

SKRIPSI

ANALISIS *BEARING CAPACITY* TERHADAP STABILITAS SLOPE DISPOSAL DENGAN METODE *MORGENSTREN-PRICE* PADA PIT IPDF PT. MITRABARA ADIPERDANA TBK KALIMANTAN UTARA

Disusun dan diajukan oleh

MARGION HELBY FIONNY

D061181313



DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN**ANALISIS BEARING CAPACITY TERHADAP STABILITAS SLOPE
DISPOSAL DENGAN METODE MORGENTREN-PRICE PADA PIT IPDF
PT. MITRABARA ADIPERDANA TBK KALIMANTAN UTARA**

Disusun dan diajukan oleh

MARGION HELBY FIONNY
D061181313

Telah memenuhi syarat untuk melaksanakan Ujian Skripsi dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas
Teknik Universitas Hasanuddin

Menyetujui

Pembimbing Utama



Dr. Ir Sultan, ST., M.T
NIP 197007051997021002

Pembimbing Pendamping



Alm. Kifayatul Khair Masyhuda Zulkifli, ST., M.T
NIP 199304012021115001

Mengetahui

Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng.
NIP 1977121420050112002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Margion Helby Fionny
NIM : D061 18 1313
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**ANALISIS *BEARING CAPACITY* TERHADAP STABILITAS SLOPE
DISPOSAL DENGAN METODE *MORGENSTREN-PRICE* PADA PIT IPDF
PT. MITRABARA ADIPERDANA TBK KALIMANTAN UTARA**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Tugas Akhir yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun terbitnya. Oleh karena itu, semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan/atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Makassar, 25 September 2024
Yang Menyatakan



Margion
Margion Helby Fionny

ABSTRAK

MARGION HELBY FIONNY. *ANALISIS BEARING CAPACITY TERHADAP STABILITAS SLOPE DISPOSAL DENGAN METODE MORGENSTREN-PRICE PADA PIT IPDF PT. MITRABARA ADIPERDANA TBK KALIMANTAN UTARA* (dibimbing oleh Sultan dan Kifayatul Khair Masyhuda Zulkifli)

Secara administratif lokasi penelitian terletak pada Desa Nunuk Tanah Kibang, Kecamatan Malinau Selatan, Kabupaten Malinau, Provinsi Kalimantan Utara Tepatnya pada area Disposol IPDF PIT Yarder Selatan PT. Mitrabara Adiperdana TBK. Secara astronomis terletak pada koordinat $116^{\circ}27'19''$ BT (Bujur Timur) dan $03^{\circ}07'19''$ LU (Lintang Utara).

Penelitian ini dimaksudkan untuk meminimalisir terjadinya longsor (overall slope) pada tambang batubara khususnya area disposol Pit IPDF PT. Mitrabara Adiperdana Tbk. Tujuan dari penelitian ini yaitu Menganalisis geometri lereng dan variabel geoteknik untuk menentukan faktor keamanan overall slope dan daya tampung maksimal beban material disposol saat ini. Serta Menganalisis, modifikasi dan membuat model desain lereng disposol untuk menentukan faktor keamanan overall slope dan umur disposol jangka panjang untuk optimalisasi penambangan dengan mempertimbangkan geometri lereng sebelum longsoran, setelah longsor dan rekomendasinya. Penelitian ini menggunakan data primer maupun data sekunder. Untuk mengetahui nilai faktor keamanan lereng, metode yang digunakan yaitu Metode Geologi Lapangan, pengambilan sampel *core* dan pengolahan data menggunakan *Software Slide 6.0*. dengan Metode *Morgenstren Price* Untuk modeling dan simulasi lereng disposol.

Lokasi penelitian memiliki nilai faktor keamanan dengan rata-rata nilai secara Aktual dibawah 1,2 yang menandakan lereng disposol tidak stabil atau tidak aman, dengan probabilitas longsor 77%. Sedangkan nilai faktor keamanan setelah dilakukannya rekomendasi dan desain lereng baru menghasilkan nilai FK dengan rata-rata berada diatas 1,3 dalam artian lereng disposol IPDF dalam keadaan stabil atau aman, dengan probabilitas longsor 3,9%. Penguatan lereng yang direkomendasikan menggunakan dumping material over burden yang bagus (material kering yang tidak mengandung air berlebihan). Material yang sudah didumping kemudian di compact menggunakan alat berat compactor secara berulang dan berlanjut setiap pertambahan elevasi 1 meter dan kepadatannya di tes menggunakan *Dinamik Cone Penetration (DCP)*. Desain ini menggunakan single slope 20° dengan lebar 20,4 meter dan rencana penimbunan RL 80 hingga RL 130.

Kata Kunci : Disposol, SPT, DCP, Faktor Keamanan, Rekomendasi

ABSTRACT

MARGION HELBY FIONNY. *BEARING CAPACITY ANALYSIS OF SLOPE DISPOSAL STABILITY USING MORGENSTREN-PRICE ON PIT IPDF PT. MITRABARA ADIPERDANA TBK NORTH KALIMANTAN* (guided by Sultan and Kifayatul Khair Masyhuda Zulkifli)

Administratively, the research location is located in Nunuk Tanah Kibang Village, South Malinau District, Malinau Regency, North Kalimantan Province, precisely in the IPDF PIT Yarder Selatan Disposal area, PT. Mitrabara Adiperdana TBK. It is astronomically located at coordinates 116°27'19" E (East Longitude) and 03°07'19" N (North Latitude).

This research is intended to minimize the occurrence of landslides (overall slope) in coal mines, especially the disposal area of the IPDF Pit PT. Mitrabara Adiperdana Tbk. The purpose of this study is to analyze slope geometry and geotechnical variables to determine the overall slope safety factor and the maximum capacity of the current disposal material load. As well as analyzing, modifying and making disposal slope design models to determine overall slope safety factors and long-term disposal life for mining optimization by considering slope geometry before avalanche, after landslide and recommendations. This study used primary data as well as secondary data. To determine the value of slope safety factors, the methods used are Field Geology Methods, core sampling and data processing using Slide 6.0 Software. with Morgenstren Price Method For modeling and simulation of disposal slopes.

The study location has a safety factor value with an average actual value below 1.2 which indicates an unstable or unsafe disposal slope, with a landslide probability of 77%. Meanwhile, the value of the safety factor after the recommendation and design of the new slope resulted in an FK value with an average of above 1.3 in the sense that the IPDF disposal slope was stable or safe, with a landslide probability of 3.9%. Slope reinforcement is recommended using good dumping of over burden material (dry material that does not contain excessive water). The dumped material is then compacted using a compactor machine repeatedly and continues every increase in elevation of 1 meter and density is tested using Dynamic Cone Penetration (DCP). This design uses a single slope 200 with a width of 20.4 meters and a stockpiling plan of RL 80 to RL 130.

Keywords : Disposal, SPT, DCP, Security Factor, Recommendation

DAFTAR ISI

	Halaman
SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
KATA PENGANTAR.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Maksud dan Tujuan	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Geologi Regional Daerah Penelitian	4
1.1.1. Geomorfologi Geologi Regional	5
1.1.2. Stratigrafi Geologi Regional	6
1.1.3. Struktur Geologi Regional	7
2.2. Kestabilan Lereng.....	8
1.2.1. Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng.....	9
1.2.2. Gerakan Tanah (Tanah Longsor)	13
1.2.3. Longsoran pada Lereng Tambang	19
1.2.4. Klasifikasi Longsoran	21
1.2.5. Rancangan Lereng Tambang	25

2.3.	Disposal Area	26
2.4.	Pengeboran Geoteknik	28
1.4.1.	Pengambilan Contoh Inti (<i>Core Sampling</i>)	29
1.4.2.	Metode Pengujian Laboratorium.....	29
2.5.	Standar Penetration Test (SPT)	30
2.6.	Prosedur pengujian.....	33
2.7.	Klasifikasi Nilai Standar Penetration Test.....	34
2.8.	Pengaruh Kegempaan Terhadap Kestabilan Lereng.....	34
2.9.	Kesetimbangan Batas Limit Equilibrium	36
2.10.	Analisis Lereng Dengan Metode <i>Morgenstren-Price</i>	37
2.11.	Aplikasi Rocscience Slide 6.0	39
2.12.	Faktor Keamanan Lereng	40
BAB III METODE PENELITIAN		42
3.1.	Waktu dan Lokasi Penelitian	42
3.2.	Metode Penelitian.....	43
3.3.	Tahapan Penelitian	43
2.3.1.	Persiapan	43
2.3.2.	Pengambilan Data	44
2.3.3.	Analisis Data	44
2.3.4.	Pengolahan Data.....	45
2.3.5.	Penyusunan Laporan	45
3.4.	Diagram Alir.....	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		47
4.1.	Disposal Area	47
3.1.1.	Kondisi Disposal Sebelum Penimbunan (<i>Mine Out</i>)	47
3.1.2.	Kondisi Disposal Setelah Penimbunan (Aktual)	48
4.2.	Pemetaan Area Disposal IPDF	48
4.3.	Sebaran Titik Pengeboran SPT	54
4.3.1.	Hasil Pengeboran SPT.....	55
4.4.	Pengolahan Data Menggunakan <i>Software Rocscience Slide 6.</i>	61
4.4.1.	Hasil Nilai FK Actual Section A-A'	63
4.4.2.	Hasil Nilai FK Actual Section B-B'	64
4.4.3.	Hasil Nilai FK Rekomendasi Section A-A'	65
4.4.4.	Hasil Nilai FK Rekomendasi Section B-B'	66

4.5. Rekomendasi Geologi Teknik	67
BAB V PENUTUP.....	72
5.1. Kesimpulan.....	72
5.2. Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA.....	74
LAMPIRAN.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Peta Geologi Regional Daerah Penelitian	4
Gambar 2.	Bagian-Bagian Dari Sudut Lereng (Hoek & Bray, 1981)	9
Gambar 3.	Penampang Lereng Tunggal dan Overal Slope (Hoek & Bray, 1981).....	10
Gambar 4.	Grafik Hubungan Tegangan Normal – Tegangan	11
Gambar 5.	Gerakan Tanah <i>Rockfall</i> (Varnes, 1978)	13
Gambar 6.	Gerakan Tanah Jatuhan (Varnes, 1978)	14
Gambar 7.	Gerakan Tanah Jenis Longsoran Rotasi (Varnes, 1978)	15
Gambar 8.	Gerakan Tanah Jenis Longsoran Translasi (Varnes, 1978).....	15
Gambar 9.	Gerakan Tanah Jenis Spread Lateral (Varnes, 1978)	16
Gambar 10.	Gerakan Tanah <i>Debris Flow</i> dan <i>Tanah Earth Flow</i> (Varnes, 1978).....	17
Gambar 11.	Gerakan Tanah <i>Creep</i> (Varnes, 1978).....	18
Gambar 12.	Gerakan Tanah Subsidence (Prof. Dr. Ir. Irwandy Arif, M.Sc)	18
Gambar 13.	Longsoran Busur (Hoek & Bray, 1981).....	19
Gambar 14.	Longsoran Bidang (Hoek & Bray, 1981).....	20
Gambar 15.	Longsoran Baji (Hoek & Bray, 1981)	21
Gambar 16.	Longsoran Guling (Hoek & Bray, 1981).....	21
Gambar 17.	Klasifikasi Gerakan Tanah (Varnes, 1978)	23
Gambar 18.	Penimbunan <i>Valley Fill/Crest Dumps</i> (Mitrabara Adiperdana 2013).....	27
Gambar 19.	Penimbunan <i>Terraced Dump</i> (Mitrabara Adiperdana 2013)	27
Gambar 20.	Alat Penetrasi Dengan SPT (SNI 4153.2008)	31
Gambar 21.	Skema Pengujian Penetrasi Standar (SPT) Pada Lubang Bor (SNI 4153.2008)	34

Gambar 22.	Distribusi Gaya-gaya Akibat Pengaruh Beban Seismik (Hoek & Bray, 1981)	36
Gambar 23.	Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Irisan Bidang Kelongsoran Metode Morgenstern-Price 1965	39
Gambar 24.	Desain Lereng Dan Pengolahan Data Menggunakan Aplikasi <i>Rocscience Slide 6.0</i>	40
Gambar 25.	Peta Tunjuk Lokasi Daerah Penelitian	42
Gambar 26.	Diagram Alir Penelitian	46
Gambar 27.	Peta Disposasi IPDF Tahun 2021	47
Gambar 28.	Kondisi Disposasi IPDF dan Gejala Longsoran Pada Tanggal 9 Mei 2021	48
Gambar 29.	<i>Subsidence</i> Pada Disposasi IPDF Pada Tanggal 01 Juli 2022 Dengan Arah Foto N 336 ⁰ E	49
Gambar 30.	<i>Sinkhole</i> Pada Area Disposasi IPDF Pada Tanggal 01 Juli 2022 Dengan Arah Foto N 34 ⁰ E	50
Gambar 31.	Retakan Pada Area Disposasi IPDF Pada Tanggal 01 Juli 2022 Dengan Arah Foto N 275 ⁰ E	51
Gambar 32.	Mata Air Permukaan Pada Area Disposasi IPDF Pada Tanggal 01 Juli 2022 Dengan Arah Foto N 96 ⁰ E	52
Gambar 33.	Mata Air Permukaan Pada Area Disposasi IPDF Pada Tanggal 01 Juli 2022 Dengan Arah Foto N 183 ⁰ E	53
Gambar 34.	Peta Sebaran Kerusakan Area Disposasi IPDF PIT Yarder Selatan	54
Gambar 35.	Peta Sebaran Titik Pengeboran SPT	55
Gambar 36.	Dokumentasi Pengeboran Geoteknik (SPT) Pada Disposasi IPDF Pit Yarder Selatan Oleh Tim PT. Bumi Indonesia Menggunakan Mesin Koken 1 dan Jacro 200	59
Gambar 37.	Gambaran Pengujian <i>Triaxial</i> Untuk Mengetahui Keruntuhan Mohr Coulomb	60
Gambar 38.	Desain Awal <i>Overall Slope</i> Disposasi IPDF Sebelum Terjadi Longsoran Yang Disimulasikan Pada Aplikasi <i>Rocscience Slide 6.0</i>	62
Gambar 39.	Simulasi Lereng Aktual <i>Section A-A'</i> Metode <i>Morgenstern-Price</i> Dengan <i>Surface Type Circular</i>	63
Gambar 40.	Simulasi Lereng Aktual <i>Section A-A'</i> Metode <i>Morgenstern-Price</i> Dengan <i>Surface Type Non Circular</i>	63

Gambar 41.	Simulasi Lereng Aktual <i>Section B-B'</i> Metode <i>Morgenstern-Price</i> Dengan <i>Surface Type Circular</i>	64
Gambar 42.	Simulasi Lereng Aktual <i>Section B-B'</i> Metode <i>Morgenstern-Price</i> Dengan <i>Surface Type Non Circular</i>	64
Gambar 43.	Simulasi Lereng Rekomendasi <i>Section A-A'</i> Metode <i>Morgenstern-Price</i> Dengan <i>Surface Type Circular</i>	65
Gambar 44.	Simulasi Lereng Rekomendasi <i>Section A-A'</i> Metode <i>Morgenstern-Price</i> Dengan <i>Surface Type Non Circular</i>	65
Gambar 45.	Simulasi Lereng Rekomendasi <i>Section B-B'</i> Metode <i>Morgenstern-Price</i> Dengan <i>Surface Type Circular</i>	66
Gambar 46.	Simulasi Lereng Rekomendasi <i>Section B-B'</i> Metode <i>Morgenstern-Price</i> Dengan <i>Surface Type Non Circular</i>	66
Gambar 47.	Gambar Penampang A-A' dan B-B' dari arah Baratdaya Hingga Timurlaut.....	67
Gambar 48.	Rencana Arah Aliran Parit <i>Geotextile</i> Pada Disposol IPDF Pit Yarder Selatan.....	68
Gambar 49.	Desain <i>Keylock</i> Atau Tanah Pengunci Sebagai Tameng Disposol IPDF	68
Gambar 50.	Proses Dumpingan Material OB <i>Good</i> Dalam Tahapan Pembuatan <i>Keylock</i> Pada Kaki Lereng Disposol IPDF	69
Gambar 51.	Pengujian <i>Keylock</i> Menggunakan Pengujian <i>Dinamik Cone Penetration</i> (DCP) Dengan Berat <i>Hammer</i> 8 Kg.....	70
Gambar 52.	Pencatatan Hasil Pengujian <i>Dinamik Cone Penetration</i> (DCP)	70
Gambar 53.	Desain <i>Keylok</i> Yang Akan Ditimbun Hingga Elevasi 130 Meter Menggunakan Material OB <i>Good</i>	71
Gambar 54.	Desain Cincin Tanggul Pada Area RL 90-130 Dengan Lebar 50 Meter Dan Single Slope 20 ⁰	71

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Klasifikasi gerakan tanah menurut (Varnes, 1978).....	22
Tabel 2.	Klasifikasi laju kecepatan longsoran (Hansen,1978)	23
Tabel 3.	Nilai Faktor Keamanan Dan Probabilitas Longsor Tambang (Kepmen ESDM No.1827 K/30/MEM Tahun 2018)	24
Tabel 4.	<i>Penetration Test</i> Terhadap Jumlah Tumbukan (SNI 4153.2008).....	34
Tabel 5.	Nilai Faktor Keamanan Lereng (Ringkasan FK Kepmen No.1827 Tahun 2018)	41
Tabel 6.	Hasil Pengeboran SPT Pada Area Disposasi IPDF Pada Lubang Bor 7	56
Tabel 7.	Nilai <i>Properties</i> Batuan Berdasarkan Pengujian <i>Triaxial Compression Test</i>	61

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan keterangan
%	Persen
o ‘ ‘	Derajat Menit Detik
>	Lebih dari
±	Kurang Lebih
φ	Sudut Gesek Dalam
c	Kohesi
γ	Bobot Isi
ψ	Sudut kemiringan lereng (°)
K _h	Koefisien percepatan seismik arah horizontal
K _v	Koefisien percepatan seismik arah vertikal
W _s	Berat beban yang potensial mengalami longsor
σ ₁	Tegasan Utama Maksimum
σ ₂	Tegasan Utama
σ ₃	Tegasan Utama Minimum
DIP	Arah Kemiringan Perlapisan Batuan
Disposal	Tempat Pembuangan
E	<i>East</i>
FD	Gaya Mendorong
FK	Faktor Keamanan
FR	Gaya Menahan
GPS	Global Positoining System
H	Beda Tinggi
IUP	Izin Usaha Pertambangan
Kg/m ³	Kilogram/Metrik Kubik
Km	Kilometer
Km ²	Kilometer Persegi

LS	Lintang Selatan
M	Meter
M ³	Metrik Kubik
MA	Mitrabara Adiperdana
N	Nilai
N..	<i>North</i>
OB	Over Burden
P	Gaya Normal
PIT	Pelaksanaan Inspeksi Tambang
RBI	Rupa Bumi Indonesia
RL	<i>Request Level</i>
SF	<i>Safety Factor</i>
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>
PT	Perseroan Terbatas
TBK	Perusahaan Terbuka
U	Tekanan Air Pori
V	Volume

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Hasil Pengeboran Disposol IPDF	76
Lampiran 2 Pemodelan Aktual <i>Section A-A'</i>	97
Lampiran 2 Pemodelan Rekomendasi <i>Section A-A'</i>	98
Lampiran 3 Pemodelan Aktual <i>Section B-B'</i>	99
Lampiran 4 Pemodelan Rekomendasi <i>Section B-B'</i>	100
Lampiran 5 Peta – Peta	101
A. Peta IUP PT. Mitrabara Adiperdana TBK	
B. Peta Aktual Sebelum Penimbunan Area Disposol IPDF	
C. Peta Topografi Aktual Disposol IPDF	
D. Peta Sebaran Kerusakan Disposol IPDF	
E. Peta Desain Rekomendasi Disposol IPDF	

KATA PENGANTAR

Shalom, Damai Sejahtera Dihati

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga laporan Skripsi yang berjudul **“ANALISIS *BEARING CAPACITY* TERHADAP STABILITAS SLOPE DISPOSAL DENGAN METODE *MORGENSTREN-PRICE* PADA PIT IPDF PT. MITRABARA ADIPERDANA TBK KALIMANTAN UTARA”** dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan laporan ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Program Strata I pada Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada pembuatan laporan ini penulis tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan doa dan semangat kepada penulis. Sehingga terselesaikannya laporan ini dengan baik. Penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir Sultan, S.T., M.T., sebagai Dosen Pembimbing Utama dan penasihat akademik yang telah meluangkan waktu serta memberikan bimbingan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Alm. Kifayatul Khair Masyhuda Zulkifli, ST., M.T., sebagai Dosen Pembimbing Pendamping yang telah meluangkan waktu serta memberikan bimbingan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T. dan Bapak Bahrul Hidayat, S.T., M.T. sebagai Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan masukan demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng. sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak dan Ibu Dosen pada Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bimbingan dan nasehatnya.
6. Bapak dan Ibu Staf Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bantuannya dalam pengurusan administrasi penelitian.

7. PT. Mitrabara Adiperdana TBK yang telah memberikan kesempatan magang yang luar biasa untuk belajar lebih banyak dan menjadikan data-data hasil magang sebagai Tugas Akhir.
8. Pak Abdillah dan Pak Aditya sebagai pembimbing di PT. Mitrabara Adiperdana TBK yang telah memberi masukan kritik dan saran yang selalu memberi solusi dan menjadi pengajar yang baik.
9. Pak Deo, Pak Udin, Pak Binus, Pak Michael, Pak Gilang, Pak Yadi, Pak Indra, Pak Tomi dan semua *Team Departement Engineering* yang selalu menjadi teman diskusi di lapangan maupun kantor.
10. Saudari Elisa yang menjadi partner magang di PT. Mitrabara Adiperdana TBK, selalu membantu penulis sehingga data-data magang dapat terkumpul dengan lengkap.
11. Saudara – Saudari Satuan Komando Lapangan Basis Angkatan XXXIII yang telah memberikan motivasi dan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini
12. Saudara-Saudari seperjuangan Teknik Geologi Angkatan 2018 (Xenolith) yang menjadi ruang untuk berdiskusi serta telah memberikan banyak dukungan kepada penulis selama penulis dalam masa studi di Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
13. Keluarga besar SKL BE HMG FT-UH yang telah menjadi wadah menimba ilmu yang luar biasa, membantu penulis dalam mengembangkan kemampuan lapangan.
14. Keluarga Besar Bapak Yohanis Duma Sampewai, khususnya kepada Ibunda Ester Sampewai, Om Yusuf Bunga Sampewai, Om Yamin Paladan dan Saudara penulis Nighelio Shelter yang selalu memberikan motivasi, dukungan, semangat dan bantuan kepada penulis, bantuan moril maupun materil, serta doa restu keluarga yang senantiasa menjadi sumber semangat bagi penulis selama ini.
15. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sampaikan yang juga telah banyak membantu dan mendoakan.

Dalam penyajian laporan ini, penulis menyadari masih belum mendekati kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan koreksi dan saran

yang sifatnya membangun sebagai bahan masukan yang bermanfaat demi perbaikan dan peningkatan diri dalam bidang ilmu pengetahuan. Akhir kata semoga laporan ini bermanfaat dan dapat memberikan sumbangsih pemikiran untuk perkembangan ilmu pengetahuan bagi penulis maupun bagi pihak yang berkepentingan lainnya, Terima kasih.

Makassar, 25 September 2024

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT Mitrabara Adiperdana Tbk. merupakan sebuah perusahaan pertambangan yang bergerak di bidang pertambangan Batubara dan berkantor pusat di Kecamatan Malinau Selatan, Kabupaten Malinau, Kalimantan Utara. Penambangan ini menggunakan metode Tambang Terbuka dengan sistem konvensional yang melibatkan *excavator* dan *dump truck mining* sebagai alat transportasi dalam area tambang.

Dikarenakan metode yang digunakan Tambang Terbuka maka memerlukan sebuah tempat untuk menampung material tanah penutup yaitu disposal area. Material tanah penutup yang ditimbun dapat menimbulkan berbagai permasalahan terutama yang berkaitan dengan daya dukung tanah untuk menahan beban diatasnya sehingga dibutuhkan rancangan lereng disposal yang baik agar lereng disposal berada dalam kondisi aman dan dapat meminimalisir potensi longsor. Dalam mempersiapkan disposal secara menyeluruh memerlukan analisis dalam aspek operasi terutama yang melibatkan kajian teknis.

Kelongsoran merupakan potensi bahaya yang sering dihadapi di tambang terbuka baik dalam skala kecil *single bench* maupun dalam skala keseluruhan *overall*. Untuk meminimalisir bahaya longsor lereng tambang sepanjang kegiatan penambangan dan pada resiko yang terkontrol diperlukan suatu metode pengendalian stabilitas lereng yang komperensif (Suratha dan Maryanto, 2015).

Ada beberapa syarat untuk membentuk sebuah disposal, termasuk salah satunya memenuhi *design* kriteria untuk daya dukung tanah yang memadai untuk mencegah penurunan muka tanah karena banyaknya lapisan penutup yang akan ditimbun di wilayah disposal. (Projosumarto, 1993).

Kondisi geologi, geometri lereng, intensitas massa batuan, sudut lereng, tingkat pelapukan, sifat fisik dan mekanik tanah / batuan, kondisi air tanah, dan faktor eksternal seperti ledakan dan gempa bumi semuanya mempengaruhi stabil

atau tidaknya lereng tambang (Azizi dkk, 2011). Analisis stabilitas lereng, termasuk aspek geologi dan geoteknik, diperlukan untuk mendesain lereng tambang.

Penelitian ini akan membahas mengenai analisis *Bearing capacity* atau daya tampung beban massa material terhadap kestabilan lereng disposal secara aktual dan rekomendasi dengan mempertimbangkan faktor-faktor teknis seperti kondisi air tanah, pengaruh musim hujan, faktor alat berat dan faktor getaran peledakan sehingga didapatkan desain lereng yang baik dan aman dan dapat memperkecil kemungkinan terjadinya longsor. Maka dari itu penulis membuat satu penelitian yang berjudul "**ANALISIS *BEARING CAPACITY* TERHADAP STABILITAS SLOPE DISPOSAL DENGAN METODE *MORGENSTERN-PRICE* PADA PIT IPDF PT. MITRABARA ADIPERDANA TBK KALIMANTAN UTARA**"

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Bagaimana geometri lereng, variabel geoteknik, analisis kestabilan lereng serta daya tampung pada area disposal Pit IPDF bagian selatan?
2. Bagaimana analisis geometri lereng disposal modifikasi dan daya tampung maksimal beban material serta umur disposal jangka panjang untuk optimalisasi dalam penunjang proses penambangan pada PT. Mitrabara Adiperdana Tbk.

1.3. Maksud dan Tujuan

Maksud diadakannya penelitian ini adalah untuk meminimalisir terjadinya longsor pada tambang Batubara khususnya area disposal Pit IPDF PT. Mitrabara Adiperdana Tbk. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis geometri lereng dan variabel geoteknik untuk menentukan faktor keamanan *overal slope* dan daya tampung maksimal beban material disposal saat ini.

2. Menganalisis, modifikasi dan membuat model desain lereng disposal untuk menentukan faktor keamanan *overall slope* dan umur disposal jangka panjang untuk optimalisasi penambangan dengan mempertimbangkan geometri lereng sebelum longsor, setelah longsor dan rekomendasinya.

1.4. Manfaat Penelitian

Berdasarkan uraian diatas dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi kestabilan geometri lereng disposal dengan menggunakan parameter geologi, geoteknik, dan geohidrologi dan memperoleh nilai faktor keamanan lereng disposal dengan menganalisis stabilitas lereng disposal berdasarkan sifat material tanah penutup.
2. Memperoleh gambaran geometri lereng modifikasi yang stabil dan dapat meningkatkan kemampuan daya tampung disposal sehingga jumlah tanah penutup disposal meningkat dan digunakan secara maksimal untuk optimalisasi kegiatan penambangan.

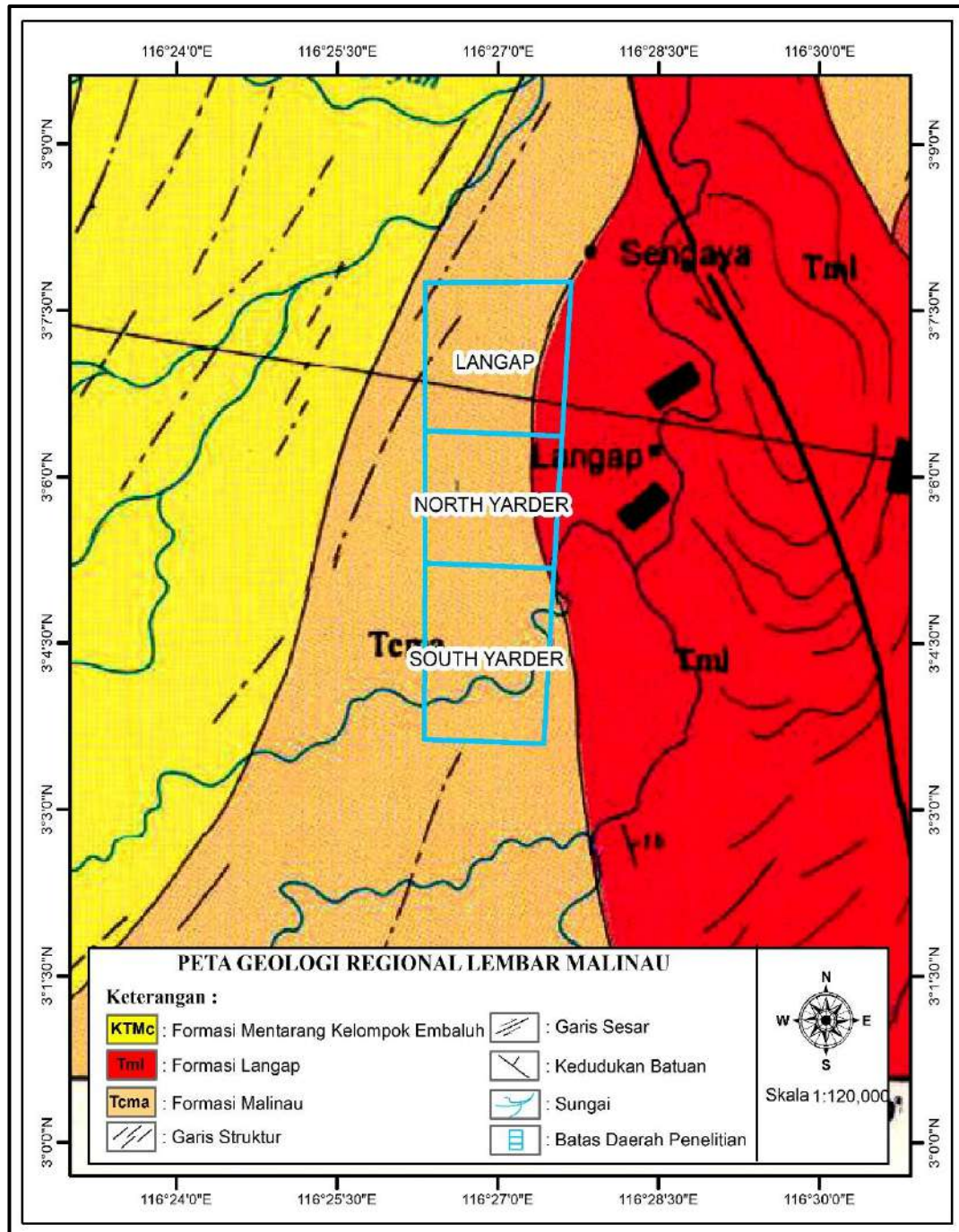
1.5. Ruang Lingkup

Dalam penelitian ini cakupan masalah yang dibatasi yaitu sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian hanya dilakukan pada area disposal Pit IPDF bagian selatan PT. Mitrabara Adiperdana Tbk, Kalimantan Utara, Indonesia.
2. Penelitian berpusat pada analisis kemantapan lereng disposal Pit IPDF bagian selatan dan modifikasi pemodelan terhadap lereng disposal PT. Mitrabara Adiperdana Tbk, Kalimantan Utara, Indonesia.
3. Penelitian ini hanya membahas rancangan geometri lereng disposal dari segi teknis dengan memperhitungkan dari segi ekonomis dalam penentuan nilai *safety Factor* (Nilai FK).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geologi Regional Daerah Penelitian



Gambar 1. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian

Secara regional daerah penelitian termasuk dalam lingkungan pengendapan cekungan Tarakan, cekungan Tarakan merupakan salah satu dari tiga cekungan tersier utama yang terdapat dibagian timur kontinental margin kalimantan (dari utara ke selatan: Cekungan Tarakan, Cekungan Kutai dan Cekungan Barito), yang dicirikan oleh hadirnya batuan sedimen klastik sebagai penyusunnya yang dominan, berukuran halus sampai kasar dengan beberapa endapan karbonat. Cekungan tarakan diperkirakan terbentuk pada kala Eosen-Miosen. Secara Fisiografi cekungan Tarakan dibagian barat dibatasi oleh lapisan Pra-Tersier tinggian Kuching dan dipisahkan dari cekungan kutai dan kelurusan timur – barat tinggian Mangkaliat.

Proses pengendapan cekungan Tarakan dimulai dari proses pengangkatan (transgresi) yang diperkirakan terjadi pada kala Eosin sampai Miosen awal bersamaan dengan terjadinya proses pengangkatan gradual pada tinggian Kuching dari barat ke timur. Pada kala Meosen tengah terjadi penurunan (regresi) pada cekungan tarakan, yang dilanjutkan dengan terjadinya pengendapan progradasi kearah timur dan membentuk endapan delta yang menutupi endapan prodelta dan batial. Cekungan Tarakan mengalami proses penurunan secara lebih aktif lagi pada kala Miosen sampai Pliosen. Proses sedimentasi delta yang relatif bergerak kearah timur terus berlanjut selaras dengan waktu.

Cekungan Tarakan berupa depresi berbentuk busur yang terbuka ke timur ke 5 arah selat Makassar/Laut Sulawesi yang meluas kearah Utara sampai Sabah dan berhenti pada zona subduksi di tinggian Semporna dan merupakan cekungan paling utara di Kalimantan. Tinggian Kuching dengan inti lapisan pra-Tersier terletak disebelah baratnya sedangkan batas selatannya adalah punggung Suikerbood dan Tinggian Mangkaliat. Ditinjau dari fasies dan lingkungan pengendapannya, cekungan tarakan terbagi menjadi empat sub cekungan, yaitu Sub Cekungan Tidung, Sub Cekungan Tarakan, Sub Cekungan Muras dan Sub Cekungan Berau.

2.1.1. Geomorfologi Geologi Regional

Kalimantan timur pada dasarnya merupakan kawasan yang terdiri atas pegunungan anticlinal Samamuda dan geantiklinal Meratus. Pegunungan ini

merupakan pegunungan yang terlipat hebat, sehingga memanjang dari utara ke selatan. Perbukitan lipatan Meratus yang terbentang dari utara ke selatan, saling terkait dengan pasangan di barat laut pulau Kalimantan, yang notabene terletak di luar pulau Kalimantan. Pegunungan ini juga merupakan hasil pembentukan pegunungan dataran sunda, yang telah mengalami proses pemerataan yang cukup luas, sehingga menjadi daerah kratogen Indonesia yang merefleksikan proses denudasi dan litologinya dibandingkan tektoniknya, namun efek tektonisme tersier secara geomorfologi masih nampak jelas. Selain itu, kompleks pegunungan meratus memiliki antiklin yang tinggi. Puncak tertinggi pegunungan meratus adalah gunung besar (1892m), yang mana sistemnya memanjang sebagai kongkernalniapa-mangkiliat, serta bagian tenggaranya merupakan terisolir. Selain kompleks Meratus, terdapat endapan di depresim Mahakam yang mana membentuk delta yang cukup mengalami perkembangan. Sungai Mahakam yang mana bermuara pada mata air Cemar, memotong sumbu pre-tercier Kalimantan. Sehingga kondisi tersebut menjadikan perkembangan sistem delta Mahakam mengalami perkembangan yang cukup signifikan.

2.1.2. Stratigrafi Geologi Regional

Secara umum stratigrafi regional daerah penelitian termasuk pada lembar Malinau, diantaranya yaitu :

1. Formasi Malinau

Formasi Malinau terletak di bagian barat dari wilayah konsesi IUP PT. MA, formasi ini tersusun oleh batupasir, felsparan, lempungan dan mikaan. Berwarna abu-abu kehijauan, berbutir sedang sampai kasar, terpilah buruk, tebal, tebal lapisan 20-50 cm, setempat beberapa meter. Berselingan dengan batu lanau lempungan atau argilit, berwarna abu tuahitam, bersifat mikaan dan gampingan. Lingkungan pengendapannya laut dangkal dan diduga berumur Eosen tengah.

2. Formasi Langap

Formasi ini dicirikan oleh lapisan konglomerat, batupasir, tufa, batulanau, batu lempung, dengan sisipan batubara. Konglomerat merupakan ciri formasi 7 Langap. Konglomerat tersusun oleh fragmen batupasir

lempungan dan kuarsa susun serta *unconsolidated*. Konglomerat ini bersisipan dengan batupasir dan batulempung. Batupasir umumnya berwarna abu-abu, tersusun oleh material piroklastik, terpilah baik, bentuk butir menyudut, porositas sedang, ukuran butir halus sampai kasar, kompak dan agak keras. Berdasarkan singkapan (terutama pada Formasi Langap) memperlihatkan sedimen Laminasi dimana beberapa lumine sangat karbonan sehingga terlihat sebagai pita-pita hitam. Kadang-kadang dijumpai juga struktur silang siur dan *ripple mark*. Warna pelapukan coklat kadang-kadang kemerahan. Sedangkan dibagian bawahnya terlihat berlapisan sedang sampai tebal. Juga terlihat singkapan batupasir konglomerat dan memperlihatkan struktur *Graded-bedding*. Batulanau, juga berwarna abu-abu gelap dan memperlihatkan struktur luminasi, batulempung, berwarna abu-abu gelap sampai hitam, kompak agak keras, mudah pecah, pecahannya berbentuk runcing, kadang – kadang konkoidal. Batubara terdapat pada lapisan batulempung dan batulanau.

2.1.3. Struktur Geologi Regional

Secara regional struktur geologi yang ada adalah sesar, terutama sesar geser, dengan arah dominan adalah Timurlaut – Baratdaya – Baratlaut – Tenggara yang terdapat disebelah utara sampai Timurlaut dan terdapat dilokasi IUP PT. MA. Struktur geologi yang dapat diamati disekitar daerah studi adalah struktur sesar, baik normal maupun mendatar. Interpretasi adanya struktur sesar ini pada umumnya ditentukan berdasarkan data pengeboran.

Data – data yang kelihatannya di permukaan untuk meyakinkan adanya indikasi sesar yang minim, antara lain ditujukan dengan adanya singkapan-singkapan breksi patahan dan bidang-bidang sesar. Dari bentuk morfologi tidak dapat diamati adanya bentuk-bentuk yang mengindikasikan adanya sesar. Dari data pengeboran dan data lainnya pada wilayah IUP PT. MA tidak ditemukan adanya struktur geologi berupa sesar.

2.2. Kestabilan Lereng

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

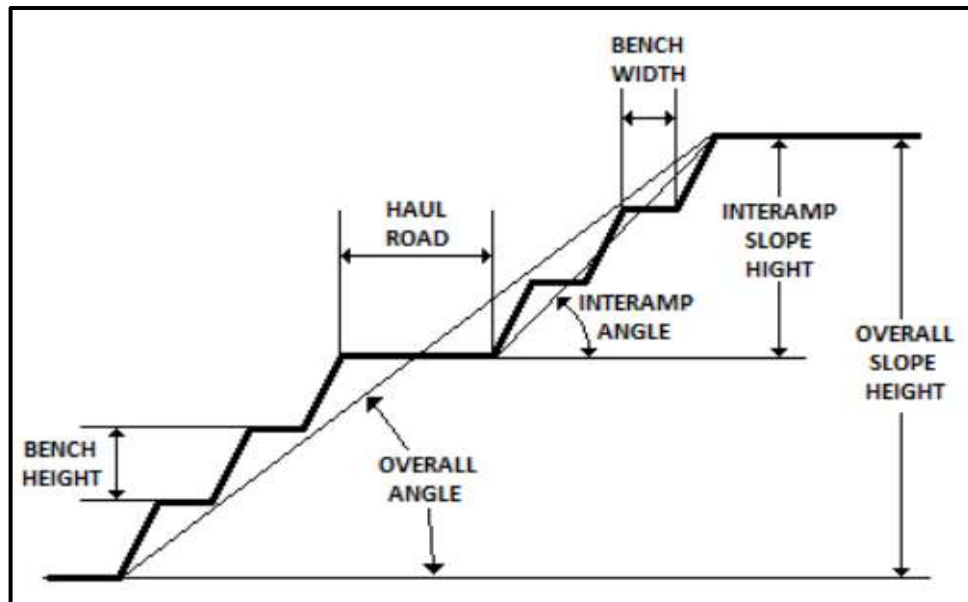
Pada permukaan tanah yang miring atau lereng, komponen gaya gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap gesekan tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi longsor. Analisis stabilitas lereng tidak mudah karena terdapat banyak faktor yang sangat mempengaruhi hasil hitungannya. Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis dan aliran rembesan air dalam tanah.

Secara umum longsor pada suatu lereng dapat terjadi dikarenakan bertambahnya tegangan geser *shear stress* dan berkurangnya kuat geser tanah *shear strength*. Bertambahnya tegangan geser dapat disebabkan oleh bertambahnya beban pada lereng, tidak adanya bagian penahan lereng seperti dinding penahan tanah, perubahan muka air tanah yang begitu cepat, dan beban akibat gempa bumi.

Rancangan lereng perlu dilakukan karena keberhasilan dalam suatu proses penambangan turut ditentukan oleh adanya kondisi tempat kerja yang aman. Lereng yang tidak aman akan menimbulkan gangguan terhadap aktivitas pertambangan, contoh kasus yang dapat terjadi dalam area lokasi pertambangan yaitu sebagai berikut.

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

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



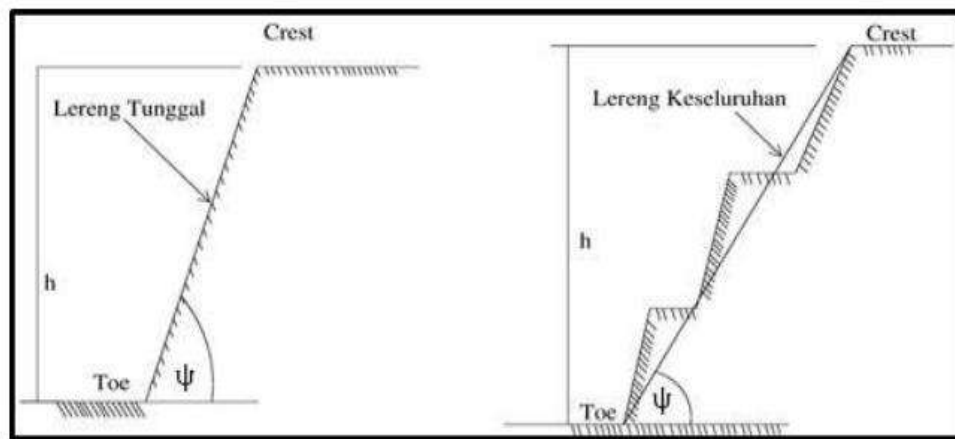
Gambar 2. Bagian-Bagian Dari Sudut Lereng (Hoek & Bray, 1981)

2.2.1. Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Keruntuhan pada lereng alami atau buatan disebabkan karena adanya perubahan antara lain yaitu topografi, seismik, aliran air tanah, perubahan tegangan dan musim, iklim dan cuaca. Akibat adanya gaya-gaya luar yang bekerja pada material pembentuk lereng mempunyai kecenderungan untuk menggelincir, kecenderungan menggelincir ditahan oleh kekuatan geser material sendiri, meskipun suatu lereng telah stabil dalam jangka waktu yang lama, lereng tersebut dapat menjadi tidak stabil karena beberapa faktor seperti berikut ini:

1. Geometri Lereng

Keruntuhan pada lereng alami atau buatan disebabkan karena adanya perubahan antara lain yaitu topografi, seismik, aliran air tanah, perubahan tegangan dan musim / iklim/ cuaca. Akibat adanya gaya-gaya luar yang bekerja pada material pembentuk lereng mempunyai kecenderungan untuk menggelincir, kecenderungan menggelincir ditahan oleh kekuatan geser material sendiri, meskipun suatu lereng telah stabil dalam jangka waktu yang lama, lereng tersebut dapat menjadi tidak stabil karena beberapa faktor seperti berikut ini:



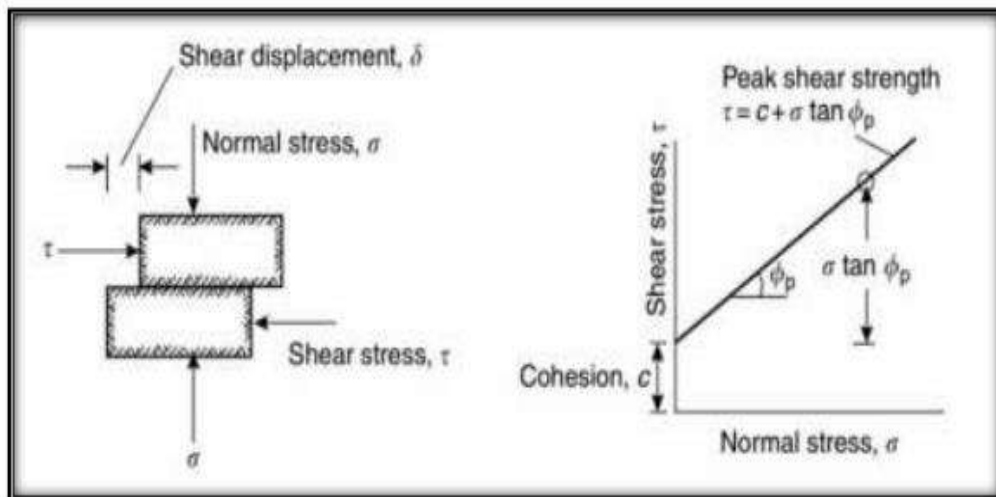
Gambar 3. Penampang Lereng Tunggal dan *Overall Slope* (Hoek & Bray, 1981)

2. Struktur Geologi

Keadaan struktur geologi yang harus diperhatikan pada analisis suatu kestabilan lereng adalah bidang–bidang lemah *discontinuity*. Struktur geologi yang dijumpai sebagai produk dari gaya-gaya yang bekerja pada batuan diantaranya bidang Perlapisan, perlipatan, rekahan/kekar dan patahan/sesar. Struktur geologi ini merupakan tempat-tempat rembesan air sehingga akan mempengaruhi cepat atau lambatnya proses pelapukan. Penentuan arah jurus/strike dan kemiringan bidang- bidang tersebut merupakan bagian yang sangat penting dalam melengkapi data analisis. Apabila bidang lemah tersebut searah dengan kemiringan lereng akan sangat berpengaruh karena pada bidang tersebut mempunyai kekuatan geser paling kecil sehingga memungkinkan terjadinya longsor.

3. Sifat Fisik Mekanika Tanah dan Batuan

Kekuatan massa tanah dan batuan yang sangat berperan dalam analisis kestabilan lereng adalah sifat fisik dan sifat mekanik. Dalam analisis kestabilan lereng sifat fisik yang digunakan adalah bobot isi, sedangkan sifat mekanik yang digunakan adalah nilai kekuatan geser tanah/batuan yang dinyatakan dengan parameter kohesi (c), dan sudut gesek dalam (ϕ). Kekuatan geser tanah/batuan ini adalah kekuatan yang berfungsi sebagai gaya untuk melawan atau menahan gaya penyebab longsor.



Gambar 4. Grafik Hubungan Tegangan Normal – Tegangan

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

a) Sudut gesek dalam (ϕ)

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

b) Kohesi (c)

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

c) Bobot isi (γ)

Bobot isi (γ) tanah/batuan berperan dalam menimbulkan tekanan pada permukaan bidang longsor, yaitu dinyatakan dalam satuan berat

per volume. Macam-macam bobot isi adalah : bobot isi asli, bobot isi kering dan bobot isi jenuh

4. Kondisi Air Tanah

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

5. Iklim Dan Curah Hujan

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

6. Gaya Luar

Gaya luar dapat mempengaruhi kemandapan suatu lereng. Gaya ini berupa getaran-getaran yang berasal dari sumber-sumber yang berada di dekat lereng tersebut. Getaran ini misalnya ditimbulkan oleh kegiatan penggalian, peledakan, pembuatan jalan tambang, pergerakan alat angkut, gempa bumi dan sebagainya.

Akibat kegiatan tersebut akan menyebabkan perubahan keseimbangan dari gaya-gaya dalam, sehingga akan menyebabkan bertambahnya gaya geser.

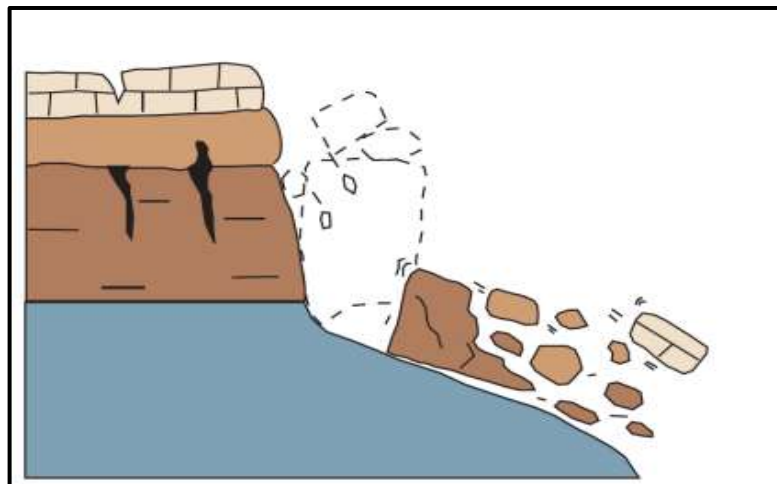
2.2.2. Gerakan Tanah (Tanah Longsor)

Tanah longsor atau gerakan tanah adalah perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau ke luar lereng (SNI 13-7124-2005). Proses terjadinya tanah longsor dapat diterangkan sebagai berikut: air yang meresap ke dalam tanah akan menambah Skor tanah. Jika air tersebut menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin dan tanah pelapukan di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan keluar lereng.

Menurut Varnes (1978) ada lima jenis longsoran yang umumnya terjadi dan dapat kita jumpai di sekitar kita adapun longsoran tersebut yaitu sebagai berikut ini

1. Fall (Runtuhan)

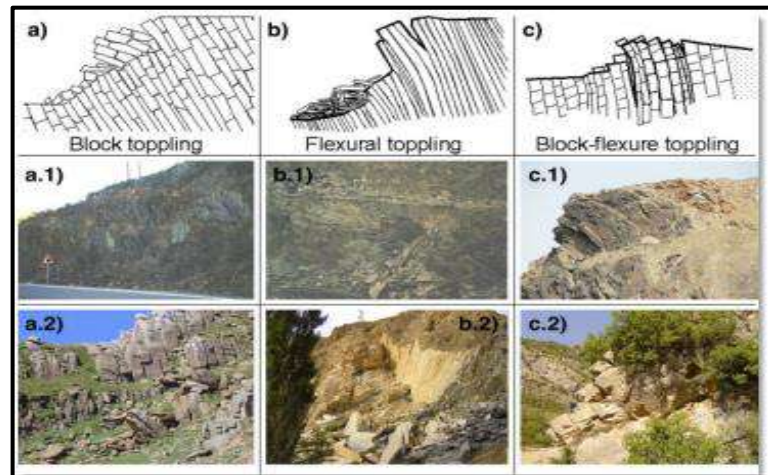
Longsoran jenis Fall adalah gerakan tiba-tiba massa batuan menjadi terlepas dari lereng atau tebing yang curam. Gerakan terjadi karena jatuh bebas, memantul, dan bergulir. Jatuhan sangat dipengaruhi oleh gaya gravitasi, pelapukan mekanik, dan adanya air *interstitial*.



Gambar 5. Gerakan Tanah *Rockfall* (Varnes, 1978)

2. *Topple* (Jatuhan)

Longsoran jenis *topple* (Jatuhan) telah diakui sebagai perbedaan jenis gerakan tanah. Gerakan tanah jenis ini terjadi ketika adanya rongga bawah tanah, adanya gaya gravitasi yang mendorong batuan jatuh kebawah, longsoran jenis ini biasa juga disebut dengan longsoran gulingan.



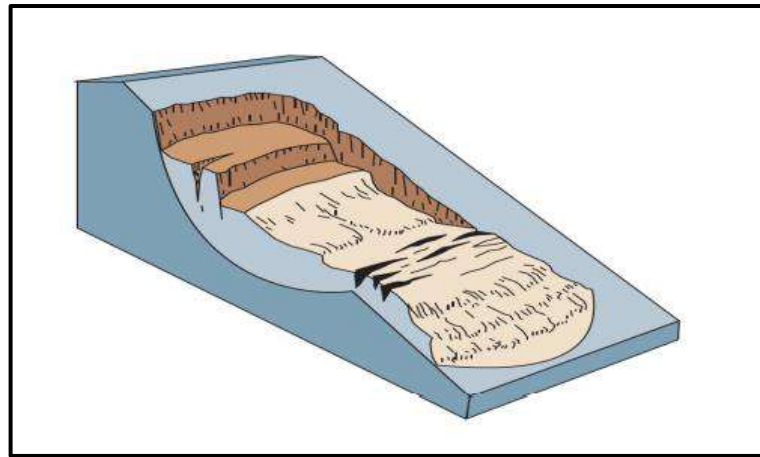
Gambar 6. Gerakan Tanah Jatuhan (Varnes, 1978)

3. *Slides* (Longsoran)

Longsoran jenis *slide* merupakan gerakan material batuan/tanah pada zona lemah yang terdiri dari regangan geser dan perpindahan material longsor dalam waktu yang relative sempit. Pergerakan material awalnya tidak secara bersamaan, dan menyebar pada bidang gelincir. Longsoran dibagi menjadi 2, yaitu:

🚧 Longsoran Rotasi

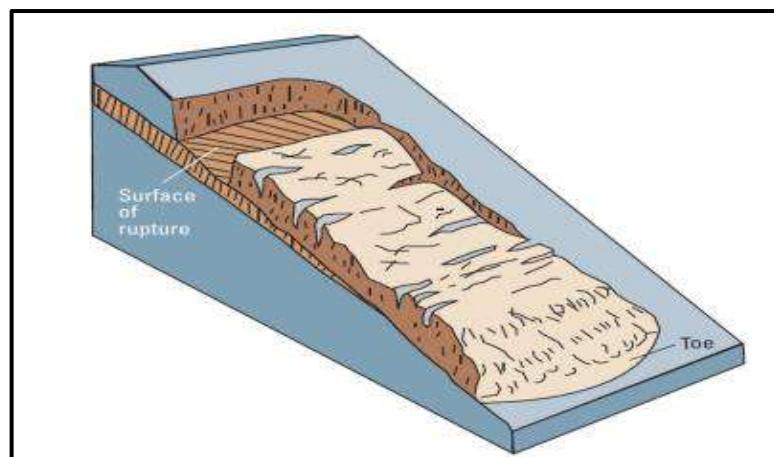
Longsoran rotasi yang paling umum miring, adalah merosotnya atau Bergeraknya massa batuan atau tanah secara bersamaan melalui bidang gelincir berbentuk cekungan.



Gambar 7. Gerakan Tanah Jenis Longsor Rotasi (Varnes, 1978)

Longsor Translasi

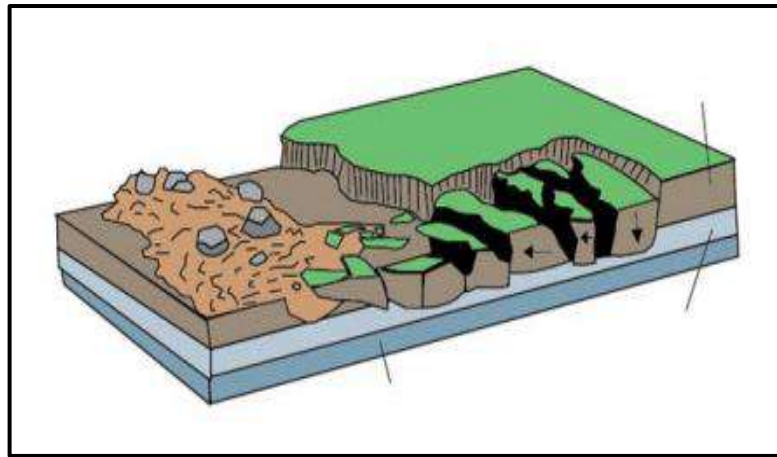
Longsor translasi yaitu massa batuan atau tanah bergerak sepanjang bidang gelincir berbentuk rata. Massa batuan atau tanah bergerak umumnya meluncur di permukaan tanah asli.



Gambar 8. Gerakan Tanah Jenis Longsor Translasi (Varnes, 1978)

4. *Lateral Spread* (Majemuk)

Longsor *spread* (Majemuk/penyebaran secara lateral) bersifat khas karena biasanya terjadi pada lereng yang sangat landai atau datar. Mode gerakan yang dominan adalah regangan datar dengan pergerakan karna adanya rekahan. Pergerakan ini disebabkan oleh likufaksi, proses dimana massa batuan jenuh, longgar, sedimen kohesi (biasanya pasir dan tanah).



Gambar 9. Gerakan Tanah Jenis *Spread Lateral* (Varnes, 1978)

5. *Flow* (Aliran)

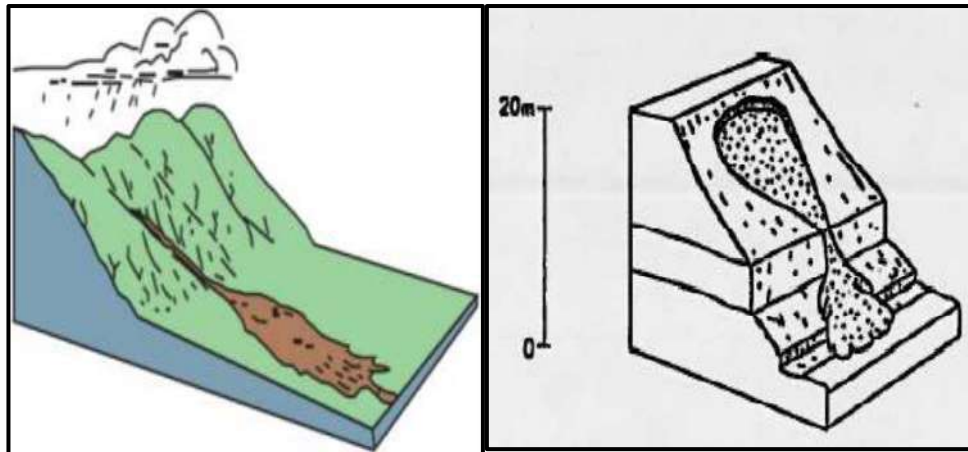
Longsor *Flow* atau Aliran yaitu pergerakan massa batuan atau tanah secara serentak /mendadak dengan kecepatan tinggi. Ada empat kategori aliran, yaitu:

a) *Debris Flow*/Aliran Debris

Debris Flow adalah bentuk gerakan massa yang cepat dimana kombinasi tanah gembur, batuan, bahan organik, udara, dan air bergerak mengalir ke bawah lereng. Aliran debris umumnya disebabkan oleh aliran permukaan air yang intens, karena hujan lebat atau pencairan salju yang cepat.

b) *Earth Flow*/Aliran Bumi

Gerakan *earth flow* merupakan gerakan tanah jenuh dengan air pada lereng yang landai, aliran kental pada lereng bawah merupakan material berbutir halus dan lempung pada batu lempung yang telah jenuh dengan air dan bergerak di bawah tarikan gravitasi bumi. Hal ini adalah jenis pemborosan massa menengah yang berada di antara *creep* yang menuruni bukit dan semburan lumpur kemudian ditransportasikan ke tempat yang lain.



Gambar 10. Gerakan Tanah *Debris Flow* dan *Tanah Earth Flow* (Varnes, 1978)

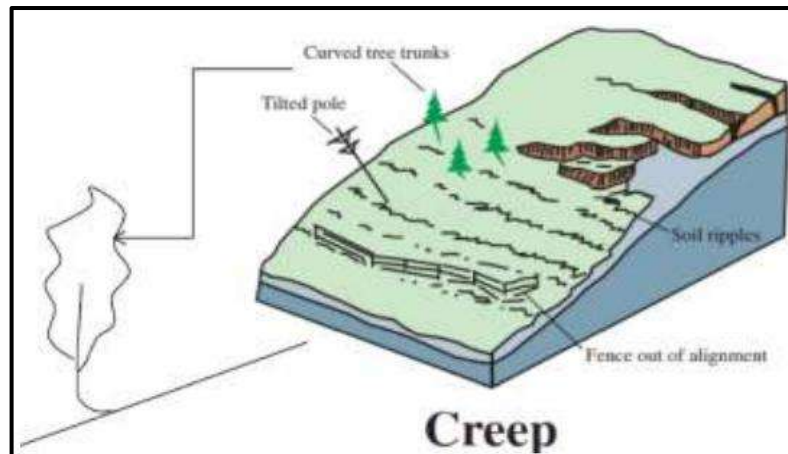
c) Aliran Lumpur

Aliran lumpur adalah aliran material basah yang mengalir dengan cepat dan mengandung setidaknya 50 persen pasir, lumpur, dan tanah liat partikel. Dalam beberapa contoh, misalnya dalam banyak laporan surat kabar, aliran lumpur dan aliran debris sering disebut sebagai "longsoran lumpur."

d) *Creep*/Rayapan Tanah

Gerakan bawah tanah yang landai atau lambat. Pergerakan ini disebabkan oleh tegangan geser yang cukup untuk menghasilkan deformasi permanen. Pada umumnya ada 3 jenis rayapan tanah:

- ✚ Musiman, dimana gerakan berada pada kedalaman tanah yang dipengaruhi oleh musiman perubahan kelembaban tanah dan suhu.
- ✚ Terus menerus, dimana tegangan geser terus menerus melebihi kekuatan bahan.
- ✚ Progresif, dimana lereng mencapai titik jenuh seperti yang jenis gerakan massa tanah yang lain.



Gambar 11. Gerakan Tanah *Creep* (Varnes, 1978)

6. Amblesan (*Subsidence*)

Penurunan muka tanah atau biasa disebut dengan amblesan tanah adalah sebuah peristiwa turunnya permukaan tanah yang disebabkan karena adanya perubahan volume lapisan batuan yang terkandung di bawahnya hal ini terjadi secara alamiah karna konsolidasi pada lapisan tanah dangkal dan lapisan tanah lunak ataupun karna penurunan tekanan air tanah pada sistem akuifer dibawahnya akibat pengaruh kegiatan manusia diatas permukaan dan pengambilan air tanah, amblesan juga terjadi pada permukaan din atas suatu tambang bawah tanah.



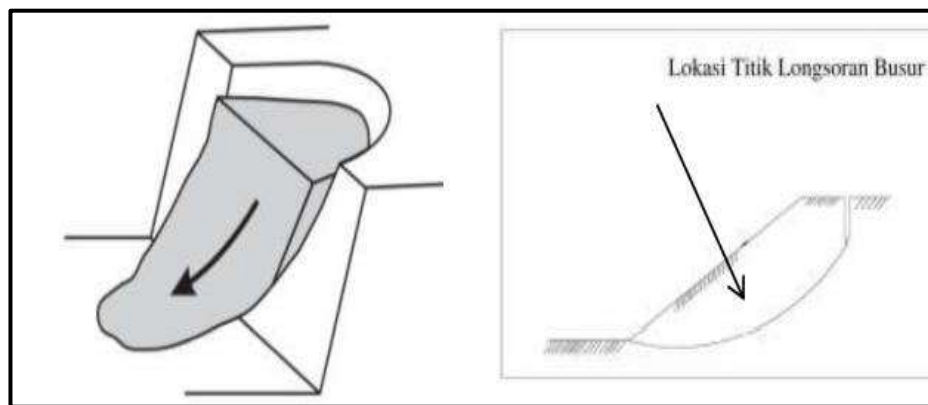
Gambar 12. Gerakan Tanah Subsidence (Prof. Dr. Ir. Irwandy Arif, M.Sc)

2.2.3. Longsoran pada Lereng Tambang

Berdasarkan kejadian – kejadian longsoran yang sering terjadi pada lereng tambang dapat dibagi menjadi 4 macam, Adapun longsoran tersebut dapat dilihat sebagai berikut :

1. Longsoran Busur (*Circular Failure*)

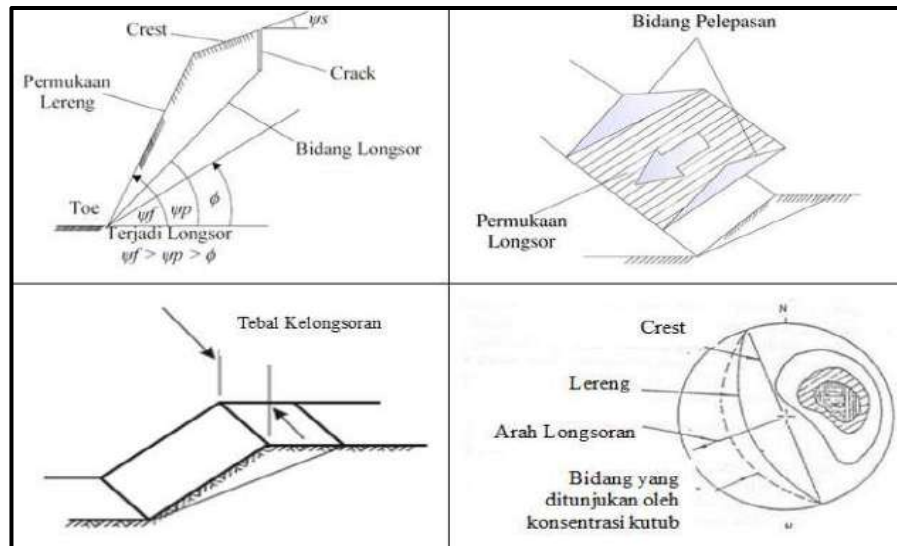
Longsoran ini banyak terjadi pada lereng tanah dan batuan lapuk atau sangat terkekarkan juga terdapat pada lereng-lereng timbunan. Bentuk bidang gelincir pada longsoran busur akan menyerupai busur bila digambarkan pada penampang melintang.



Gambar 13. . Longsoran Busur (Hoek & Bray, 1981)

2. Longsoran Bidang (*Plane Failure*)

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

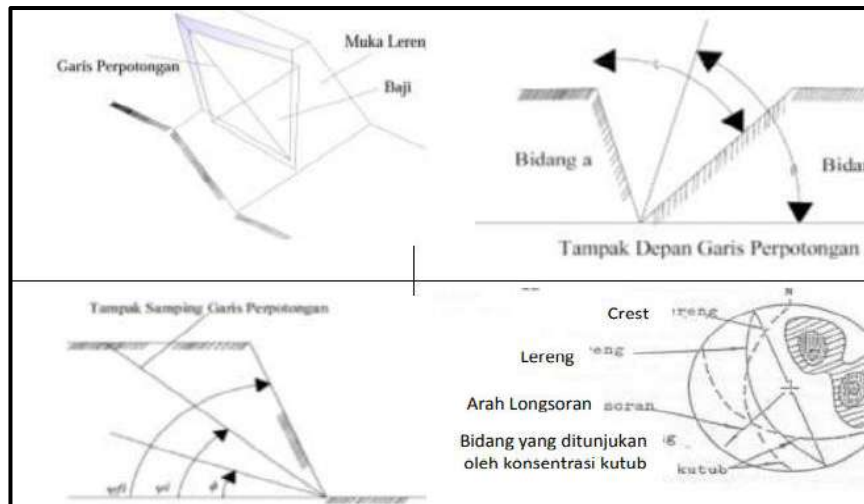


Gambar 14. Longsoror Bidang (Hoek & Bray, 1981)

3. Longsoror Baji (*Wedge Failure*)

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

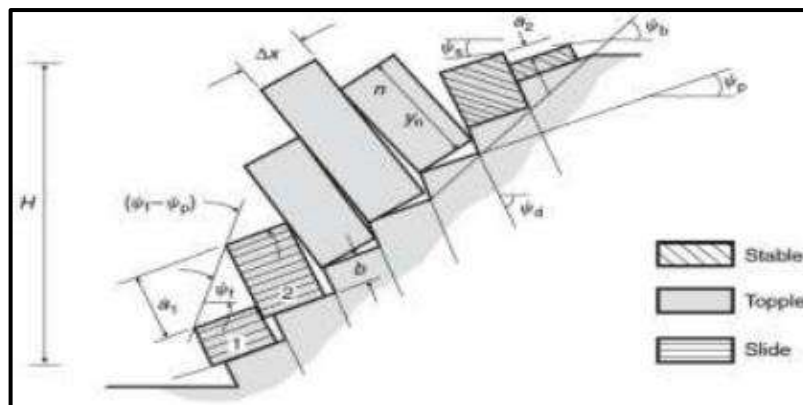
- Dua bidang berpotongan dalam satu garis.
- Kemiringan garis perpotongan kedua bidang harus lebih landai dibandingkan dengan kemiringan muka lereng dan lebih curam dari sudut gesek dalam rata-rata dua bidang lurus, $\phi_i > i$.
- Permukaan bidang lemah a dan bidang lemah b rata, tetapi kemiringan bidang lemah a lebih besar daripada bidang lemah b (Bidang yang mempunyai kemiringan lebih besar dinamakan bidang a dan sebaliknya bidang b).
- Kemiringan garis perpotongan harus menuju keluar muka lereng agar longsoror baji mungkin terjadi.



Gambar 15. Longsor Baji (Hoek & Bray, 1981)

4. Longsor Guling (*Toppling Failure*)

Longsor ini umumnya terjadi pada lereng yang terjal dan batuan yang keras, dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom. Longsor ini terjadi apabila bidang lemah yang terdapat pada lereng mempunyai kemiringan yang berlawanan dengan kemiringan lereng.



Gambar 16. Longsor Guling (Hoek & Bray, 1981)

2.2.4. Klasifikasi Longsor

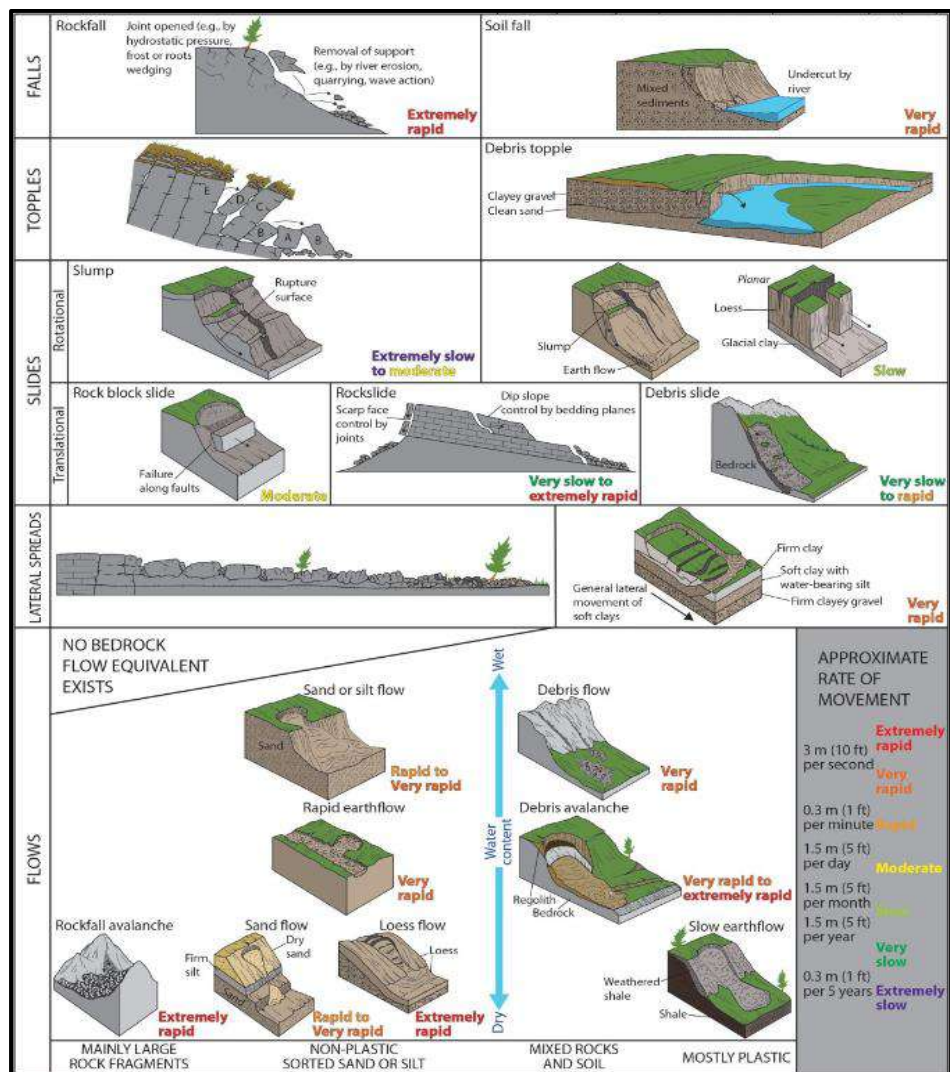
Berikut ini klasifikasi longsor menurut tipe gerakan tanah dan jenis materialnya serta klasifikasi laju kecepatan longsor.

Tabel 1. Klasifikasi gerakan tanah menurut (Varnes, 1978)

Jenis gerakan (type of movement)			Jenis Material (type of material)		
			Batuan dasar (bedrock)	Tanah keteknikan (engineering soils)	
				Bebas, butir kasar (freedom, coarse)	Berbutir halus (predominantly fine)
Jatuhan (falls)			Jatuhan batu (rock fall)	Jatuhan bahan rombakan (debris fall)	Jatuhan tanah (earth fall)
Jungkiran (topple)			Jungkiran batu (rock topple)	Jungkiran bahan rombakan (debris topple)	Jungkiran tanah (earth topple)
Gelindran (slides)	Rotasi	Satuan sedikit (few units)	Nendatan batu (rock slump)	Nendatan bahan rombakan (debris slump)	Nendatan tanah (earth slump)
	Translasi	Satuan banyak (many units)	Luncuran bongkah batu (rock block slide)	Luncuran bongkah bahan rombakan (debris block slide)	Luncuran bongkah tanah (earth block slide)
			Luncuran batu (rock slide)	Luncuran bahan rombakan (debris slide)	Luncuran tanah (earth slide)
Gerak horisontal / bentang lateral (lateral spreads)			Bentang lateral batu (rock spread)	Bentang lateral bahan rombakan (debris spread)	Bentang lateral tanah (earth spread)
Aliran (flow)			Aliran batu / rayapan dalam (rock flow / deep creep)	Aliran bahan rombakan (debris flow)	Aliran tanah (earth flow)
				Rayapan tanah (soil creep)	
Majemuk (complex)			Gabungan dua atau lebih gerakan (combination two or more movement)		

Tabel 2. Klasifikasi laju kecepatan longsor (Hansen,1978)

KECEPATAN	KETERANGAN
> 3 meter/detik	Ekstrem sangat cepat
3 meter/detik s.d. 0.3 meter/menit	Sangat Cepat
0.3 meter/menit s.d. 1.5 meter/hari	Cepat
1.5 meter/hari s.d. 1.5 meter/bulan	Sedang
1.5 meter/bulan s.d. 1.5 meter/tahun	Lambat
0.06 meter/tahun s.d. 1.5 meter/tahun	Sangat lambat
< 0.06 meter/tahun	Ekstrem sangat lambat

**Gambar 17.** Klasifikasi Gerakan Tanah (Varnes, 1978)

Tabel 3. Nilai Faktor Keamanan Dan Probabilitas Longsor Tambang (Kepmen ESDM No.1827 K/30/MEM Tahun 2018)

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

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

1. Tinggi bila ada konsekuensi terhadap:
 - a) Kematian manusia
 - b) Cidera berat manusia lebih dari 3 (tiga) orang
 - c) Kerusakan sarana dan prasarana pertambangan lebih dari 50% (lima puluh persen)
 - d) Terhentinya produksi lebih dari 24 (dua puluh empat) jam
 - e) Cadangan hilang dan tidak bisa diambil
 - f) Kerusakan lingkungan yang berdampak sampai ke luar wilayah IUP termasuk pemukiman.
2. Menengah bila ada konsekuensi terhadap:
 - a) Cidera berat manusia
 - b) Kerusakan sarana dan prasarana pertambangan dari 25% (dua puluh lima persen) sampai 50% (lima puluh persen)
 - c) Terhentinya produksi lebih dari 12 (dua belas) jam sampai kurang dari 24 (dua puluh empat) jam
 - d) Cadangan tertimbun tetapi masih diambil

- e) Kerusakan lingkungan di dalam wilayah IUP
- 3. Rendah bila ada konsekuensi terhadap:
 - a) Cidera ringan manusia
 - b) Kerusakan sarana dan prasarana pertambangan kurang dari 25%.
 - c) Terhentinya produksi kurang dari 12 (dua belas) jam.

2.2.5. Rancangan Lereng Tambang

Dengan kemampuan geologi dan geoteknik yang baik, dapat dibuat model lereng tambang, lereng timbunan, serta lereng daerah infrastruktur yang stabil dan juga penyesuaian terhadap perubahan rancangan apabila kenyataan di lapangan tidak sesuai dengan analisis yang dilakukan di awal. Sebelum perancangan lereng dibuat, sebaiknya dipertimbangkan terlebih dahulu proses-proses alam yang mungkin terjadi. Hal ini sejalan dengan pernyataan Bieniawski (1973) yang mengatakan bahwa dalam proses merancang (teknik) perlu diperhatikan metodologi pemecahan masalahnya. Dalam tahap-tahap penyelesaian masalah dan pembuatan keputusan terdapat 4 unsur penting, walaupun hal ini lebih sesuai untuk kasus lereng tambang yang tidak stabil. Adapun keempat unsur penting tersebut yaitu sebagai berikut :

1. Penilaian situasi (kategori lokasi)

Dalam melakukan penilaian situasi), seorang insinyur geoteknik harus dapat mengidentifikasi masalah), membuat prioritas, membuat tahap- tahap atau langkah-langkah perencanaan yang akan menghasilkan suatu rencana/rancangan akhir.

2. Analisis masalah (identifikasi mekanisme keruntuhan dan analisis)

Dalam menganalisis suatu masalah, seorang insinyur geoteknik harus mengetahui gambaran dari permasalahan yang ada, mengidentifikasi penyebab yang mungkin terjadi, mengevaluasi penyebab tersebut, dan menentukan penyebab sebenarnya.

3. Analisis keputusan (perancangan lereng)

Dalam membuat keputusan, seorang insinyur geoteknik harus dapat menjelaskan sasaran, memperkirakan/mengevaluasi alternatif yang ada,

memperkirakan risiko yang mungkin terjadi, dan membuat keputusan (menyelesaikan perancangan).

4. Analisis masalah yang mungkin terjadi

Analisis masalah ini dilakukan setelah diambil keputusan desain/rancangan lereng apa yang akan digunakan dalam menyelesaikan permasalahan sebelumnya. Dalam hal ini seorang insinyur geoteknik harus dapat mengidentifikasi masalah yang paling mungkin terjadi, mengidentifikasi penyebabnya, serta melakukan tindakan pencegahan yang seluruhnya dilaksanakan sesuai dengan rencana yang telah dibuat.

2.3. Disposal Area

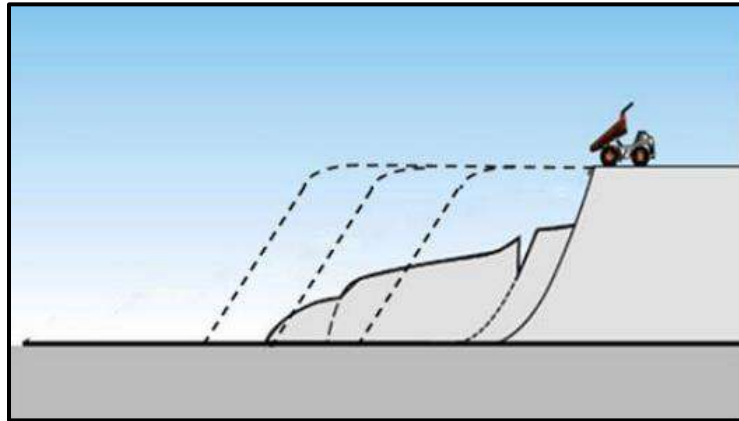
Disposal sering disebut juga sebagai *dump site*, *spoil dump*, *spoil disposal*, dan disposal *dump*. Disposal merupakan timbunan material tidak berharga, baik itu material dengan kadar rendah atau lapisan penutup atau *overburden* yang ditempatkan disuatu tempat dekat dengan lokasi penambangan. Disposal dibentuk berdasarkan jumlah material *overburden* yang akan dipindahkan. Dalam jumlah material ini ditentukan oleh nisbah pengupasan yang telah ditentukan

Lokasi dan bentuk dari disposal akan berpengaruh terhadap jumlah gilir truk, biaya operasi dan jumlah truk dalam satu armada yang diperlukan. Pada umumnya daerah yang diperlukan untuk disposal luasnya berkisar antara 2–3 kali dari daerah penambangan (pit). Hal ini berdasarkan pertimbangan diantaranya; Material yang telah dibongkar (*loose material*) berkembang 30 – 45 % dibandingkan dengan material *in situ*. Sudut kemiringan untuk suatu *dump* umumnya lebih landai dari pit. Material pada umumnya tidak dapat ditumpuk setinggi kedalaman dari pit. Dalam perancangannya terdapat beberapa jenis disposal yang tergantung terhadap kondisi yang dihadapi di lapangan. Jenis-jenis disposal, yaitu sebagai berikut :

a) *Valley Fill/Crest Dumps*

Pada jenis disposal *Valley Fill*, material *overburden* akan ditumpahkan dari tebing dan akan diratakan dengan menggunakan bulldozer setelah tinggi material sama dengan tinggi tebing pembuangan.

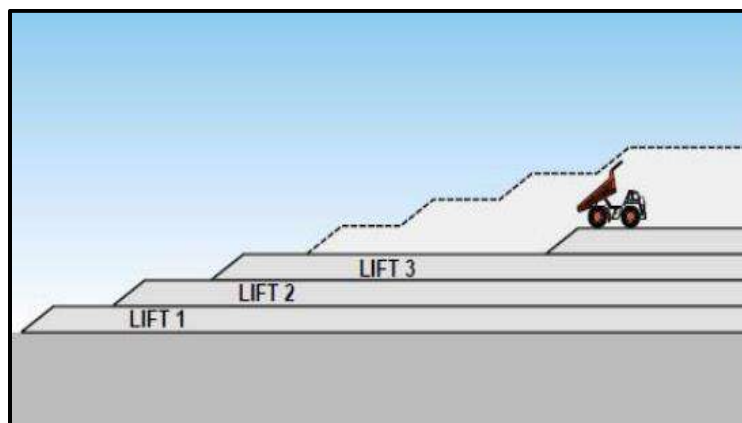
Pada jenis timbunan ini dapat diterapkan di daerah yang mempunyai topografi curam. Dalam praktiknya timbunan ini dapat menimbulkan terbentuknya lahan yang tidak stabil terutama material lunak apabila terjadi curah hujan yang tinggi dan membutuhkan usaha yang besar dalam memadatkan material.



Gambar 18. Penimbunan *Valley Fill/Crest Dumps* (Mitrabara Adiperdana 2013)

b) *Terraced Dump*

Pada metode *terraced dump*, timbunan dibangun dari bawah ke atas dengan membentuk beberapa jenjang penimbunan. Jenjang-jenjang berikutnya terletak lebih ke belakang sehingga sudut lereng keseluruhan *overall slope* mendekati yang dibutuhkan untuk reklamasi. Dalam perencanaannya, semua lapisan penimbunan paling tidak terkena pemadatan dari beberapa truck yang membuat timbunan lebih stabil



Gambar 19. Penimbunan *Terraced Dump* (Mitrabara Adiperdana 2013)

2.4. Pengeboran Geoteknik

Pengeboran geoteknik dilakukan untuk mengetahui strata atau perlapisan tanah dan batuan di bawah permukaan bumi, jenis, serta kondisi tanah dan batuan pada daerah yang akan diteliti. Hasil pengeboran akan disusun dalam bentuk *bor-log*. Informasi yang dapat diperoleh dari *bor-log* tersebut diantaranya :

1. Elevasi

Elevasi permukaan tanah akan menjadi hitungan kedalaman untuk mengambil contoh (sampel) tanah, melakukan uji SPT (*Standard Penetration Test*), mengetahui muka air tanah, dan sebagainya.

2. Kedalaman

Kedalaman lubang bor penting untuk mengetahui pergantian jenis tanah dan batuan dan posisi atau elevasi dimana diperlukan pengambilan contoh tanah dan batuan sesuai dengan rencana kerja dan uji SPT (*Standard Penetration Test*). Pada bor batuan, kedalaman juga diperlukan untuk mendeskripsikan terjadinya anomali geologi atau munculnya struktur geologi yang kompleks.

3. Deskripsi tanah dan batuan

Deskripsi tanah dan batuan dilakukan secara visual dari contoh tanah dan batuan yang diperoleh. Akurasi dari deskripsi ini sangat ditentukan oleh profesionalisme dan pengalaman dari *bor master*.

4. Titik pengambilan contoh tanah dan batuan

Pengambilan contoh tanah dan batuan dilakukan dengan interval tertentu. Titik pengambilan contoh tanah dan batuan akan diikat dengan elevasi muka tanah titik bor.

5. Contoh yang diperoleh (*Sample recovery*)

Merupakan panjang contoh tanah dan batuan yang diperoleh dengan suatu metode yang telah teruji. Panjang *sample recovery* tidak selalu sama dengan panjang tabung yang digunakan. Oleh karena itu, sebelumnya harus dipersiapkan dahulu satu tabung dengan panjang yang cukup untuk dapat

mengambil keperluan semua uji yang ditetapkan untuk menjaga homogenitas contoh tanah dan batuan

6. Simbol tanah dan batuan

Simbol diperlukan untuk membedakan jenis tanah dan batuan yang didapatkan dari lubang bor.

7. Penetrasi

Nilai penetrasi mencerminkan nilai SPT terkoreksi (N_{60}), yaitu jumlah pukulan yang diperlukan untuk menembus suatu lapisan tanah setebal 30cm dengan alat uji SPT. Nilai ini akan mencerminkan tingkat kekerasan suatu lapisan tanah.

2.4.1. Pengambilan Contoh Inti (*Core Sampling*)

Pengambilan contoh inti diperoleh dari pengeboran inti. Contoh inti biasanya dibelah dua, satu bagian untuk *assay* dan bagian lainnya untuk dokumentasi geologi. Lubang bor biasanya dialiri fluida untuk mengeluarkan *cutting* dalam bentuk *sludge*. Tingkat ketelitian *drill core* tergantung pada *core recovery* yang didapatkan. Tingkat ketelitian *cutting* pengeboran relatif lebih rendah, baik kadar (akibat *salting*) maupun posisi kedalaman (akibat *lifting capacity*). Beberapa kesalahan yang biasa terjadi terkait pengeboran :

1. Inklinasi (kemiringan) lubang bor yang tidak sesuai kemiringan lapisan
2. *Core recovery* yang kurang baik
3. Pemilihan interval pengambilan contoh yang kurang sesuai
4. Kesalahan pada preparasi sampel
5. Penanganan *core* yang kurang baik

2.4.2. Metode Pengujian Laboratorium

Untuk selanjutnya, contoh inti *core sample* dikirim ke laboratorium untuk dilakukan pengujian sifat fisik dan sifat mekanik tanah dan batuan. Berikut ini beberapa metode pengujian laboratorium yaitu :

1. Uji sifat fisik dasar (ISRM, 1981)

Menentukan sifat fisik dasar batuan yang meliputi kepadatan atau densitas (asli, jenuh, kering), berat jenis (asli, semu), kadar air, derajat kejenuhan, porositas, dan angka pori.

2. Uji kuat tarik langsung (ISRM, 1981)

Mengetahui kuat tarik (*tensile strength*) dari contoh batuan secara tidak langsung.

3. *Uniaxial compressive strength test* (ISRM, 1981)

Mengukur kekuatan tekanan batuan terhadap gaya aksial dan mendapatkan *modulus* elastisitas serta nisbah *Poisson*. Pengujian triaksial menjadi pengujian yang efektif karena uji *triaxial* memiliki beberapa kelebihan dalam pengukuran kekuatan geser tanah. Alat triaksial dapat dipakai juga untuk mengukur sifat permeabilitas atau konsolidasi

4. Uji *Triaxial* (ISRM, 1981)

Menentukan kekuatan tekan batuan yang diberi tegangan dari tiga arah, mendapatkan selubung kekuatan batuan, kohesi, dan sudut gesek dalam batuan.

5. Uji geser langsung (ISRM, 1981)

Mengukur kekuatan geser batuan terhadap gaya lateral yang bekerja, serta mengetahui parameter kekuatan batuan, yaitu kohesi dan sudut gesek dari dalam bidang pecah karena geseran.

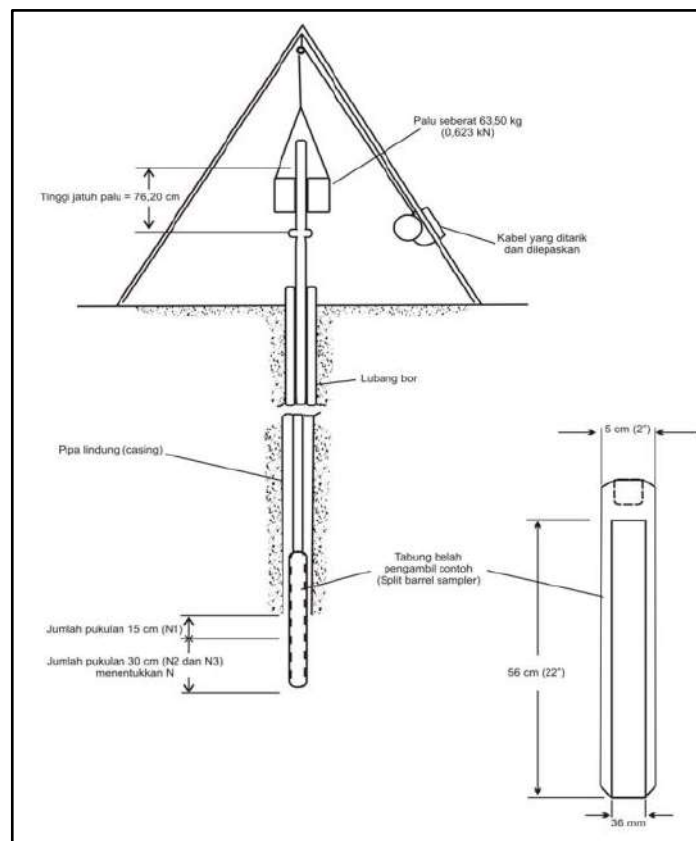
6. Uji *point load strength indeks* (ISRM, 1981)

Mengukur kekuatan batuan terhadap beban terkonsentrasi

2.5. Standar *Penetration Test* (SPT)

SPT adalah suatu metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal.

Dalam sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap. Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, sementara jumlah pukulan untuk memasukkan tahap kedua dan ketiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT (dinyatakan dalam pukulan/0,3 m). Detail alat dapat dilihat pada gambar 20 berikut ini.



Gambar 20. Alat Penetrasi Dengan SPT (SNI 4153.2008)

Banyaknya pukulan palu tersebut untuk memasukkan tabung sampel sedalam 30 dinyatakan sebagai nilai N. Pelaksanaan dilakukan dalam tiga tahap yang mana tahap pertama merupakan dudukan sementara Jumlah pukulan untuk memasukkan tahap kedua dan ketiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT dinyatakan dalam pukulan per 30 cm. Secara bertahap, percobaan SPT ini dilakukan dengan cara berikut :

- a) Siapkan peralatan SPT yang dipergunakan seperti: mesin bor, batang bor, *split spoon sampler*, *hammer*, dan lain-lain.
- b) Lakukan pengeboran sampai kedalaman testing, lubang dibersihkan dari kotoran hasil pengeboran dari tabung segera dipasangkan pada bagian dasar lubang bor.
- c) Berikan tanda pada batang setiap 15cm dengan total 45 cm.
- d) Dengan pertolongan mesin bor, tumbuklah batang bor ini dengan pukulan palu seberat 63,5 kg dan ketinggian jatuh 76 cm hingga kedalaman yang dihasilkan, dicatat jumlah pukulan untuk memasukkan penetrasi setiap 15 cm (*N value*).
- e) Maka total jumlah pukulan adalah N_2 dengan N_3 yaitu $6+7=13$ pukulan sama dengan nilai N . N_1 tidak diperhitungkan karena dianggap 15 cm pukulan pertama merupakan sisa kotoran pengeboran yang tertinggal pada dasar lubang bor, sehingga perlu dibersihkan untuk memperkecil efisiensi gangguan.
- f) Hasil pengambilan contoh tanah dari tabung tersebut dibawa ke permukaan dan dibuka. Gambarkan contoh jenis-jenis tanah yang meliputi komposisi, struktur, konsistensi, warna dan kemudian masukkan kedalam botol tanpa dipadatkan atau kedalam plastik, lalu kedalam *core box*.

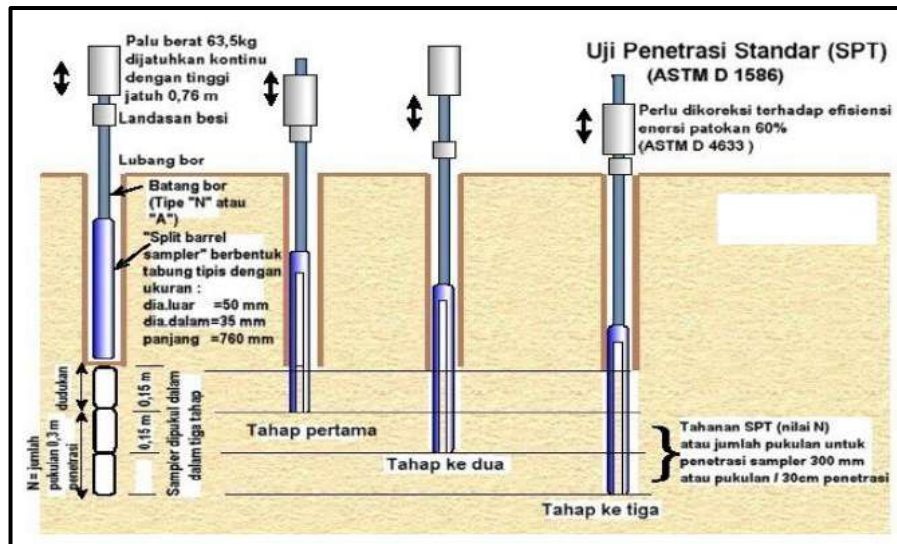
Skema Pengujian SPT dapat dilakukan dengan beberapa faktor yang berpengaruh terhadap gaya dan kekuatan tumbukan yang diberikan sebagai berikut:

- a) Dengan menggunakan *hammer* yang berbeda ternyata mentransfer energi yang berbeda juga
- b) Dengan tipe panjang tabung *rod* yang berbeda akan menyebabkan pengaruh energi yang ditransfer juga berbeda
- c) Dengan tinggi jatuh yang berbeda, akan mempengaruhi besarnya energi *hammer* yang berbeda yang ditransfer ke batang
- d) Tali yang telah lapuk dapat mengurangi kelancaran terjadinya tinggi jatuh bebas
- e) Tali yang telah lapuk dapat mengurangi kelancaran terjadinya tinggi jatuh beban.

2.6. Prosedur pengujian

Adapun prosedur pengujian yang dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Lakukan pengujian pada setiap perubahan lapisan tanah atau pada interval sekitar 1,50 m Sampai dengan 2,00 m atau sesuai keperluan
2. Tarik tali pengikat palu / *hammer* sampai pada tanda yang telah dibuat sebelumnya (kira-kira 75 cm)
3. Lepaskan tali sehingga palu jatuh bebas menimpa penahan
4. Ulangi 2) dan 3) berkali-kali sampai mencapai penetrasi 15 cm
5. Hitung jumlah pukulan atau tumbukan N pada penetrasi 15 cm yang pertama.
6. Ulangi 2), 3), 4) dan 5) sampai pada penetrasi 15 cm yang ke-dua dan ke-tiga
7. Catat jumlah pukulan N pada setiap penetrasi 15 cm: 15 cm pertama dicatat N1; 15 cm ke-dua dicatat N2; 15 cm ke-tiga dicatat N3; Jumlah pukulan yang dihitung adalah $N2 + N3$. Nilai N1 tidak diperhitungkan karena masih kotor bekas pengeboran
8. Bila nilai N lebih besar daripada 50 pukulan, hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter
9. Catat jumlah pukulan pada setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah batuan.



Gambar 21. Skema Pengujian Penetrasi Standar (SPT) Pada Lubang Bor (SNI 4153.2008)

2.7. Klasifikasi Nilai Standar Penetration Test

Berikut ini klasifikasi nilai SPT yang berhubungan dengan jumlah tumbukan terhadap kerapatan material tanah dan batuan.

Tabel 4. Penetration Test Terhadap Jumlah Tumbukan (SNI 4153.2008)

Nilai N I	Kerapatan Relatif (Dr)
<4	Sangat Tidak Padat
4-10	Tidak Padat
10-30	Kepadatan sedang
30-50	Padat
>50	Sangat Padat

2.8. Pengaruh Kegempaan Terhadap Kestabilan Lereng

Gempa bumi maupun getaran yang ditimbulkan oleh aktivitas alat berat, lalu lintas kendaraan, dan kegiatan peledakan mengirimkan percepatan gelombang seismik yang merambat melalui tanah/batuan. Penjalaran gelombang seismik ini

bersifat sementara yang secara cepat dapat mengakibatkan menurunnya tegangan geser pada lereng, menimbulkan rekahan pada massa tanah/batuan. Akibatnya terjadi penurunan kekuatan lereng.

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

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

W_s : Berat beban yang potensial mengalami longsor

K_h : Koefisien percepatan seismik arah horizontal

K_v : Koefisien percepatan seismik arah vertical

Sehingga kondisi keseimbangan batas yang dipengaruhi oleh gelombang seismik adalah:

Hoek & Bray, 1981

$$W_s (\sin \psi + k_H \cos \psi) = c.A + W_s (\cos \psi - k_H \sin \psi) \tan \phi \quad (1)$$

W_s : Berat beban yang potensial mengalami longsor (ton)

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

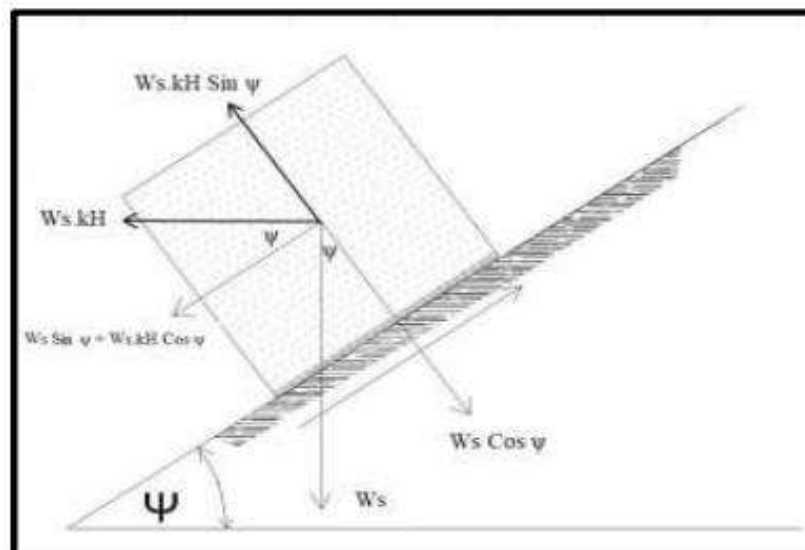
c : Kohesi (kPa)

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

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

ϕ : Sudut gesek dalam ($^\circ$)

Faktor keamanan dihitung dengan menggunakan persamaan (1) sebagai salah satu gaya penggerak dan gaya penahan pada metode perhitungan faktor keamanan yang digunakan.



Gambar 22. Distribusi Gaya-gaya Akibat Pengaruh Beban Seismik (Hoek & Bray, 1981)

2.9. Kestimbangan Batas Limit Equilibrium

LEM atau Limit Equilibrium *Method* adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya. Metode analisis ini pertama-tama mengasumsikan bidang kelongsoran yang dapat terjadi. Terdapat dua asumsi bidang kelongsoran, yaitu bidang kelongsoran berbentuk circular dan bidang kelongsoran berbentuk *non-circular* atau bisa juga disebut *planar*. Analisa keseimbangan batas juga merupakan analisis dengan menghitung besarnya kekuatan geser yang diperlukan untuk mempertahankan kestabilan. Lereng dapat mengalami keruntuhan dengan jenis yang berbeda-beda dan bisa lebih dari satu tipe keruntuhan. Jenis keruntuhan dari seperti bidang datar, baji, dan lingkaran dapat dianalisis berdasarkan nilai faktor keamanan dengan metode kesetimbangan batas. Tetapi untuk keruntuhan

yang lebih rumit, metode penentuan faktor keamanan ini menjadi tidak tepat digunakan.

Kondisi batas akan tercapai apabila perbandingan antara gaya yang mendorong (FD) dan gaya yang menahan (FR) sama dengan satu, yaitu:

$$\text{Arif Irwandy, 2016} \quad FS = \frac{\sum FR}{\sum FD} \quad (2)$$

Dari perbandingan tersebut didapatkan faktor keamanan (FS) yang merupakan nilai kestabilan lereng. Nilai kestabilan lereng menggunakan metode keseimbangan batas dapat ditentukan untuk nilai $FS > 1$ berarti lereng dalam kondisi stabil. Sebaliknya, lereng cenderung runtuh bila $FS < 1$.

2.10. Analisis Lereng Dengan Metode *Morgenstren-Price*

Metode ini adalah salah satu metode yang berdasarkan prinsip kesetimbangan batas yang dikembangkan oleh *Morgenstern* dan *Price* pada tahun 1965, dimana proses analisisnya merupakan hasil dari kesetimbangan setiap gaya-gaya normal dan momen yang bekerja pada tiap irisan dari bidang kelongsoran lereng tersebut baik gaya. Dalam metode ini, dilakukan asumsi penyederhanaan untuk menunjukkan hubungan antara gaya geser di sekitar irisan (X) dan gaya normal di sekitar irisan (E) dengan persamaan Morgenstern-Price (1965).

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E$$

Gaya-gaya yang bekerja pada pada tiap irisan bidang kelongsoran ditunjukkan pada Persamaan yang berlaku adalah :

$$P = \frac{[W_n - (X_R - X_L) - (c'(\sin a - ul \tan \phi' \sin a))]}{\cos a (1 + \tan a \frac{\tan \phi'}{E}} \quad (3)$$

Dimana:

P : Gaya normal

C' : Kohesi

W_n : Gaya akibat beban tanah ke-n α = sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat busur bidang longsor

ϕ : Sudut geser tanah (jika dalam kondisi *undrained* nilai sudut geser 0)

u : Tekanan air pori

X_L, X_R : Gaya gesek yang bekerja di tepi irisan

Dalam metode ini analisa faktor keamanan dilakukan dengan dua prinsip yaitu kesetimbangan momen (F_m) dan kesetimbangan gaya (F_f). Faktor keamanan dari prinsip kesetimbangan momen adalah untuk bidang kelongsoran *circular* :

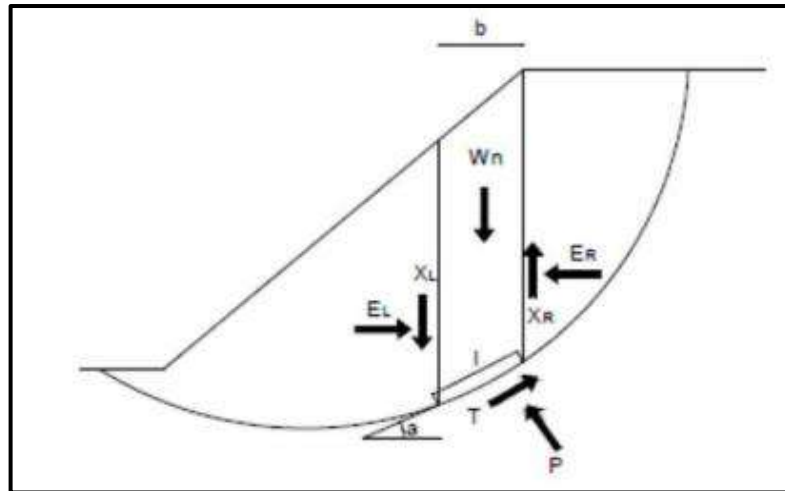
$$F_m = \frac{\sum (c' l + (p - ul) \tan \phi')}{\sum W \sin \alpha}$$

Dan nilai faktor keamanan dengan prinsip kesetimbangan gaya:

$$F_f = \frac{\sum [(c' l + (p - ul) \tan \phi') \cos \alpha]}{\sum P \sin \alpha}$$

Pada proses iterasi pertama, gaya geser di sekitar irisan (X_L dan X_R) diasumsikan nol. Kemudian pada proses iterasi selanjutnya gaya tersebut didapatkan dari rumus :

$$(E_R - E_L) = P \sin \alpha - \frac{1}{F} [c' + (P - ul) \tan \phi'] \cos \alpha$$



Gambar 23. Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Irisan Bidang Kelongsoran Metode *Morgenstern-Price* 1965

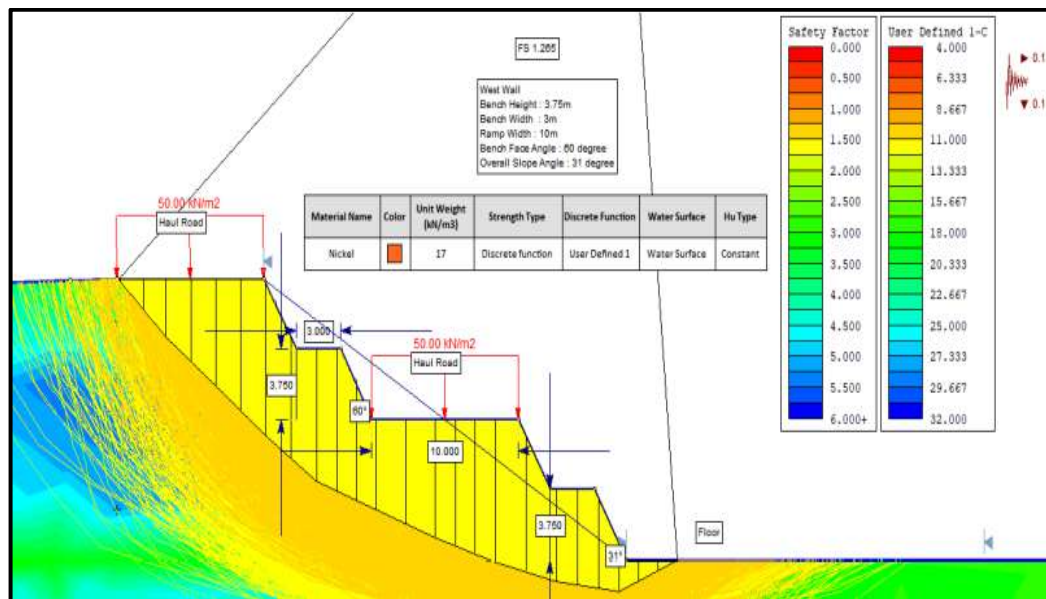
2.11. Aplikasi *Rocscience Slide* 6.0

Rocscience Slide adalah salah satu *software* geoteknik yang mempunyai spesialisasi sebagai *software* perhitungan kestabilan lereng. Pada dasarnya *Rocscience Slide* adalah salah satu program di dalam paket perhitungan geoteknik *Rocscience* yang terdiri dari *Swedge*, *Roclab*, *Phase2*, *RocPlane*, *Unwedge*, dan *Roc Data*.

Secara umum langkah analisis kestabilan lereng dengan *Rocscience Slide* adalah pemodelan, identifikasi metode dan parameter perhitungan, identifikasi material, penentuan bidang gelincir, kalkulasi, dan interpretasi nilai FS dengan *software* komplemen *Slide* bernama *Slide Interpret*.

Analisis kestabilan lereng mempunyai tingkat kerumitan yang cukup tinggi dan mempunyai banyak variabel. Selain itu akurasi kestabilan lereng juga sangat dipengaruhi oleh akurasi parameter yang dimasukkan terkait kondisi sebenarnya. Perhitungan detail dan unsur ketidak pastiannya cukup besar (diwakili oleh parameter *probaility*) sehingga jika perhitungan dilakukan manual akan memakan waktu yang cukup lama dan akurasinya pun tidak maksimal. Oleh karena itu analisis kestabilan lereng semakin banyak digunakan di dunia industri maupun

pendidikan. Tetapi yang menjadi syarat utama seseorang sebelum menggunakan *software* adalah pemahaman terhadap konsep perhitungan tersebut.



Gambar 24. Desain Lereng Dan Pengolahan Data Menggunakan Aplikasi Rocscience Slide 6.0

2.12. Faktor Keamanan Lereng

Mengingat lereng terbentuk oleh banyaknya variabel 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 kekuatannya. 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 hal ini merupakan kondisi FK $1,07 < 1,25$ tetap tidak dikehendaki, karena apabila terjadi pengurangan gaya penahan atau penambahan gaya penggerak sekecil apa pun, lereng akan menjadi tidak stabil dan rawan terjadi longsor. Oleh karena itu, nilai FS selalu dibuat lebih dari 1,25.

Tabel 5. Nilai Faktor Keamanan Lereng (Ringkasan FK Kepmen No.1827 Tahun 2018)

Nilai Faktor Keamanan	Keterangan
$FK < 1,07$	Kelas Lereng Labil
FK Antara 1,07-1,25	Kelas Lereng Kritis
$FK > 1,25$	Kelas Lereng Stabil

Lereng yang stabil memiliki harga FK yang tinggi dan lereng yang tidak stabil memiliki harga FK yang rendah. Faktor keamanan lereng tersebut harganya tergantung pada besaran ketahanan geser dan tegangan geser, dimana keduanya bekerja saling berlawanan arah di sepanjang bidang gelincir. Bidang gelincir tersebut terletak pada zona terlemah didalam tubuh lereng. Jika harga $FK = 1,07$ maka longsor akan berhenti jika ketahanan geser batuan penyusun mampu menopang geometri lereng yang baru yang lebih landai dan faktor keamanannya menjadi lebih tinggi.