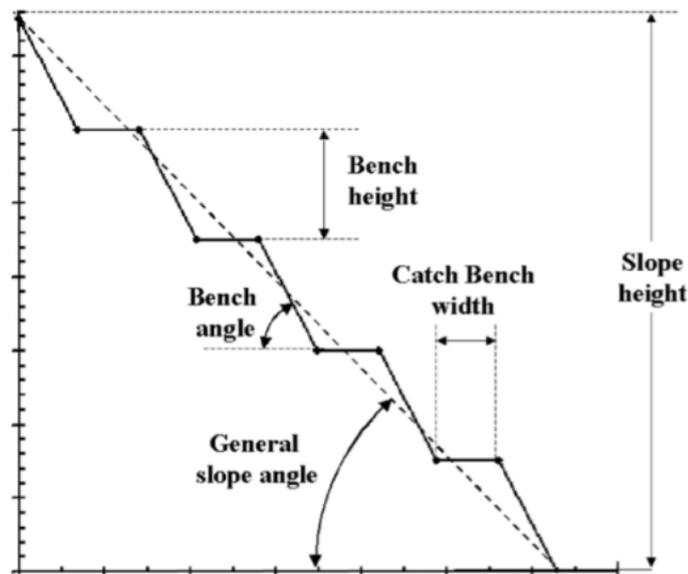
Nilai *Gamma Ray* dan Densitas pada beberapa batuan tersebut ditunjukkan melalui bentuk atau pola kurva pada *log Gamma Ray* dan juga *log* Densitas. Jika pola kurva *log* mengarah ke kiri maka disimpulkan bahwa batuan tersebut memiliki nilai yang rendah, sebaliknya jika mengarah ke kanan maka nilai batuan tersebut tinggi sesuai

dengan *log* yang terkait. Penjelasan yang lebih rinci dari Tabel 2.2 dapat dilihat pada Gambar 2.12 yang menunjukkan pola kurva pada *log Gamma Ray* dan *log* Densitas pada beberapa batuan.



Gambar 2.12 Karakteristik *Log* pada Tiap Batuan (Setiahadiwibowo, 2016)

2.6.2 Bench



Gambar 2.13 Geometri Lereng Tambang (Hustrulid & Kuchta, 1995)

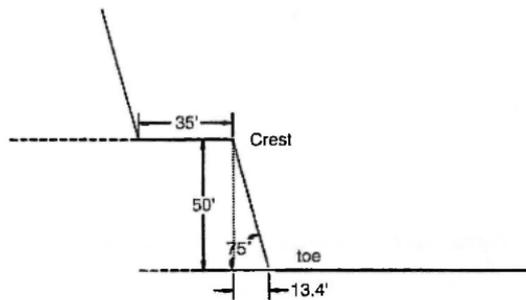
Berdasarkan Alejano dkk (2007), geometri lereng terdiri dari beberapa bagian, yaitu *bench height*, *bench angle*, *overall slope*, *slope height*, dan *catch bench width* (Gambar 2.13).

- *Bench Height* merupakan tinggi dari lereng tunggal yang diukur dari puncak hingga kaki bench. Secara umum pada tambang terbuka memiliki ketinggian rata-rata 0-18 m. 15 m mungkin adalah yang paling umum, tetapi keputusan akhir biasanya dibuat menyesuaikan ketinggian dengan kapasitas galian peralatan yang akan digunakan
- *Bench Angle* merupakan sudut ataupun kemiringan pada lereng tunggal yang dihitung dari puncak hingga kaki *bench*. Pendekatan analitik khas yang digunakan untuk membangun *bench angle*, ialah kekuatan massa dan struktur pada batuan harus dipertimbangkan.
- *Overall Slope* merupakan sudut yang terbentuk pada keseluruhan tubuh lereng yang diukur dari puncak hingga ke kaki lereng.
- *Catch Bench Width* merupakan lebar lereng yang diukur dari kaki *bench* dan puncak *bench* dibawahnya. *Bench* harus cukup lebar agar memungkinkan menahan batu-batuan berbahaya dari atas *bench*, saat mempertimbangkan *rockfall*, banyak praktisi di Amerika Utara dan Selatan menggunakan kriteria yang di temukan oleh Ritchie (1963) yang kemudian dikembangkan oleh Call & Nicholas Inc sebagai panduan. Sebagaimana dikemukakan dengan rumus berikut :

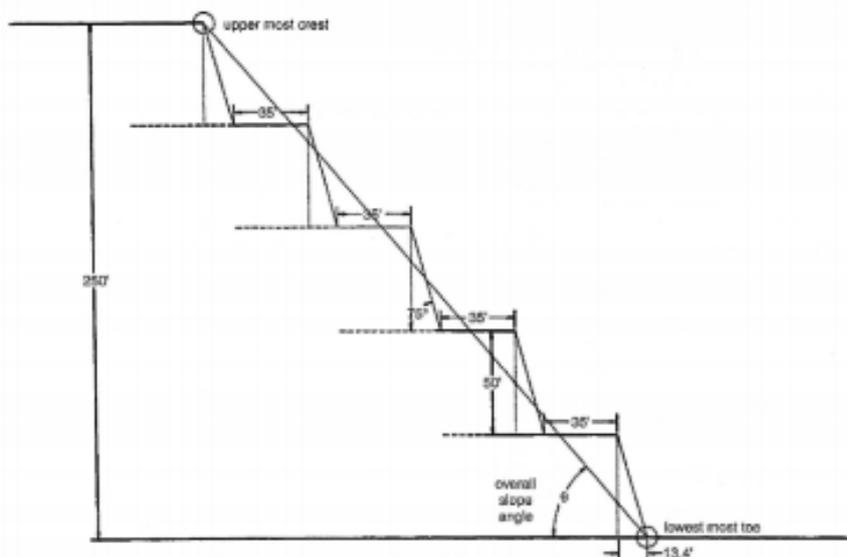
$$\text{Bench width (m)} = 0,2 \times \text{bench height (m)} + 4,5 \text{ m} \quad (2.2)$$

II.6.3 Overall Slope

Tambang terbuka memiliki dua jenis *slope* yakni *individual slope* (Gambar 2.14) dan *overall slope* (Gambar 2.15). Pada *individual slope* yang tentunya memiliki *face angle* diartikan sebagai sebuah sudut yang dibentuk pada bidang horizontal terhadap garis bidang dari *toe* hingga ke *crest* lereng. Sedangkan *overall slope* yang juga memiliki *face angle* merupakan sudut yang dibentuk dari *toe* ke lereng paling bawah hingga ke *crest* lereng paling atas.



Gambar 2.14 Geometri Lereng Tunggal (Hustrulid & Kuchta, 1995)



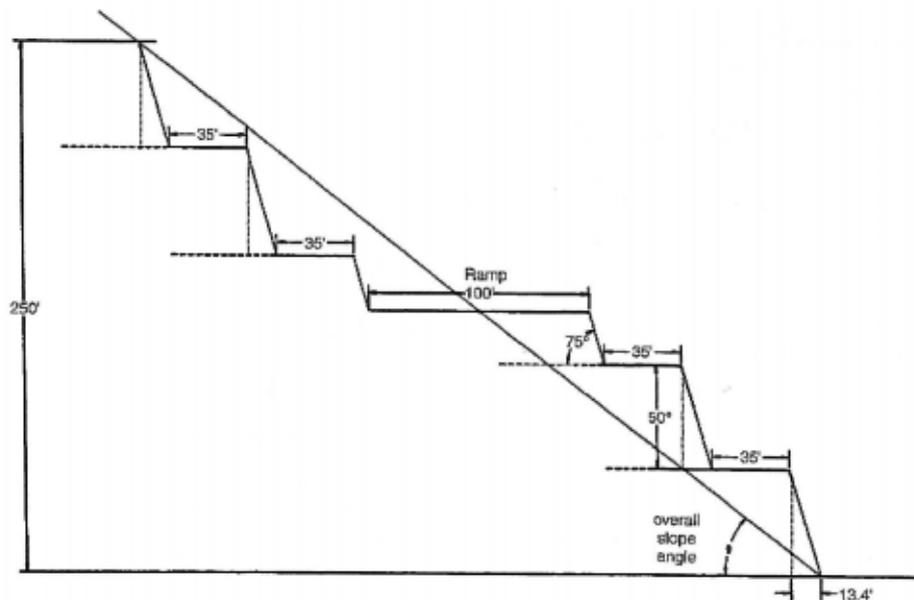
Gambar 2.15 Overall Slope Geometry (Hustrulid & Kuchta, 1995)

Sudut *overall slope* dapat ditentukan dari persamaan di bawah ini, jika diketahui terdapat 5 *bench*, tiap-tiap *bench* mempunyai lebar *bench* 35 ft dan tinggi 50 ft, maka besar sudut *overall slope* (θ) adalah :

$$\theta = \tan^{-1} \frac{5 \times 50}{4 \times 35 + \frac{5 \times 50}{\tan 75^\circ}} = 50,4^\circ \quad (2.3)$$

Jika terdapat akses *ramp* dengan lebar 100 ft, seperti pada gambar 2.16, maka nilai dari sudut *overall slope* (θ), yaitu :

$$\theta = \tan^{-1} \frac{5 \times 50}{4 \times 35 + \frac{5 \times 50}{\tan 75^\circ} + 100} = 39,2^\circ \quad (2.4)$$



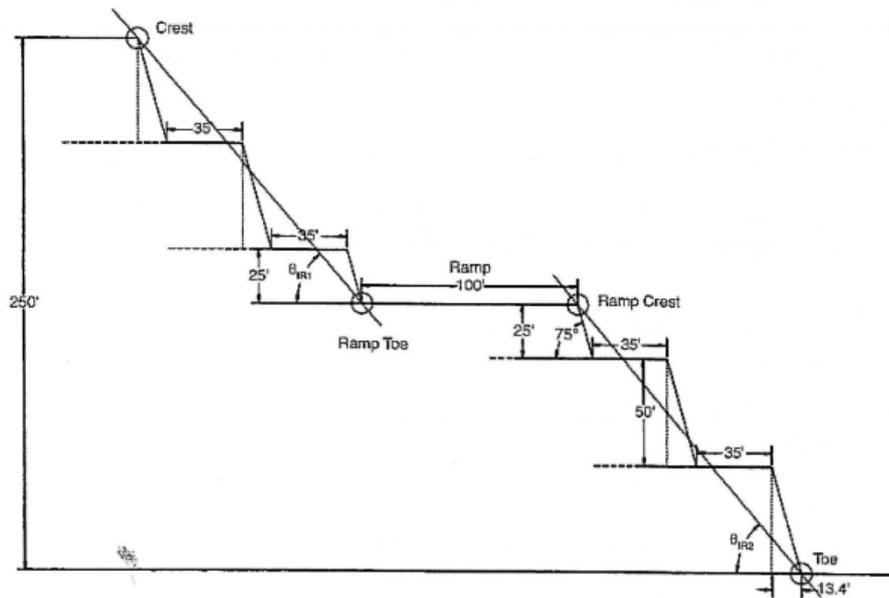
Gambar 2.16 Overall Slope dengan Ramp (Hustrulid & Kuchta, 1995)

Adanya *ramp* , menyebabkan dua buah *overall slope*. *Interramp* terdiri dari beberapa *bench* , yang membedakannya adalah lebar di bagian crest lebih panjang dikarenakan harus bisa dilewati 2 hingga 3 kali lebar alat berat yang melewatinya.

Sudut *overall slope* yang terbentuk disebut dengan sudut *interramp* atau ($\theta_{IR_{1,2}}$)

lihat Gambar 2.17. Besaran sudut ini dapat dihitung sebagai berikut.

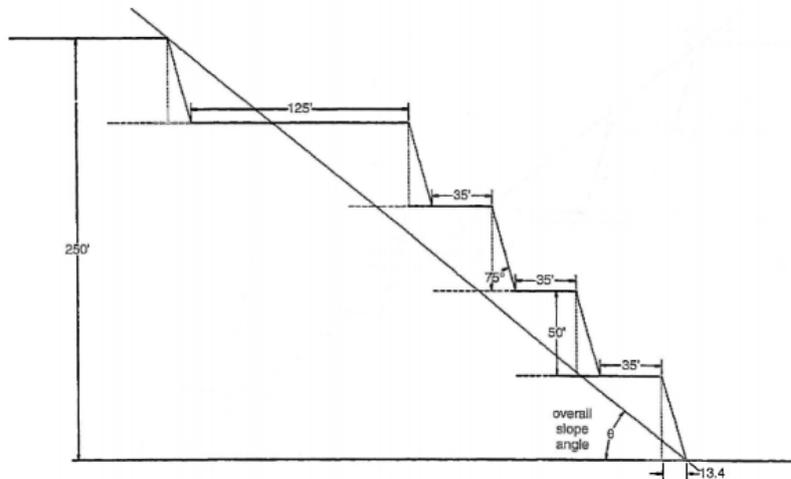
$$\theta_{IR_1} = \theta_{IR_2} = \tan^{-1} \frac{5 \times 50}{2 \times 35 + \frac{2 \times 50}{\tan 75^\circ} + \frac{25}{\tan 75^\circ}} = 50,4^\circ \quad (2.5)$$



Gambar 2.17 Sudut *Interramp Slope* (Hustrulid & Kuchta, 1995)

Pada ilustrasi berikutnya (Gambar 2.18) terdapat *working bench* pada *bench* kedua dengan lebar 125 ft. Maka, sudut *overall slope* (θ) dapat diketahui sebesar :

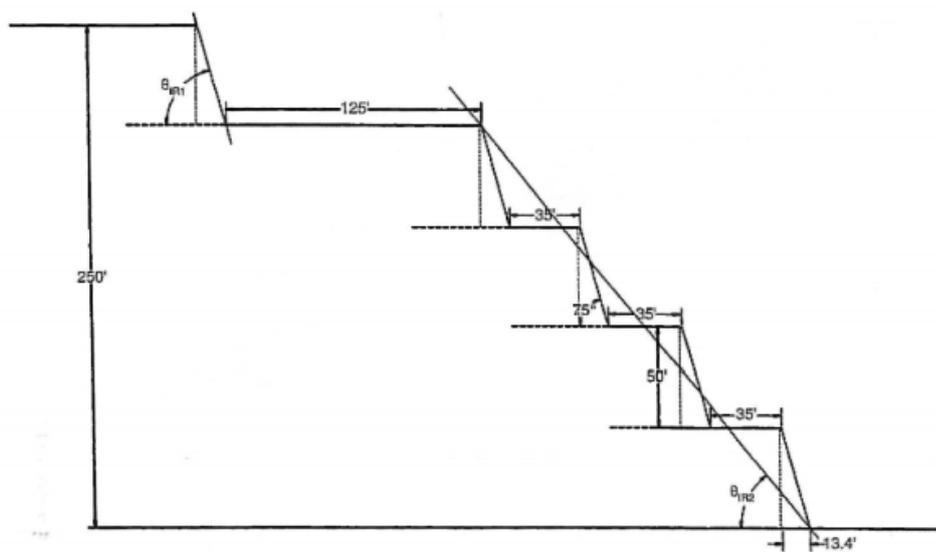
$$\theta = \tan^{-1} \frac{5 \times 50}{125 + 4 \times 35 + \frac{5 \times 50}{\tan 75^\circ}} = 36,98^\circ \quad (2.6)$$



Gambar 2.18 Overall Slope dengan Working Bench (Hustrulid & Kuchta, 1995)

Terdapat pada *bench* 1 pada Gambar 2.19 dengan ketinggian *bench* 50 ft, sehingga *faceslope* θ_{1R_1} adalah 75° , maka sudut *overall slope* dengan *working bench* adalah (θ_{1R_2}) ;

$$\theta_{1R_2} = \tan^{-1} \frac{5 \times 50}{125 + 3 \times 35 + \frac{4 \times 50}{\tan 75^\circ}} = 51,6^\circ \quad (2.7)$$



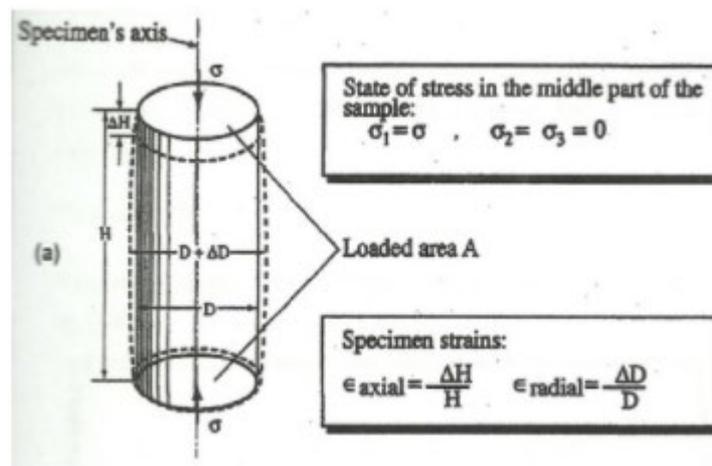
Gambar 2.19 Sudut *Interramp* Berasosiasi dengan Working Bench (Hustrulid & Kuchta, 1995)

II.7 Penentuan Sifat Mekanik Batuan di Laboratorium

II.7.1 Uji Kuat Tekan *Uniaksial (Unconfined Compressive Strength Test)*

Uji tekan dilakukan untuk mengukur kuat tekan uniaksial dari sebuah contoh batuan berbentuk silinder dalam satu arah (*uniaksial*). Tujuan utama uji ini adalah untuk mengklasifikasi kekuatan dan karakterisasi batuan utuh. Hasil uji ini berupa beberapa informasi, seperti kurva tegangan-regangan, kuat tekan *uniaksial*, modulus elastisitas, nisbah poisson, energi fraktur, dan energi spesifik.

Pengujian ini dilakukan menggunakan mesin tekan (*compression machine*) dan dalam pembebanannya mengikuti standar dari internasional *Society for Rock Mechanics* (ISRM, 1981). Deformasi uji tekan *uniaksial* dapat dilihat pada Gambar 2.20



Gambar 2.20 Deformasi Uji Tekan *Uniaksial*

II.7.2 Uji Kuat Tarik Tak Langsung (*Indirect Tensile Strength Test*)

Kuat tarik dari suatu material didefinisikan sebagai nilai tegangan maksimum yang dikembangkan oleh suatu contoh material. Secara praktis, kuat tarik dipandang sebagai nilai tegangan maksimum yang dikembangkan oleh suatu contoh material

dalam suatu pengujian tarikan yang dilakukan untuk memecah batuan dalam kondisi tertentu (Arif, 2016).

Menurut Bienawski (1967) dan Mellor & Hawkes (1971) serta ISRM (1981), kuat tarik suatu contoh batuan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\sigma_t = \frac{2F}{\pi Dt} \quad (2.8)$$

Keterangan : σ_t = Kuat tarik (Mpa)

F = Gaya pada saat batuan hancur (N)

D = Diameter contoh batuan (mm)

t = tebal contoh batuan (mm)

II.7.3 *Point Loads Test* (Tes Franklin)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan (*strength*) dari contoh batuan secara tidak langsung di lapangan. Contoh batuan dapat berbentuk silinder atau tidak beraturan. Peralatan yang digunakan untuk uji *point load*, mudah dibawa, tidak begitu besar, dan cukup ringan sehingga pengujian di lapangan sebelum pengujian di laboratorium dilakukan (ISRM, 1985).

Menurut Broch & Franklin (1972), indeks *point load* (I_s) suatu contoh batuan dapat dihitung dengan persamaan :

$$I_s = \frac{P}{D^2} \quad (2.9)$$

Keterangan: I_s = *Point load strength index* (indeks Franklin) (Mpa)

P = Beban maksimum hingga contoh pecah (N)

D = Jarak antara dua konus penekan (mm)

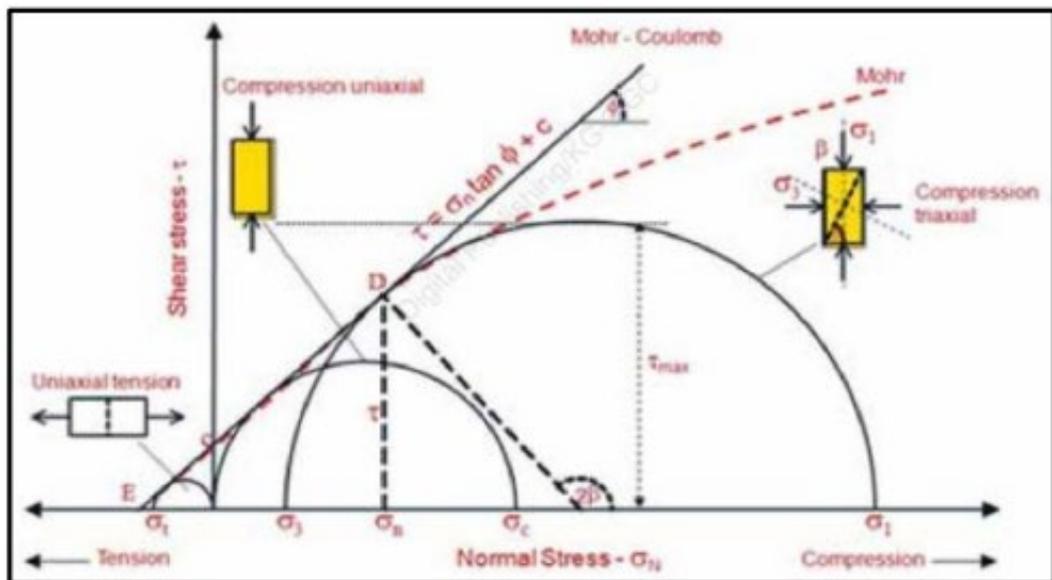
II.7.4 Uji Kuat Tekan *Triaksial (Triaxial Compression Test)*

Pengujian ini merupakan salah satu pengujian terpenting dalam mekanika batuan. Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan kekuatan di bawah tekanan triaksial melalui persamaan kriteria keruntuhan. Pengujian ini menggunakan beberapa contoh batuan, dengan minimum 5 contoh, yang kemudian diberikan tekanan pemampatan (σ_3) yang berbeda-beda. Contoh batuan yang digunakan berbentuk silinder dengan syarat-syarat yang sama pada pengujian kuat tekan (Arif, 2016).

Hasil pengujian *triaksial* kemudian diplot dalam kurva *Mohr-Coulumb* (Gambar 2.21) sehingga dapat ditentukan parameter-parameter kekuatan batuan sebagai berikut :

- Kurva Intrinstik (*Strength Envelope*)
- Kuat Geser (*shear strength*)
- Sudut gesek dalam (ϕ)
- Kohesi (c)
- Tegangan normal (σ_n)

Secara grafis melalui kurva (Gambar 2.21), nilai kuat tekan *uniaksial* (σ_c) dapat diketahui melalui nilai tegangan *aksial* (σ_1) pada saat nilai tekanan pemampatan (σ_3) = 0. Sedangkan nilai tekanan pemampatan yang diperoleh pada saat nilai tegangan *aksial* dibuat nol ($\sigma_1 = 0$) merupakan nilai kuat tarik batuan ($\sigma_3 = \sigma_t$).



Gambar 2.21 Lingkaran Mohr dan Kurva Intrinstik dari hasil pengujian *Triaxial* (Hoek and Brown, 1980)

II.7.5 *Punch Shear Test*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kuat geser (*shear strength*) dari contoh batuan secara langsung. Contoh batuan berbentuk silinder tipis yang ukurannya sesuai dengan plat *punch test* dengan tebal t cm dan diameter d cm. Setelah contoh batuan dimasukkan ke dalam alat *punch test* kemudian ditekan dengan mesin tekan sampai pecah (P kg). Dinyatakan dalam persamaan :

$$\text{Kuat geser (shear strength)} = \frac{P}{\pi dt} \text{ kg/cm}^3 \quad (2.10)$$

Dimana : P = Beban maksimum hingga contoh pecah (N)

D = diameter contoh batuan (mm)

t = tebal contoh batuan (mm)

II.7.6 Uji Kuat Geser (*Direct Shear Strength*)

Semua massa batuan memiliki bidang-bidang diskontinu, seperti kekar, bidang perlapisan, dan sesar. Pada kedalaman yang dangkal, Ketika tegangan-tegangan yang bekerja sangat rendah atau dapat diabaikan, deformasi ataupun runtuh yang terjadi pada batuan utuh (*intact rock*) dan massa batuan lebih banyak dikendalikan oleh luncuran pada bidang diskontinu dan sifat fisik butiran batuan utuh diantara bidang luncur/gesernya (Arif, 2016).

Salah satu contoh kasus ini adalah pembuatan lereng-lereng pada tambang terbuka. Oleh karena itu, sebelum mendesain lereng tambang, kita perlu mengetahui parameter-parameter kuat geser batuan, yaitu kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ) yang diperoleh dengan melakukan uji geser langsung di laboratorium. Kriteria keruntuhan geser yang paling banyak digunakan adalah kriteria Mohr-Coulumb yang ditulis dalam persamaan:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \quad (2.11)$$

Dimana : τ = kuat geser tanah (kN/m²)

c = kohesi tanah (kN/m²)

σ_n = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)

ϕ = sudut gesek dalam tanah (°)

Dari serangkaian uji laboratorium yang telah dijelaskan, dapat dirangkum jenis uji dan data apa saja yang didapatkan (Tabel 2.3). Data hasil uji sifat mekanik batuan ini kemudian dapat menjadi masukan bagi proses analisis kestabilan lereng menggunakan *software*.

Tabel 2.3 Data Uji Sifat Mekanik Batuan

No.	Jenis Uji	Data Uji yang Didapatkan	
1	Sifat Fisik	Bobot isi asli	<i>saturated water content</i>
		Bobot isi kering	derajat kejenuhan (<i>degree of saturation</i>)
		Bobot isi jenuh	Porositas (n)
		<i>Apparent spesific gravity</i>	<i>Void Ratio</i>
		<i>True spesific gravity</i>	
2	Kuat Tekan Uniaksial (UCS)	Kuat tekan (σ_c)	Nisbah Poisson
		Batas Elastis (σ_e)	Kurva tegangan vs regangan
		Modulus <i>Young</i> (E)	
3	Kuat Tarik Tak Langsung (Bz)	Kuat Tarik (σ_t)	
4	Point Load Test	Point load strength index (Is)	
5	Kuat Tekan Triaksial	Kurva intrinsik	Modulus <i>Young</i> (E)
		Kuat tekan (σ_c)	Kuat Geser (τ)
		Kuat Tarik (σ_t)	Konstanta s - dari kriteria Hoek-Brown
		Kohesi (c)	Konstanta a - dari kriteria Hoek-Brown
		Tegangan Normal (σ_n)	Konstanta m - dari kriteria Hoek-Brown
		Sudut gesek dalam (ϕ)	
6	Punch Shear Test	Kuat geser (τ)	
7	Kuat Geser	Kurva intrinsik	Tegangan Normal (σ_n)
		Kuat geser (τ)	
		Sudut gesek dalam (ϕ)	
		Kohesi (c)	

II.8 Analisis Kestabilan Lereng

Lereng merupakan setiap bagian permukaan yang memotong material di alam dan

memiliki kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal. Suatu cara yang umum untuk menyatakan kestabilan suatu lereng batuan adalah dengan faktor keamanan. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil, dengan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya longsor (Kliche, 1999).

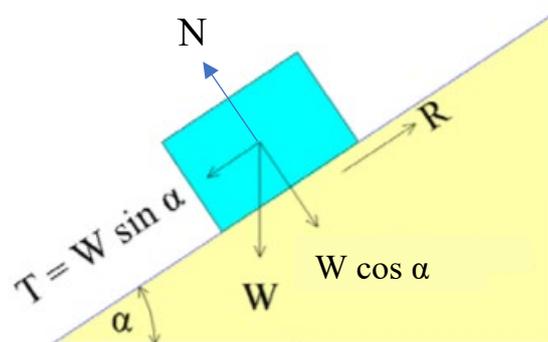
Analisis stabilitas lereng pada dasarnya dapat ditinjau sebagai mekanisme gerak suatu benda yang terletak pada bidang miring. Benda akan tetap pada posisinya jika gaya penahan R yang terbentuk oleh gaya geser antara benda dan permukaan lereng lebih besar dibandingkan dengan gaya gelincir T dari benda akibat gaya gravitasi. Sebaliknya benda akan tergelincir jika penahan R lebih kecil dibandingkan dengan gaya gelincir T . Secara skematik terlihat pada Gambar (2.22). Secara matematis stabilitas lereng dapat diformulasikan sebagai :

$$F_s = \frac{R}{T} \quad (2.12)$$

Dimana : F_s = faktor keamanan / FK

R = gaya penahan (N)

T = gaya yang menyebabkan gelincir (N)



Gambar 2.22 Faktor Keamanan Sederhana (Hidayah, S. dan Gratia, Y. R., 2007)

II.8.1 Angka Keamanan (*Safety Faktor*)

Mengingat lereng terbentuk oleh banyaknya variable dan banyaknya faktor ketidakpastian antara lain parameter-parameter tanah seperti kuat geser tanah, kondisi tekanan air pori maka dalam menganalisis selalu dilakukan penyederhanaan dengan berbagai asumsi. Secara teoritis massa yang bergerak dapat dihentikan dengan meningkatkan kekuatan gesernya.

Hal yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan kriteria faktor keamanan adalah resiko yang dihadapi, kondisi beban dan parameter yang digunakan dalam melakukan analisis stabilitas lereng. Resiko yang dihadapi dibagi menjadi tiga yaitu : tinggi, menengah, dan rendah. Tugas seorang *engineer* meneliti stabilitas lereng untuk menentukan faktor keamanannya. Secara umum, faktor keamanan dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2.13)$$

Dimana : F_s = faktor keamanan / FK

τ_f = kekuatan geser tanah (kN/m^2)

τ_d = tegangan geser yang bekerja (kN/m^2)

Kekuatan geser suatu lahan terdiri dari dua komponen, friksi, dan kohesi, dapat ditulis,

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (2.14)$$

dimana : c = kohesi (kN/m²)

Φ = sudut geser dalam (*angle of internal friction*) (°)

σ = tegangan normal bidang runtuh (kN/m²)

Atau dapat ditulis,

$$\tau_d = c_d + \sigma \tan \phi_d \quad (2.15)$$

dimana c_d adalah kohesi dan ϕ_d sudut geser yang bekerja sepanjang bidang longsor. Dengan mensubstitusi persamaan (2.14) dan persamaan (2.15) ke dalam persamaan (2.16) sehingga kita mendapat persamaan yang baru,

$$F_s = \frac{c + \sigma \tan \phi}{c_d + \sigma_d \tan \phi_d} \quad (2.16)$$

Apabila nilai F_s untuk suatu lereng $> 1,0$ (gaya penahan $>$ gaya penggerak), lereng tersebut berada dalam kondisi stabil. Namun, apabila harga $D < 1,0$ (gaya penahan $<$ gaya penggerak), lereng tersebut berada dalam kondisi tidak stabil dan mungkin akan terjadi longsor pada lereng tersebut (Arif, 2016).

Pengolahan data hasil penyelidikan geoteknik yang menggambarkan model dengan parameter yang ditetapkan dari probabilitas longsor sebagaimana tabel berikut :

Tabel 2.4 Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang
(sumber : KEPMEN ESDM No.1827 K/ 30/ MEM/ 2018)

Jenis Lereng	Keparahan Longsor	Kriteria dapat diterima		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (maks) PoF ($FK < 1$)
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%

Kemantapan lereng tergantung pada gaya-gaya penggerak dan gaya penahan yang ada pada lereng tersebut. Gaya-gaya penggerak, berupa gaya berat, gaya tiris atau muatan sedangkan gaya-gaya penahan berupa gaya gesekan atau geseran, kohesi dan kuat geser. Apabila gaya penggerak lebih besar dibanding gaya penahan maka akan menyebabkan terjadinya kelongsoran. Tetapi, bila gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak, maka lereng tersebut tidak akan mengalami kelongsoran atau lereng dalam keadaan stabil (Andriani dkk, 2018).

FK sama dengan 1 maka lereng dalam keadaan akan longsor. Biasanya, 1.5 untuk angka keamanan terhadap kekuatas geser yang dapat diterima untuk merencanakan suatu stabilitas lereng (SKBI-2.3.06, 1987).

Parameter yang digunakan menyangkut hasil pengujian dengan harga batas atau sisa dengan mempertimbangkan ketelitiannya. Tabel 2.5 memperlihatkan faktor keamanan terendah berdasarkan hal-hal tersebut di atas.

Tabel 2.5 Faktor Keamanan Minimum Stabilitas Lereng

Risiko	Kondisi Beban	Parameter Kekuatan Geser			
		Maksimum		Sisa	
		Teliti	Kurang Teliti	Teliti	Kurang Teliti
Tinggi	Dengan Gempa	1,50	1,75	1,35	1,50
	Tanpa Gempa	1,80	2,00	1,60	1,80
Menengah	Dengan Gempa	1,30	1,60	1,20	1,40
	Tanpa Gempa	1,50	1,80	1,35	1,50
Rendah	Dengan Gempa	1,10	1,25	1,00	1,10
	Tanpa Gempa	1,25	1,40	1,10	1,20

Resiko tinggi jika ada konsekuensi terhadap manusia cukup besar (ada pemukiman), dan atau bangunan sangat mahal, dan atau sangat penting. Resiko menengah bila ada konsekuensi terhadap manusia tetapi sedikit (bukan pemukiman), dan atau bangunan tidak begitu mahal dan atau tidak begitu penting. Resiko rendah bila tidak ada konsekuensi terhadap manusia dan terhadap bangunan (sangat murah) (SKBI-2.3.06.1987).

Selain dari KEPMEN ESDM No.1827 K/ 30/ MEM/ 2018 dan SKBI-2.3.06, 1987, nilai faktor keamanan minimum yang direkomendasikan oleh *Bowles* yang secara umum diklasifikasikan terbagi menjadi labil, kritis, dan stabil berdasarkan besaran nilai perhitungan faktor keamanannya, dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Faktor Keamanan Lereng

(Sumber : Bowles, Joseph E., 1997)

Faktor Keamanan	Kejadian
$F < 1,07$	Lereng dalam kondisi tidak aman
$1,07 < F < 1,25$	Lereng dalam kondisi kritis
$F > 1,25$	Lereng dalam kondisi aman

Prosedur massa dan metode irisan merupakan dua kelompok besar untuk melakukan analisa stabilitas lereng. Prosedur massa menggunakan analisis dengan cara massa tanah yang berada di atas bidang gelincir diambil sebagai satu kesatuan. Prosedur ini berguna bila tanah yang membentuk lereng di anggap homogen. Sedangkan metoda irisan, analisis tanah yang berada di atas bidang gelincir dibagi menjadi beberapa irisan-irisan parallel tegak. Stabilitas dari tiap-tiap irisan dihitung secara terpisah. Dibandingkan dengan metode prosedur massa, metode irisan lebih teliti karena tanah yang tidak homogen dapat juga dimasukkan dalam perhitungan (Das, 2002).

Berdasarkan kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi, metode irisan dapat dikelompokkan menjadi 2 kategori. Metode yang tidak memenuhi kedua kesetimbangan gaya dan momen, antara lain metode biasa, metode bishop yang disederhanakan (*simplified bishop method*) dan metode janbu disederhanakan (*simplified janbu method*). Metode yang memenuhi kondisi kesetimbangan gaya dan momen, antara lain metode spencer, metode morgensten-price dan metode kesetimbangan batas umum (*Generalized limit equilibrium method*).

Setiap metode memiliki asumsi dasar yang berbeda dalam penentuan angka keamanan stabilitas lereng. Prinsip dasar dihitung dari perbandingan antara kuat geser dengan gaya dorong tanah, atau perbandingan dari momen tahan RM (*Resisting Moment*) dengan momen dorong DM (*Driving Moment*).

Berdasarkan kesetimbangan dan gaya yang bekerja pada irisan, perbedaan pada setiap metode dapat dilihat pada Tabel 2.7 dan Tabel 2.8

Tabel 2.7 Kesetimbangan Pada Setiap Metode

Metode	Kesetimbangan Momen	Kesetimbangan Gaya
Bishop's Simplified	Ya	Tidak
Janbu's Simplified	Tidak	Ya
Spencer	Ya	Ya

Tabel 2.8 Gaya Antar Irisan Pada Setiap Metode

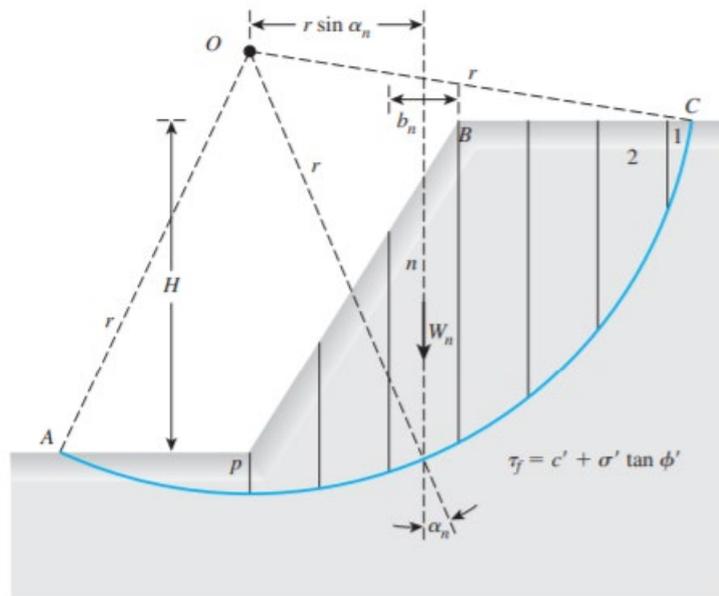
Metode	Gaya Normal Antar Irisan (E)	Gaya Geser Antar Irisan (X)
Bishop's Simplified	Ya	Tidak
Janbu's Simplified	Ya	Tidak
Spencer	Ya	Ya

II.9 Metode *Bishop*

Analisis stabilitas dengan menggunakan metode irisan dapat dijelaskan dengan menggunakan Gambar 2.23, dimana AC adalah busur dari lingkaran yang mewakili permukaan bidang gelincir. Tanah di atas permukaan bidang gelincir dibagi menjadi beberapa irisan vertikal. Lebar setiap irisan tidak harus sama. Mempertimbangkan Panjang satuan tegak lurus terhadap penampang yang ditunjukkan dengan gaya yang bekerja antar irisan di setiap segmen ditunjukkan pada Gambar 2.24. W_n adalah berat segmen. Gaya N_r dan T_r , berturut-turut adalah komponen gaya normal dan tangensial dari reaksi R. P_n dan P_{n+1} adalah gaya normal yang bekerja pada sisi irisan. Demikian pula, gaya geser yang bekerja pada sisi irisan adalah T_n dan T_{n+1} (Das, 2010).

Pada tahun 1955, *Bishop* mengusulkan solusi yang lebih baik dari metode irisan

sederhana. Dalam metode ini, efek dari gaya di sisi setiap irisan diperhitungkan untuk kemiringan beberapa derajat.



Gambar 2.23 Contoh Bidang Gelincir (Das, 2010).

Gaya-gaya yang bekerja pada segmen-n ditunjukkan pada gambar 2.24. Sekarang, misalkan $P_n - P_{n+1} = \Delta P$ dan $T_n - T_{n+1} = \Delta T$. Juga, dapat ditulis sebagai berikut,

$$T_r = N_r (\tan \phi'_d) + c'_d \Delta L_n = N_r \left(\frac{\tan \phi'}{F_s} \right) + \frac{c' \Delta L_n}{F_s} \quad (2.17)$$

Dimana : T_r = kuat geser (kN/m²)

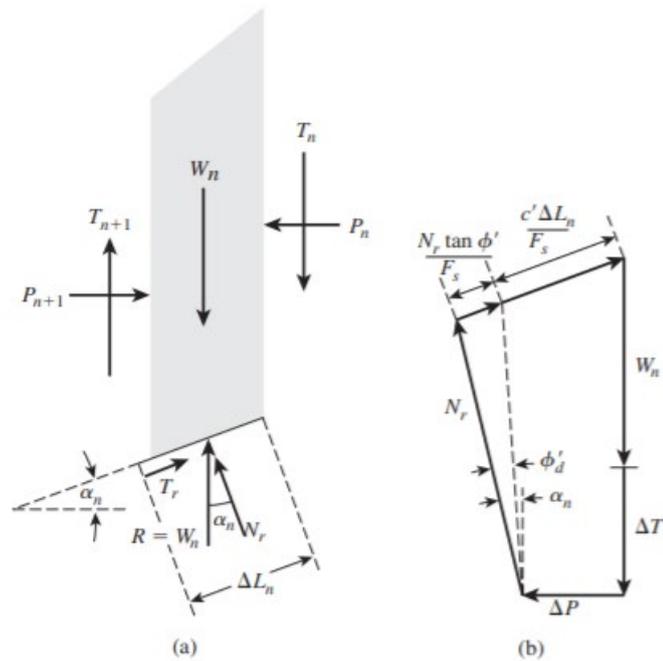
N_r = gaya normal (kN/m²)

c = kohesi (kN/m²)

ϕ = sudut geser dalam (°)

ΔL_n = lebar irisan di bawah segmen (m)

F_s = faktor keamanan / FK



Gambar 2.24 (a) Gaya-gaya yang bekerja pada irisan; **(b)** gaya kesetimbangan pada bentuk polygon (Das, 2010).

Gambar 2.24 b menunjukkan gaya-gaya pada polygon untuk kesetimbangan irisan-n dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam arah vertikal menghasilkan,

$$W_n + \Delta T = N_r \cos \alpha_n + \left[N_r \frac{\tan \phi'}{F_s} + \frac{c' \Delta L_n}{F_s} \right] \sin \alpha_n \quad (2.18)$$

Dimana : W_n = gaya berat pada irisan (kN)

ΔT = gaya vertikal antar irisan (kN)

α = sudut antara garis tegak lurus titik pusat O terhadap garis tengah segmen / irisan ($^\circ$)

atau dapat juga dituliskan sebagai berikut,

$$N_r = \frac{W_n + \Delta T - \frac{C' \Delta L_n}{F_s} \sin \alpha_n}{\cos \alpha_n + \frac{\tan \phi' \sin \alpha_n}{F_s}} \quad (2.19)$$

Untuk kesetimbangan irisan pada Gambar 2.24a, mengambil kesetimbangan momen terhadap O sehingga menghasilkan,

$$\sum_{n=1}^{n=p} W_n r \sin \alpha_n = \sum_{n=1}^{n=p} T_r r \quad (2.20)$$

Dimana,

$$\begin{aligned} T_r &= \frac{1}{F_s} (c' + \sigma' \tan \phi') \Delta L_n \\ &= \frac{1}{F_s} (c' \Delta L_n + N_r \tan \phi') \end{aligned} \quad (2.21)$$

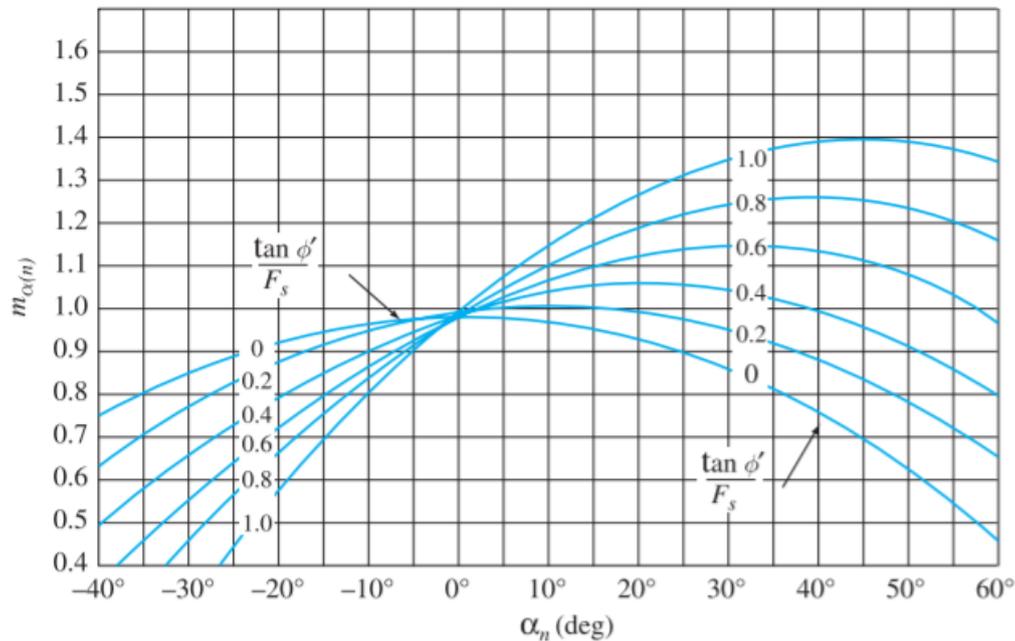
Substitusi persamaan (2.19) dan (2.21) ke dalam persamaan (2.20), sehingga

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c' b_n + W_n \tan \phi' + \Delta T \tan \phi') \frac{1}{m_{a(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \quad (2.22)$$

Dimana,

$$m_{a(n)} = \cos \alpha_n + \frac{\tan \phi' \sin \alpha_n}{F_s} \quad (2.23)$$

Gambar 2.25 menunjukkan variasi nilai $m_{a(n)}$ dengan α_n dan $\tan \phi' / F_s$, sebagai berikut :



Gambar 2.25 Variasi nilai dari $m_{\alpha(n)}$ dengan α_n dan $\tan \phi' / F_s$ (Das, 2010).

Untuk kasus yang sederhana, apabila $\Delta L = 0$, dalam persamaan (2.22), sehingga

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c' b_n + W_n \tan \phi') \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \quad (2.24)$$

Perlu diperhatikan bahwa istilah F_s ada di kedua sisi persamaan (2.24). Oleh karena itu, kita harus mengadopsi prosedur *trial and error* untuk mencari nilai F_s . Seperti pada metode irisan biasa, jumlah permukaan gelincir harus diselidiki sehingga kita dapat menemukan permukaan kritis yang memberikan faktor keamanan minimum. Metode *Bishop* yang disederhanakan merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan ketika dimasukkan ke dalam program komputer dan menghasilkan perhitungan yang mendekati sebenarnya yang ada di lapangan (Das, 2010).