

TUGAS AKHIR
ANALISIS GEOMETRI LERENG PADA RUAS JALAN
SICINCIN-MALALAK KM 33 KECAMATAN MALALAK KABUPATEN
AGAM PROVINSI SUMATERA BARAT

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
dalam Menyelesaikan Program S-1 Teknik Pertambangan*



Oleh
WELLY HANDA NURAGA
NIM. 1206365/2012

Konsentrasi : Pertambangan Umum
Program Studi : S1 Teknik Pertambangan
Jurusan : Teknik Pertambangan

PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK PERTAMBANGAN
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2018

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS GEOMETRI LERENG PADA RUAS JALAN SICINCIN-MALALAK KM 33 KECAMATAN MALALAK KABUPATEN AGAM PROVINSI SUMATERA BARAT

Nama : Welly Handa Nuraga
NIM/BP : 1206365/2012
Program Studi : S1 Teknik Pertambangan
Fakultas : Teknik

Padang, 15 Agustus 2018

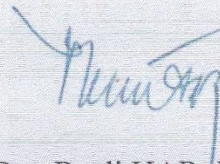
Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I



Drs. Raimon Kopa, M.T.
NIP.19580313 198303 1 001

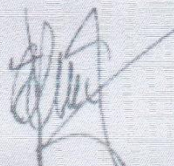
Pembimbing II



Drs. Rusli HAR, M.T.
NIP. 19630316 199010 1 001

Mengetahui,

**Ketua Jurusan Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang**



Drs. Raimon Kopa, M.T.
NIP. 19580313 198303 1 001

LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI

Dinyatakan Lulus Setelah Mempertahankan Tugas Akhir di Depan Tim Penguji
Program Studi S1 Teknik Pertambangan Jurusan Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

Dengan Judul :

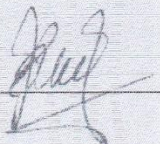
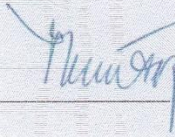
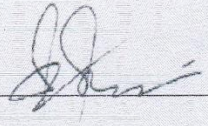
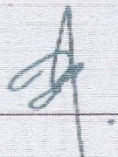
Judul : Analisis Geometri Lereng Pada Ruas Jalan Sicincin-Malalak KM 33
Kecamatan Malalak Kabupaten Agam Provinsi Sumatera Barat
Nama : Welly Handa Nuraga
NIM/BP : 1206365/2012
Program Studi : S1 Teknik Pertambangan
Fakultas : Teknik

Padang, 15 Agustus 2018

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. Ketua : Drs. Raimon Kopa, M.T
2. Sekretaris : Drs. Rusli HAR, M.T.
3. Anggota : Dr. Rijal Abdullah, M.T.
4. Anggota : Adree Octova S.Si., M.T.

1. 
2. 
3. 
4. 



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN

Jl. Prof Dr. Hamka Kampus UNP Air Tawar Padang 25131

Telephone: FT: (0751)7055644, 445118 Fax. 7055644

Homepage: <http://pertambangan.ft.unp.ac.id> E-mail : mining@ft.unp.ac.id

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : WELLY HANDA NUPAGA
NIM/TM : 1206365/2012
Program Studi : SI
Jurusan : Teknik Pertambangan
Fakultas : FT UNP

Dengan ini menyatakan, bahwa Tugas Akhir/Proyek Akhir saya dengan Judul :

" ANALISIS GEOMETRI LERENG PADA RUAS JALAN SICINCIN - MALACAT KM 33
KECAMATAN MALACAT KABUPATEN AGAM PROVINSI SUMATERA BARAT "

Adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain.
Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di Institusi Universitas Negeri Padang maupun di masyarakat dan negara.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Diketahui oleh,
Ketua Jurusan Teknik Pertambangan

Drs. Raimon Kopa, M.T.
NIP. 19580313 198303 1 001

Padang, 16 Agustus 2018.

yang membuat pernyataan,

WELLY HANDA NUPAGA



BIODATA**I. Data Diri**

Nama Lengkap : Welly Handa Nuraga
NIM/BP : 1206365 / 2012
Tempat / Tanggal Lahir : Pontianak / 21 September 1994
Jenis Kelamin : Laki-laki
Nama Ayah : Hasan Bahrnun
Nama Ibu : Siti Sa'diah
Jumlah Bersaudara : 3 (tiga)
Alamat Tetap / Telp : Komp. Wisma Indah III, Blok. H.12,
Parupuk Tabing, Padang /
+62 853 4503 9056

**II. Data Pendidikan**

Sekolah Dasar : SDN 09 Sungai Durian
Sekolah Menengah Pertama : SMP Islam Imaduddin
Sekolah Menengah Atas : SMA Pertiwi 1 Padang
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Padang

III. Tugas Akhir

Lokasi Penelitian : Ruas Jalan Sicincin-Malalak KM 33
Tanggal Penelitian : 02 Mei 2017 - 21 Juli 2017
Judul Tugas Akhir : *Analisis Geometri Lereng Pada Ruas
Jalan Sicincin-Malalak KM 33 Kabupaten
Agam Provinsi Sumatera Barat*

RINGKASAN

Ruas jalan Sicincin-Malalak merupakan jalan lintas alternatif yang sering mengalami kelongsoran dan dapat mengancam keselamatan nyawa pengguna jalan. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis perbaikan geometri lereng untuk mendapatkan rekomendasi geometri lereng aman yang layak agar tidak terjadi kelongsoran. Pada kasus ini, lereng di lokasi penelitian memiliki ketinggian lereng 17,83 m dengan kemiringan lereng 49° , lereng tersebut tersusun atas 3 lapisan material tanah, yaitu *top soil*, *clay*, dan *tuff*. Setelah dilakukan pengujian lereng tersebut dinyatakan tidak aman. Kemantapan geometri lereng pada ruas jalan Sicincin-Malalak di KM 33 dianalisis dengan menggunakan metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*) dengan menggunakan bantuan *software* tambang dan kemudian dilakukan perhitungan keamanan lereng secara manual dengan menggunakan metode *Fellenius* dan metoda Hoek and Bray (1981). Longsoran pada bukit di KM 33 ini diasumsikan sebagai longsoran busur (*circular failure*) karena longsoran pada lereng membentuk setengah lingkaran. Penentuan aman atau tidaknya lereng di lokasi penelitian berpedoman pada Surat Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Tahun 1987. Yang mengusulkan lereng jalan dapat dinyatakan aman jika mempunyai nilai keamanan lereng tanpa gempa di atas 1,35. Sedangkan untuk kondisi dengan gempa, nilai keamanan dari lereng harus berada diatas 1,2. Hasil perhitungan dan analisis merekomendasikan untuk lereng jalan Sicincin-Malalak di KM 33 dengan ketinggian lereng 17,83 m dengan uji coba pelandaian setiap 5° dari kemiringan awal lereng sebesar 49° . Setelah dilakukan analisis perbaikan geometri untuk kemiringan 49° , 44° , 39° dan 34° , lereng dengan kemiringan 34° menjadi rekomendasi karena memiliki nilai keamanan diatas 1,35, panjang lereng 31,625 m dan lereng tersebut dinyatakan aman.

Kata kunci : *Stabilitas Lereng, Longsor, Kesetimbangan Batas, Software Tambang, Metode Fellenius, Diagram Hoek and Bray*

ABSTRACT

The Sicincin-Malalak road section is an alternative crossing that often experiences slides and can threaten the safety of the lives of road users. Therefore, it is necessary to analyze the improvement of slope geometry to get a safe slope geometry recommendation that is feasible so that there is no slippage. In this case, the slope at the study site has a slope height of 17.83 m with a slope of 49 °, the slope is composed of 3 layers of soil material, was top soil, clay, and tuff. After doing the test, the slope is declared unsafe. The slope geometry stability on the Sicincin-Malalak road section on KM 33 was analyzed using the limit equilibrium method by using mining software and then manually calculating the slope safety using the Fellenius method and testing using Hoek and Bray diagrams (1981). Type of the failure on the hill in KM 33 was an arc landslide (circular failure) because the landslide on the slope forms is a semicircle. Determination of the safe or not slope in the study location is guided by the Decree of the Minister of Public Works in 1987. Who proposes the road slope can be declared safe if it has a slope safety value without an earthquake above 1.35. As for conditions with earthquakes, the safety value of the slope must be above 1.2. Trial slope testing at the study site was carried out by slope slope every 5 ° from the slope of the 49 ° slope. The slope is then assumed under various conditions, it was dry, natural, saturated, and earthquake for slope of 44 °, 39 ° and 34 °. After analyzing and calculations using various methods, the slope with a 34 ° slope is a recommendation because it has a security value above 1.35 for conditions without earthquakes, the slope length is 31.625 m and the slope is declared safe. The results of the tests are expected to be recommendations for preventing landslides.

Keywords : Slope Stability, Landslide, Limit Equilibrium Method, Mining Software, Fellenius Method, Hoek and Bray Method

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai seorang mahasiswa S1 Teknik Pertambangan yang berjudul ***“Analisis Geometri Lereng pada Ruas Jalan Sicincin-Malalak KM 33 Kabupaten Agam Provinsi Sumatera Barat”***. Meskipun terlambat dari waktu yang seharusnya ditentukan, penulis berusaha memberikan usaha yang terbaik dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini dibuat dengan tujuan sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik untuk Jurusan Teknik Pertambangan di Universitas Negeri Padang.

Tugas Akhir ini disusun berdasarkan pengalaman penulis selama melaksanakan penelitian di daerah Sicincin-Malalak serta yang penulis peroleh dari referensi pustaka dan ilmu yang penulis peroleh dari dosen pengajar dan berbagai pihak selama menempuh masa studi. Selama menyusun Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kepada kedua orang tua penulis yang senantiasa membantu penulis, Ibunda tercinta Siti Sa’diah dan Ayahanda Hasan Bahrin.
2. Kepada Ayah Medis Chan dan Bunda Ermiati yang telah banyak membantu penulis hingga saat ini.
3. Bapak Drs. Raimon Kopa, M.T, sebagai Ketua Jurusan Teknik Pertambangan FT UNP sekaligus sebagai Pembimbing I penulis.
4. Bapak Drs. Rusli HAR, M.T. sebagai pembimbing II penulis yang telah memberikan pengalaman yang luar biasa kepada penulis

5. Ibu Dr. Fadhillah, S.Pd, M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademis.
6. Bapak Dr. Rijal Abdullah, M.T. sebagai penguji sidang tugas akhir penulis
7. Bapak Adree Octova, S.Si., M.T., sebagai penguji tugas akhir penulis.
8. Kepada seluruh keluarga besar penulis yang telah banyak membantu penulis dan memberi semangat, terkhusus kepada kakak perempuan saya, Devi Handarita dan kakak laki-laki saya Denny Handa Rezwana dan Lukita Hendra.
9. Kepada Tante Njung (Zulfah Aini), Mbah Putri, Pak Eem, Desti Pratiwi, Erwin Muharja, Rizky Oktaviani Putri, Om Uji, Tante Ayi, dan Tante Lili yang telah banyak membantu penulis
10. Kepada Fatra Ramadhan Fauster, Uda Fauzan, Uda Furqan, Uni Ezi, Uda Sepky, Bang Rahmat dan seluruh keluarga Buyung Upik serta keluarga besar Tabiang Tinggi, penulis ucapkan terimakasih banyak untuk semuanya.
11. Teman terdekat dan akan selalu sama, Al Anhar Hardianto, Rema Adhe Meisa, Mitra Yuningsih, Haura Paranisha, Kartika Putri, Sri Yana Rahmawati dan Resha.
12. Kepada Bapak PNS BKN Isnan Syamhudi, Warga RISTEK (belum) PNS Esfi Riandini, pelancong dari negeri seberang Kimino Ohata, dokter yang dipertanyakan Chairunnisa Kusumawardani, Muhammad Hakim Zulkifli, dan Bapak dosen muda Vicky AK. Terimakasih banyak untuk petualangan selama ini.
13. Kepada teman seperjuangan selama penulis menjadi mahasiswa, Rahmadtullah Noerman, Fikri, Evan, Rendi, Ikke, Roni, Oji, dan Rahmad 48, terimakasih banyak atas kebersamaan yang telah dihabiskan.

14. Kerabat Fikri di Batusangkar, Mak wo, Kak Neni, Bang Nedi, dan keluarga besar Fikri. Penulis sangat berterimakasih.
15. Dosen (staf pengajar) Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
16. Keluarga besar Teknik Pertambangan S1 2012, terimakasih banyak atas kerjasamanya.
17. Dan semua pihak yang terlibat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang namanya tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna, baik dari segi penyusunan, bahasa, ataupun penulisannya. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun. Semoga dorongan, bantuan, dan do'a serta bimbingannya yang telah diberikan kepada penulis mendapat pahala dan balasan yang setimpal di sisi Allah SWT. Amin Ya Robbal 'Alamin.

Padang, Agustus 2018

Welly Handa Nuraga

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	Halaman
COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI	iii
SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT	iv
BIODATA	v
RINGKASAN	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
 BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	2
C. Batasan Masalah.....	3
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian	4
F. Manfaat Penelitian.....	5
 BAB II. KAJIAN PUSTAKA	
A. Deskripsi Daerah	6
1. Lokasi Daerah	6
2. Iklim dan Curah Hujan	10
3. Keadaan Hidrogeologi Regional	10
4. Keadaan Geologi Regional	11
B. Teori Dasar.....	14
1. Lereng	14
2. Longsoran	24

	Halaman
3. Jenis-jenis Longsoran	28
4. Pengujian Laboratorium	34
5. Analisis Kestabilan Lereng	41
C. Penelitian Sejenis	59
D. Kerangka Konseptual.....	62
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
A. Metode Penelitian yang Digunakan.....	63
1. Jenis Penelitian	63
2. Pengumpulan Data	63
3. Pengolahan Data	67
4. Teknik Analisis Data	67
B. Diagram Alir Penelitian.....	69
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Analisa Data	70
1. Pengambilan Data Awal	70
2. Pengambilan Sampel Uji di Lapangan	70
3. Pengujian Sampel	71
B. Pemodelan dan Analisis Geometri Lereng	83
C. Pembahasan	85
1. Analisis dengan Menggunakan <i>Software</i> Tambang	85
2. Analisis Keamanan Lereng Secara Manual	88
3. Analisis Keamanan Menggunakan Metoda <i>Hoek and Bray</i> <i>(1981)</i>	91
4. Perbandingan Hasil Analisis Geometri Lereng	92
D. Perbaikan Stabilitas Lereng	93
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	97
B. Saran	100

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Daftar Gambar	Halaman
Gambar 1. Lokasi Penelitian dan Titik Longsoran	7
Gambar 2. Peta Topografi Wilayah Kabupaten Agam	8
Gambar 3. Data Curah Hujan Regional Kecamatan Malalak	10
Gambar 4. Peta Hidrogeologi Regional	11
Gambar 5. Peta Keadaan Geologi Regional	13
Gambar 6. Longsoran Busur (<i>Circular Failure</i>).....	29
Gambar 7. Longsoran Bidang (<i>Planar Failure</i>)	31
Gambar 8. Longsoran Baji (<i>Wedge Failure</i>)	33
Gambar 9. Bentuk Umum dari Longsoran Guling : (a) <i>block toppling</i> ; (b) <i>flexural toppling</i> ; (c) <i>block-flexural toppling</i>	33
Gambar 10. Longsoran Guling (<i>Toppling Failure</i>)	34
Gambar 11. Kriteria Kegagalan <i>Mohr-Coulomb</i>	36
Gambar 12. Tegangan Total (σ), Tegangan Efektif (σ'), dan Tekanan Air Pori (u)	37
Gambar 13. Alat Pengujian Geser Langsung	40
Gambar 14. Diagram Cara Menghitung Kestabilan Lereng <i>Circular Failure</i>	46
Gambar 15. Kondisi Air Tanah Alam Lereng <i>Circular Failure</i>	47
Gambar 16. Kondisi Nomor 1 Air Tanah, <i>Circular Failure</i>	47
Gambar 17. Kondisi Nomor 2 Air Tanah, <i>Circular Failure</i>	48
Gambar 18. Kondisi Nomor 3 Air Tanah, <i>Circular Failure</i>	48
Gambar 19. Kondisi Nomor 4 Air Tanah, <i>Circular Failure</i>	49
Gambar 20. Kondisi Nomor 5 Air Tanah, <i>Circular Failure</i>	49
Gambar 21. Gaya-gaya yang Bekerja Pada Setiap Segmen	50

Gambar 22. Faktor Koreksi <i>Simplified Janbu Method</i>	55
Gambar 23. Gaya yang Bekerja Pada Longsor Lingkar	56
Gambar 24. Sistem Gaya pada Metode Fellenius	59
Gambar 25. Kerangka Konseptual	62
Gambar 26. Diagram Alir Penelitian	69
Gambar 27. Pengambilan Sampel di Lokasi Penelitian	70
Gambar 28. Pengambilan Sampel di Lapangan	71
Gambar 29. Penimbangan Berat Cincin Kosong	72
Gambar 30. Penimbangan Berat Cincin + Sampel	72
Gambar 31. Grafik Uji Geser Langsung <i>Top Soil</i>	78
Gambar 32. Grafik Uji Geser Langsung Sampel <i>Clay</i>	79
Gambar 33. Grafik Uji Geser Langsung Sampel <i>Tuff</i>	81
Gambar 34. Contoh Model Lereng di Lokasi Penelitian	85
Gambar 35. Faktor Keamanan Lereng Kondisi Kering dengan <i>Software</i>	86
Gambar 36. Faktor Keamanan Lereng Kondisi Natural dengan <i>Software</i>	86
Gambar 37. Faktor Keamanan Lereng Kondisi Jenuh dengan <i>Software</i>	87
Gambar 36. Faktor Keamanan Lereng Kondisi Gempa dengan <i>Software</i>	87

DAFTAR TABEL

Daftar Tabel	Halaman
Tabel 1. Hubungan Nilai FK dan Kemungkinan Kelongsoran Lereng Tanah.	18
Tabel 2. Klasifikasi Kelas Kemiringan Lereng	19
Tabel 3. Faktor Keamanan Minimum Kemantapan Lereng	44
Tabel 4. Hasil Pengujian Bobot Isi <i>Top Soil</i>	74
Tabel 5. Hasil Pengujian Bobot Isi <i>Clay</i>	74
Tabel 6. Hasil Pengujian Bobot Isi <i>Tuff</i>	75
Tabel 7. Hasil Pengujian Kadar Air pada Lapisan <i>Top Soil</i>	75
Tabel 9. Hasil Pengujian Kadar Air pada Lapisan <i>Clay</i>	76
Tabel 10. Hasil Pengujian Kadar Air pada Lapisan <i>Tuff</i>	76
Tabel 11. Hasil Uji Geser Langsung <i>Top Soil</i>	78
Tabel 12. Hasil Uji Geser Langsung <i>Clay</i>	80
Tabel 13. Hasil Uji Geser Langsung <i>Tuff</i>	81
Tabel 14. Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Geser	84
Tabel 15. Hasil Perhitungan Faktor Keamanan Manual	91
Tabel 16. Hasil Pengujian Lereng dengan Metode <i>Hoek and Bray</i>	92
Tabel 17. Rekapitulasi Hasil Pengujian Nilai Keamanan dengan Menggunakan Software, Metode Fellenius dan Metoda <i>Hoek and Bray</i>	93
Tabel 18. Hasil Pengujian Lereng Berbagai Kondisi	95

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Peta Geologi Kabupaten Agam

Lampiran 2. Peta Rawan Bencana Kabupaten Agam

Lampiran 3. Peta Topografi Kabupaten Agam

Lampiran 4. Peta Hidrogeologi

Lampiran 5. Pengujian Bobot Isi Sampel

Lampiran 6. Pengujian Kadar Air Sampel (*Water Content*)

Lampiran 7. Hasil Analisis Faktor Keamanan dengan *Software Slide v.6.0*.

Lampiran 8. Hasil Perhitungan Manual Faktor Keamanan.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Permasalahan longsor seringkali dijumpai dalam bidang geoteknik, terutama pada daerah Sumatera Barat yang memiliki morfologi perbukitan. Material yang mengalami longsor dapat berupa tanah, batuan atau tanah dan batuan. Longsor dapat terjadi karena disebabkan oleh banyak faktor, seperti halnya gempa bumi, topografi daerah setempat, struktur geologi, sifat rembesan tanah dan morfologi. Disamping itu juga disebabkan oleh peran manusia yang berkaitan dengan penanganan lahan yang kurang tepat, penggundulan hutan, serta pemotongan lereng untuk pembuatan jalan dan pemukiman.

Tanah longsor adalah proses perpindahan massa batuan (tanah) akibat gaya berat (gravitasi). Longsor terjadi karena adanya gangguan kesetimbangan gaya yang bekerja pada lereng yakni gaya penahan dan gaya peluncur. Gaya peluncur dipengaruhi oleh kandungan air, berat masa tanah itu sendiri berat beban bangunan. Ketidakseimbangan gaya tersebut diakibatkan adanya gaya dari luar lereng yang menyebabkan besarnya gaya peluncur pada suatu lereng menjadi lebih besar daripada gaya penahannya, sehingga menyebabkan masa tanah bergerak turun.

Daerah penelitian yang dipilih oleh penulis terletak pada jalan lintas Sicincin-Malalak KM 33 Kabupaten Agam Provinsi Sumatera Barat. Daerah penelitian ini merupakan daerah yang memiliki kerentanan gerakan tanah tinggi untuk berpotensi terjadinya longsor. Perlunya perhatian khusus dalam

penentuan keamanan dari pembuatan lereng untuk ruas jalan Sicincin-Malalak Kecamatan Malalak tidak terlepas dari fungsinya sebagai jalur akses alternatif lintas Sumatera, ditandai dengan banyaknya aktivitas transportasi, sehingga nantinya dapat meminimalisir resiko kerugian materil ataupun korban jiwa.

Pada lereng ruas jalan Sicincin-Malalak KM 36 diperoleh bentuk geometri lereng dengan sudut lereng sebesar 49° dan tinggi 17,83 meter. Lereng tersebut tersusun atas 3 material, yaitu *top soil*, *clay*, dan *tuff*. Sebelumnya di ruas jalan Sicicin Malalak tepatnya di KM 33 telah terjadi beberapa kali longsor yang bisa dikategorikan sebagai longsor tipe busur (*circular failure*).

Dalam upaya untuk meminimalkan kerugian yang disebabkan oleh longsor ini, maka diperlukan geometri lereng yang stabil yang diperoleh dengan melakukan surey lapangan, pengambilan sampel, kemudian dilakukan penelitian data di laboratorium. Dalam hal ini penulis akan menganalisa apakah lereng tersebut masih aman berdasarkan nilai *safety factornya* .Oleh karena itu penulis mengambil judul “**Analisis Geometri Lereng Pada Ruas Jalan Sicincin-Malalak KM 36 Kecamatan Malalak Kabupaten Agam Provinsi Sumatera Barat**”.

B. Identifikasi Masalah

Dari latar belakang masalah dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut :

1. Adanya titik longsor pada ruas jalan Sicincin-Malalak di Kecamatan Malalak Kabupaten Agam.
2. Adanya perubahan tataguna lahan perbukitan menjadi jalan lintas alternatif.

3. Ruas jalan Sicincin-Malalak merupakan salah satu zona gerakan tanah yang memiliki kerentanan yang tinggi.
4. Geometri lereng yang dipengaruhi oleh keadaan lereng dalam kondisi kering, natural, jenuh, dan gempa.
5. Belum adanya perencanaan geoteknik untuk memetakan potensi terjadinya longsor di daerah Malalak.

C. Batasan Masalah

Karena berbagai kekurangan yang ditemukan di lapangan, maka penulis membatasi masalah dalam studi kasus ini meliputi :

1. Penelitian berfokus terhadap lereng bukit di KM 33 jalan Sicincin-Malalak tepatnya di koordinat S $0^{\circ} 21,551'$, E $100^{\circ} 17,523'$.
2. Data input parameter untuk pemodelan diperoleh dari pengujian sifat fisik dan mekanik sampel di laboratorium.
3. Evaluasi geoteknik dilakukan dengan menghitung stabilitas lereng longsor dengan mempertimbangkan faktor-faktor geoteknik, uji sifat fisik dan mekanik.
4. Metode pemodelan lereng dengan menggunakan metode keseimbangan batas dengan menggunakan *software* tambang.
5. Dimensi lereng yang digunakan pada analisa sesuai dimensi yang mendekati kondisi aktual di lapangan.
6. Sebagai pembanding hasil pengujian *software*, dilakukan analisis secara manual dengan menggunakan metode *Fellenius* dan metode *Hoek and Bray*
7. Model longsor diasumsikan sebagai longsor busur (*circular failure*).

D. Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah kondisi lereng bukit di KM 33 ruas jalan Sicincin-Malalak tepatnya di koordinat S $0^{\circ} 21,551'$, E $100^{\circ} 17,523'$?
2. Parameter apa saja yang mempengaruhi kestabilan lereng di lokasi penelitian?
3. Bagaimanakah nilai kestabilan lereng atau FK (Faktor Keamanan) pada lereng di lokasi penelitian?
4. Bagaimanakah rekomendasi lereng aman pada lokasi penelitian supaya tidak terjadi longsor?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana kondisi kemantapan serta stabilitas lereng di lokasi penelitian. Berdasarkan hasil tersebut dapat dipetakan dan diantisipasi potensi longsor yang akan terjadi pada daerah-daerah yang terdapat lereng kritis. Tujuan dari penelitian dipaparkan sebagai berikut;

1. Untuk mengetahui kondisi lereng bukit di KM 33 ruas jalan Sicincin-Malalak tepatnya di koordinat S $0^{\circ} 21.551'$, E $100^{\circ} 17.523'$.
2. Untuk mendapatkan parameter yang mempengaruhi kestabilan lereng di lokasi penelitian.
3. Untuk mendapatkan nilai kestabilan lereng atau FK (Faktor Keamanan) pada lereng lokasi penelitian.
4. Perencanaan rekomendasi lereng aman pada lokasi penelitian supaya tidak terjadi longsor.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi penulis, dapat mengaplikasikan teori-teori yang telah dipelajari pada saat perkuliahan.
2. Sebagai referensi dan tambahan bahan bacaan pada Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
3. Sebagai masukan dalam perancangan lereng ideal untuk pemerintah daerah ruas jalan Kecamatan Malalak dan pemetaan zona titik longsor.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Deskripsi Daerah

1. Lokasi Daerah

Secara geografis lokasi penelitian berupa titik longsor terletak pada koordinat $S0^{\circ} 21.551'$ $E100^{\circ} 17.523'$ (**Gambar 1**) termasuk kedalam Kecamatan Malalak, Kabupaten Agam. Kabupaten Agam merupakan salah satu dari 19 kabupaten/kota yang ada di Provinsi Sumatera Barat yang terletak antara $00^{\circ}01'34'' - 00^{\circ}28'43''$ LS dan $99^{\circ}46'39'' - 100^{\circ}32'50''$ BT.

Luas Wilayah Kabupaten Agam adalah $\pm 2.232,30 \text{ Km}^2$ atau hanya sekitar 5,29% dari luas wilayah Provinsi Sumatera Barat ($42.229,04 \text{ Km}^2$) dengan Ketinggian 0 – 2891 Mdpl.

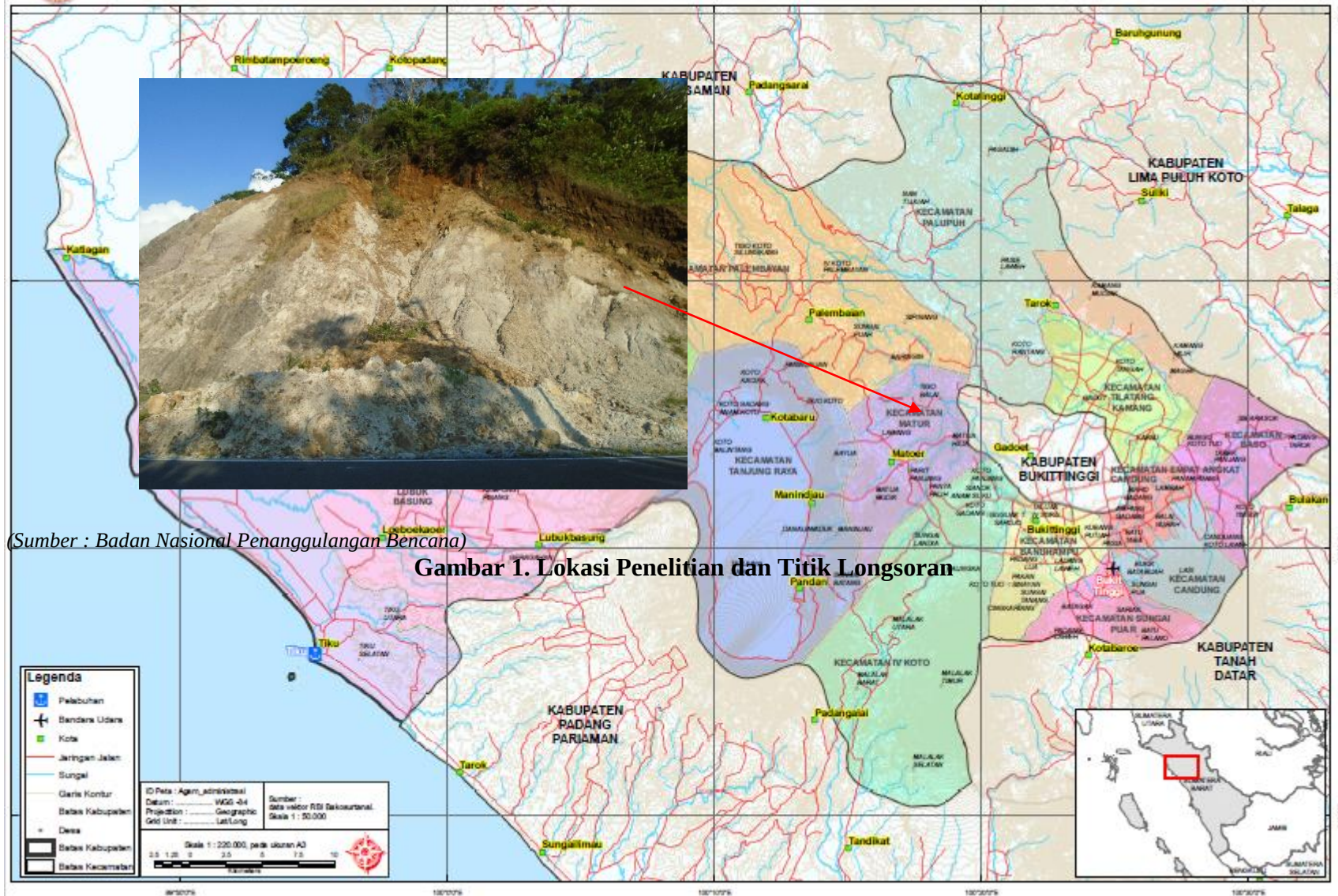
Kondisi Wilayah Kabupaten Agam terdiri dari daerah perbukitan, pergunungan, dan sebagiannya lagi merupakan daerah pesisir serta kawasan lindung.

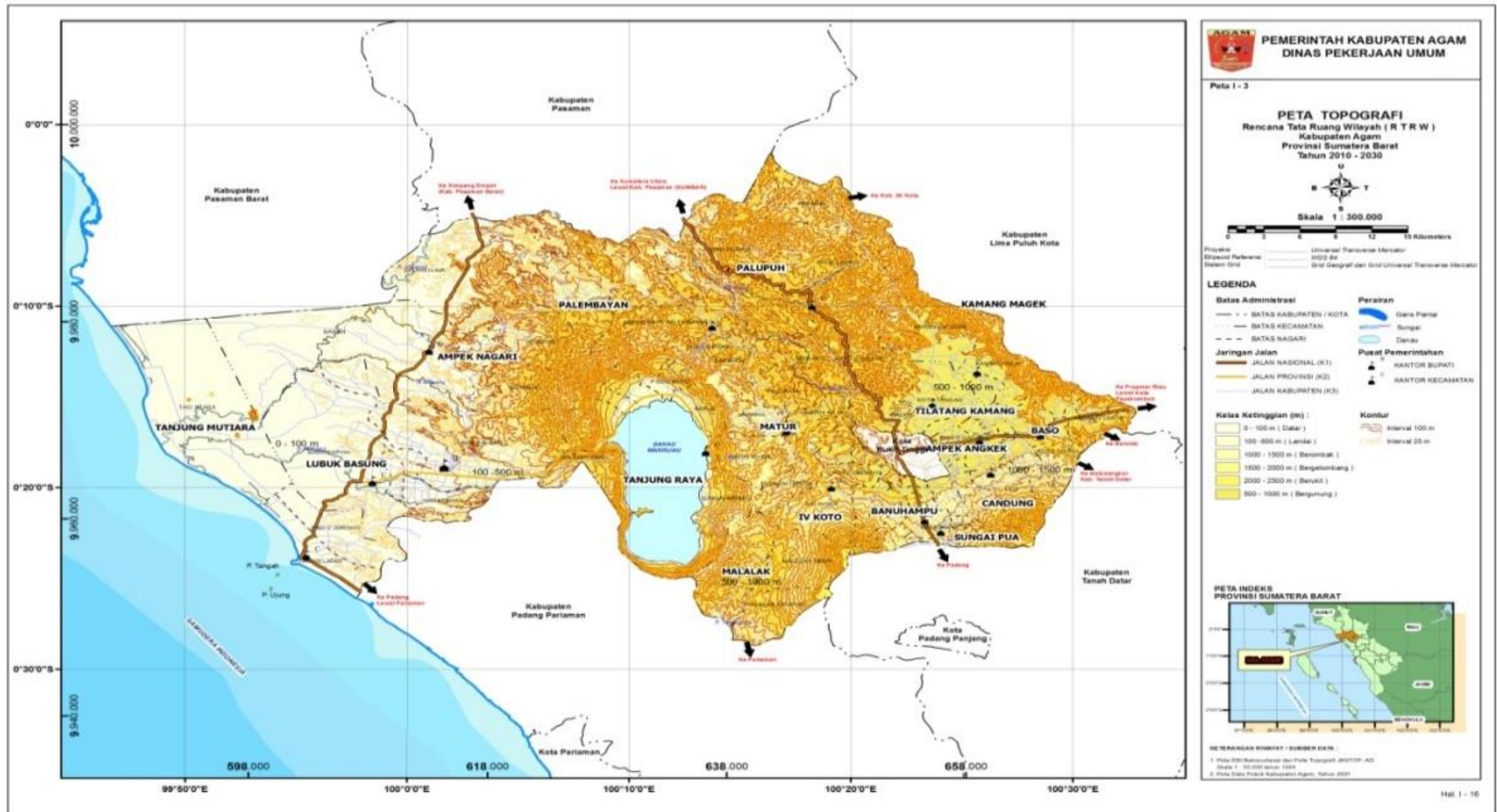
a. Topografi

Kondisi topografi Kecamatan Malalak termasuk kedalam wilayah Kabupaten Agam yang bervariasi, mulai dataran tinggi hingga dataran relatif rendah dengan ketinggian berkisar antara 0 sampai 2.891 Meter dari Permukaan Laut. Kondisi Topografi wilayah Kabupaten Agam dapat dilihat pada **Gambar 2**. Sesuai dengan kondisi Topografi, maka wilayah Kabupaten Agam dikelompokkan sebagai berikut;



PETA WILAYAH ADMINISTRASI KABUPATEN AGAM





(Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Agam)

Gambar 2. Peta Topografi Wilayah Kabupaten Agam

- 1) Ketinggian 0 – 500 Mdpl seluas 44,55%

Wilayah Kecamatan Tanjung Mutiara, Lubuk Basung, Ampek Nagari dan sebagian Tanjung Raya.

- 2) Ketinggian 500 – 1000 Mdpl seluas 43,49%

Wilayah Kecamatan Baso, Ampek Angkek, Canduang, Malalak, Tilatang Kamang, Palembayan, Palupuh, Banuhampu dan Sungai Pua.

- 3) Ketinggian > 1000 Mdpl seluas 11,96%

Wilayah Kecamatan IV Koto, Matur dan sebagian Canduang dan Sungai Pua.

Secara fisiografi, elevasi atau kemiringan wilayah kabupaten Agam dibagi dalam 3 (tiga) bagian kawasan wilayah sebagai berikut;

- 1) Kemiringan 0 – 8%, daerah datar hingga landai seluas 71.956 Ha.

Kawasan bagian Barat Wilayah Kabupaten Agam (Kecamatan Tanjung Mutiara, Lubuk Basung, Ampek Nagari dan sebagian Tanjung Raya).

- 2) Kemiringan <45%, daerah berbukit sampai terjal seluas 129.352 Ha.

Kawasan bagian Tengah dan Timur Wilayah Kabupaten Agam (Kecamatan Baso, Ampek Angkek, Canduang, Tilatang Kamang, Kamang Magek, Banuhampu, Sungai Pua, IV Koto, Matur).

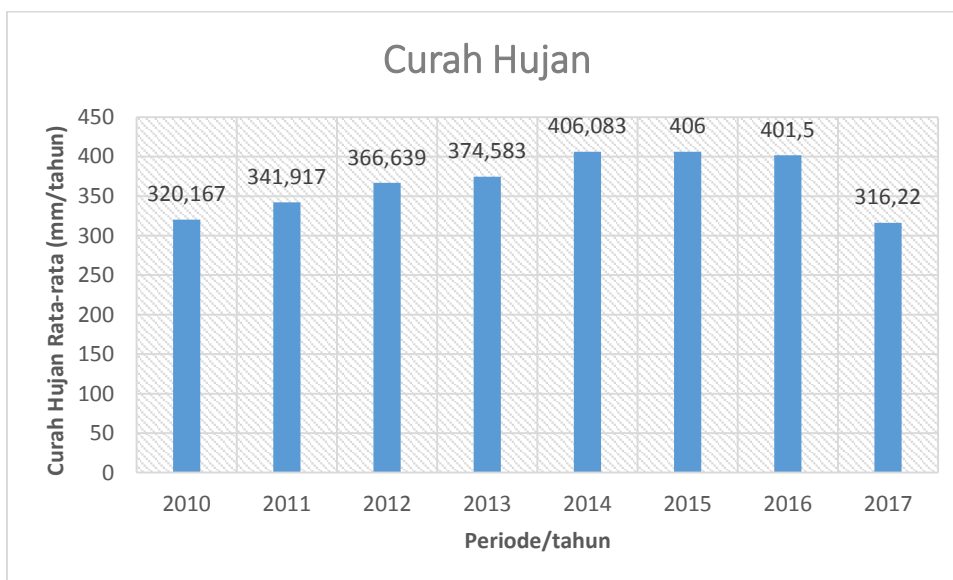
- 3) Kemiringan > 45%, daerah kemiringan sangat terjal seluas 21.922 Ha

Kawasan bagian Selatan dan Tenggara Wilayah Kabupaten Agam, daerah Bukit Barisan, sekitar Gunung Merapi dan Gunung Singgalang (Kecamatan Malalak, Palembayan, Palupuh, sebagian

Sungai Pua, Canduang, Banuhampu, Tanjung Raya, IV Koto dan Matur).

2. Iklim dan Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan di wilayah Kecamatan Malalak Kabupaten Agam merupakan data curah hujan Kecamatan IV Koto Balingka dimana Kecamatan Malalak dahulunya tergabung dalam Kecamatan IV Koto Kabupaten Agam. Data curah hujan yang digunakan selama kurun waktu 10 tahun terakhir bias dilihat pada **Gambar 3**.



(Sumber : Stasiun Klimatologi Sicincin Kabupaten Padang Pariaman, 2017)

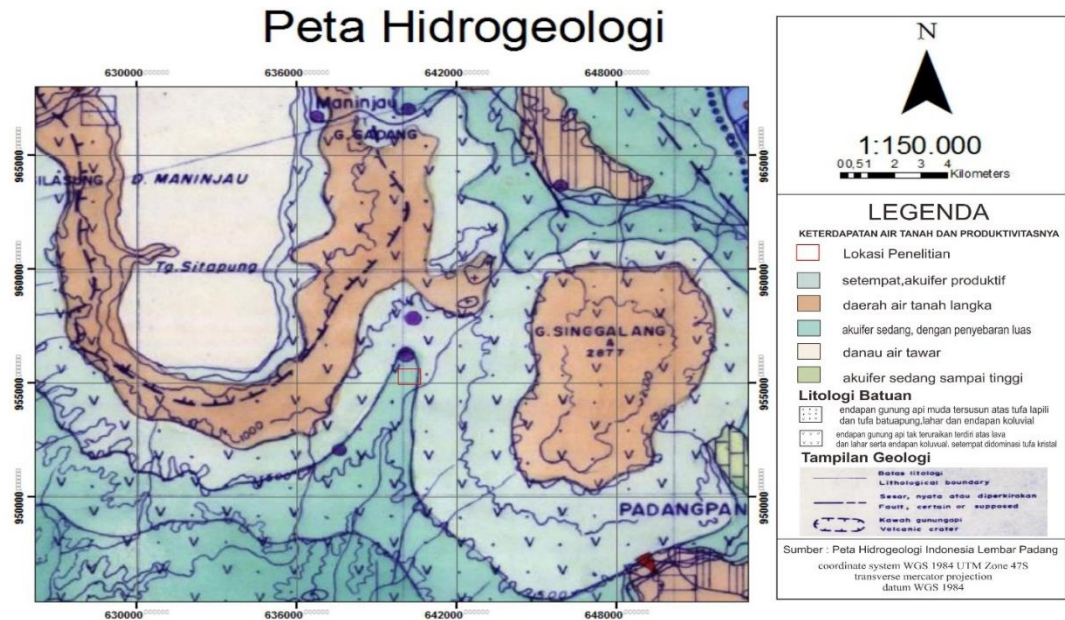
Gambar 3. Data Curah Hujan Tahunan Kecamatan Malalak

Dari gambar diagram diatas terlihat bahwa rata- rata curah hujan di Kecamatan Malalak Kabupaten Agam sebesar 366,639 mm/tahun.

3. Keadaan Hidrogeologi Regional

Wilayah Kabupaten Agam khususnya di Kecamatan Malalak berasal dari endapan gunung api yang tersusun atas tufa lapili dan tufa batu gamping, lahar dan endapan kaluvial dengan permeabilitas sedang sampai tinggi.

Kondisi hidrogeologi regional Kecamatan Malalak dapat dilihat pada **Gambar 4.**



(Sumber : Dinas ESDM)

Gambar 4. Peta Hidrogeologi Regional

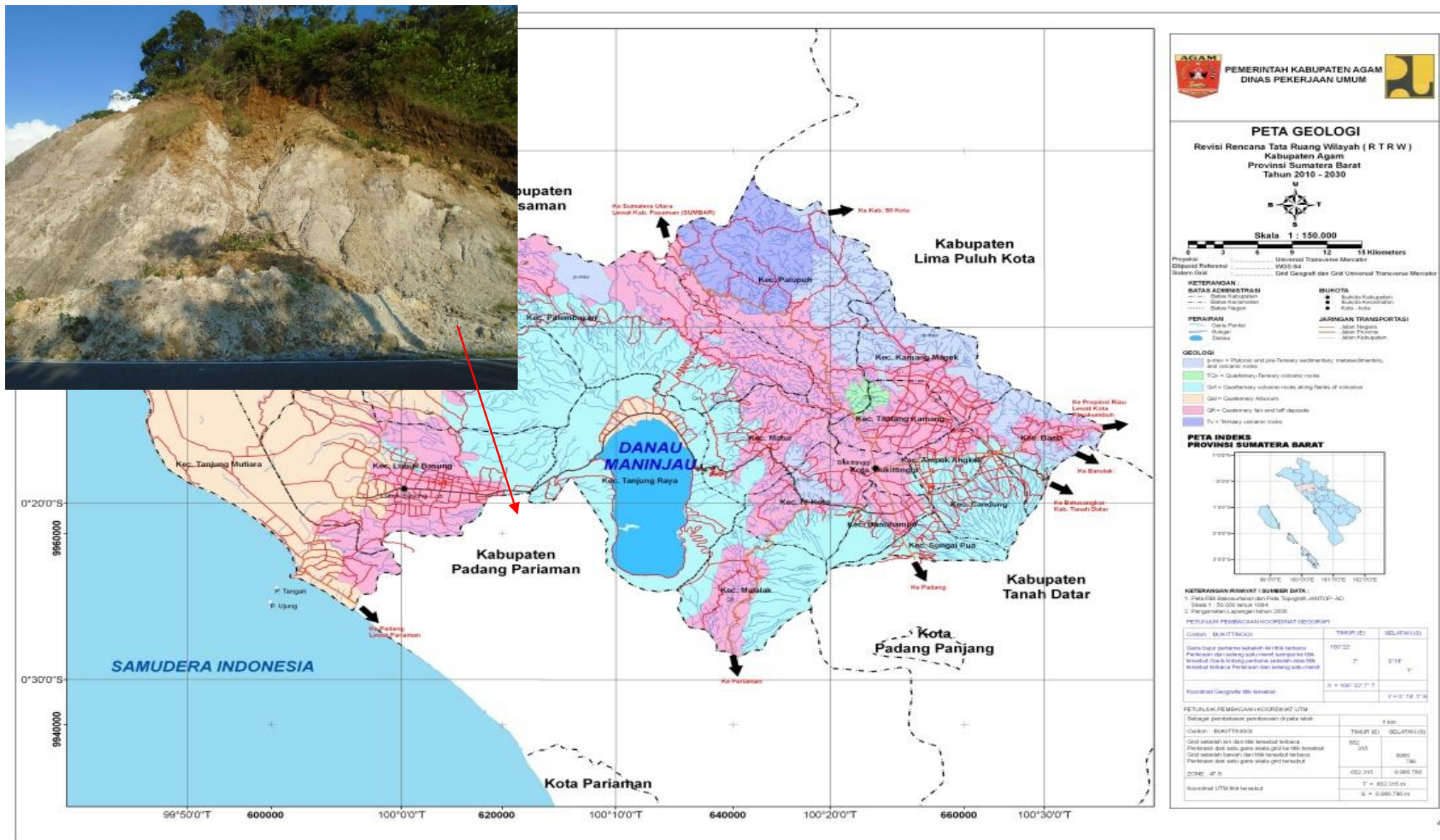
Secara umum, aliran akuifer untuk Kecamatan Malalak mengalir melalui celahan ruang antar butir. Akuifer ini memiliki tingkat produktifitas yang sedang dengan penyebaran luas dengan keterusan yang sangat beragam. Kedalaman muka air tanah bebas umumnya dalam, dengan debit mata air kurang dari 100 l/dtk dan debit sumur kurang dari 5 l/dtk.

4. Keadaan Geologi Regional

Secara regional keadaan geologi Kecamatan Malalak termasuk dengan kedalam wilayah Kabupaten Agam dengan Formasi batuan Pra Tersier, Tersier, dan Kuartar. Batuan ini terdiri dari endapan permukaan, sedimen, metamorfik, vulkanik dan intrusi. Batuan vulkanik terdapat disekitar Gunung Merapi, Gunung Singgalang dan Danau Maninjau.

Wilayah Kabupaten Agam ditutupi oleh 3 (Tiga) jenis batuan beku, yaitu;

- 1) Batuan beku ekstrusif dengan reaksi intermediet seluas 68.555,10 Ha (32,43%). Andesit dari Gunung Marapi, Gunung Singgalang, Gunung Tandikek, Gunung Talamau dan Danau Maninjau).
- 2) Batuan beku ekstrusif dengan reaksi masam (pumis tuff) seluas 55.867,90 Ha (26,43%).
- 3) Batuan sedimen dengan jenis batu kapur seluas 80.011, 80 Ha (3,79%),
- 4) Endapan alluvium mencapai luas 48.189 Ha (22,79%).



(Sumber : Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Agam)

Gambar 5. Peta Keadaan Geologi Regional

B. Teori Dasar

1. Lereng

Lereng merupakan bagian dari permukaan bumi yang berbentuk miring. Sedangkan kemantapan lereng didefinisikan sebagai suatu keadaan yang stabil/mantap terhadap suatu bentuk dan dimensi dari lereng. Dalam keadaan alamiah, masa tanah dan batuan di permukaan bumi baik yang berbentuk lereng atau bukan umumnya berada dalam keadaan seimbang terhadap gaya yang timbul dari dalam. Akan tetapi apabila terjadi gangguan tertentu sampai menyebabkan lereng mengalami perubahan kesetimbangan misalnya akibat pengangkatan, penurunan, pengalihan, penimbunan, erosi atau aktifitas lainnya maka masa batuan tersebut akan bergerak sampai mendapatkan kesetimbangan yang baru.

Menurut Bowles (1991) (dalam Pangemanan, 2014) faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng dapat menghasilkan tegangan geser pada seluruh massa tanah, dan suatu gerakan akan terjadi kecuali tahanan geser pada setiap permukaan runtuh yang mungkin terjadi lebih besar dari tegangan geser yang bekerja. (Bowles, 1991).

a. Kestabilan Lereng

Kestabilan dari suatu jenjang individual dikontrol oleh kondisi geologi daerah setempat, bentuk keseluruhan lereng pada daerah tersebut, kondisi air tanah setempat, dan juga oleh teknik pemotongan lereng yang digunakan dalam pembuatan lereng. Faktor pengontrol ini jelas sangat berbeda untuk situasi lapangan yang berbeda, dan sangat penting untuk

memberikan aturan yang umum, untuk menentukan seberapa tinggi atau seberapa landai suatu lereng untuk memastikan lereng itu akan stabil.

Dilihat dari jenis material penyusunnya, terdapat dua macam lereng, yaitu lereng tanah dan lereng batuan. Walaupun kenyataan yang dijumpai pada lereng tambang selalu merupakan gabungan dari material tanah dan batuan. Dalam analisis dan penentuan jenis tindakan pengamanannya, lereng tanah tidak dapat disamakan dengan lereng batuan karena parameter material dan jenis penyebab longsor pada kedua material pembentuk lereng tersebut sangat jauh berbeda (Irwandi, 2016:12).

Di alam, tanah umumnya berada dalam keadaan seimbang (*equilibrium*), artinya keadaan distribusi tegangan pada tanah tersebut dalam keadaan mantap. Apabila pada tanah tersebut ada kegiatan penggalian, penimbunan, penurunan, pengangkutan, erosi atau aktivitas lain, sehingga menyebabkan keseimbangannya terganggu, maka tanah tersebut akan berusaha untuk mencapai keseimbangan baru dengan cara pengurangan beban, terutama dalam bentuk longsor.

Pada saat tanah dalam keadaan alamiah, bekerja tegangan-tegangan dan tekanan air pori. Kedua hal tersebut mempunyai peranan penting dalam kestabilan lereng. Sedangkan tanah sendiri mempunyai sifat-sifat fisik dan mekanik asli tertentu seperti sudut gesek dalam (*angle of internal friction- ϕ*), kohesi (*c*), kuat tekan, kuat Tarik, modulus elastisitas, nisbah *poisson*, dan bobot isi (γ). Serta sifat fisik dan mekanik lainnya yang sangat berperan dalam menentukan kekuatan tanah dan juga mempengaruhi kestabilan lereng (Irwandi, 2016:13).

Secara prinsip, pada suatu lereng berlaku dua macam gaya yaitu gaya penahan dan gaya penggerak. **Gaya penahan** yaitu gaya yang menahan massa dari pergerakan berupa gaya gesekan atau geseran, kohesi dan kekuatan geser tanah. Sedangkan **gaya penggerak** adalah gaya yang menyebabkan massa bergerak berupa gaya berat, gaya gravitasi.

Pada kondisi gaya penahan (terhadap longsoran) lebih besar dari gaya penggerak, lereng tersebut akan berada dalam kondisi yang stabil (aman). Namun, apabila gaya penahan lebih kecil dari gaya penggeraknya, lereng tersebut tidak stabil dan akan terjadi longsor (Irwandi, 2016:5).

Sebenarnya longsoran merupakan suatu proses alami yang terjadi untuk mendapatkan kondisi kestabilan lereng yang baru (keseimbangan baru), dimana gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak. Dalam menentukan kestabilan atau kemantapan lereng dikenal istilah **Faktor Keamanan (*Safety Factor*)**, yang merupakan perbandingan antara gaya-gaya yang menahan massa tanah terhadap gaya-gaya yang penggeraknya.

Untuk mengkaji kemantapan lereng perlu terlebih dahulu diketahui mengenai sistem tegangan yang bekerja pada tanah serta sifat fisik dan mekaniknya. Tegangan didalam massa tanah keadaan alamiahnya adalah tegangan vertikal, tegangan horizontal, dan tekanan air pori. Sedangkan sifat fisik dan mekaniknya antara lain bobot isi, kohesi, dan sudut geser dalam.

Secara prinsip, pada suatu lereng sebenarnya berlaku dua macam gaya, yaitu penahan dan gaya penggerak. Gaya penahan, yaitu gaya yang menahan massa dari pergerakan sedangkan gaya penggerak adalah gaya

yang menyebabkan massa bergerak. Lereng akan longsor apabila gaya penggeraknya lebih besar dari gaya penahan secara sistematis kemantapan dalam suatu lereng dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK) sebagai berikut:

$$FK = \frac{R}{F_p} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana F adalah faktor kestabilan lereng, R adalah gaya penahan, berupa resultan gaya-gaya yang membuat lereng tetap stabil, serta F_p adalah gaya penggerak, yaitu resultan gaya-gaya yang menyebabkan lereng longsor. Dalam Keputusan Menteri Pekerjaan Umum tahun 1987, pada sebuah lereng jalan kondisi tanpa gempa harus memiliki nilai keamanan diatas 1,35. Sedangkan untuk kondisi dengan gempa, nilai keamanan harus berada diatas 1,2.

Hoek (1991) mengusulkan faktor keamanan untuk sebuah rancangan berbagai jenis batuan masalah teknik mulai dari nilai faktor keamanan besar dari 1 untuk pembebanan ekstrim, analisis seismik dan gravitasi pada rancangan bendungan, nilai faktor keamanan besar dari 1,5.

Apabila nilai FK untuk suatu lereng jalan $> 1,35$ (gaya penahan $>$ gaya penggerak), lereng tersebut berada dalam kondisi stabil. Namun apabila harga $FK < 1,35$ (gaya penahan $<$ gaya penggerak) lereng tersebut berada dalam kondisi tidak stabil dan mungkin akan terjadi longsor pada lereng tersebut.

Kondisi seperti diatas $FK = 1,35$ tidak dikehendaki, karena apabila terjadi pengurangan gaya penahan atau penambahan gaya penggerak

sekecil apapun lereng akan menjadi tidak mantap dan longsor segera terjadi. Karena itu nilai FK untuk lereng jalan raya untuk kondisi tanpa dibuat lebih dari 1,35, dan dengan gempa harus berada diatas 1,2. Seperti pada **Tabel 1** dibawah ini hubungan nilai FK dan kemungkinan kelongsoran lereng tanah.

Tabel 1. Hubungan nilai FK dan kemungkinan kelongsoran lereng tanah

Nilai FK	Jenis Kondisi	Kemungkinan longsor
< 1,35 1,35 < FK < 1,50 >1,50	Tanpa Gempa	Kelongsoran bisa terjadi Kelongsoran pernah terjadi Kelongsoran jarang terjadi
< 1,2 1,2 < FK < 1,4 > 1,4	Dengan Gempa	Kelongsoran bisa terjadi Kelongsoran pernah terjadi Kelongsoran jarang terjadi

(Sumber : PerMen PU No.22/PRT/M/2007)

Apabila FK lereng > 1,35 yang berarti gaya penahan lebih besar daripada gaya penggerak, maka lereng dalam keadaan stabil. Begitu sebaliknya bila nilai FK <1,35 maka lereng tidak stabil dan rawan terjadi longsor. Jika nilai kestabilan lerengnya 1,35 < FK < 1,50 maka lereng tersebut berada dalam keadaan kritis.

Kondisi 1,3 < FK < 1,50 tetap tidak dikehendaki, karena apabila terjadi pengurangan terhadap gaya penahan atau penambahan gaya penggerak sekecil apapun, lereng menjadi tidak stabil dan rawan longsor. Olehkarena itu, nilai FK lereng jalan selalu dibuat lebih dari 1,50.

Gaya penggerak umumnya dipengaruhi oleh gravitasi, sehingga berat dari lereng yang bersangkutan merupakan salah satu gaya penggerak

yang memicu terjadinya longsor. Parameter-parameter penting yang membentuk gaya penggerak adalah :

1) Sudut Lereng dan Tinggi Lereng (Geometri Lereng)

Sudut kemiringan dan ketinggian lereng sangat mempengaruhi tingkat kestabilannya. Lereng yang terlalu tinggi akan mengakibatkan lereng tersebut menjadi tidak stabil dan cenderung mudah longsor, bila dibandingkan dengan lereng yang tidak terlalu tinggi dengan asumsi bahwa komponen penyusun lereng tersebut adalah sama. Demikian pula untuk sudut kemiringan lereng. Jika sudut lerengnya besar atau terjal maka lerengnya menjadi semakin tidak stabil bila dibandingkan dengan lereng yang memiliki sudut yang lebih kecil atau landai.

Sudut dan tinggi lereng yang besar akan memberikan volume material besar yang akan membuat beban lereng yang lebih besar.

Tabel 2. Klasifikasi Kelas Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng (%)	Kelas lereng	Bentuk relief
0-3	A	Datar
3-8	B	Agak landai
8-15	C	Landai
15-30	D	Agak curam
30-45	E	Curam
45-60	F	Sangat curam
60-100	G	Terjal

Sumber : Puslitanak (2003)

2) Sifat Fisik dan Mekanik

Sifat fisik yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah bobot isi (*density*), porositas, dan kandungan air. Sedangkan sifat mekanik yang mempengaruhi kemantapan lereng antara lain kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, dan kuat geser (kohesi dan sudut geser dalam).

3) Struktur Geologi

Struktur geologi yang mempengaruhi kemantapan lereng antara lain : sesar (*fault*), kekar (*joint*), lipatan (*fold*), bidang perlapisan (*bedding plane*), dan rekahan (*crack*). Struktur geologi tersebut merupakan bidang-bidang lemah dan sekaligus tempat merembesnya air dan dapat menyebabkan terjadinya *tension crack* yang menyebabkan material menjadi mudah longsor.

4) Keadaan Hidrologi dan Hidrogeologi pada Lereng

Keberadaan air, terutama air tanah (*ground water*) sangat mempengaruhi kemantapan suatu lereng, karena air tanah tersebut memiliki tekanan yang dikenal dengan tekanan air pori (*pore water pressure*) yang dapat menimbulkan gaya angkat (*uplift force*) yang sangat berpengaruh pada terjadinya longsoan karena menurunkan kekuatan geser.

5) Gaya-gaya Luar

Gaya-gaya dari luar dapat mempengaruhi kemantapan suatu lereng antara lain : getaran yang diakibatkan oleh gempa dan kendaraan di sekitar lereng, pemotongan dasar (*toe*) lereng, pembebanan dan lain sebagainya.

6) Pelapukan

Pelapukan sangat mempengaruhi kemantapan lereng. Temperatur yang cepat berubah dalam waktu yang singkat dan mempercepat proses pelapukan material pada lereng. Untuk daerah tropis pelapukan akan

terjadi lebih cepat. Oleh karena itu, singkapan pada lereng tropis akan lebih cepat lapuk dan ini dapat menyebabkan lereng mudah longsor.

7) Bobot Isi

Bobot isi atau *bulk density* menunjukkan perbandingan antara berat tanah kering dengan volume tanah termasuk volume pori-pori tanah (Hardjowigeno, 2003). Bobot isi merupakan petunjuk kepadatan tanah, semakin padat suatu tanah semakin tinggi pula nilai bobot isinya, yang berarti makin sulit meneruskan air atau ditembus akar tanaman. Pemadatan tanah dapat menurunkan laju infiltrasi, sehingga sulit merembeskan air ke dalam tanah yang akan menyebabkan meningkatnya aliran permukaan sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya erosi.

b. Keruntuhan Lereng

Keruntuhan pada lereng alami atau lereng buatan disebabkan karena adanya perubahan antara lain topografi, seismik, aliran air tanah, kehilangan kekuatan, perubahan tegangan, dan iklim. Akibat adanya gaya-gaya luar yang bekerja pada material pembentuk lereng menyebabkan material pembentuk lereng mudah tergelincir. Kecenderungan menggelincir ini 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 :

- 1) Adanya perubahan orientasi dan besar tegangan material pembentuk lereng

- 2) Tegangan awal pada suatu lereng sangat dipengaruhi oleh sejarah geologinya, yaitu akibat perubahan yang dilakukan manusia seperti perubahan geometri yang mengganggu keseimbangan lereng alam tersebut.
- 3) Proses pelapukan (*weathering*) yang mengurangi kuat geser material pembentuk lereng.
- 4) Perubahan tekanan air pori, terutama dengan material dengan permeabilitas keil atau akibat terganggunya lingkungan sekitar.

Keruntuhan lereng dapat saja terjadi pada hampir setiap kasus lereng alami atau buatan secara perlahan atau tiba-tiba dengan atau tanpa adanya tanda-tanda sebelumnya. Penyebab utama terjadinya keruntuhan lereng adalah meningkatnya gaya geser pada bidang longsor atau keduanya secara simultan. *High Research Board* (1978) secara rinci mengemukakan beberapa penyebab kelongsoran yaitu berkurangnya daya dukung lereng, penambahan beban pada lereng, pengaruh terjadinya gempa atau sumber getaran/vibrasi lainnya, pemindahan material pada keliling dasar lereng, terjadinya tekanan tanah lateral.

Berkurangnya daya dukung lereng dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya :

1) Proses Pelapukan

Pelapukan terjadi dimana-mana, terutama di daerah tropis yang suhu udara dan kelembaban relatif tinggi. Pelapukan yang terjadi pada material mengubah komposisi mineralogi dan struktur material. Akibatnya kekuatan material berkurang secara

drastis, maka sifat fisik maupun sifat mekanik material akan berubah dan umumnya terjadi pengurangan kuat geser material.

2) Bidang Lemah

Proses alamiah (tektonik, perubahan temperatur atau pengurangan beban vertikal) dapat mengakibatkan perubahan struktur pada material dan menghasilkan bidang bidang lemah pada lereng. Akibatnya material yang sebelumnya berada dalam kondisi utuh (kompak) akan berubah menjadi material dengan massa yang jauh lebih kecil dari sebelumnya. Sehingga beban yang diterima oleh massa material akan diteruskan secara anisotrop ke sekitarnya dan kestabilannya akan menurun.

3) Aktivitas manusia

Dalam usaha-usaha untuk memenuhi kebutuhannya, manusia cenderung melakukan aktivitas yang akan mengubah kesetimbangan alami yang ada di muka bumi (dalam hal ini kemantapan lereng) antara lain adalah penggalian dan penimbunan (tambang, jalan raya, dan bangunan-bangunan sipil lainnya). Secara langsung suatu penggalian akan merubah geometri muka bumi dan mengurangi penyangga-penyangga pada dasar lereng, seperti yang terjadi pada buka-bukaan tambang. Sedangkan yang tidak langsung, umumnya karena kegiatan lain yang tidak secara langsung mengakibatkan terjadinya perubahan keseimbangan/kemantapan lereng, seperti antara lain : pertanian dan irigasi, drainase yang tidak baik, serta pengalihan fungsi

lahan yang semestinya. Dengan berkurangnya gaya penahan/kuat geser batuan tersebut, maka harga faktor keamanan akan berkurang dan menyebabkan lereng tidak mantap lagi.

2. Longsoran

Gerakan tanah merupakan proses perpindahan massa tanah atau batuan dengan arah tegak, mendatar atau miring terhadap kedudukan semula karena pengaruh air, gravitasi, dan beban luar. Kelongsoran pada lereng umumnya terjadi dalam suatu bidang lengkung. Dalam perhitungan stabilitas, lengkungan yang riil ini dianggap sebagai lingkaran spiral logarotmis. Bidang ini disebut bidang gelincir.

Kemantapan lereng (*slope stability*) sangat dipengaruhi oleh kekuatan geser tanah untuk menentukan kemampuan tanah menahan tekanan tanpa mengalami keruntuhan. Adapun maksud analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial.

Dalam hal ini, keruntuhan geser tidak selalu terjadi serentak pada suatu bidang longsor, tapi dapat berkembang dari keruntuhan geser setempat. Jenis longsor dibedakan menurut bentuk bidang longsor, tapi dapat berkembang dari keruntuhan geser setempat. Jenis longsor dibedakan menurut bentuk bidang longsor yaitu rotasi dan translasi, dan dapat dibagi lagi :

- material yang bergerak relatif dan terdiri dari satu atau beberapa blok
- material yang bergerak dan sangat berubah bentuk atau terdiri dari beberapa blok yang berdiri sendiri.

Longsor rotasi adalah longsor yang mempunyai bidang longsor yang berbentuk setengah lingkaran, log spiral, hiperbola atau bentuk lengkung tidak teratur lainnya. Longsor translasi umumnya ditentukan oleh bidang lemah seperti: sesar, kekar per lapisan dan adanya perbedaan kuat geser antar lapisan atau bidang kontak antara batuan dasar dengan bahan rombakan di atasnya.

Secara umum, keruntuhan lereng diakibatkan oleh keruntuhan dari sistem lereng, dapat dibagi menjadi 6 (enam) bentuk/ tipe yaitu :

a. Keruntuhan Batuan (*Rock falls or Topples*)

Keruntuhan ini berlangsung sangat cepat, dimana pada saat terjadinya keruntuhan, umumnya diikuti oleh jatuhnya batuan yang terlepas ikatannya. Batuan yang runtuh tidak hanya bergerak tetapi dapat menggelinding dan berlompatan. Karakteristik dari keruntuhan batuan tergantung pada keheterogenan dan diskontinuitas dari lapisan batuan. Ukuran dari masing-masing batuan yang runtuh sangat dipengaruhi oleh perilaku batuan dan distribusi dari susunan batuan.

b. Keruntuhan Lereng Permukaan (*Surfacial Slope Failure*)

Keruntuhan lereng permukaan ini diakibatkan perpindahan geser pada bidang runtuh (*slip surface*). Keruntuhan ini hanya melibatkan bagian permukaan dari lereng dengan kedalaman yang relatif dangkal (sampai kedalaman 1.20 m). Pada beberapa kasus, bidang runtuh sejajar dengan bidang permukaan lereng. Namun dapat pula terjadi bidang runtuh yang tidak sejajar dengan permukaan lereng. Mekanisme yang

mungkin dapat menimbulkan keruntuhan lereng permukaan pada lereng yang terbuat dari lempung adalah sebagai berikut :

- 1) Mulanya lereng dalam keadaan stabil (saat lereng baru dibentuk). Dengan adanya perubahan cuaca, maka pada musim panas air yang tertangkap pada lempung akan menguap. Sesuai dengan sifat lempung yang dapat berkembang dan menyusut sesuai dengan kadar air yang dikandungnya, maka pada musim kering akan menyebabkan susut pada lapisan lempung terutama yang terdapat di permukaan. Kedalaman retak yang disebabkan susut tergantung dari beberapa faktor, antara lain suhu, kelembaban, vegetasi dan jenis lempung.
- 2) Saat terjadinya hujan, air akan masuk diantara retakan pada lapisan lempung permukaan. Masuknya air ini, seperti terjadi pada batuan, akan memperlemah kekuatan geser diantara retakan (*effective stress* akan berkurang). Selain itu, air meresap akan mengakibatkan lempung di bagian dasar retakan akan mengembang. Mulanya air akan terus mengalir diantara retakan lempung kering hingga menuju aliran bebas
- 3) Dengan mengembangnya dan jenuhnya lapisan lempung bagian luar dari lereng (hingga kedalaman tertentu), terbentuk saluran-saluran diantara retakan-retakan lempung yang paralel dengan kemiringan lereng. Saluran-saluran ini makin lama makin bertambah jelas dengan tererosinya beberapa partikel lempung.

Dengan mengembangnya tanah, penjenuhan, terbentuknya saluran dan hilangnya kekuatan geser efektif pada lempung, maka terjadilah

kelongsoran pada permukaan lereng pada kedalaman tertentu (kedalaman retakan lempung).

c. Keruntuhan Lereng Keseluruhan (*Gross Slope Failure*)

Keruntuhan lereng jenis ini melibatkan hampir keseluruhan lereng, tidak hanya terjadi pada lapisan tertentu dari lereng, tetapi melibatkan badan dari lereng tersebut, yang bergerak secara gravitasi pada bidang tertentu.

d. Gelincir (*Landslide*)

Keruntuhan lereng (utama) dapat diartikan sebagai lereng yang tergelincir. Namun pada lereng tergelincir (*landslide*), umumnya melibatkan keruntuhan lereng yang besar yang memiliki beberapa lereng yang berbeda (bukan hanya satu lereng saja).

e. Aliran Tanah (*Debris Flow*)

Aliran tanah adalah pergerakan dari tanah yang telah bercampur dengan air dan udara yang bergerak secara perlahan tapi pasti (seolah-olah mengalir). Aliran tanah ini terjadi pada lereng-lereng yang relatif tidak curam. Pada aliran tanah ini, dapat melibatkan batang-batang kayu, batu besar, ranting-ranting dan kotoran lainnya. Terminologi lain (sebutan lain) yang juga digunakan untuk aliran tanah adalah aliran lumpur (*mud flow, debris slide, mud slide, earth flow*). Kandungan partikel lumpur dan lempung yang terlibat pada keruntuhan ini memiliki peran yang sangat penting.

Pergeseran (*Creep*) Pergeseran lereng yang disebut disini adalah pergerakan perlahan dari lereng yang terjadi terus-menerus ke arah kaki

lereng. Pergeseran ini disebabkan dari pergeseran tanah yang mengakibatkan perpindahan yang permanen akan tetapi tidak merupakan pergerakan akibat keruntuhan (*failure*). Namun demikian, pergeseran ini pada gilirannya akan mempengaruhi lereng yang dapat mengakibatkan terjadinya keruntuhan lereng permukaan ataupun keruntuhan lereng keseluruhan.

3. Jenis-jenis Longsoran

Istilah yang paling banyak digunakan untuk gerakan tanah dan batuan yang terjadi pada lereng-lereng alamiah adalah longsoran. Elemen-elemen yang menyusun longsoran adalah sebagai berikut:

- Longsoran mewakili satu kategori dan suatu fenomena yang termasuk di dalamnya arah umum dari pergerakan tanah dan batuan.
- Gravitasi adalah gaya utama yang terlibat.
- Gerakan harus cukup cepat karena rayapan (*creep*) begitu lambat untuk dikategorikan sebagai longsoran.
- Gerakan dapat berupa keruntuhan (*falling*), longsoran/luncuran (*sliding*), dan aliran (*flow*).
- Bidang atau gerakan tidak sama dengan patahan.
- Gerakan akan mengarah ke bawah dan menghasilkan bidang bebas, jadi *subsidence* tidak masuk.
- Material yang tetap di tempat mempunyai batas yang jelas dan biasanya melibatkan hanya bagian terbatas dari punggung lereng.
- Material yang tetap di tempat dapat meliputi sebagian dari *regolith* dan/atau *bedrock*.

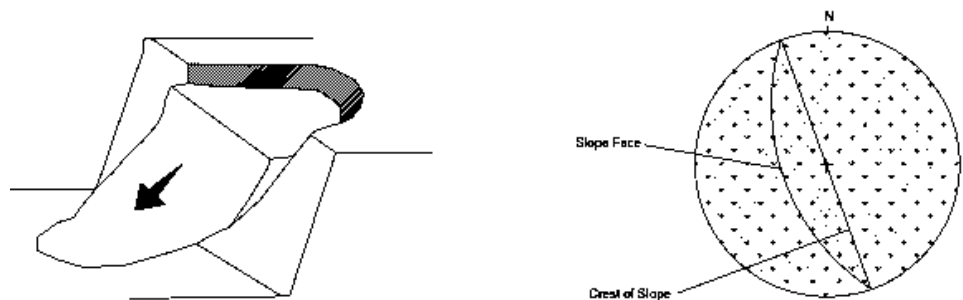
- Fenomena tanah beku (*frozen ground*) biasanya tidak termasuk kategori ini.

Macam-macam longsoran yang sering terjadi pada lereng tambang adalah:

a. Longsoran Busur (*Circular Failure*)

Longsoran busur yang terjadi sepanjang bidang luncur yang berbentuk busur longsoran busur. Longsoran busur hanya akan terjadi pada tanah atau material yang bersifat seperti tanah yang antar partikel-partikelnya tidak terikat satu sama lainnya. dengan demikian, longsoran busur juga dapat terjadi pada batuan yang sangat rapuh/lapuk serat banyak mengandung bidang lemah., maupun pada tumpukan batuan hancur.

Untuk melakukan perhitungan ini biasanya lereng perlu dibagi dalam sejumlah segmen supaya ketidakseragamannya tanah dapat dipertimbangkan, juga supaya gaya normal bidang geser dapat ditentukan.



(Sumber: Hoek & Bray , 1981)

Gambar 6. Longsoran busur (*Circular Failure*)

b. Longsoran Bidang (*Plane Failure*)

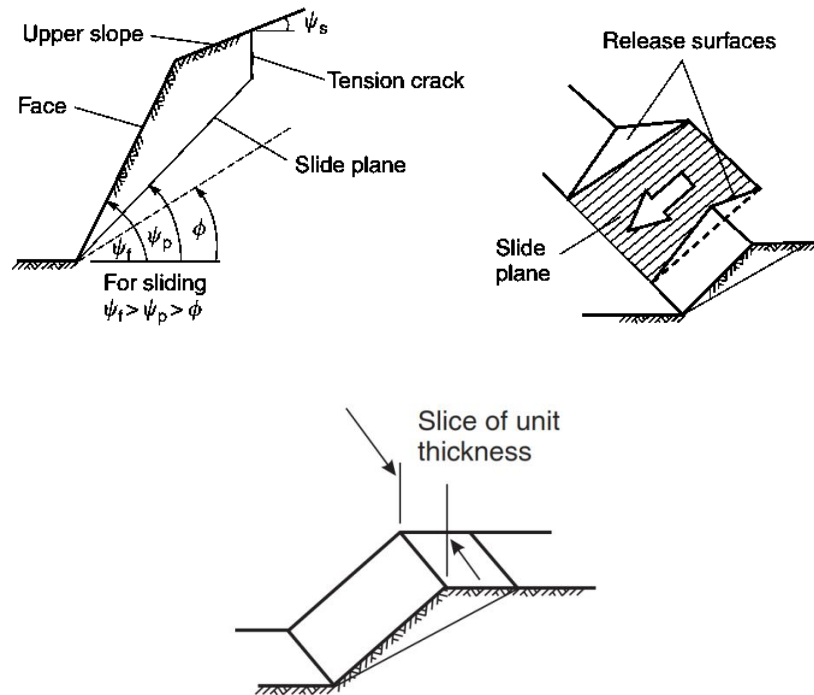
Longsoran bidang relatif jarang terjadi. Namun, jika ada kondisi yang menunjang terjadinya longsoran bidang, longsoran yang terjadi mungkin akan lebih besar (secara volume) dari pada longsoran lain. Longsoran ini disebabkan oleh adanya struktur geologi yang berkemabang, seperti kekar (*joint*) ataupun patahan yang menjadi bidang luncur. Menurut Karyono (2004:3), longsoran bidang merupakan suatu longsoran yang terjadi sepanjang bidang luncur yang dianggap rata. Bidang luncur tersebut dapat berupa rekahan (*joint*), sesar maupun bidang perlapisan batuan.

Menurut Wylie (2004 : 129) untuk longsoran dengan bidang gelincir tunggal, persayatan berikut ini harus terpenuhi :

- 1) Bidang gelincir mempunyai *strike* sejajar atau hampir sejajar (maksimal 20°) dengan *strike* lereng.
- 2) Kemiringan bidang gelincir harus lebih kecil daripada kemiringan bidang permukaan lereng ($\Psi_p < \Psi_f$).
- 3) Kemiringan bidang gelincir harus lebih besar daripada sudut geser dalam ($\Psi_p < \phi$)
- 4) Terdapat bidang rilis (*release surfaces*) yang menjadi pembatas di kanan dan kiri blok yang menggelincir. Seperti pada **Gambar 7** di bawah ini.

Dalam menganalisis dua dimensi masalah lereng, biasanya yang diperhitungkan adalah suatu satuan tebal yang tegak lurus muka

lereng. Ini berarti bahwa luas permukaan longsor diwakili oleh panjang permukaan yang tampak pada potongan vertical melalui lereng dan volume blok yang longsor diwakili oleh luas dari gambaran blok pada potongan *vertical*.



(Sumber: Wylie & Mah, 2004)

Gambar 7. Longsoran Bidang (*Planar Failure*)

Dimana : ψ_p = sudut kemiringan lereng (°)

ψ_f = sudut kemiringan bidang lemah (°)

ϕ = sudut geser dalam (°)

c. 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 dua struktur geologi yang berkembang dan saling berpotongan.

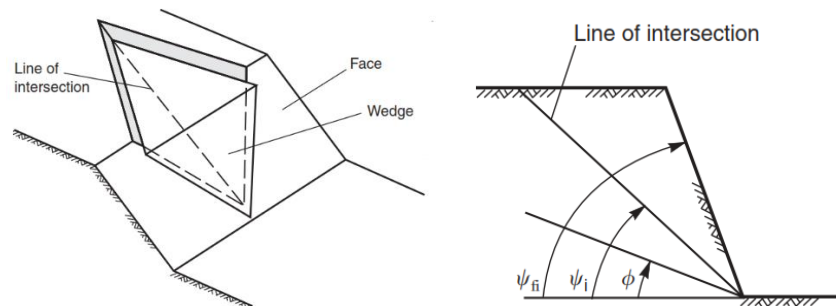
Longsoran baji dapat terjadi pada suatu batuan apabila terdapat lebih dari satu bidang lemah yang saling berpotongan. Sudut perpotongan antara bidang lemah tersebut harus lebih besar dari sudut geser dalam batumannya tetapi lebih kecil dari kemiringan lereng (Karyono, 2004:4).

Persyaratan yang harus terpenuhi untuk terjadinya longsoran baji adalah bila sudut yang dibentuk garis potong kedua bidang lemah tersebut dengan bidang horizontal lebih kecil dari sudut lerengnya ($\psi_i < \psi_f$) dan sudut garis potong kedua bidang lemah tersebut lebih besar dari pada sudut gesek dalamnya ($\psi_i > \phi$) (Irwandi, 2016:122).

Dalam Wyllie & Mah (2004:154-155) kondisi yang diperlukan untuk terjadinya longsoran baji adalah sebagai berikut:

Analisis longsoran baji dapat ditinjau berdasarkan 3 cara :

- 1) Dua bidang diskontinu berpotongan pada satu garis membentuk baji terhadap lereng,
- 2) Kemiringan lereng lebih besar dari kemiringan garis potong bidang diskontinu dan lebih kecil daripada sudut geser dalamnya ($\psi_f > \psi_i > \phi$),
- 3) Kemiringan garis potong bidang diskontinu mengarah keluar muka lereng. Seperti pada **Gambar 8** di bawah ini.

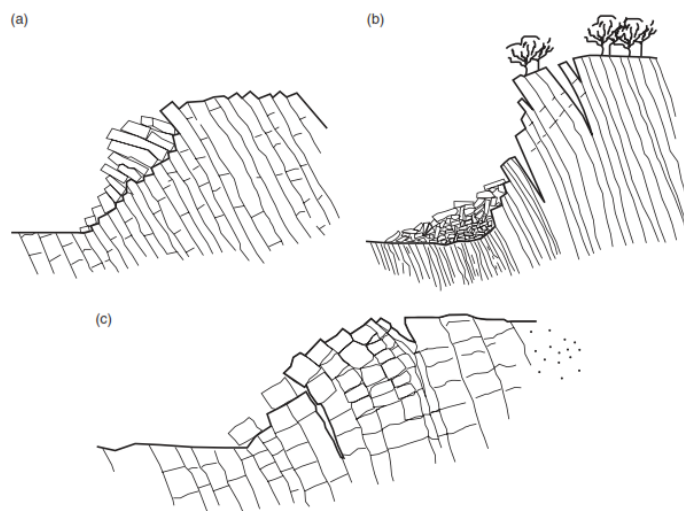


(Sumber: Wyllie & Mah , 2004)

Gambar 8. Longsoran baji (Wedge failure)

d. Longsoran Guling (*Toppling Failure*)

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

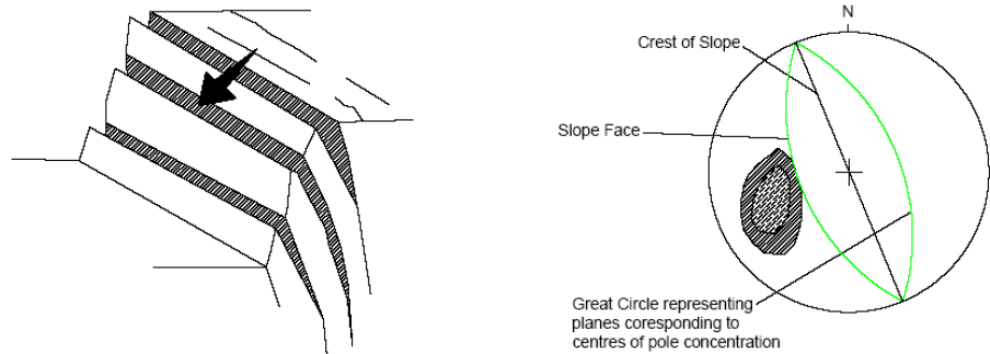


(Sumber: Wyllie & Mah , 2004)

Gambar 9. Bentuk Umum dari Longsoran Guling: (a) block toppling; (b) flexural toppling; (c) block-flexural toppling

Longsor guling pada blok fleksibel terjadi jika :

- 1) $\beta > 90^\circ + \phi - \alpha$, dimana β = kemiringan bidang lemah, ϕ = sudut geser dalam dan α = kemiringan lereng.
- 2) Perbedaan maksimal jurus (*strike*) dari kekar (*joint*) dengan jurus lereng (*slope*) adalah 30° . Seperti pada **Gambar 10** di bawah ini



Sumber: Hoek & Bray Tahun 1981

Gambar 10. Longsor Guling (*Toppling Failure*)

4. Pengujian Laboratorium

Pengujian laboratorium untuk material-material yang terdapat pada lereng yang akan kita uji merupakan langkah awal dalam melakukan analisis kestabilan lereng nantinya. Pengambilan contoh sampel sangat berpengaruh terhadap pengujian yang akan kita lakukan nantinya. Serta peralatan yang akan kita gunakan nantinya dalam melakukan pengujian memiliki peranan penting terhadap keberhasilan dalam melakukan pengujian nantinya.

a. Kuat Geser Tanah

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis-analisis daya dukung tanah, dan tegangan dorong untuk dinding penahan. Menurut Braja (1995:1), keruntuhan suatu bahan dapat terjadi oleh

akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Selanjutnya, hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan menurut persamaan:

$$\tau_f = f(\sigma) \dots\dots\dots (2)$$

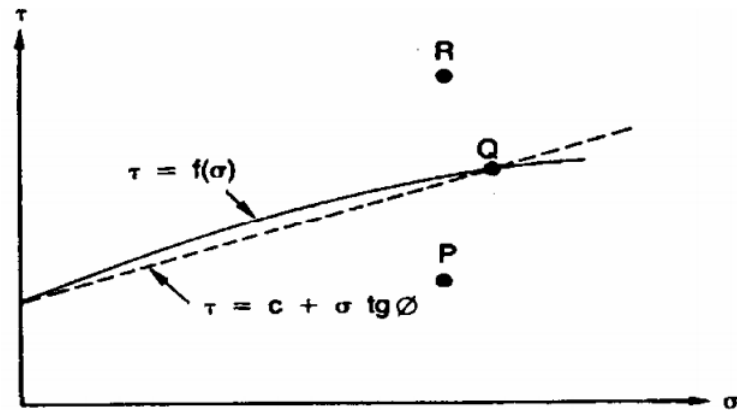
Dimana: τ_f = tegangan geser pada saat terjadi keruntuhan(kN/m^2)

$f(\sigma)$ = tegangan normal pada saat terjadi keruntuhan(kN/m^2)

Menurut Hary (2002:283-284), kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh:

- Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tagangan vertikal yang bekerja pada bidang gesernya.
- Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan vertical pada bidang gesernya.

Menurut Hary (2002:284), mendefenisikan fungsi $f(\sigma)$ dari persamaan kriteria keruntuhan atau kegagalan *Mohr-Coulomb* seperti pada **Gambar 11** di bawah ini.



(Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2002)

Gambar 11. Kriteria Kegagalan Mohr–Coulomb

Kriteria keruntuhan / kegagalan *Mohr-Coulomb* digambarkan dalam bentuk garis lurus. Jika kedudukan tegangan baru mencapai titik P, keruntuhan geser tidak akan terjadi. Pada titik Q terjadi keruntuhan karena titik tersebut terletak tepat pada garis kegagalan. Titik R tidak akan pernah dicapai, karena sebelum mencapai titik R sudah terjadi keruntuhan.

Tegangan-tegangan efektif yang terjadi di dalam tanah dipengaruhi oleh tekanan air pori. Dalam Hary (2002:285) mengubah persamaan *Coulomb* dalam bentuk tegangan efektif.

Nilai kuat geser batuan pada kondisi kering:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \dots\dots\dots (3)$$

Nilai kuat geser batuan pada kondisi jenuh:

$$\tau = c + (\sigma - u) \operatorname{tg} \phi \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

- τ = kuat geser batuan (ton/m^2)
- c = kohesi (ton/m^2)
- σ = tegangan normal (ton/m^2)
- u = tekanan air pori (ton/m^2)
- ϕ = sudut geser dalam ($^\circ$)

Menurut Hary (2002:285), konsep tegangan efektif dirumuskan sebagai:

$$\sigma' = \sigma - u \dots\dots\dots (5)$$

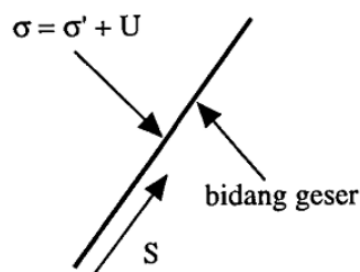
Dimana :

σ' = Tegangan normal efektif

σ = Tegangan normal total

u = Tekanan air pori

Tegangan normal total dan tekanan air pori dapat dihitung atau diperkirakan dari berat satuan dan tebal lapisan tanah/batuan dan letak muka air tanah. Tegangan normal efektif tidak dapat diukur, hanya bisa dihitung apabila tegangan normal total dan tekanan air pori diketahui. Hubungan antara tegangan total, tegangan efektif dan tekanan air pori adalah seperti **Gambar 12** di bawah ini.



(Sumber: *Mekanika Tanah*, Braja M. Das & Khaled Sobhan, 2013)

Gambar 12. Tegangan Total (σ), Tegangan Efektif (σ') dan Tekanan Air Pori (u)

1) Pengujian Kuat Geser Tanah

Parameter kuat geser tanah ditentukan dari pengujian-pengujian laboratorium pada benda uji yang diambil dari lokasi lapangan hasil pengeboran yang dianggap mewakili. Tanah yang diambil dari lapangan harus di usahakan tidak berubah kondisinya, terutama pada

contoh asli (*undisturbed*). Dimana masalahnya adalah harus menjaga kadar air dan susunan tanah di lapangannya supaya tidak berubah. Pengaruh kerusakan contoh benda uji akan berakibat fatal terutama pada pengujian tanah lempung dan *tuff*. Umumnya, contoh benda uji diperoleh baik dengan kondisi terganggu atau tidak asli (*disturbed sample*) maupun di dalam tabung contoh (*undisturbed sample*). Pada pengambilan tanah benda uji dengan tabung, biasanya kerusakan relatif lebih kecil.

Kuat geser tanah dari benda uji yang diperiksa di laboratorium, biasanya dilakukan dengan besar beban yang ditentukan lebih dulu dan dikerjakan dengan menggunakan tipe peralatan yang khusus. Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya kuat geser tanah yang diuji di laboratorium, adalah :

- a) Kandungan mineral dari butiran tanah,
- b) Bentuk partikel,
- c) Angka pori dan kadar air
- d) Searah tegangan yang pernah dialami olehnya,
- e) Tegangan yang ada di lokasinya (di dalam tanah),
- f) Perubahan tegangan selama pengambilan contoh dari dalam tanah.
- g) Tegangan yang dibebankan selama pengujian
- h) Cara pengujian
- i) Kecepatan pembebanan

- j) Kondisi drainase yang dipilih, drainase terbuka (*drained*) atau tertutup (*undrained*),
- k) Tekanan pori yang ditimbulkan,
- l) Kriteria yang diambil untuk penentuan kuat geser

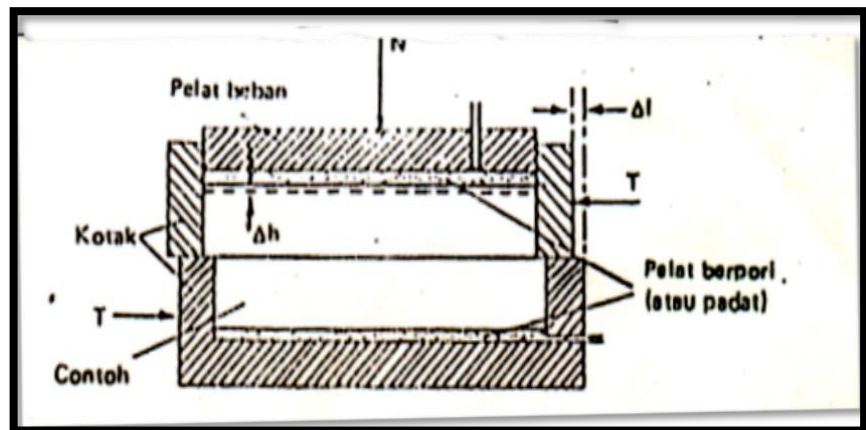
Poin (a) sampai (e) ada hubungannya dengan kondisi aslinya yang tidak dapat dikontrol tetapi dapat dinilai dari hasil pengamatan lapangan, pengukuran, dan kondisi geologi. Butir (f) tergantung dari kualitas benda uji dan penanganan benda uji dalam persiapan pengujiannya. Sedangkan butir (g) sampai (i) tergantung dari cara pengujian yang dipilih.

2) **Pengujian Geser Langsung (*Direct Shear Test*)**

Diagram skematik yang diperoleh dari pengujian geser langsung diperlihatkan pada peralatan pengujian meliputi kotak geser dari besi, yang berfungsi sebagai tempat benda uji. Kotak geser tempat benda uji dapat berbentuk bujur sangkar maupun lingkaran, dengan luas kira-kira $19,35 \text{ cm}^2$ sampai $25,8 \text{ cm}^2$ dengan tinggi 2,54 cm (1"). Kotak terpisah menjadi 2 bagian yang sama. Tegangan normal pada benda uji diberikan dari atas kotak geser. Gaya geser diterapkan pada setengah bagian atas dari kotak geser. Untuk memberikan geseran pada tengah – tengah benda ujinya.

Pada benda uji yang kering, kedua batu tembus air (*porous*) tidak diperlukan selama pengujian, perpindahan akibat geser (ΔL) dari setengah bagian atas kotak geser dan perubahan tebal (Δh) benda uji dicatat. Ada beberapa macam ukuran kotak pengujian

geser langsung. Kotak pengujian geser langsung yang berbentuk bujur sangkar dapat bervariasi dari yang luasnya $100 \times 100 \text{ mm}^2$ sampai $300 \times 300 \text{ mm}^2$. Kotak geser dengan ukuran yang besar digunakan untuk pengujian tanah dengan butiran yang berdiameter lebih besar. Seperti pada **Gambar 13** di bawah ini.



Gambar 13. Alat Pengujian Geser Langsung

Terdapat beberapa batasan ataupun kekurangan dalam pengujian geser langsung, antara lain :

- Tanah benda uji dipaksa untuk mengalami keruntuhan (*fail*) pada bidang yang telah ditentukan sebelumnya,
- Distribusi tegangan pada bidang kegagalan tidak *uniform*.
- Tekanan air pori tidak dapat diukur.
- Deformasi yang diterapkan pada benda uji hanya terbatas pada gerakan maksimum sebesar alat geser langsung dapat digerakkan.
- Pola tegangan pada kenyataannya adalah sangat kompleks dan arah dari bidang-bidang tegangan utama berotasi ketika regangan geser ditambah,

- f) Drainase tidak dapat dikontrol, kecuali hanya dapat ditentukan kecepatan penggeserannya,
- g) Luas bidang kontak antara tanah di kedua setengah bagian kotak geser berkurang ketika pengujian berlangsung, tetapi pengaruhnya sangat kecil pada hasil pengujian, hingga dapat diabaikan.

5. Analisis Kestabilan Lereng

Berdasarkan material pembentuknya, lereng dapat dibedakan atas lereng batuan dan lereng tanah. Disebut batuan apabila material pembentuk lereng tersebut mempunyai kuat tekan lebih besar dari 1 Mpa sedangkan dikatakan tanah apabila material pembentuk lereng tersebut mempunyai kuat tekan lebih kecil dari 1 Mpa. Dari perbedaan tersebut maka pendekatan penyelesaian masalah analisa kestabilan lereng batuan berbeda dengan penyelesaian terhadap lereng tanah atau material lepas.

Dalam menganalisis kemantapan lereng, biasanya diambil asumsi bahwa :

- Tanah merupakan material yang homogen dan kontinu, meskipun kenyataannya tidak demikian.
- Perhitungan dilakukan dalam dua dimensi dan lebar longsor dipertimbangkan sesuai dengan luas penampangnya.
- Analisis selalu dilakukan dalam kondisi tegangan-tegangan efektif.

Faktor keamanan adalah perbandingan antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan. Adanya faktor penentu dalam kemantapan lereng sulit dirumuskan secara matematis menyebabkan nilai faktor

keamanan (F_k) berkisar di kisaran nilai 1,35 dan dari hasil perhitungan belum menjamin lereng berada dalam keadaan seimbang apalagi mantap.

Dalam menganalisis harus ditentukan patokan berapa harga faktor keamanan yang aman untuk lereng, baik untuk lereng tunggal maupun lereng total yang akan digunakan dalam suatu analisis. Dengan demikian maka diambil faktor keamanan yang direkomendasikan oleh Departemen Pekerjaan Umum (tahun 1994) dimana $FK \geq 1,35$ untuk lereng tunggal dan $FK \geq 1,50$ untuk lereng keseluruhan pada analisis lereng.

a. Metode Keseimbangan Batas

Metode ini dapat dinyatakan dengan persamaan-persamaan kesetimbangan dari satu atau beberapa blok yang diasumsikan tidak terdeformasi, dan mengurangi gaya – gaya yang tidak diketahui (reaksi dari bagian stabil massa batuan atau gaya antar blok), khususnya gaya geser yang bekerja pada permukaan longsoran yang dipilih sebelumnya. Dalam metode ini, lereng dibagi dalam beberapa irisan dengan pusat gaya dititik tertentu, kemudian menganalisis gaya yang bekerja pada lereng, saat terjadi longsoran dan setiap bagian pada kondisi kesetimbangan statis.

Dalam Saifuddin (2008:1), semua metode irisan menyatakan kondisi kestabilan suatu lereng dinyatakan dalam suatu indeks yang disebut faktor keamanan (F). Faktor keamanan pada metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Methods*) didefinisikan sebagai perbandingan antara total gaya penahan longsor dengan gaya penyebab longsoran dan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F = \frac{s}{\tau} = \frac{\text{Total} \cdot \text{gaya} \cdot \text{penahan} \cdot \text{longsoran}}{\text{Total} \cdot \text{gaya} \cdot \text{penyebab} \cdot \text{longsoran}} \dots\dots\dots (6)$$

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

$$s = c' + (\sigma_n - u) \tan \phi' \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

s = Kekuatan geser

c' = kohesi efektif

ϕ' = sudut gesek efektif

σ_n = tegangan normal total

u = tekanan air pori

Kekuatan geser tersebut dianggap tidak tergantung pada kondisi tegangan-regangan yang ada pada lereng.

Besarnya tahanan geser yang diperlukan agar lereng berada dalam kondisi tepat setimbang (S_m) dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_m = \frac{s\beta}{F} = \frac{(c' + (\sigma_n - u) \tan \phi') \beta}{F} \dots\dots\dots (8)$$

$$S_m = \frac{c' \beta + (N - u\beta) \tan \phi'}{F} \dots\dots\dots (9)$$

Tabel 3. Faktor Keamanan Minimum Kemantapan Lereng

Resiko *)	Kondisi Bahan	Parameter Kuat Geser **)			
		Maksimum		Sisa	
		Teliti	Kurang Teliti	Teliti	Kurang Teliti
Tinggi	Dengan Gempa	1,5	1,75	1,35	1,5
	Tanpa Gempa	1,8	2	1,6	1,8
Menengah	Dengan Gempa	1,3	1,6	1,2	1,4
	Tanpa Gempa	1,5	1,8	1,35	1,5
Rendah	Dengan Gempa	1,1	1,25	1	1,1
	Tanpa Gempa	1,25	1,4	1,1	1,2

(Sumber : PerMen PU No.22/PRT/M/2007)

- *) - Resiko Tinggi apabila ada konsekuensi terhadap manusia cukup besar (ada pemukiman), dan atau bangunan sangat mahal, dan atau sangat penting.
- Resiko Menengah apabila ada konsekuensi terhadap manusia tetapi sedikit (bukan pemukiman), dan atau bangunan tidak begitu mahal, dan atau tidak begitu penting.
- Resiko Rendah apabila tidak ada konsekuensi terhadap manusia dan bangunan (sangat murah).
- **) - Kuat Geser Maksimum adalah harga puncak dan dipakai bila massa tanah atau batuan yang potensial longsor tidak mempunyai bidang diskontinuitas dan belum pernah mengalami gerakan.
- Kuat geser sisa, digunakan bila massa tanah / batuan yang potensial longsor mempunyai bidang diskontinuitas, dan atau pernah bergerak (walaupun tidak mempunyai bidang diskontinuitas).
- Faktor keamanan pada metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) didefinisikan sebagai perbandingan antara total gaya penahan longsor dengan gaya penyebab longsor.

Langkah pertama yang harus dilakukan untuk menghitung besarnya nilai dari faktor keamanan adalah menentukan jenis kelongsoran yang mungkin terjadi pada suatu bidang gelincir, kemudian menghitung besarnya gaya atau momen yang menyebabkan kelongsoran (gaya penggerak) pada bidang gelincir yang disebabkan oleh berat tanah atau batuan. Langkah berikutnya adalah menghitung besarnya gaya atau momen penahan kelongsoran yang dimiliki oleh tanah atau batuan. Dengan membandingkan kedua momen tersebut maka didapat besarnya nilai dari faktor keamanan.

b. Metoda Grafis (*Hoek & Bray*)

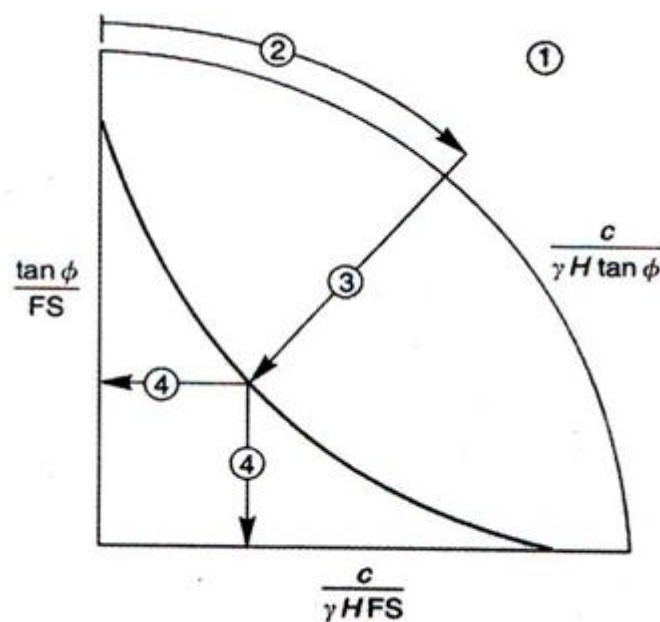
Cara ini terutama tergantung kepada :

- 1) Jenis tanah homogen dan kontinu,
- 2) Longsoran yang terjadi menghasilkan bidang luncur berupa busur lingkaran,
- 3) Tinggi permukaan air tanah pada lereng

Hoek & Bray membuat 5 (lima) buah diagram untuk tiap-tiap kondisi air tanah tertentu, mulai dari sangat kering sampai jenuh (**Gambar 15**). Cara perhitungannya adalah sebagai berikut :

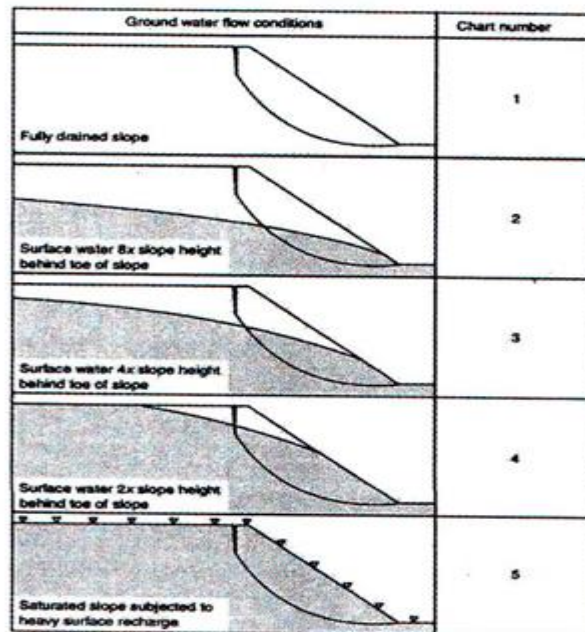
- 1) Langkah 1 : tentukanlah kondisi air tanah yang ada dan sesuaikan dengan **Gambar 14** untuk memilih diagram yang akan digunakan. Pilih yang tepat atau yang mendekati,
- 2) Langkah 2 : hitung angka $\frac{c}{\gamma H \tan \phi}$, kemudian cocokkan angka tersebut pada lingkaran terluar dari diagram (*chart*) yang dipilih,

- 3) Langkah 3 : ikuti jari-jari mulai dari angka yang diperoleh pada langkah 2 sampai memotong kurva yang menunjukkan kemiringan lereng,
- 4) Langkah 4 : dari titik pada langkah 3, kemudian ditarik kekiri dan ke bawah untuk mencari angka-angka $\frac{\tan \phi}{FS}$ dan $\frac{c}{\gamma.H.FS}$
- 5) Langkah 5 : hitung faktor keamanan (FK) dari kedua angka yang diperoleh dari langkah 4 dan pilih yang paling tepat. Seperti pada **Gambar 14** sampai **Gambar 20** di bawah ini.



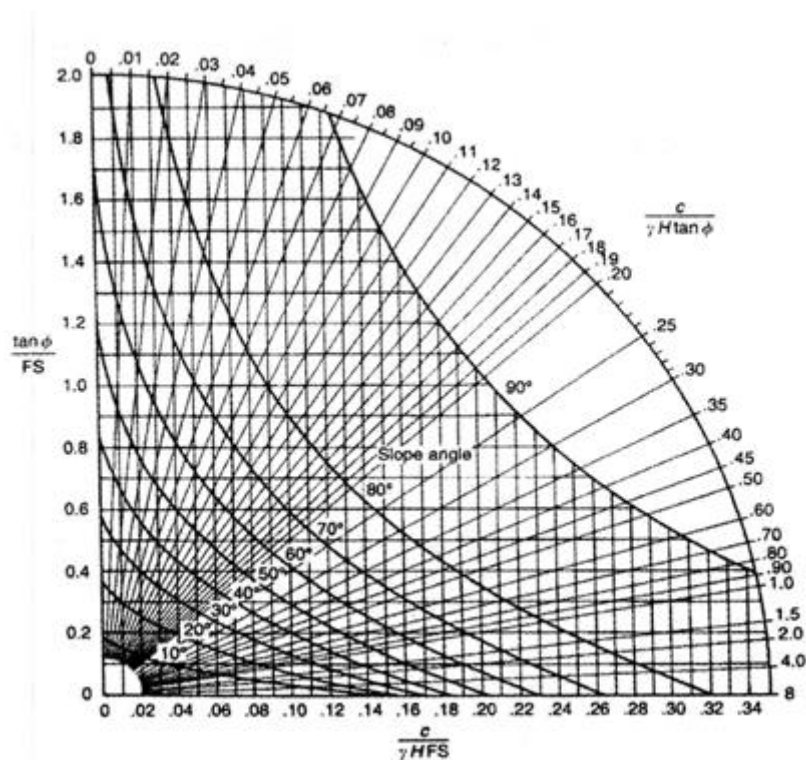
(Sumber: Irwandy Arif Tahun 2016)

Gambar 14. Diagram cara menghitung kestabilan lereng untuk Circular Failure (Hoek and Bray, 1981)



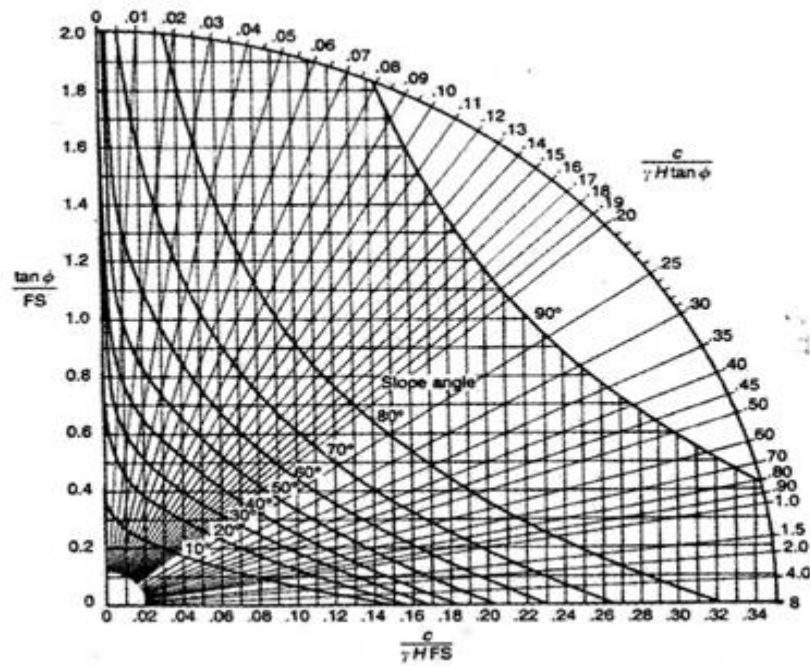
(Sumber: Irwandy Arif Tahun 2016)

Gambar 15. Kondisi air tanah alam lereng *Circular Failure* (Hoek and Bray, 1981)



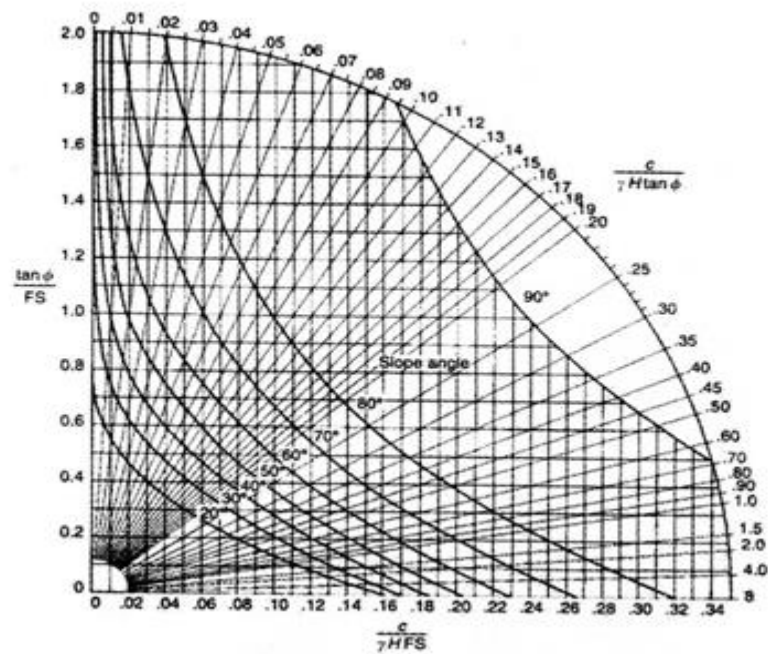
(Sumber: Irwandy Arif, 2016)

Gambar 16. Kondisi nomor 1 air tanah, *Circular Failure* (Hoek and Bray, 1981)



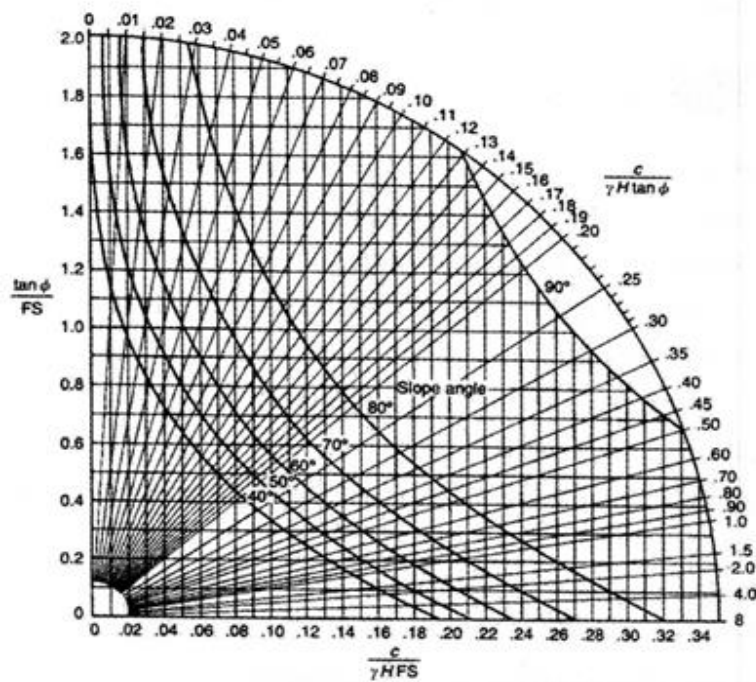
(Sumber: Irwandy Arif, 2016)

Gambar 17. Kondisi nomor 2 air tanah, *Circular Failure* (Hoek and Bray, 1981)



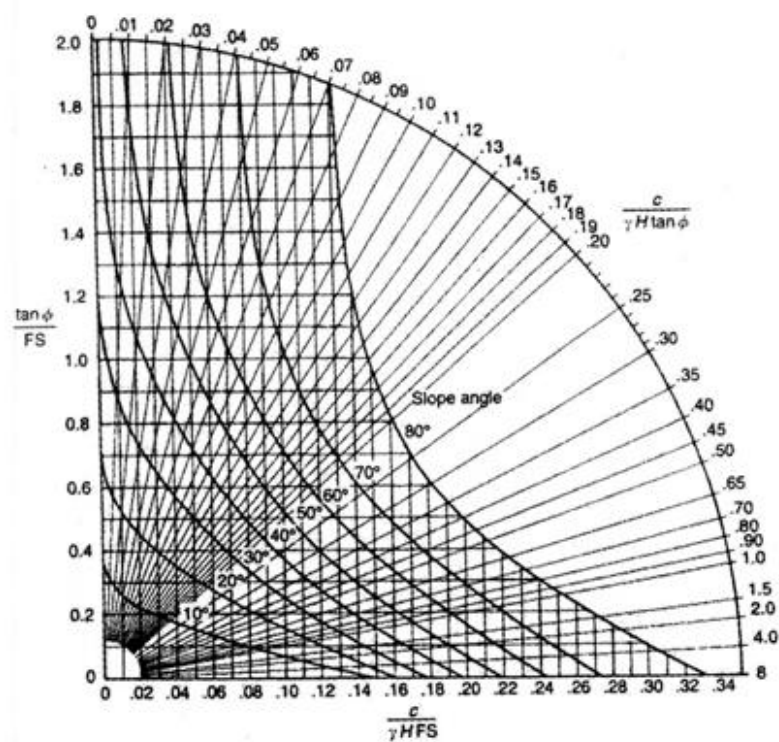
(Sumber: Irwandy Arif, 2016)

Gambar 18. Kondisi nomor 3 air tanah, *Circular Failure* (Hoek and Bray, 1981)



(Sumber: Irwandy Arif, 2016)

Gambar 19. Kondisi nomor 4 air tanah, Circular Failure (Hoek and Bray, 1981)



(Sumber: Irwandy Arif, 2016)

Gambar 20. Kondisi nomor 5 air tanah, Circular Failure (Hoek and Bray, 1981)

Kesetimbangan gaya dalam arah vertikal menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$N \cos \alpha + S_m \sin \alpha - W = 0 \quad \dots\dots\dots(10)$$

Substitusi persamaan (9) ke persamaan (10) akan menghasilkan persamaan untuk gaya normal total (N) sebagai berikut :

$$N = \frac{W - \frac{c \beta \sin \alpha \tan \phi'}{F}}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \beta}{F}} \quad \dots\dots\dots(11)$$

Dengan merujuk pada **Gambar 21**, kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh untuk semua irisan adalah sebagai berikut :

$$\sum_{i=1}^n (WR \sin \alpha + kW (R \cos \alpha - h_c)) - \sum_{i=1}^n (S_m R) + Aa = 0 \dots\dots(12)$$

dimana h_c adalah tinggi pusat massa irisan dari titik tengah pada dasar irisan. Gaya geser antar-irisan dihilangkan dari persamaan di atas karena resultan momen dari gaya-gaya tersebut saling menghilangkan.

Dengan mensubstitusikan persamaan (9) ke dalam persamaan di atas akan menghasilkan persamaan untuk menghitung faktor keamanan (F) sebagai berikut:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n [c' \beta + (N - u \beta) \tan \phi']}{\sum_{i=1}^n \left[W \sin \alpha + kW \left(\cos \alpha - \frac{h_c}{R} \right) \right] + A \frac{a}{R}} \quad \dots\dots\dots(13)$$

Pada persamaan (11) variabel faktor keamanan (F) terdapat pada kedua sisi persamaan sehingga perhitungan nilai F tidak dapat dilakukan secara langsung dan harus dihitung dengan menggunakan aproksimasi berulang (*iterasi*). Aproksimasi berulang dilakukan

beberapa kali sampai nilai perbedaan dari F pada kedua sisi persamaan lebih kecil dari nilai toleransi yang diberikan. Toleransi yang digunakan umumnya 0,005.

Metode Bishop yang disederhanakan merupakan metode sangat populer dalam analisis kestabilan lereng dikarenakan perhitungannya yang sederhana, cepat dan memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup teliti. Kesalahan metode ini apabila dibandingkan dengan metode lainnya yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan seperti *Metode Spencer* atau Metode Kesetimbangan Batas Umum, jarang lebih besar dari 5%. Metode ini sangat cocok digunakan untuk pencarian secara otomatis bidang runtuh kritis yang berbentuk busur lingkaran untuk mencari faktor keamanan minimum.

d. Metode Janbu yang Disederhanakan (*Simplified Janbu Method*)

Metode Janbu yang disederhanakan juga termasuk salah satu metode yang populer dan sering digunakan dalam analisis kestabilan lereng. Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu gaya geser antar irisan sama dengan nol. Metode ini memenuhi kesetimbangan gaya dalam arah vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal untuk semua irisan, namun kesetimbangan momen tidak dapat dipenuhi. Sembarang bentuk bidang runtuh dapat dianalisis dengan metode ini. Metode *simplified Janbu* dapat digunakan untuk menganalisis bidang runtuh *circular* maupun *non circular* (Sharma, 2002:358).

Kesetimbangan gaya dalam arah vertikal dan gaya normal total (N) sama halnya dengan *simplified bishop method*, yakni:

$$N \cos \alpha + S_m \sin \alpha - W = 0 \dots\dots\dots (14)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (10) ke dalam persamaan (15) akan dihasilkan persamaan untuk gaya normal total (N) sebagai berikut:

$$N = \frac{W - \frac{c' \beta \sin \alpha - u \beta \sin \alpha \tan \phi'}{F}}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{F}} \dots\dots\dots (15)$$

Kesetimbangan gaya dalam arah horizontal untuk semua irisan dirumuskan sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^n (E_L - E_R) - \sum_{i=1}^n (N \sin \alpha - S_m \cos \alpha + kW) = 0 \dots\dots (16)$$

Berdasarkan prinsip aksi reaksi bahwa resultan gaya-gaya normal antar irisan akan saling menghilangkan, maka:

$$E_R[j - 1] = E_L[j] \dots\dots\dots (17)$$

Dimana j adalah nomor irisan.

Syarat batas untuk gaya normal antar irisan pada sisi kiri irisan ke-1 dan pada sisi kanan irisan ke-n adalah sebagai berikut:

$$E_L[1] = 0 \dots\dots\dots (18)$$

$$E_R[n] = A \dots\dots\dots (19)$$

Menggunakan persamaan (17), (18), dan (19) maka persamaan (20) dapat ditulis sebagai berikut:

$$-A - \sum_{i=1}^n (N \sin \alpha - S_m \cos \alpha + kW) = 0 \dots\dots\dots (20)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (6) ke dalam persamaan di atas maka diperoleh persamaan untuk menghitung FK sebagai berikut:

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^n (c' \beta + (N - u \beta) \tan \phi') \cos \alpha}{\sum_{i=1}^n (N \sin \alpha + kW) + A} \dots\dots\dots (21)$$

Faktor keamanan (FK) terdapat pada kedua sisi dari persamaan di atas sehingga perhitungannya harus dilakukan dengan menggunakan aproksimasi berulang, sampai diperoleh nilai perbedaan dari F pada sisi kiri dan kanan lebih kecil dari nilai toleransi yang diberikan.

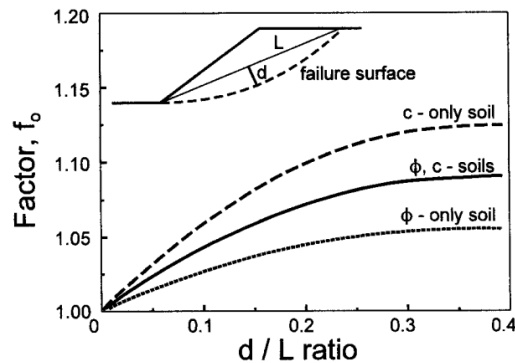
Nilai FK dihitung dengan iterasi hingga perbedaan nilai FK sisi kiri dan kanan persamaan lebih kecil dari nilai toleransi. Nilai FK tersebut kemudian dikalikan dengan f_0 sebagai koreksi dari pengabaian gaya geser antar irisan.

$$FK_{Janbu} = f_0 \times FK \dots\dots\dots (22)$$

$$f_0 = 1 + t \left(\frac{d}{L} - 1,4 \left(\frac{d}{L} \right)^2 \right) \dots\dots\dots (23)$$

Besarnya nilai t bervariasi sesuai dengan jenis tanah, yaitu:

- $t = 0,69$ untuk tanah dengan $c \neq 0$ dan $\phi = 0$.
- $t = 0,31$ untuk tanah dengan $c = 0$ dan $\phi \neq 0$.
- $t = 0,50$ untuk tanah dengan $c \neq 0$ dan $\phi \neq 0$. Seperti pada gambar 30 di bawah ini yaitu, faktor koreksi *Simplified Janbu Method*.



Sumber: Sharma Tahun 2002

Gambar 22. Faktor Koreksi *Simplified Janbu Method*

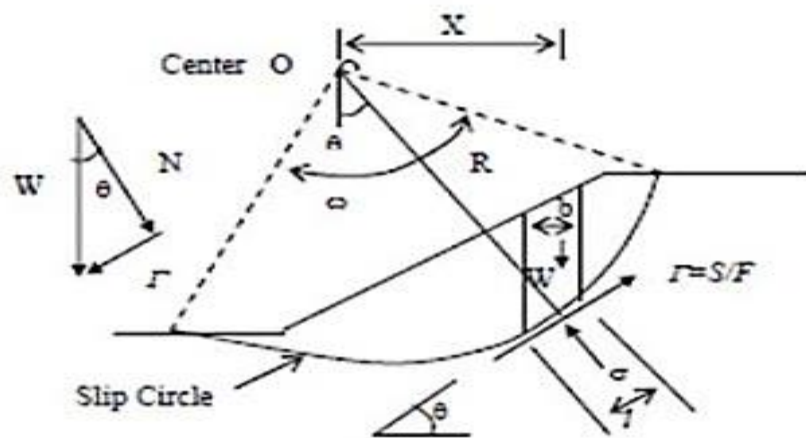
e. Analisis Keamanan Metode Fellenius

Metode ini banyak digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng yang tersusun oleh tanah, dan bidang gelincirnya berbentuk busur (*circular failure*).

Menurut Sowers (1975), tipe longsorang terbagi kedalam 3 bagian berdasarkan kepada posisi bidang gelincirnya, yaitu longsorang kaki lereng (*toe failure*), longsorang muka lereng (*face failure*), dan longsorang dasar lereng (*base failure*). Longsorang kaki lereng umumnya terjadi pada lereng yang relatif agak curam ($>45^\circ$) dan tanah penyusunnya relatif mempunyai nilai sudut geser dalam yang besar ($>30^\circ$). Longsorang muka lereng biasa terjadi pada lereng yang mempunyai lapisan keras (*hard layer*), dimana ketinggian lapisan keras ini melebihi ketinggian kaki lerengnya, sehingga lapisan lunak yang berada diatas lapisan keras berbahaya untuk longsor. Longsorang dasar lereng biasa terjadi pada lereng yang tersusun oleh tanah

lempung, atau bisa juga terjadi pada lereng yang tersusun oleh beberapa lapisan lunak (*soft seams*).

Perhitungan lereng dengan metode Fellenius dilakukan dengan membagi massa longsoran menjadi segmen-segmen seperti pada contoh **Gambar 23**, untuk bidang longsor *circular* adalah:



Sumber: Iriawansony Usop, 2017

Gambar 23. Gaya Yang Bekerja Pada Longsoran Lingkaran

$$\sum W_i \cdot x_i = \sum \tau_i \cdot l_i \cdot R \dots\dots\dots (24)$$

$$FK = \frac{\sum \tau_i \cdot l_i \cdot R}{\sum W_i \cdot x_i} \dots\dots\dots (25)$$

Dimana :

W_i = berat segmen tanah (KN/m)

l_i = panjang busur lingkaran pada segmen yang dihitung (m)

x_i = jarak horizontal dari pusat gelincir ke titik berat segmen (m)

R = jar-jari lingkaran keruntuhan (m)

τ = tegangan geser (kg/cm²)

Untuk tanah kohesif ($\phi = 0$),maka :

$$FK = \frac{Cu \cdot L}{\sum W_i \cdot \sin \theta_i} \dots\dots\dots (26)$$

Dimana :

Cu = kuat geser tanah tak terdrainase

L = panjang total busur gelincir

θ_i = sudut antara bidang horizontal dengan garis kerja kohesi

$$L = \frac{R \cdot \omega \cdot \pi}{180^\circ}$$

ω = sudut busur lingkaran gelincir

Untuk tanah c- ϕ , maka :

$$FK = \frac{C \cdot L + \tan \phi \sum W \cos \theta}{\sum W \cdot \sin \theta} \dots\dots\dots (27)$$

Dimana :

C = kuat geser tanah

W = berat segmen tanah

Metode Fellenius dapat digunakan pada lereng-lereng dengan kondisi isotropis, non isotropis dan berlapis-lapis. Massa tanah yang bergerak diandaikan terdiri dari atas beberapa elemen vertikal. Lebar elemen dapat diambil tidak sama dan sedemikian sehingga lengkung busur di dasar elemen dapat dianggap garis lurus.

Berat total tanah/batuan pada suatu elemen (W), termasuk beban Iuar yang bekerja pada permukaan lereng (**Gambar 23**) W_t , diuraikan dalam komponen tegak lurus dan tangensial pada dasar elemen. Dengan cara ini, pengaruh gaya T dan E yang bekerja disamping elemen diabaikan. Faktor keamanan adalah perbandingan momen penahan longsor dengan penyebab longsor. Pada Gambar 30 momen tahanan geser pada bidang longsor adalah:

$$M_{\text{penahan}} = R \cdot r \dots\dots\dots (28)$$

Dimana :

R = gaya geser

r = jari-jari bidang longsor

Tahanan geser pada dasar tiap elemen adalah :

$$R = S \cdot b = b(c' + \sigma \tan \phi') \dots\dots\dots (29)$$

$$\sigma = \frac{W_t \cos \alpha}{b} \dots\dots\dots (30)$$

Momen penahan yang ada sebesar :

$$M_{\text{penahan}} = r(c'b + W_t \cos \alpha \tan \phi') \dots\dots\dots (31)$$

Komponen tangensial W_t , bekerja sebagai penyebab longsor yang menimbulkan momen penyebab sebesar:

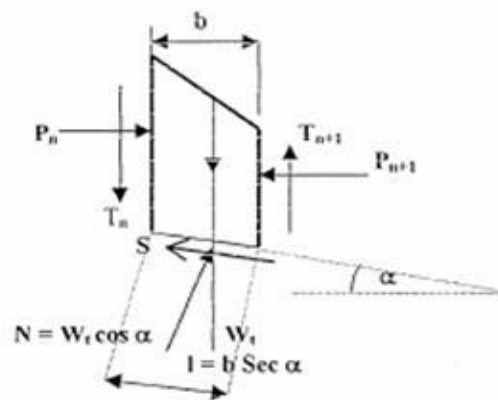
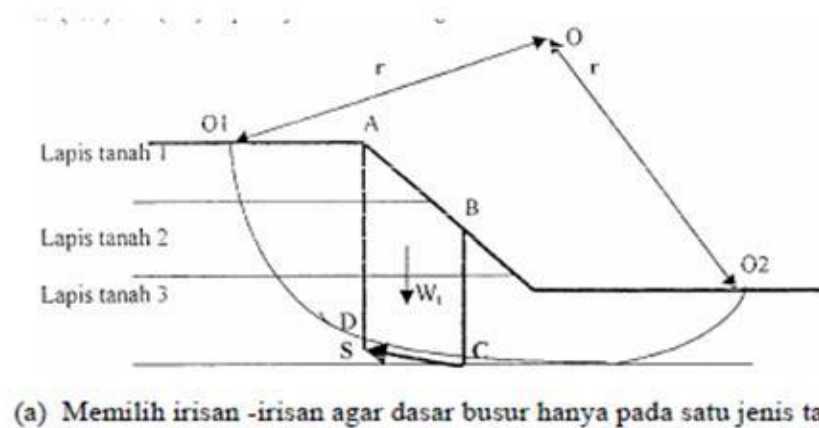
$$M_{\text{penyebab}} = (W_t \sin \alpha) \cdot r \dots\dots\dots (32)$$

Faktor keamanan dari lereng menjadi :

$$FK = \frac{\Sigma(c'b + W_t \cos \alpha \tan \phi')}{\Sigma W_t \sin \alpha} \dots\dots\dots (33)$$

Jika lereng terendam air atau jika muka air tanah diatas kaki lereng, maka tekanan air pori akan bekerja pada dasar elemen yang ada dibawah air tersebut. Dalam hal ini tahanan geser harus diperhitungkan yang efektif sedangkan gaya penyebabnya tetap diperhitungkan secara total, sehingga rumus menjadi :

$$FK = \frac{\Sigma[c'b + (W_t \cos \alpha - u \cdot b) \tan \phi']}{\Sigma W_t \sin \alpha} \dots\dots\dots (34)$$



W_t	= berat tanah irisan
b	= lebar irisan arah dasar
	bidang longsor
$P_n ; P_{n+1}$	= gaya horizontal yang bekerja pada sisi irisan
$T_n ; T_{n+1}$	= gaya tangensial pada sisi irisan
N	= gaya normal yang tegak lurus pada bidang longsor
S	= kekuatan geser yang bekerja sepanjang bidang longsor
α	= kemiringan bidang longsor

(b) Gaya-gaya yang bekerja pada irisan tunggal

Sumber: Iriawansony Usop, 2017

Gambar 24. Sistem Gaya pada Metode Fellenius

C. Penelitian Sejenis

Adapun penelitian sejenis yang pernah dilakukan sebelumnya yaitu :

1. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Husnul Uqba dari Universitas Andalas dengan judul penelitian “Analisis Kelongsoran Tanah Pasir Pada Lereng Koto Alam (STA. 14 + 500)” Studi Kasus Jalan Payakumbuh-Pangkalan” membahas tentang kajian kestabilan lereng dengan menghitung angka keamanan / *safety factor* (*SF*) berdasarkan nilai indeks properties tanah

dan parameter kekuatan tanah. Metoda yang digunakan adalah analisa stabilitas lereng dengan metoda lereng tinggi terbatas dan menggunakan *software* STABL v.05.

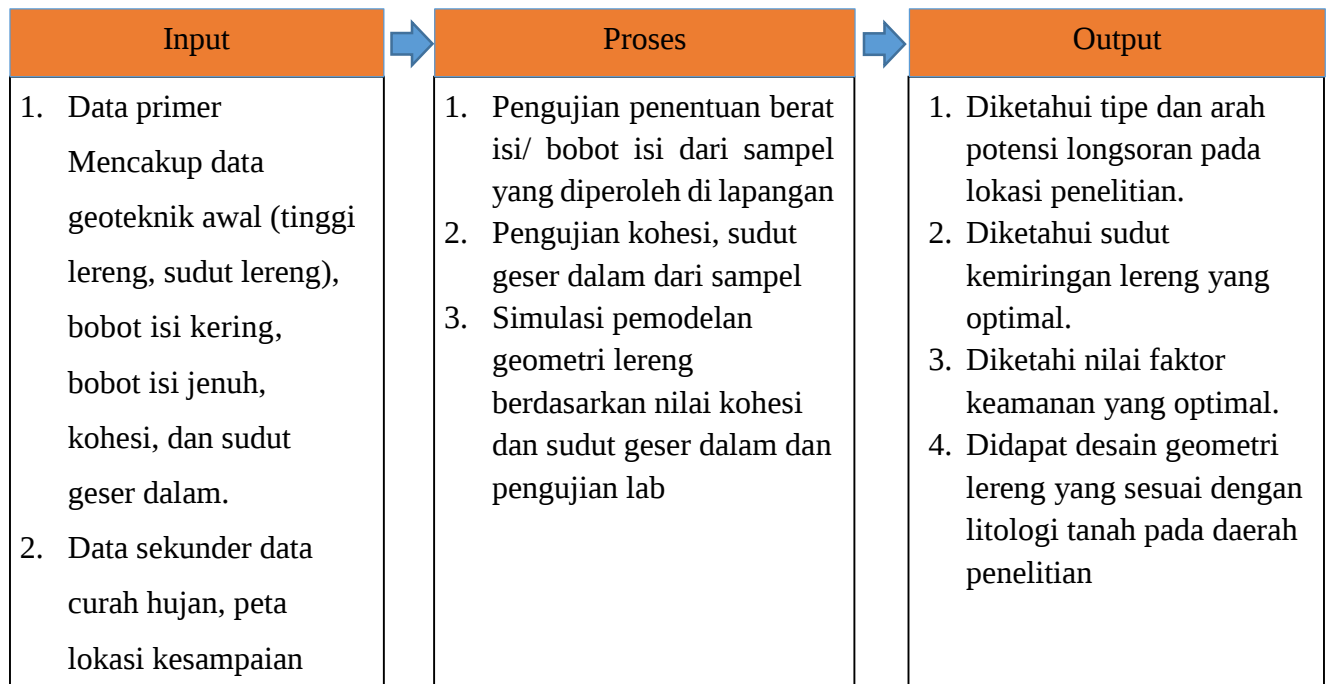
2. Penelitian Andry Simatupang dari Universitas Sumatera Utara tentang “Perbandingan antara Metode Limit Equilibrium dan Metode Finite Element dalam Analisis Stabilitas Lereng”. Penelitian yang dilakukan membahas tentang perbandingan metode kestabilan lereng dengan menggunakan metode keseimbangan dan metode elemen hingga. Dari sekian banyak metode analisis kestabilan lereng, yang paling umum digunakan ialah metode keseimbangan yang umum disebut Metode Limit equilibrium yaitu metode Fellenius, metode Bishop Simplified, metode Janbu Simplified, metode Spencer dan metode Morgenstem & Price. Untuk melakukan perhitungan dalam penyelesaian digunakan perangkat lunak limit equilibrium (LEM) untuk analisis keseimbangan batas dan perangkat lunak finite element untuk perhitungan analisis elemen hingga (FEM). Perbedaan utama antara kedua pendekatan analisis adalah bahwa metode LE didasarkan pada keseimbangan statis sedangkan FE metode memanfaatkan hubungan tegangan-regangan.. Dari hasil analisis, dihasilkan angka keamanan terkecil adalah metode Fellenius ($f_s = 1.295$), metode ini dianggap kurang dapat di andalkan dan baik digunakan untuk analiasa awal. Karena finite element didasarkan pada hubungan tegangan regangan, redistribusi stress pasti lebih baik dalam perhitungan ($f_s=1.682$) sedangkan metode lain memperkirakan angka keamanan lebih tinggi Bendung Kwala Bekala Kampus USU Kwala Bekala tipe urugan tanah (earth fill dam) dengan tinggi 13 meter, dan pada saat tugas

akhir ini disusun bendung belum dibangun sehingga parameter-parameter tanah akan di tentukan.

3. Penentuan Tipe Fungsi Distribusi Probabilitas Sifat Mekanik Batuan Sebagai Analisa Awal Perhitungan Faktor Keamanan Lereng. Penelitian dilakukan oleh Aditya Wardhana pada tahun 2011 di Pit Tutupan PT Adaro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mayoritas jenis batuan di penampang 8 Pit Tutupan (batu lumpur, batu pasir, batubara, dan batu lumpur karbonan) memiliki distribusi nilai sudut geser dalam (Φ) normal dan kohesi berdistribusi lognormal (kecuali untuk batu lumpur).
4. Karakterisasi Parameter Masukan untuk Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (Studi Kasus di PT Tambang Batubara Bukit Asam Tbk). Penelitian dilakukan oleh Masagus Ahmad Azizi dan Rr Harminuke Eko Handayani pada tahun 2011 di PT Bukit Asam. Hasil penelitian menunjukkan karakterisasi terhadap distribusi fungsi kohesi dan sudut geser dalam adalah seragam dan beta. Hasil *fitting* menunjukkan fungsi terbaik untuk distribusi nilai FK adalah seragam dan diperoleh kesimpulan bahwalereng tunggal batu pasir akan tetap stabil hingga maksimum tinggi 40 meter dan sudut 60° .
5. Penelitian Dasri Husein dari Universitas Negeri Padang dengan judul “Analisis Kestabilan Lereng Pit AI-Blok B di PT. Anugerah Alam Andalas Desa Muara Ketalo, Kelurahan Sungai Bengkal, Kecamatan Tebo Ilir, Kabupaten Tebo, Provinsi Jambi”. Mengenai perencanaan geoteknik berupa kestabilan lereng di area penambangan. Perencanaan geometri lereng nantinya akan digunakan metode *Bishop Simplified* dan *Janbu Simplified*.

D. Kerangka Konseptual

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan pada latar belakang diatas dan tujuan dari penelitian ini, maka dapat ditarik sebuah kerangka konseptual yang digambarkan melalui bagan berikut ini.



Gambar 25. Kerangka Konseptual

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan data yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan diantaranya :

1. Kondisi lereng lokasi penelitian tepatnya di ruas jalan Sicincin-Malalak KM 33 memiliki sudut lereng sebesar 49° dengan ketinggian lereng 17,83m dinyatakan dalam kondisi tidak aman karena memiliki nilai keamanan dibawah 1,35 (tanpa kondisi gempa) dan 1,2 (kondisi dengan gempa), sehingga berpotensi menyebabkan terjadinya longsor.
2. Dari hasil pengujian sifat fisik dan mekanik yang telah dilakukan, diperoleh parameter uji yang mempengaruhi kestabilan lereng di lokasi penelitian, yaitu :
 - a. *Top Soil* dengan ketinggian 2,31 m, memiliki bobot isi (γ) = 22,38 KN/m³, bobot isi kering (γ_d) = 19,31KN/m³, kohesi (c) sebesar 17,917 KN/m² dan sudut geser dalam (ϕ) sebesar 24,97°.
 - b. *Clay* dengan ketinggian 4,19 m, memiliki bobot isi (γ) = 22,83 KN/m³, bobot isi kering (γ_d) = 18,3KN/m³, kohesi (c) sebesar 17,015 KN/m² dan sudut geser dalam (ϕ) sebesar 22,46°.
 - c. *Tuff* dengan tinggi 11,33 m memiliki bobot isi (γ) = 35,06 KN/m³, bobot isi kering (γ_d) = 19,31 KN/m³, kohesi (c) sebesar 18,329 KN/m², dan sudut geser dalam (ϕ) sebesar 33,09°.

3. Dari hasil analisis geometri lereng untuk berbagai kondisi yang dilakukan, diketahui nilai keamanan lereng aktual di lokasi penelitian yang memiliki kemiringan lereng 49° dengan menggunakan *software* tambang untuk kondisi kering = 1,093; jenuh = 0,837; natural = 1,044; dan gempa = 0,683. Berdasarkan perhitungan manual, nilai faktor keamanan untuk kondisi kering = 1,093; natural = 1,044; jenuh = 0,837; dan gempa = 0,696. Sedangkan dari diagram *Hoek and Bray*, untuk lereng dengan kondisi keening mempunyai nilai keamanan = 1,09; kondisi natural = 0,92 dan kondisi jenuh = 0,72. Hasil pengujian tersebut menandakan bahwa kondisi lereng di lokasi penelitian dinyatakan tidak aman.
4. Dari hasil pengujian yang dilakukan, rekomendasi lereng yang aman agar tidak terjadi longsor adalah lereng dengan kemiringan 34° , dengan ketinggian lereng 17,83 m, diperoleh nilai faktor keamanan dengan menggunakan *software* tambang untuk kondisi kering = 1,533 (kondisi lereng aman); jenuh = 1,152 (kondisi lereng tidak aman); dan natural = 1,475 (kondisi lereng aman). Berdasarkan perhitungan manual, nilai faktor keamanan untuk kondisi kering = 1,534 (kondisi lereng aman); jenuh = 1,152 (kondisi lereng tidak aman); dan natural 1,476 (kondisi lereng aman). Sedangkan berdasarkan diagram *Hoek and Bray*, nilai keamanan lereng kondisi kering 1,55 (lereng aman); kondisi jenuh 1,14 (lereng tidak aman); dan natural 1,31 (lereng kritis).

B. SARAN

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, penambahan data pengamatan diperlukan untuk memperkecil kesalahan dalam analisis.
2. Perlu dilakukannya pengamatan terhadap getaran, tekanan air tanah, dan aliran air tanah menimbang lereng di lokasi penelitian yang digunakan sebagai jalan lintas alternatif untuk transportasi.
3. Diperlukan pemantauan lebih lanjut untuk mengetahui kondisi dari material perlapisan.
4. Perbaikan geometri lereng lebih lanjut diperlukan untuk mengantisipasi terjadinya kelongsoran.

DAFTAR PUSTAKA

- Abramson, Lee W dkk. 1995. *Slope Stability And Stabilization Methods*. John Wiley & Sons, Inc. New York
- Arif, Irwandy. 2015. *Geoteknik Tambang “Mewujudkan Produksi Tambang yang Kontinu Dengan Menjaga Kestabilan Lereng”*. Penerbit ITB. Bandung.
- Braja M. Das. 1998. “*Mekanika Tanah 1*”. Erlangga. Jakarta.
- Braja M. Das. 1998. “*Mekanika Tanah 2*”. Erlangga. Jakarta.
- Bowles, Joseph E. 1989. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknik Tanah (Mekanika Tanah) Edisi kedua*. Erlangga. Jakarta
- Craig, R.F. 1994. *Mekanika Tanah Edisi keempat*. Erlangga. Ciracas-Jakarta
- Departemen Pekerjaan Umum. 2006. “*Pedoman Penyelidikan dan Pengujian Tanah Dasar untuk Pekerjaan Jalan*”. Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Dibyo Saputro, S. 1992. *Catatan Kuliah Geomorfologi Dasar. Fakultas Geografi. UGM. Yogyakarta*.
- Haswanto, Abd. Ghani Md. Rafek dan Mohd Khairul Azmi bin Mohd Yassin. 2005. *Penerapan Teori Blok Untuk Analisis Kestabilan Lereng di Kuari Rockplus Kuantan Malaysia*. Departemen Geology, UKM. Bang, Malaysia.
- Hoek, E & J.W. Bray. 1981. *Rock Slope Engineering Revisi Edisi ketiga*. The Institution of Mining And Metallurgi. London
- Hirawan, Febri. 2008. *Analisis Kestabilan Lereng*. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Teknologi Mineral dan Batubara ESDM, Bandung
- Karnawati, D. 2005. *Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*. Jurusan Teknik Geologi FT. UGM. Yogyakarta
- PERHAPI. 2009. *Kumpulan Makalah Geoteknik dari Prosiding Temu Profesi Tahunan Perhapi 2005-2008*. Jakarta. Indonesia
- Ruff, M. And Czurda, K. 2007. *Landslide Susceptibility Analysis with a Heuristic Approach at The Eastern Alps*. Voralberg, Austria.
- Sudjana. 1992. *Metode Statistika Edisi ke 5*. Tarsito. Bandung
- Uqba, Husnul. 2016. *Analisis Kelongsoran Tanah Pasir Pada Lereng Koto Alam (STA.14 + 500) Studi Kasus : Jalan Payakumbuh - Pangkalan*. Padang: Universitas Andalas.