ANALISIS PENGARUH VARIASI SUDUT LERENG TERHADAP FAKTOR KEAMANAN LERENG TEBING DI SUNGAI MENGGUNAKAN SOFTWARE SLOPE/W

SKRIPSI

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Ujian Skripsi Program Studi Teknik Sipil

Pada Fakultas Teknik Universitas IBA

OLEH :

DESTI AULIA

NPM.22310007

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS IBA PALEMBANG

2026

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH VARIASI SUDUT LERENG TERHADAP FAKTOR KEAMANAN LERENG TEBING DI SUNGAI MENGGUNAKAN SOFTWARE SLOPE/W

SKRIPSI

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Ujian Skripsi Program Studi Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik Universitas IBA

Palembang, Juli 2026

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS IBA

Dr. Ir. Hardayani harimo,M.T

(NIDN. 99 009944 92)

Menyetujui

Ketua Program Studi

Teknik Sipil

Robi Sahbar, S.T.,MT

(NIDN. 02 030173 02)

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH VARIASI SUDUT LERENG TERHADAP FAKTOR KEAMANAN LERENG TERING DI SUNGAI SOFTWARE SLOPE/W

SKRIPSI

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Ujian Skripsi Program Studi Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik Universitas IBA

Telah di periksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I	Pembimbing II
Universitas IBA	Universitas IBA
Eka Wisnu Sumantri S.T.,M.T	Amelia Rajela, S.T.,MT
(NIDN. 20 7036901)	(NIDN. 00 22077401)

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Destil Aulia

NPM : 22310007

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Variasi Sudut Lereng Terhadap Faktor Keamanan Lereng Tebing Di sungai Menggunakan Software Slope/W.

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas IBA.

DEWAN PENGUJI :

1. Sari Farhanti, ST.MT
NIDN. 02 31077801 (.....)

2. Robi Sahbar, ST.MT
NIDN. 02 03017302 (.....)

3. Dr.Ir. Ramadhani S.T.,MT, IPM.
NIDN. 02 24107201 (.....)

Ditetapkan : Palembang

Tanggal : Agustus 2026

SURAT PERNYATAAN

BEBAS PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama	: Desti Aulia
NPM	: 22310007
Program Studi	: Teknik Sipil
Judul Skripsi	: Analisis Pengaruh Variasi Sudut Lereng Terhadapan Faktor Keamanan Lereng Tebing Di Sungai Menggunakan Software Slopee/W.

Dengan ini menyatakan hasil penulisan Skripsi yang saya buat ini merupakan karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila kemudian hari ternyata penulisan Skripsi ini merupakan plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggung jawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan tata tertib di Universitas IBA.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak ada paksaan dari siapapun dan oleh siapapun.

Palembang, juli 2026

Yang membuat pernyataan,



(Desti Aulia)

NPM. 22310007

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH VARIASI SUDUT LERENG TERHADAP FAKTOR KEAMANAN LERENG TEBING DI SUNGAI MENGGUNAKAN SOFTWARE SLOPE/W

Eka Wisnu Sumantri*, Amelia Rajela*, Desti Aulia**

***) Dosen Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas IBA

**) Alumni Fakultas Teknik, Program Studi Teknik sipil, Universitas IBA

Lereng tebing sungai merupakan bagian geometri yang rentan mengalami ketidakstabilan akibat proses alam maupun aktivitas manusia di sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng tebing sungai, mengetahui pengaruh variasi sudut kemiringan lereng terhadap nilai faktor keamanan (FK), serta menentukan sudut lereng yang memenuhi kriteria keamanan sungai majo, Kecamatan Betung, Kabupaten Banyuasin, Sumatra selatan. Analisis stabilitas dilakukan menggunakan pendekatan metode keseimbangan batas (limit Equilibrium method) dengan metode Morgenstern-Price melalui bantuan software slope/w geometri lereng dimodelkan dengan tinggi yang sama, sementara sudut kemiringan lereng di variasikan 20, 30, 40, 50, dan 60. Hasil analisis menunjukan bahwa peningkatan sudut kemiringan lereng berbanding terbalik dengan nilai faktor keamanan, di mana semakin besar sudut lereng, nilai FK yang dihasilkan semakin menurun. Nilai FK untuk masing masing variasi sudut adalah sebagai berikut: sudut 20 menghasilkan FK sebesar 2,590; sudut 30 sebesar 2,115; sudut 40 sebesar 1,824; sudut 50 sebesar 1,594; dan sudut 60 sebesar 1,261. Berdasarkan hasil tersebut, lereng dengan sudut kemiringan 60 berada dalam kondisi rawan atau kritis karena mendekati batas kesetabilan minimum. Dapat disimpulkan bahwa variasi geometri berupa sudut kemiringan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kestabilan lereng tebing di Sungai Majo.

Kata Kunci: Stabilitas lereng, Sudut kemiringan, Faktor Keamanan, Tebing Sungai, Slope/w

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SLOPE ANGLE VARIATIONS ON THE SAFETY FACTOR OF CLIFF SLOPES IN THE USING SLOPE/W SOFTWARE

Eka Wisnu Sumantri*, Amelia Rajela*, Desti Aulia**

**) Dosen Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas IBA*

**) Alumni Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas IBA*

Riverbank slopes are geometric components that are highly susceptible to instability caused by both natural processes and human activities in the surrounding area. This study aims to analyze the stability of riverbank slopes, determine the effect of slope angle variations on the factor of safety (FS) value, and evaluate the slope angles that meet the safety criteria Majo river, Betung District, Banyuasin Regency, South Sumatra. The stability analysis was conducted using the Limit Equilibrium Method with the Morgenstern-Price approach, utilizing SLOPE/W software. The slope geometry was modeled at a constant height while the slope angles were varied at 20, 30, 40, 50, and 60. The analysis results indicate that an increase in the slope angle is inversely proportonal to the Factor of Safety, meaning that steeper slope angles lead to lower FS values. The FS values obtained for each variation are: 2.590 for a 20 angle; 2.115 for a 30 angle; 1.824 for a 40 angle; 1.594 for a 50 angle; and 1.216 for a 60 angle. Based on these findings, the slope with a 60 inclination is in a critical or vulnerable condition as it approaches the minimum stability threshold. In conclusion, geometrik variations in the form of slope angles exert a significant impact on the bank slope stability of the Majo River.

Keywords: Slope Stability, Slope Angle, Factor of Safety, Riverbank, SLOPE/W

MOTTO

Tidak perlu berjalan cepat, yang terpenting adalah tidak pernah berhenti selangkah demi selangkah revisi demi revisi menuju gerbang kelulusan.

PERSEMBAHAN

Bissmillahirrahmanirrahim...

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nyah sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan penuh kerendahaan hati dan kesabaran yang luar biasa.

Dengan tinta emas rasa syukur dan hati yang penuh hikmah, penelitian ini ku persembahkan sebagai wujud cinta dan dedikasi kepada:

1. Teristimewah dan cinta pertamaku, untuk Almarhum kakek tercinta skripsi ini penulis persembahkan secara istimewah untuk almarhum kakek tercinta terimakasih telah merawat dan membesarkan penulis dengan penuh kasih sayang sejak kecil. Kenangan masa kecil yang begitu indah takkan pernah pudar dari ingatan saat kakek dengan setia selalu mengantar penulis ke sekolah hingga sampai penulis umur 5 tahun dan senyum hangat kakek yang selalu membelikan mainan setiap kali penulis pulang sekolah meskipun kakek telah tiada dan tidak bisa melihat momen ini secara langsung, didikan, perjuangan, dan kasih sayang kakek adalah fondasi utama yang membawa penulis sampai ke titik ini. Skripsi ini adalah wujud bakti dan tanda terima kasih penulis atas segala doa cinta yang telah kakek tanamkan di hidup penulis. Semoga kakek tersenyum bahagia di surga-Nya
2. Skripsi ini penulis persembahkan untuk Almarhumah nenek tercinta sosok malaikat tak bersayap yang telah merawat, membesarkan, dan mencurahkan kasih sayang kepadaku sejak keci meski Allah Swt memanggil nenek pulang saat usia penulis umur 14 tahun. didikan, doa, dan kenangan indah yang nenek titipkan selalu hidup di dalam hatiku. Nek, cucumu yang kecil dulu kini sudah sarjana keberhasilan ini adalah buah dari cinta pertama yang nenek tanamkan semoga ini menjadi amalan jariyah dan membuat nenek tersenyum bahagia di surga-Nya. Al-fatiah
3. Skripsi ini penulis persembahkan secara istimewah untuk biknga dan oom terima kasih yang tak terhingga atas segala kebaikan, ketulusan, dan kasih sayang yang telah biknga dan oom berikan dalam merawat penulis terima kasih telah mendukung penulis dari awal hingga bisa melangkah ke bangku

perkuliahan dan selalu ada di setiap prosesnya skripsi dan gelar ini adalah wujud dari doa, keringat, dan perjuangan biknga dan oom untuk penulis semoga pencapaian ini bisa membuat biknga dan oom bangga

4. Skripsi ini penulis persembahkan untuk kedua orang kandung penulis terima kasih telah menjadi jalan bagi saya untuk hadir ke dunia ini meskipun takdir membawa kita bertumbuh di jalan berbeda lembar akhir perjuangan kuliah ini adalah bentuk penghormatan penulis atas kehidupan yang telah di mulai melalui kalian
5. Kepada diri sendiri, Desti Aulia, terima kasih sudah bertahan dan tetap merayakan diri sendiri sekecil apapun langkahnya yang sdh dilewati. Saya bangga kepada diri saya sendiri karena saya masih bisa tersenyum dan memilih untuk kuat di saat ada pilihan untuk menyerah. Untuk Desti berbahagialah dalam setiap momen karena hidup untuk menerima, menciptakan, dan berbagi kebahagian
6. untuk sahabat sahabat Geo girls Nurelli aprilia kinanti dan Devi permata sari terima kasih telah menjadi ruang aman berkeluh kesah, mendengarkan setiap keluhan tentang dosen pembimbing dan selalu meyakinkan penulis bahwa hari kelulusan itu nyata skripsi ini selesai salah satunya berkat doa dan keberadaan kalian di hidup penulis semoga sukses selalu menyertai langkah kita ke depan
7. sahabat sahabat seperjuangan angkatan 2022 teknik sipil dan semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu terima kasih atas kebersamaan, bantuan, dan semangat yang telah diberikan
8. Terakhir kepada seseorang yang tak kala penting Muhammad Alamsyah Saputra terima kasih telah menjadi sosok yang selalu ada di samping penulis bahkan sejak langkah awal perjuangan ini di mulai, jauh sebelum penulis menginjakan kaki di dunia perkuliahan hingga akhirnya penulis bisa berdiri di titik ini. Terima kasih untuk setiap kata semangat, waktu, kesabaran tanpa batas, dan kepercayaan yang tidak pernah pudar di saat penulis meragukan diri sendiri skripsi ini memang hasil kerjaku tetapi keberadaanya tidak lepas dari dukungan dan ketulusanmu, Terima kasih telah tumbuh dan berjuang bersamaku

KATA PENGANTAR

Assalamua'laikum Wr.Wb

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**Analisis Pengaruh Variasi Sudut Lereng Terhadap Faktor Keamanan Lereng Tebing Sungai Menggunakan Software Slope/W (Studi Kasus Sungai Di Sumatera Selatan)**".

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat akademis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas IBA Palembang.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, bantuan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu **Dr. Ir. Hardayani Haruno, MT**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas IBA Palembang.
2. Bapak **Robi Sahbar S.T., M.T** selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas IBA Palembang.
3. Bapak **Eka Wisnu Sumantri S.T., M.T** selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu, memberikan arahan, ilmu, dan bimbingan yang sangat berharga selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Ibu **Amelia Rajela S.T., M.T** selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa memberikan masukan, koreksi, dan motivasi demi kesempurnaan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen dan Staf Administrasi Program Studi Teknik Sipil Universitas IBA yang telah membekali penulis dengan ilmu pengetahuan selama masa perkuliahan.
6. Pemerintah Daerah dan pihak pengelola terkait di Kecamatan Betung, Kabupaten Banyuasin, yang telah memberikan izin serta membantu penulis dalam proses pengumpulan data lapangan.

7. Sahabat-sahabat seperjuangan Teknik Sipil dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas kebersamaan, bantuan, dan semangat yang telah diberikan.
8. Dan untuk semua pihak yang terlibat dalam membantu dan memberikan saran, motivasi dan doa dalam menyelesaikan laporan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi perbaikan di masa yang akan datang.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca sekalian, penulis banyak mengucapkan terimakasih atas segala doa dan dukungannya. Semoga apa yang kita kerjakan mendapatkan rahmat dan berkah dari Allah SWT.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Palembang, Juli 2026

Penulis

Desti Aulia

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN PENGESAHAN iv
SURAT PERNYATAAN v
BEBAS PLAGIAT v
ABSTRAK vi
MOTTO v
PERSEMBAHAN vi
DAFTAR ISI xiv
DAFTAR GAMBAR xviii
DAFTAR TABEL xix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 3
1.3. Tujuan Penelitian 3
1.4. Manfaat Penelitian 3
1.4.1. Manfaat Akademis 3
1.5. Batasan Masalah 4
1.6. Sistematika Penulisan 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1. Umum 6
2.2. Pengertian Lereng 6

2.2.1. Jenis Lereng 7

2.3. Lereng Tebing Sungai 13

2.4. Longsor Lereng 13

2.4.1. Pengertian Longsor 13

2.4.2. Jenis Longsoran 13

2.4.3. Jenis Jenis Longsoran kompleks yang sering Dijumpai 15

2.5. Stabilitas Lereng 19

2.5.1. Pengertian Stabilitas Lereng 19

2.5.2. Faktor yang Mempengaruhi Stabilitas Lereng 19

2.6. Faktor Keamanan Lereng 20

2.6.1. Parameter Kuat Geser Tanah 20

2.6.2. Kohesi (c) 23

2.6.3. Sudut Geser Dalam (φ) 25

2.6.4. Berat Isi Tanah (γ) 26

2.7. Teori Mohr-Coulomb 28

2.8. Metode Analisis Stabilitas Lereng 30

2.8.1. Metode Fellenius 30

2.8.2. Metode Bishop Simplified 32

2.8.3. Metode Janbu 35

2.8.4. Metode Morgenstern-Price 38

2.9. Software SLOPE/W 40
2.9.1. Pengertian SLOPE/W 40
2.9.2. Keunggulan SLOPE/W 41
2.9.3. Tahapan Analisis pada SLOPE/W 42
2.10. Pengaruh Sudut Lereng terhadap Stabilitas Lereng 43
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 45
3.1. Umum 45
3.2. Lokasi Penelitian 45
3.3. Jenis Penelitian 46
3.4. Data Penelitian 46
3.4.1. Data Primer 46
3.4.2. Data Sekunder 47
3.5. Parameter Tanah 47
3.6. Variabel Penelitian 47
3.6.1. Variabel Bebas 47
3.6.2. Variabel Terikat 48
3.6.3. Variabel Kontrol 48
3.7. Pemodelan Lereng 48
3.8. Metode Analisis Stabilitas Lereng 48
3.8.1. Metode Morgenstern-Price 49

3.9. Tahapan Analisis Menggunakan SLOPE/W 49

3.10. Kriteria Evaluasi Stabilitas Lereng..... 50

3.11. Teknik Analisis Data 50

3.12. Diagram Alir Penelitian..... 51

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN 52

4.1. Analisa..... 52

4.2. Pembahasan 55

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... 57

5.1. Kesimpulan..... 57

5.2. Saran..... 57

DAFTAR PUSTAKA 59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lereng Gunung Mutis, Nusa Tenggara Timur 7

Gambar 2.2 Tebing Sungai Lematang 8

Gambar 2.3 Tebing Pantai Uluwatu, Bali 9

Gambar 2.4 Jenis-Jenis Lereng Jalan 11

Gambar 2.5 Longsor Rotasi 14

Gambar 2.6 Longsor Translasi 14

Gambar 2.7 Rock Fall- Debris Flow 16

Gambar 2. 8 Slump- Eaeth Flow 16

Gambar 2.9 Rock Slide- Avalanche 17

Gambar 2.10 Complex Landslide 17

Gambar 2.11 Composite Landslide 18

Gambar 3. 1. Lokasi Penelitian 46

Gambar 4. 1. Ukuran Model 52

Gambar 4. 2. Sudut Lereng yang Akan Divariasikan 53

Gambar 4. 3. Faktor Keamanan Lereng Sudut 20°. 53

Gambar 4. 4. Faktor Keamanan Lereng Sudut 30° 54

Gambar 4. 5. Faktor Keamanan Lereng Sudut 40° 54

Gambar 4. 6. Keamanan Lereng Sudut 50° 55

Gambar 4. 7. Faktor Keamanan Lereng Sudut 60° 55

Gambar 4. 8. Grafik Perbandingan Faktor Keamanan 56

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Kriteria Faktor Keamanan Lereng 20
Tabel 2. 2 Hubungan Sudut Lereng dengan FK.....44
Tabel 4. 1. Faktor Keamanan dan Keadaan Lereng 52

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sungai merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki peranan penting dalam kehidupan manusia, baik sebagai sumber air, sarana transportasi, maupun sebagai bagian dari sistem drainase alami. Keberadaan sungai juga berfungsi sebagai pengendali aliran air permukaan dan menjaga keseimbangan lingkungan. Namun demikian, perubahan kondisi alam maupun aktivitas manusia di sekitar daerah aliran sungai dapat menyebabkan gangguan terhadap kestabilan tebing sungai.

Lereng tebing sungai merupakan bagian dari geometri sungai yang berfungsi mempertahankan bentuk dan alur sungai. Dalam kondisi tertentu, lereng tebing sungai dapat mengalami ketidakstabilan yang ditandai dengan terjadinya longsoran. Longsor pada tebing sungai dapat menyebabkan penyempitan alur sungai, sedimentasi, kerusakan lahan di sekitar sungai, serta mengancam infrastruktur yang berada di dekat tebing sungai seperti jalan, jembatan, bangunan, maupun utilitas lainnya. Oleh karena itu, analisis stabilitas lereng tebing sungai menjadi salah satu aspek penting dalam bidang geoteknik dan rekayasa sipil.

Stabilitas lereng dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain sifat fisik dan mekanik tanah, kondisi muka air tanah, beban eksternal, serta geometri lereng. Salah satu faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kestabilan lereng adalah sudut lereng. Semakin besar sudut kemiringan lereng, maka gaya penggerak yang berpotensi menyebabkan longsor akan semakin besar. Sebaliknya, lereng dengan kemiringan yang lebih landai umumnya memiliki kondisi yang lebih stabil karena gaya penahan tanah lebih mampu menahan gaya penggerak yang bekerja.
Dalam perencanaan dan evaluasi lereng, tingkat kestabilan umumnya dinyatakan dalam bentuk Faktor Keamanan (Factor of Safety/FS). Faktor keamanan merupakan perbandingan antara gaya atau momen penahan terhadap gaya atau momen penggerak pada suatu bidang longsor potensial. Nilai faktor keamanan

digunakan sebagai indikator untuk menentukan apakah suatu lereng berada dalam kondisi aman, kritis, atau berpotensi mengalami kegagalan.

Perkembangan teknologi komputer telah memungkinkan analisis stabilitas lereng dilakukan dengan bantuan perangkat lunak geoteknik yang memiliki tingkat ketelitian tinggi. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan dalam analisis stabilitas lereng adalah SLOPE/W yang merupakan bagian dari paket perangkat lunak GeoStudio. SLOPE/W menggunakan metode keseimbangan batas (Limit Equilibrium Method) untuk menghitung faktor keamanan lereng berdasarkan parameter tanah, kondisi geometri, serta kondisi batas yang diberikan. Software ini mampu menganalisis berbagai bentuk bidang longsor dan menyediakan hasil analisis yang lebih efisien dibandingkan perhitungan manual.

Di Provinsi Sumatera Selatan terdapat banyak sungai besar maupun sungai kecil yang memiliki tebing dengan karakteristik tanah yang beragam. Kondisi geologi dan geomorfologi wilayah Sumatera Selatan menyebabkan beberapa daerah tebing sungai rentan mengalami longsor, terutama pada daerah yang memiliki kemiringan lereng cukup curam. Oleh karena itu, diperlukan kajian mengenai pengaruh geometri lereng terhadap tingkat kestabilan lereng tebing sungai sehingga dapat diperoleh informasi mengenai sudut lereng yang masih memenuhi persyaratan keamanan.

Penelitian ini dilakukan dengan memodelkan lereng tebing sungai menggunakan software SLOPE/W dan menganalisis pengaruh variasi sudut lereng terhadap nilai faktor keamanan. Variasi sudut lereng yang digunakan dalam penelitian ini adalah 20°, 30°, 40°, 50°, dan 60°. Dengan melakukan variasi tersebut, diharapkan dapat diketahui hubungan antara perubahan sudut lereng dan tingkat kestabilan lereng, serta diperoleh sudut lereng yang memberikan kondisi stabil berdasarkan nilai faktor keamanan yang dihasilkan.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu geoteknik, khususnya dalam bidang analisis stabilitas lereng, serta menjadi referensi bagi perencana dan pengelola infrastruktur yang berhubungan dengan penanganan lereng tebing sungai di Sumatera Selatan maupun daerah lain yang memiliki karakteristik serupa.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi stabilitas lereng tebing sungai pada lokasi penelitian berdasarkan analisis menggunakan software SLOPE/W?
2. Bagaimana pengaruh variasi sudut lereng terhadap nilai faktor keamanan lereng tebing sungai?
3. Berapa sudut lereng yang masih memenuhi kriteria faktor keamanan yang dipersyaratkan berdasarkan hasil analisis SLOPE/W?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis stabilitas lereng tebing sungai menggunakan software SLOPE/W.
2. Menganalisis pengaruh variasi sudut lereng sebesar 20°, 30°, 40°, 50°, dan 60° terhadap nilai faktor keamanan lereng.
3. Menentukan sudut lereng yang memenuhi kriteria stabilitas berdasarkan nilai faktor keamanan hasil analisis.

1.4. Manfaat Penelitian

1.4.1. Manfaat Akademis

1. Menambah referensi ilmiah mengenai analisis stabilitas lereng tebing sungai menggunakan software SLOPE/W.
2. Menjadi bahan kajian bagi mahasiswa dan peneliti yang melakukan penelitian di bidang geoteknik, khususnya stabilitas lereng.
3. Memberikan pemahaman mengenai pengaruh geometri lereng terhadap faktor keamanan lereng.

1.5. Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, maka penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Penelitian dilakukan pada lereng tebing sungai yang berada di wilayah Sumatera Selatan.
2. Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan software SLOPE/W.
3. Metode analisis yang digunakan adalah metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) dengan metode Morgenstern-Price.
4. Variasi sudut lereng yang dianalisis meliputi:
    a. 20°
    b. 30°
    c. 40°
    d. 50°
    e. 60°
5. Parameter tanah yang digunakan mengacu pada data hasil investigasi tanah dan/atau data sekunder yang tersedia.
6. Kondisi muka air tanah dianggap tetap selama proses analisis.
7. Peraturan yang digunakan adalah SKSNI Geoteknik (SNI 8460, 2017)
8. Pengaruh fluktuasi muka air sungai tidak diperhitungkan dalam penelitian ini.
9. Pengaruh gempa bumi tidak diperhitungkan dalam penelitian ini.
10. Analisis hanya difokuskan pada perubahan nilai faktor keamanan akibat variasi sudut lereng.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, hipotesis penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep lereng, stabilitas lereng, faktor keamanan, teori kuat geser tanah, metode analisis stabilitas lereng, software SLOPE/W, penelitian terdahulu, dan kerangka pemikiran penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan lokasi penelitian, data penelitian, parameter tanah yang digunakan, tahapan pemodelan pada software SLOPE/W, variasi sudut lereng yang dianalisis, serta prosedur penelitian dan diagram alir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pemodelan dan analisis stabilitas lereng untuk setiap variasi sudut lereng, nilai faktor keamanan yang diperoleh, hubungan antara sudut lereng dan faktor keamanan, serta pembahasan hasil penelitian berdasarkan teori dan penelitian terdahulu.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya maupun penerapan di lapangan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Stabilitas lereng merupakan salah satu aspek penting dalam bidang geoteknik yang berkaitan dengan kemampuan suatu lereng untuk mempertahankan kondisi keseimbangannya terhadap gaya-gaya yang bekerja. Ketidakstabilan lereng dapat mengakibatkan terjadinya longsoran yang berpotensi menimbulkan kerugian ekonomi, kerusakan lingkungan, serta membahayakan keselamatan manusia. Oleh karena itu, analisis stabilitas lereng diperlukan untuk mengetahui tingkat keamanan suatu lereng dan menentukan tindakan yang diperlukan untuk mencegah terjadinya kegagalan lereng.

Pada penelitian ini, analisis stabilitas dilakukan pada lereng tebing sungai dengan menggunakan software SLOPE/W. Variabel utama yang ditinjau adalah variasi sudut lereng dan pengaruhnya terhadap nilai faktor keamanan (Factor of Safety/FS).

Faktor Keamanan (FK)	Keadaan Lereng
FK< 1,00	Lereng dalam kondisi tidak mantap (lereng labil)
1,00<FK<1,20	Lereng dalam kondisi kemantapan diragukan
1,30<FK<1,40	Lereng dalam kondisi memuaskan
1,50<FK<1,70	Lereng dalam kondisi mantap (lereng stabil

Sumber: Sosradarsono, 2003

2.2. Pengertian Lereng

Lereng merupakan permukaan tanah yang memiliki kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal. Lereng terbentuk akibat proses alami maupun aktivitas manusia. Menurut Duncan dan Wright (2005), lereng adalah massa tanah atau batuan yang memiliki permukaan miring dan berpotensi mengalami pergerakan akibat pengaruh gravitasi.

2.2.1. Jenis Lereng

Secara umum lereng dibedakan menjadi dua jenis:

A. Lereng Alami

Lereng yang terbentuk secara alami akibat proses geologi dan geomorfologi.

1) Lereng perbukitan



Gambar 2.1 Lereng Gunung Mutis, Nusa Tenggara Timur
(Sumber : Lorensa Aldayanti Tanebeth)

Lereng perbukitan adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal. Secara alami, lereng terbentuk akibat proses geologi seperti aktivitas tektonik, vulkanisme dan erosi

1. Puncak (Waxing Slope/Crest) bagian teratas yang cenderung cembung, didominasi oleh proses pelapukan fisik dan kimia
2. Muka berbantu/ tebing (Free Face) bagian lereng terjal tanpa vegetasi dimana batuan dasar terekpos, batuan yang lepas akan langsung jatuh ke bawah.
3. Lereng Puing (Debris/Constant Slope) bagian lurus dimana hasil material hasil rombakan dari atas terakumulasi dengan sudut kemiringan yang dikontrol oleh angle of repose (sudut geser dalam material)
4. Kaki lereng (Waning/Pediment Slope) bagian bawah yang terbentuk cekung (concave) dan menjadi zona pengendapan akhir material sedimentasi

2) Tebing sungai

Berdasarkan buku River Mechanics (Robert S. Anderson) tebing sungai adalah bagian dari saluran sungai yang membatasi aliran air pada kondisi normal dan mengarahkannya disepanjang alur.



Gambar 2.2 Tebing Sungai Lematang

(Sumber : Lematang River near Besak Hill, Lahat, South Sumatra)

a. Morfologi Aliran apakah sungai berbentuk lurus, beranyam (braided) atau berbelok belok (meander)
b. Komposisi Material tebing bisa berupa material kohesif (lempung/lanau) yang lebih tahan erosi tetapi rentan longsor massa, atau non-kohesif (pasir/kerikil) yang mudah tererosi per butir

3) Tebing pantai

Berdasarkan literatur geomorfologi (seperti buku Coastal Environments atau Geomorphology of Rocky Coasts) tebing pantai adalah bentuk lahan (landform) berupa lereng terjal hingga vertikal yang terbentuk diarea pesisir akibat interaksi antara proses pematungan darat (sub-aerial) dan aktivitas gelombang laut. Tebing pantai biasanya mencirikan pantai berbatu (rocky coast) dan merupakan zona dinamis yang terus mengalami erosi dan retret (mundurnya garis tebing)



Gambar 2.3 Tebing Pantai Uluwatu, Bali
(Sumber: Anton Ardyanto. (2017).

Proses pembentukan dan dinamika erosi pembentukan tebing pantai di pengaruhi oleh dua faktor utama yang bekerja secara simultan

a) Proses kelautan (*Marine Processes*)

   Gelombang laut adalah agen utama pengikis kaki tebing melalui beberapa mekanisme :

   1) Hidrolik (*Hydraulic Action*) kekuatan hantaman air gelombang yang menjebak dan menekan udara di dalam celah batuan tebing, menyebabkan batuan retak dan pecah.
   2) Abrasi/Korasi (*Abrasion/Corrasion*) gelombang melemparkan material sedimen (pasir, kerikil, batu) ke dinding tebing, bertindak seperti ampelas yang mengikis batuan.
   3) Korasi/Solusi (*Corrosion/Solution*) pelarutan kimiawi batuan (terutama kapur/karast) oleh air laut yang bersifat asam lemah

b) Proses darat/sub-aerial (*Sub-aerial Processes*)

   1) Pelapukan (*Weathering*) pelapukan fisika (seperti siklus basah-kering atau kristalisasi garam) dan pelapukan kimia melemahkan struktur batuan atas tebing.
   2) Mas Wasting (Gerakan Massa Tanah/Batuan) akibat hilangnya topangan di bagian kaki tebing oleh erosi laut, bagian atas tebing mengalami longsar (*landslide*), runtuhan batu (*rockfall*), atau rayapan (slump)

3) Profil morfologi tebing pantai secara tipikal, perkembangan erosi pada tebing pantai membentuk berapa fitur morfologi yang khas dari waktu ke waktu:
   a) Takik pantai (*Wave-cut Notch*) cekungan atau taktik yang terbentuk di pangkal/kaki tebing akibat kikisan konstan gelombang pada pasang tinggi.
   b) Runtuhan tebing ketika takik semakin dalam, bagian atas tebing kehilangan penyangga dan runtuhan akibat gravitasi, menyebabkan garis tebing mundur (cliff retreat).
   c) Pelataran pengikisan gelombang (*Wave-cut Platform/Shore Platform*) lantai batuan yang relatif datar di kaki tebing yang tersisa setelah tebing utama mundur. Pelataran ini biasanya terlihat jelas saat air laut surut
4) Faktor yang mempengaruhi laju erosi tebing
   a. Litelogi (jenis batuan) tebing dari batuan keras (seperti granit atau basal) akan terkikis sangat lambat dibandingkan dengan batuan lunak (seperti batu pasir, lempung, atau kapur/chalk)
   b. Stuktur geologi: adanya kekar (*joints*) patahan (*faults*), dan kemiringan lapisan batuan (dipping) mempermudah air gelombang untuk menyusup dan merusak tebing.
   c. Energi gelombang: pantai yang menghadap langsung ke samudra lepas dengan gelombang energi tinggi (pantai high-energy) mengalami erosi jauh lebih cepat dibandingkan pantai di teluk yang terlindung
5) Klasifikasi tebing pantai secara umum, tebing pantai diklasifikasikan berdasarkan keaktifannya:
   a. Tebing aktif (Active Cliff): tebing yang batas kakinya bersentuhan langsung dengan laut, sehingga proses erosi gelombang dan mundurnya tebing terus berlangsung secara intersif.

b. Tebing tidak Aktif/Mati (Incative/Abandoned cliff): tebing yang sudah terpisah dari jangkauan gelombang laut langsung, biasanya karena adanya pengendapan material (seperti pembentukan pantai pasir yang luas di depannya) atau akibat pengangkatan tektonik (sea-level fall)

B. Lereng Buatan

Lereng yang terbentuk akibat aktivitas manusia. Contoh Jenis jenis lereng jalan**.** Berdasarkan proses pembentukannya dalam proyek kontruksi jalan, lereng dibagi menjadi dua jenis utama:



Gambar 2.4 Jenis-Jenis Lereng Jalan
(Sumber : geoteknik & USGS)

a. Lereng jalan

Materi mengenai lereng jalan (*road slope/side slope*) merupakan bagian penting dalam teknik jalan raya (*highway engineering*) dan geoteknik. Pembahasan ini berfokus pada stabilitas, geometri, dan penangan lereng di sepanjang koridor jalan, baik lereng potong (*cut slope*) maupun lereng timbunan (*embankment slop*e)

b. Lereng potong (*Cut Slope*) lereng yang terbentuk ketika jalur jalan harus menembus bukit atau medan yang tinggi. Karakteristiknya sangat bergantung pada sifat asli batuan atau tanah di lokasi tersebut.

C. Lereng bendungan

Secara umum, materi mengenai lereng bendungan terutama bendungan urugan (*earthfill/rockfill dam*) berfokus pada stabilitas, parameter tanah, gaya gaya yang bekerja, serta metode analisisnya.

1. Stuktur dan Bagian Lereng Bendunga

   Bendungan urugan biasanya memiliki dua bagian lereng utama dengan karakteristiknya fungsional yang berbeda:

   a. Lereng hulu (*Upstream Slope*) Berhadapan langsung dengan air waduk Tantangan terbesar mengalami tekanan hidrostatik saat waduk penuh dan risiko kelongsoran akibat penurunan muka air yang cepat (*rapid drawdown*) Biasanya di lindungi oleh rip-rap (tumpukan batu) atau beton untuk mencegah erosi akibat gelombang air.

   b. Lereng Hilir (*Downstream Slope*) Menghadap ke arah luar (kering) Tantangan terbesar resiko rembesan (*seepage*) yang keluar dari tubuh bendungan yang dapat menyebabkan erosi internal *(piping*) Biasanya dilengkapi dengan sistem drainase (*seperti toe drain atau blanket drain*) dan dilapisin rumput untuk mecegah erosi akibat air hujan.

D. Lereng tambang

Analisis dan kemantapan lereng tambang (*khususnya tambang rerbuka atau open pit*) merupakan aspek krusial dalam geoteknik pertambangan. Kegagalan lereng dapat berdampak fatal pada keselamatan pekerja, kerusakan alat berat, hingga terhentinya operasional tambang.

1. Komponen Geometri Lereng Tambang

   Dalam merancang lereng tambang terbuka, terdapat beberapa parameter geometri utama yang harus di perhitungkan

   a) *Face Angle* (Sudut Lereng Tunggal) Sudut kemiringan dari satu jenjang individu

   b) *Bench* (Jenjang /berm) Teras datar yang dibuat untuk menahan batuan yang runtuh dari atas dan mengontrol erosi.

   c) *Bench Width* (Lebar jenjang) Lebar area datar penahan runtuhan.

   d) *Interramp Angle (IRA)* Sudut keseluruhan dari sekumpulan jenjang di antara area jalan angkut *(haul road*)

e) *Overall Slope Angle (OSA)* Sudut total lereng dari kaki paling bawah (*toe)* hingga puncak paling atas (*crest*) termasuk jalan angkut wsx

2.3. Lereng Tebing Sungai

Lereng tebing sungai merupakan bagian sisi sungai yang berfungsi membatasi aliran air. Lereng ini terbentuk akibat proses erosi, sedimentasi, dan perubahan morfologi sungai.

A. Karakteristik lereng tebing sungai dipengaruhi oleh:
   1. Jenis tanah
   2. Tinggi tebing
   3. Kemiringan lereng
   4. Muka air tanah
   5. Aktivitas erosi sungai

B. Ketidakstabilan lereng tebing sungai dapat menyebabkan:
   1. Longsor tebing
   2. Penyempitan sungai
   3. Kerusakan infrastruktur
   4. Sedimentasi sungai

2.4. Longsor Lereng

2.4.1. Pengertian Longsor

Longsor merupakan pergerakan massa tanah atau batuan dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah akibat pengaruh gravitasi. Menurut Cruden (1991), longsor adalah perpindahan massa material yang membentuk lereng akibat kegagalan pada bidang gelincir tertentu.

2.4.2. Jenis Longsoran

a) Longsoran Rotasi

   Menurut Varnes (1978) dalam klasifikasi gerakan massa batuan/tanah yang diperbarui oleh Cruden dan Varnes (1996), longsoran rotasi adalah

pergerakan massa tanah atau batuan di sepanjang bidan gelincir yang melengkung ke atas (cekung/konkaf)

- Bidang longsor berbentuk lengkung atau melingkar.
- Umumnya terjadi pada tanah kohesif.



Gambar 2.5 Longsor Rotasi

(Sumber : Karmila 2021, Universitas Hasanuddin)

b) Longsoran Translasi

Longsoran Translasi (Translational Landslide) adalah salah satu jenis gerakan massa tanah atau batuan di mana massa tersebut bergerak ke arah bawah dan keluar lereng melalui suatu permukaan genjang atau bidang gelincir yang relatif rata atau planar (tidak melengkung)

- Bidang longsor berbentuk datar atau hampir datar.
- Banyak terjadi pada tanah berlapis.



Gambar 2.6 Longsor Translasi

(Sumber : Karmila 2021, Universitas Hasanuddin)

c) Longsoran Kompleks

Definisi dan Konsep dasar

Dalam termilogi geologi teknik dan mekanika tanah, longsoran kompleks didefinisikan sebagai jenis gerakan massa tanah atau batuan yang melibatkan kombinasi dari dua atau lebih tipe gerakan utama secara berurutan (sequential)

Menurut Cruden dan Varnes (1996), jika suatu massa lereng mengalami runtuh (collapse) dengan satu jenis gerakan lain saat bergerak ke bawah lereng, maka fenomena ini dikategorikan sebagai fenomena kompleks

Karakteristik Utama Longsoran Kompleks

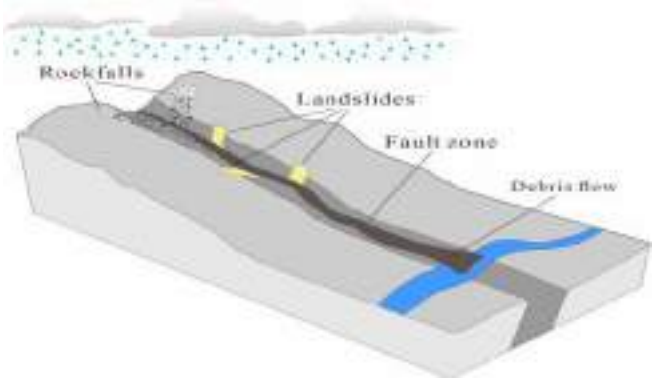
1) Perubahan Fase Gerakan: Massa material yang awalnya bergerak rigid (kaku) dapat berubah menjadi fluida (mengalir) karena hancurnya struktur tanah/batuan dan bercampur dengan air
2) Pemicu Multi-Faktor: Sering kali dipicu oleh curah hujan ekstrem dengan intensitas tinggi, gempa bumi, atau pemotongan lereng yang tidak stabil.

Dampak Merusak yang luas: Karena sering berakhir sebagai aliran (flow), jangkauan (run-out distance) dan kecepatan longsoran kompleks cenderung sangat tinggi, sehingga memiliki resiko kebencanaan yang sebar.

2.4.3. Jenis Jenis Longsoran kompleks yang sering Dijumpai

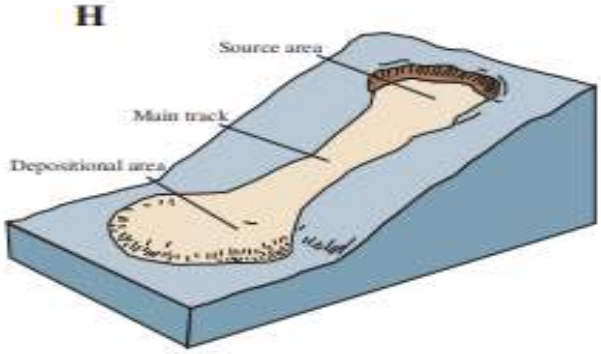
a) Rock Fall- Debris Flow (Runtuhan Batuan- Aliran Hambatan)

Mekanisme: Diawali dengan runtuhnya batuan (rockfall) dari tebing yang terjal akibat pelapukan atau kekar (fracture). Saat batuan tersebut jatuh dan menghantam lereng bawah yang jenuh air, material batuan hancur dan bercampur dengan tanah sedimen, lalu bergerak cepat ke bawah sebagai aliran debris (debris flow)



Gambar 2.7 Rock Fall- Debris Flow
(Sumber : United States Geological Survey (USGS), *Types of Landslides*, Landslide Hazards Program.)

b) Slump- Eaeth Flow (Gelinciran Rotasional- Aliran Tanah)
Mekanisme: Ini adalah tipe longsoran kompleks yang paling umum pada lereng tanah lempung atau lanau.



Gambar 2. 8 Slump- Eaeth Flow
(Sumber : Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008).

c) Rock Slide- Avalanche (Longsoran Batuan- Guguran cepat)
Mekanisme: Pergerakan awal berupa translasi sepanjang bidang lemah (patahan atau perlapisan batuan) karena kecepatan yang sangat tinggi dan fragmentasi batuan, longsoran berubah menjadi guguran raksasa berkecepatan tinggi (rock avalanche) yang mampu meluncur hingga jarak yang sangat jauh



Gambar 2.9 Rock Slide- Avalanche

(Sumber : Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008).

- Merupakan kombinasi dari beberapa tipe longsoran.

d) Longsoran kombinasi

Dalam rangka tanah dan geologi rekayasa, longsoran kombinasi (complex landslide atau composite landslide) didefinisikan sebagai jenis gerakan massa tanah atau batuan yang melibatkan dua atau lebih tipe gerakan utama secara berurutan atau bersamaan pada satu lokasi lereng.

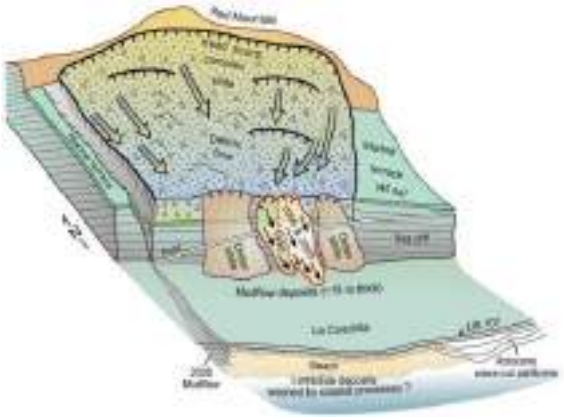
a. Complex Landslide: mengalami perubahan tipe gerakan seiring berjalannya waktu sepanjang jalur longsoran (misalnya: berawal dari runtuhan batu, kemudian berkembang menjadi aliran fragmen batu/debris)



Gambar 2.10 Complex Landslide

(Sumber : Conforti et al., 2014)

b. Composite Landslide: menunjukan tipe gerakan yang berbeda secara bersamaan di area lereng yang berbeda (misalnya: bagian mahkota lereng mengalami rotasi, sementara bagian kaki lereng mengalami translasi atau aliran)



Gambar 2.11 Composite Landslide

(Sumber : Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008)

Karakteristik Utama longsoran kombinasi memiliki kompleksitas yang tinggi dibandingkan dengan longsoran tunggal (seperti longsoran rotasional murni atau aliran murni) karakteristiknya meliputi:

a) Kombinasi Material: Melibatkan perpindahan material yang heterogen mulai dari blok batuan masif, tanah bersedimen, hingga material rombakan (debris)
b) Perubahan Kecepatan: Gerakan awal bisa dimulai dengan sangat lambat (creep atau rayapan) namun dapat berubah drastis menjadi sangat cepat saat berubah menjadi aliran (flow)
c) Bentuk bidang Gelincer: Seringkali tidak beraturan karena mengikuti zona lemah geologi (kekar,bidang perlapisa) di bagian atas, namun melemah dan hancur dibagian bawah

2.5. Stabilitas Lereng

2.5.1. Pengertian Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng adalah kemampuan suatu massa tanah atau batuan untuk menahan pergerakan internal akibat gravitasi dan gaya-gaya luar yang bekerja padanya (Das, 2019) secara alamiah, komponen gaya berat tanah pada bidang miring akan cenderung mendorong massa tanah ke bawah (gaya pendorong) sedangkan kuat geser tanah di sepanjang bidang runtuh akan menahan pergerakan tersebut (gaya penahan) keruntuhan lereng terjadi apabila gaya pendorong lebih besar dari pada gaya panahan maximum yang dapat di berikan oleh tanah.Apabila gaya penggerak lebih besar daripada gaya penahan, maka lereng berpotensi mengalami longsor.

2.5.2. Faktor yang Mempengaruhi Stabilitas Lereng

Beberapa faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng antara lain:

a. Faktor Geometri
    - Tinggi lereng
    - Sudut lereng
b. Faktor Tanah
    - Kohesi (c)
    - Sudut geser dalam (φ)
    - Berat isi tanah (γ)
c. Faktor Hidrologi
    - Muka air tanah
    - Tekanan air pori
d. Faktor Eksternal
    - Beban bangunan
    - Getaran
    - Gempa bumi

Pada penelitian ini faktor yang dianalisis adalah variasi sudut lereng.

2.6. Faktor Keamanan Lereng

Faktor keamanan lereng (*Factor of Safety/FoS*) merupakan parameter yang digunakan untuk menunjukkan tingkat kestabilan suatu lereng terhadap potensi kelongsoran. Faktor keamanan didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya atau kuat geser yang mampu menahan kelongsoran (*resisting force*) dengan gaya yang menyebabkan kelongsoran (*driving force*). Nilai faktor keamanan digunakan sebagai indikator untuk menentukan apakah suatu lereng berada dalam kondisi stabil atau tidak (Hardiyatmo, 2019).

Secara umum:

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

Atau

$$FK = \frac{Kuat\ Geser\ Tersedia}{Kuat\ Geser\ yang\ Dibutuhkan}$$

Kriteria faktor keamanan yang umum digunakan ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 1. Kriteria Faktor Keamanan Lereng

Faktor Keamanan	Kondisi
FK < 1,0	Tidak Stabil
1,0 ≤ FK < 1,25	Kritis
1,25 ≤ FK < 1,50	Cukup Stabil
FK ≥ 1,50	Stabil

2.6.1. Parameter Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah (*shear strength of soil*) merupakan salah satu sifat mekanik tanah yang paling penting dalam bidang geoteknik karena menentukan kemampuan tanah dalam menahan gaya geser yang bekerja tanpa mengalami keruntuhan. Parameter ini menjadi dasar dalam berbagai analisis teknik sipil, seperti perencanaan pondasi, dinding penahan tanah, tanggul, galian, dan terutama analisis stabilitas lereng. Apabila tegangan geser yang bekerja pada suatu massa tanah

melebihi kuat geser tanah, maka akan terjadi keruntuhan yang dapat menyebabkan longsor atau kegagalan konstruksi (Das & Sobhan, 2018).

Kuat geser tanah merupakan hasil interaksi antara gaya kohesi dan gaya gesekan antarbutir tanah. Pada tanah berbutir halus seperti lempung, kuat geser lebih banyak dipengaruhi oleh kohesi akibat adanya ikatan antarpartikel. Sebaliknya, pada tanah berbutir kasar seperti pasir dan kerikil, kuat geser terutama dipengaruhi oleh gesekan serta mekanisme saling mengunci (*interlocking*) antarbutiran. Oleh karena itu, setiap jenis tanah memiliki karakteristik kuat geser yang berbeda sesuai dengan sifat fisik dan mineral penyusunnya (Hardiyatmo, 2019).

Secara umum, kuat geser tanah didefinisikan sebagai tahanan maksimum yang dapat diberikan oleh tanah terhadap gaya geser sebelum mengalami keruntuhan. Besarnya kuat geser tanah dipengaruhi oleh tegangan normal efektif yang bekerja pada bidang geser. Semakin besar tegangan normal efektif, maka kontak antarpartikel tanah akan semakin kuat sehingga tahanan geser meningkat. Sebaliknya, apabila tekanan air pori meningkat akibat hujan atau kenaikan muka air tanah, maka tegangan normal efektif akan berkurang sehingga kuat geser tanah menurun dan potensi longsor meningkat.

Menurut kriteria keruntuhan Mohr–Coulomb, kuat geser tanah dinyatakan sebagai:

$$\tau = c + \sigma' \tan \varphi$$

dengan:

- $\boldsymbol{\tau}$ = kuat geser tanah (kPa)
- $\mathbf{c}$ = kohesi tanah (kPa)
- $\boldsymbol{\sigma'}$ = tegangan normal efektif (kPa)
- $\boldsymbol{\varphi}$ = sudut geser dalam (°)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa kuat geser tanah dipengaruhi oleh dua parameter utama, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ). Kohesi menggambarkan gaya ikat antarpartikel tanah, sedangkan sudut geser dalam menunjukkan besarnya tahanan akibat gesekan antarbutir tanah. Kedua parameter tersebut merupakan data utama yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng menggunakan metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*).

Besarnya kuat geser tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain:

1. **Jenis tanah**, karena setiap jenis tanah memiliki struktur dan karakteristik yang berbeda.
2. **Kadar air**, yang memengaruhi tekanan air pori dan tegangan efektif.
3. **Kepadatan tanah**, di mana tanah yang lebih padat umumnya memiliki kuat geser lebih tinggi.
4. **Tekanan normal efektif**, yang meningkatkan kontak antarpartikel tanah.
5. **Gradasi dan bentuk butiran**, terutama pada tanah berbutir kasar.
6. **Kondisi pembebanan**, baik beban statis maupun dinamis.
7. **Derajat kejenuhan**, yang memengaruhi besarnya tekanan air pori.

Dalam praktik geoteknik, nilai kuat geser tanah diperoleh melalui beberapa pengujian laboratorium maupun lapangan. Pengujian yang umum digunakan antara lain *Direct Shear Test, Triaxial Compression Test*, dan *Unconfined Compression Test* untuk tanah kohesif. Selain itu, pengujian lapangan seperti *Standard Penetration Test (SPT)* dan *Cone Penetration Test (CPT)* juga dapat digunakan untuk memperkirakan parameter kuat geser melalui korelasi empiris. Pemilihan metode pengujian bergantung pada jenis tanah, tujuan analisis, serta tingkat ketelitian yang diinginkan.

2.6.2. Kohesi (c)

Kohesi (*cohesion*) merupakan salah satu parameter kuat geser tanah yang menunjukkan besarnya gaya ikat antarpartikel tanah tanpa dipengaruhi oleh tegangan normal yang bekerja. Dalam mekanika tanah, kohesi menggambarkan kemampuan tanah untuk tetap menyatu akibat adanya gaya tarik-menarik antarpartikel. Parameter ini sangat penting dalam analisis geoteknik karena berpengaruh langsung terhadap kemampuan tanah dalam menahan beban dan mencegah terjadinya keruntuhan atau kelongsoran lereng. Bersama dengan sudut geser dalam (φ), kohesi menjadi parameter utama dalam kriteria keruntuhan Mohr–Coulomb untuk menentukan kuat geser tanah (Das & Sobhan, 2018).

Secara umum, kohesi berasal dari ikatan antarpartikel tanah yang disebabkan oleh beberapa mekanisme, seperti gaya elektrostatik, gaya kapiler akibat kandungan air, serta ikatan kimia yang terjadi pada mineral penyusun tanah. Pada tanah berbutir halus, terutama tanah lempung, kohesi memiliki peranan yang dominan karena partikel-partikel tanah memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga gaya tarik antarpartikel menjadi lebih besar. Sebaliknya, pada tanah berbutir kasar seperti pasir dan kerikil, nilai kohesi umumnya sangat kecil atau bahkan dianggap nol karena kuat geser tanah lebih banyak berasal dari gesekan antarbutir dibandingkan gaya ikat antarpartikel.

Dalam analisis geoteknik dikenal dua jenis kohesi, yaitu kohesi sejati (true cohesion) dan kohesi semu (apparent cohesion). Kohesi sejati merupakan gaya ikat yang berasal dari sifat alami tanah, terutama pada tanah lempung yang memiliki mineral aktif sehingga menghasilkan ikatan antarpartikel yang relatif permanen. Sementara itu, kohesi semu muncul akibat adanya tekanan kapiler pada tanah yang belum jenuh. Air yang berada di antara pori-pori tanah membentuk gaya kapiler yang sementara meningkatkan kekuatan tanah. Namun, apabila tanah menjadi jenuh akibat hujan atau kenaikan muka air tanah, gaya kapiler tersebut akan hilang sehingga nilai kohesi semu menurun dan tanah menjadi lebih mudah mengalami kelongsoran.

Menurut kriteria keruntuhan Mohr–Coulomb, kohesi merupakan intersep pada sumbu tegangan geser dalam hubungan antara tegangan normal efektif dan kuat geser tanah. Secara matematis hubungan tersebut dinyatakan sebagai:

$$\boldsymbol{\tau} = c + \sigma' \tan \varphi$$

dengan:

- $\boldsymbol{\tau}$ = kuat geser tanah (kPa)
- **c** = kohesi tanah (kPa)
- $\boldsymbol{\sigma'}$ = tegangan normal efektif (kPa)
- $\boldsymbol{\varphi}$ = sudut geser dalam (°)

Berdasarkan persamaan tersebut, kohesi menunjukkan besarnya kuat geser yang masih dimiliki tanah meskipun tegangan normal efektif bernilai nol. Oleh karena itu, semakin besar nilai kohesi, semakin besar pula kemampuan tanah dalam menahan gaya geser sehingga stabilitas lereng akan meningkat.

Besarnya nilai kohesi dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain jenis tanah, kadar air, kandungan mineral lempung, struktur tanah, tingkat konsolidasi, serta kondisi pembebanan. Tanah yang memiliki kandungan mineral lempung aktif seperti montmorillonit umumnya memiliki kohesi lebih tinggi dibandingkan tanah berpasir. Selain itu, perubahan kadar air juga memengaruhi nilai kohesi. Pada tanah tidak jenuh, kohesi semu dapat meningkat akibat adanya gaya kapiler. Sebaliknya, ketika tanah menjadi jenuh, tekanan air pori meningkat sehingga kohesi efektif dapat menurun dan mengurangi kestabilan lereng.

Penentuan nilai kohesi umumnya dilakukan melalui pengujian laboratorium, seperti *Direct Shear Test, Triaxial Compression Test*, dan *Unconfined Compression Test* untuk tanah kohesif. Pada pengujian tersebut, hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser dianalisis untuk memperoleh parameter kohesi dan sudut geser dalam. Selain pengujian laboratorium, nilai kohesi juga dapat diperkirakan melalui korelasi dengan hasil pengujian lapangan

seperti *Standard Penetration Test (SPT)* atau *Cone Penetration Test (CPT)*, meskipun hasilnya bersifat empiris dan memerlukan validasi lebih lanjut.

2.6.3. Sudut Geser Dalam (φ)

Sudut geser dalam (*internal friction angle* atau φ) merupakan salah satu parameter kuat geser tanah yang menunjukkan besarnya tahanan gesek yang terjadi akibat interaksi antarbutir tanah ketika menerima beban. Parameter ini menggambarkan kemampuan partikel-partikel tanah untuk saling menahan pergerakan akibat adanya gaya geser. Semakin besar nilai sudut geser dalam, semakin besar pula tahanan geser tanah terhadap gaya penggerak sehingga kondisi lereng cenderung lebih stabil (Das & Sobhan, 2018).

Secara mekanisme, sudut geser dalam muncul akibat gesekan dan penguncian (*interlocking*) antarpartikel tanah. Ketika suatu massa tanah menerima beban, partikel-partikel tanah akan berusaha bergeser satu sama lain. Gesekan yang terjadi di antara permukaan butiran akan menghasilkan tahanan terhadap pergerakan tersebut. Pada tanah berbutir kasar seperti pasir dan kerikil, nilai sudut geser dalam umumnya lebih tinggi karena bentuk butir yang kasar dan tidak beraturan menghasilkan mekanisme saling mengunci yang lebih kuat. Sebaliknya, pada tanah berbutir halus seperti lempung, nilai sudut geser dalam relatif lebih kecil karena kekuatan tanah lebih banyak dipengaruhi oleh kohesi dibandingkan gesekan antarbutir (Budhu, 2015).

Nilai sudut geser dalam dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain ukuran butiran, bentuk butiran, gradasi tanah, kepadatan tanah, kadar air, tekanan efektif, dan tingkat pemadatan. Tanah yang memiliki gradasi baik (*well graded soil*) umumnya mempunyai nilai sudut geser dalam lebih tinggi dibandingkan tanah dengan gradasi seragam karena distribusi ukuran butiran yang lebih baik menghasilkan kontak antarpartikel yang lebih banyak. Selain itu, tanah yang dipadatkan dengan baik memiliki susunan partikel yang lebih rapat sehingga meningkatkan tahanan terhadap gaya geser. Sebaliknya, meningkatnya kadar air

dapat mengurangi tegangan efektif akibat bertambahnya tekanan air pori sehingga nilai sudut geser dalam efektif dapat menurun.

Dalam mekanika tanah, sudut geser dalam merupakan salah satu parameter utama pada kriteria keruntuhan Mohr–Coulomb. Bersama dengan kohesi (c), parameter ini digunakan untuk menentukan kuat geser maksimum yang dapat ditahan tanah sebelum mengalami keruntuhan. Hubungan tersebut dinyatakan melalui Persamaan Mohr–Coulomb:

$$\tau = c + \sigma' \tan \varphi$$

dengan:

- **τ** = kuat geser tanah (kPa),
- **c** = kohesi tanah (kPa),
- **σ'** = tegangan normal efektif (kPa),
- **φ** = sudut geser dalam (°).

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai sudut geser dalam, maka semakin besar pula kuat geser tanah yang dihasilkan pada kondisi tegangan normal yang sama. Oleh karena itu, peningkatan nilai φ secara langsung akan meningkatkan kemampuan tanah dalam menahan gaya penggerak yang menyebabkan longsor.

2.6.4. Berat Isi Tanah (γ)

Berat isi tanah (*unit weight* atau γ) merupakan salah satu parameter geoteknik yang menunjukkan berat tanah per satuan volume. Parameter ini menggambarkan besarnya beban yang ditimbulkan oleh massa tanah terhadap lapisan di bawahnya dan menjadi salah satu faktor penting dalam analisis stabilitas lereng. Berat isi tanah dipengaruhi oleh berat butiran tanah, kadar air, serta jumlah rongga atau pori yang terdapat di dalam tanah. Dalam analisis geoteknik, berat isi tanah digunakan untuk menghitung tegangan akibat berat sendiri (*self weight*) yang bekerja pada lereng sehingga sangat berpengaruh terhadap besarnya gaya

penggerak (*driving force*) dan gaya penahan (*resisting force*) pada suatu bidang longsor (Das & Sobhan, 2018).

Secara umum, berat isi tanah didefinisikan sebagai perbandingan antara berat total tanah dengan volume total tanah, yang meliputi volume butiran padat, air, dan udara. Secara matematis berat isi tanah dapat dinyatakan sebagai:

$$\boldsymbol{\gamma} = \frac{W}{V}$$

dengan:

- $\boldsymbol{\gamma}$ = berat isi tanah (kN/m³)
- **W** = berat total tanah (kN)
- **V** = volume total tanah (m³)

Besarnya nilai berat isi tanah dipengaruhi oleh kondisi tanah di lapangan. Tanah yang memiliki tingkat kepadatan tinggi umumnya mempunyai berat isi lebih besar dibandingkan tanah yang masih lepas karena jumlah rongga di antara partikel lebih sedikit. Selain itu, kadar air juga memengaruhi berat isi tanah. Penambahan kadar air akan meningkatkan berat total tanah sehingga berat isi basah meningkat. Namun, apabila tanah telah mencapai kondisi jenuh, peningkatan tekanan air pori dapat menurunkan tegangan efektif sehingga kekuatan geser tanah menjadi berkurang.

Dalam mekanika tanah dikenal beberapa jenis berat isi yang digunakan sesuai kondisi tanah, yaitu:

1. **Berat isi alami (Natural Unit Weight, γ)**, yaitu berat isi tanah pada kondisi lapangan dengan kadar air alami.
2. **Berat isi kering (Dry Unit Weight, γd)**, yaitu berat isi tanah setelah seluruh kandungan air dihilangkan. Parameter ini sering digunakan untuk mengevaluasi hasil pemadatan tanah.
3. **Berat isi jenuh (Saturated Unit Weight, γsat)**, yaitu berat isi tanah ketika seluruh rongga tanah terisi air.

4. **Berat isi terendam (Submerged Unit Weight, γ')**, yaitu berat isi efektif tanah yang berada di bawah muka air tanah. Nilai ini diperoleh dari selisih antara berat isi jenuh dan berat isi air sehingga digunakan dalam analisis tanah yang berada di bawah permukaan air.

Perbedaan jenis berat isi tersebut penting dalam analisis geoteknik karena kondisi tanah di lapangan tidak selalu sama. Pada lereng yang berada di dekat sungai, perubahan muka air sungai atau muka air tanah dapat menyebabkan perubahan kondisi berat isi tanah sehingga memengaruhi stabilitas lereng.

Nilai berat isi tanah sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis tanah, ukuran butiran, gradasi, tingkat pemadatan, kadar air, kandungan bahan organik, dan kondisi kejenuhan. Tanah berbutir kasar seperti pasir dan kerikil umumnya memiliki berat isi lebih tinggi dibandingkan tanah organik karena massa jenis butirannya lebih besar. Sebaliknya, tanah gambut memiliki berat isi yang relatif kecil akibat kandungan bahan organik dan rongga yang tinggi. Selain itu, proses pemadatan akan meningkatkan berat isi karena volume pori berkurang sehingga partikel tanah menjadi lebih rapat.

2.7. Teori Mohr-Coulomb

Teori Mohr–Coulomb merupakan salah satu teori keruntuhan tanah yang paling banyak digunakan dalam bidang geoteknik untuk menganalisis kekuatan geser tanah dan stabilitas lereng. Teori ini menyatakan bahwa keruntuhan tanah akan terjadi apabila tegangan geser (*shear stress*) yang bekerja pada suatu bidang telah melampaui kuat geser maksimum tanah. Kuat geser tersebut dipengaruhi oleh dua parameter utama, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ). Oleh karena itu, teori Mohr–Coulomb menjadi dasar dalam berbagai analisis geoteknik, termasuk perancangan pondasi, dinding penahan tanah, galian, tanggul, serta analisis stabilitas lereng (Das & Sobhan, 2018).

Teori ini merupakan hasil penggabungan konsep lingkaran tegangan yang dikembangkan oleh *Christian Otto Mohr* dengan teori kuat geser yang dikemukakan oleh *Charles-Augustin de Coulomb*. Mohr menjelaskan distribusi

tegangan normal dan tegangan geser pada berbagai bidang di dalam suatu material menggunakan Lingkaran Mohr (*Mohr Circle*), sedangkan Coulomb menyatakan bahwa kuat geser tanah merupakan kombinasi antara kohesi dan gaya gesek antarbutir tanah. Penggabungan kedua konsep tersebut menghasilkan kriteria keruntuhan yang hingga saat ini masih menjadi dasar utama dalam analisis mekanika tanah.

Menurut kriteria Mohr–Coulomb, kuat geser tanah dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\tau = c + \sigma' \tan \varphi$$

dengan:

- **τ** = kuat geser tanah (kPa)
- **c** = kohesi tanah (kPa)
- **σ'** = tegangan normal efektif (kPa)
- **φ** = sudut geser dalam (°)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa kuat geser tanah dipengaruhi oleh dua komponen utama. Komponen pertama adalah kohesi, yaitu gaya ikat antarpartikel tanah yang tetap ada meskipun tidak terdapat tegangan normal. Komponen kedua adalah gesekan antarbutir, yang besarnya bergantung pada tegangan normal efektif dan nilai sudut geser dalam. Semakin besar tegangan normal efektif maupun sudut geser dalam, maka kuat geser tanah juga akan meningkat sehingga kemampuan tanah dalam menahan kelongsoran menjadi lebih baik.

Pada kondisi tanah yang mengalami pembebanan, tegangan normal efektif memiliki peranan yang sangat penting. Tegangan normal efektif merupakan selisih antara tegangan total dengan tekanan air pori. Apabila tekanan air pori meningkat akibat hujan atau kenaikan muka air tanah, maka tegangan normal efektif akan menurun. Penurunan tegangan efektif tersebut menyebabkan komponen gesekan antarbutir berkurang sehingga kuat geser tanah menjadi lebih kecil. Kondisi inilah

yang sering menjadi penyebab utama terjadinya longsor pada lereng setelah hujan deras atau banjir.

Secara grafis, teori Mohr–Coulomb digambarkan melalui hubungan antara tegangan normal efektif (σ') pada sumbu horizontal dan tegangan geser (τ) pada sumbu vertikal. Garis lurus yang disebut amplop keruntuhan (*failure envelope*) memiliki intersep sebesar nilai kohesi (c), sedangkan kemiringan garis ditentukan oleh nilai sudut geser dalam (φ). Keruntuhan terjadi ketika Lingkaran Mohr menyinggung garis amplop keruntuhan tersebut. Semakin tinggi posisi amplop keruntuhan, semakin besar kuat geser tanah yang dimiliki sehingga lereng menjadi lebih stabil.

2.8. Metode Analisis Stabilitas Lereng

Metode stabilitas lereng umumnya menggunakan pendekatan keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*).

2.8.1. Metode Fellenius

Metode Fellenius atau *Ordinary Method of Slices (OMS)* merupakan salah satu metode klasik dalam analisis stabilitas lereng yang diperkenalkan oleh *Wolmar Fellenius* pada tahun 1927. Metode ini menjadi dasar pengembangan berbagai metode analisis stabilitas lereng lainnya karena memiliki konsep perhitungan yang sederhana dan mudah diterapkan. Prinsip utama metode Fellenius adalah membagi massa tanah yang berpotensi mengalami longsor menjadi beberapa irisan vertikal (*slices*), kemudian menganalisis keseimbangan momen antara gaya penggerak (*driving force*) dan gaya penahan (*resisting force*) pada bidang longsor berbentuk melingkar (Das & Sobhan, 2018).

Dalam metode ini diasumsikan bahwa setiap irisan tanah bekerja secara independen sehingga gaya antariris an (*inter-slice forces*) diabaikan. Dengan kata lain, interaksi gaya horizontal maupun vertikal antara satu irisan dengan irisan lainnya tidak diperhitungkan. Asumsi tersebut menyebabkan proses perhitungan menjadi lebih sederhana dibandingkan metode keseimbangan batas lainnya, namun

hasil analisis cenderung lebih konservatif karena faktor keamanan yang diperoleh umumnya lebih kecil dibandingkan metode yang mempertimbangkan gaya antaririsan.

Pada analisis menggunakan metode Fellenius, massa tanah yang berpotensi longsor dibagi menjadi sejumlah irisan dengan lebar tertentu. Setiap irisan memiliki berat sendiri (W) yang bekerja ke bawah akibat gravitasi. Berat tersebut diuraikan menjadi komponen yang sejajar dengan bidang longsor sebagai gaya penggerak dan komponen yang tegak lurus bidang longsor sebagai gaya normal. Besarnya tahanan geser pada dasar setiap irisan dihitung menggunakan kriteria keruntuhan Mohr–Coulomb berdasarkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ). Selanjutnya seluruh gaya penahan dan gaya penggerak dijumlahkan untuk memperoleh nilai Faktor Keamanan (*Factor of Safety/FoS*).

Persamaan faktor keamanan metode Fellenius dapat dituliskan sebagai berikut:

$$FS = \frac{\sum[cL + (W cos\alpha - uL) tan\varphi]}{\sum W \sin \alpha}$$

dengan:

- **FS** = Faktor Keamanan (*Factor of Safety*)
- **c** = kohesi tanah (kPa)
- **L** = panjang dasar irisan (m)
- **W** = berat irisan tanah (kN)
- **α** = sudut dasar irisan terhadap bidang horizontal (°)
- **u** = tekanan air pori (kPa)
- **φ** = sudut geser dalam (°)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa faktor keamanan diperoleh dari perbandingan antara jumlah gaya penahan terhadap jumlah gaya penggerak pada seluruh irisan tanah. Apabila nilai faktor keamanan lebih besar dari nilai minimum

yang dipersyaratkan, maka lereng dianggap stabil. Sebaliknya, apabila nilai faktor keamanan lebih kecil dari nilai yang dipersyaratkan, maka lereng berpotensi mengalami kelongsoran.

Metode Fellenius memiliki beberapa kelebihan. Perhitungan yang sederhana membuat metode ini mudah dipahami dan banyak digunakan sebagai analisis awal stabilitas lereng. Selain itu, metode ini tidak memerlukan proses iterasi yang rumit sehingga waktu komputasi relatif cepat. Oleh karena itu, metode Fellenius sering digunakan untuk pembelajaran dasar mekanika tanah maupun sebagai pembanding terhadap metode analisis yang lebih kompleks.

Di sisi lain, metode Fellenius juga memiliki beberapa keterbatasan. Asumsi bahwa gaya antaririsan diabaikan menyebabkan distribusi gaya dalam massa tanah tidak sepenuhnya mencerminkan kondisi lapangan. Akibatnya, hasil analisis dapat menjadi lebih konservatif dibandingkan metode Bishop, Spencer, atau Morgenstern–Price yang mempertimbangkan pengaruh gaya antaririsan. Selain itu, metode ini lebih sesuai digunakan pada bidang longsor berbentuk melingkar dan kurang akurat apabila diterapkan pada bidang longsor yang kompleks atau tidak beraturan (Duncan, Wright, & Brandon, 2014).

Dalam perkembangan analisis geoteknik modern, metode Fellenius masih digunakan sebagai metode pembanding karena kesederhanaannya. Namun, untuk kebutuhan analisis yang memerlukan tingkat ketelitian lebih tinggi, metode ini umumnya digantikan oleh metode Bishop atau Morgenstern–Price. Meskipun demikian, konsep dasar pembagian massa tanah menjadi beberapa irisan yang diperkenalkan oleh Fellenius tetap menjadi landasan bagi sebagian besar metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) yang digunakan hingga saat ini.

2.8.2. Metode Bishop Simplified

Metode Bishop Simplified merupakan salah satu metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) yang paling banyak digunakan dalam analisis stabilitas lereng. Metode ini dikembangkan oleh A. W. Bishop pada tahun 1955

sebagai penyempurnaan dari Metode Fellenius (*Ordinary Method of Slices*). Berbeda dengan Metode Fellenius yang mengabaikan seluruh gaya antaririsan, Metode Bishop Simplified mempertimbangkan pengaruh gaya normal antaririsan (*inter-slice normal forces*), namun masih mengabaikan gaya geser antaririsan (*inter-slice shear forces*). Dengan asumsi tersebut, metode ini mampu menghasilkan nilai faktor keamanan yang lebih akurat tanpa meningkatkan kompleksitas perhitungan secara signifikan (Duncan, Wright, & Brandon, 2014).

Prinsip dasar Metode Bishop Simplified adalah membagi massa tanah yang berpotensi mengalami longsor menjadi sejumlah irisan vertikal (*slices*). Setiap irisan dianalisis berdasarkan keseimbangan gaya vertikal dan keseimbangan momen terhadap pusat bidang longsor berbentuk melingkar. Berat masing-masing irisan akan menghasilkan gaya penggerak, sedangkan kohesi, sudut geser dalam, dan tegangan normal efektif akan menghasilkan gaya penahan. Nilai faktor keamanan diperoleh dari perbandingan antara total gaya penahan dan total gaya penggerak yang bekerja pada seluruh irisan.

Metode Bishop Simplified didasarkan pada kriteria keruntuhan Mohr–Coulomb, sehingga parameter utama yang digunakan dalam analisis meliputi kohesi (c), sudut geser dalam (φ), berat isi tanah (γ), tekanan air pori (u), dan geometri lereng. Seluruh parameter tersebut digunakan untuk menghitung tahanan geser yang bekerja pada dasar setiap irisan tanah sehingga dapat ditentukan tingkat kestabilan lereng.

Persamaan faktor keamanan menurut Bishop Simplified secara umum dinyatakan sebagai:

$$FS = \frac{\sum \left[\frac{c'L + (W - uL)\tan\phi'}{1 + \frac{\tan\phi'\tan\alpha}{FS}} \right]}{\sum W \sin\alpha}$$

dengan:

- **FS** = Faktor Keamanan (*Factor of Safety*)
- **c'** = kohesi efektif tanah (kPa)
- **L** = panjang dasar irisan (m)
- **W** = berat irisan tanah (kN)
- **u** = tekanan air pori (kPa)
- **φ'** = sudut geser dalam efektif (°)
- **α** = sudut dasar irisan terhadap bidang horizontal (°)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa nilai FS terdapat pada kedua sisi persamaan, sehingga penyelesaiannya dilakukan menggunakan proses iterasi. Perhitungan dimulai dengan memberikan nilai awal faktor keamanan, kemudian dilakukan perhitungan berulang hingga diperoleh nilai yang konvergen. Pada perangkat lunak seperti SLOPE/W, proses iterasi dilakukan secara otomatis sehingga pengguna hanya perlu memasukkan parameter tanah dan geometri lereng.

Keunggulan utama Metode Bishop Simplified dibandingkan Metode Fellenius adalah kemampuannya mempertimbangkan pengaruh gaya normal antariris an. Dengan mempertimbangkan gaya tersebut, distribusi tegangan di dalam massa tanah dapat direpresentasikan dengan lebih baik sehingga hasil perhitungan faktor keamanan menjadi lebih mendekati kondisi sebenarnya. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa hasil analisis menggunakan Metode Bishop Simplified memiliki tingkat ketelitian yang tinggi, terutama untuk bidang longsor berbentuk melingkar pada tanah homogen.

Selain memiliki akurasi yang baik, metode ini juga relatif sederhana dibandingkan metode Spencer atau Morgenstern–Price karena tidak memerlukan keseimbangan seluruh komponen gaya antaririsan. Oleh sebab itu, Metode Bishop Simplified menjadi salah satu metode yang paling banyak diterapkan dalam perangkat lunak geoteknik, seperti SLOPE/W, GeoStudio, dan berbagai aplikasi analisis stabilitas lereng lainnya.

Meskipun demikian, Metode Bishop Simplified memiliki beberapa keterbatasan. Metode ini mengasumsikan bahwa bidang longsor berbentuk melingkar sehingga kurang sesuai untuk menganalisis bidang longsor yang tidak beraturan atau non-sirkular. Selain itu, pengaruh gaya geser antaririsan diabaikan sehingga pada kondisi geometri lereng yang sangat kompleks atau tanah yang heterogen, tingkat akurasinya dapat lebih rendah dibandingkan Metode Spencer atau Morgenstern–Price yang memenuhi keseimbangan gaya dan momen secara menyeluruh.

2.8.3. Metode Janbu

Metode Janbu merupakan salah satu metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) yang dikembangkan oleh Nils Janbu pada tahun 1954 untuk menganalisis stabilitas lereng. Metode ini dirancang sebagai penyempurnaan dari metode-metode sebelumnya dengan tujuan memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi dalam menganalisis berbagai bentuk bidang longsor. Berbeda dengan Metode Bishop yang umumnya digunakan untuk bidang longsor berbentuk melingkar (*circular slip surface*), Metode Janbu mampu menganalisis bidang longsor berbentuk melingkar maupun tidak melingkar (*non-circular slip surface*), sehingga lebih sesuai untuk kondisi lereng yang memiliki geometri kompleks atau lapisan tanah yang heterogen (Duncan, Wright, & Brandon, 2014).

Prinsip dasar Metode Janbu adalah membagi massa tanah yang berpotensi longsor menjadi sejumlah irisan vertikal (*slices*). Setiap irisan dianalisis berdasarkan keseimbangan gaya yang bekerja, meliputi berat tanah, gaya normal, gaya geser, tekanan air pori, serta gaya antaririsan. Berbeda dengan Metode Fellenius yang mengabaikan seluruh gaya antaririsan dan Metode Bishop yang hanya mempertimbangkan gaya normal antaririsan, Metode Janbu memasukkan pengaruh gaya antaririsan melalui pendekatan keseimbangan gaya sehingga distribusi gaya di dalam massa tanah dapat direpresentasikan dengan lebih baik.

Metode Janbu tersedia dalam dua pendekatan utama, yaitu *Simplified Janbu Method* dan *Generalized Janbu Method*. Pada *Simplified Janbu Method*,

keseimbangan gaya dipenuhi dengan menggunakan faktor koreksi empiris untuk memperhitungkan pengaruh gaya antaririsan. Pendekatan ini menghasilkan proses perhitungan yang relatif sederhana namun tetap memberikan hasil yang cukup baik untuk berbagai kondisi lereng. Sementara itu, *Generalized Janbu Method* mempertimbangkan keseimbangan gaya secara lebih lengkap sehingga menghasilkan tingkat ketelitian yang lebih tinggi, terutama pada lereng dengan kondisi geometri dan stratifikasi tanah yang kompleks.

Dalam Metode Janbu, faktor keamanan dihitung berdasarkan perbandingan antara total gaya penahan (*resisting forces*) dan total gaya penggerak (*driving forces*) pada seluruh irisan tanah. Kuat geser pada setiap irisan dihitung menggunakan kriteria keruntuhan Mohr–Coulomb, sehingga parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ) tetap menjadi parameter utama dalam analisis.

Persamaan umum faktor keamanan Metode Janbu dapat dituliskan sebagai:

$$FS = \frac{\sum[c'l + (N - ul)\tan\phi']}{\sum T}$$

dengan:

- **FS** = Faktor Keamanan (*Factor of Safety*)
- **c'** = kohesi efektif tanah (kPa)
- **l** = panjang dasar irisan (m)
- **N** = gaya normal pada dasar irisan (kN)
- **u** = tekanan air pori (kPa)
- **φ'** = sudut geser dalam efektif (°)
- **T** = gaya penggerak pada dasar irisan (kN)

Pada praktiknya, penyelesaian persamaan tersebut dilakukan menggunakan proses **iterasi** karena terdapat hubungan antara gaya normal, gaya antaririsan, dan

faktor keamanan. Perangkat lunak geoteknik seperti SLOPE/W akan melakukan iterasi secara otomatis hingga diperoleh nilai faktor keamanan yang konvergen.

Salah satu keunggulan utama Metode Janbu adalah kemampuannya dalam menganalisis bidang longsor yang tidak berbentuk lingkaran. Kondisi tersebut sering dijumpai pada lereng alami, lereng tambang terbuka, tebing sungai, maupun lereng yang tersusun atas beberapa lapisan tanah dengan karakteristik yang berbeda. Oleh karena itu, Metode Janbu lebih fleksibel dibandingkan Metode Bishop apabila digunakan pada kondisi geologi yang kompleks.

Selain itu, Metode Janbu mampu diterapkan pada lereng dengan kondisi beban tambahan, tekanan air pori yang bervariasi, serta perubahan sifat material pada setiap lapisan tanah. Kemampuan tersebut menjadikan metode ini banyak digunakan dalam analisis stabilitas lereng untuk proyek jalan raya, bendungan, tanggul, dan tambang terbuka.

Meskipun memiliki fleksibilitas yang tinggi, Metode Janbu juga memiliki beberapa keterbatasan. Pada Simplified Janbu Method, penggunaan faktor koreksi empiris menyebabkan tingkat ketelitian bergantung pada kondisi geometri lereng dan asumsi yang digunakan. Hasil analisis juga dapat sedikit berbeda dibandingkan metode Spencer atau Morgenstern–Price yang memenuhi keseimbangan gaya dan momen secara simultan. Oleh karena itu, pada analisis yang memerlukan tingkat akurasi sangat tinggi, metode Spencer atau Morgenstern–Price umumnya lebih disarankan.

Dalam perangkat lunak SLOPE/W, Metode Janbu tersedia sebagai salah satu metode analisis stabilitas lereng yang dapat dipilih oleh pengguna. Metode ini sering digunakan sebagai pembanding terhadap Metode Bishop maupun Spencer untuk mengevaluasi konsistensi nilai faktor keamanan yang diperoleh. Apabila hasil beberapa metode menunjukkan nilai faktor keamanan yang relatif serupa, maka tingkat kepercayaan terhadap hasil analisis akan semakin tinggi.

2.8.4. Metode Morgenstern-Price

Metode Morgenstern–Price merupakan salah satu metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) yang dikembangkan oleh N. R. Morgenstern dan V. E. Price pada tahun 1965. Metode ini dikenal sebagai salah satu metode analisis stabilitas lereng yang memiliki tingkat ketelitian tinggi karena memenuhi kondisi keseimbangan gaya (*force equilibrium*) dan keseimbangan momen (*moment equilibrium*) secara simultan. Berbeda dengan Metode Fellenius, Bishop, maupun Janbu yang menggunakan beberapa asumsi penyederhanaan, Metode Morgenstern–Price mempertimbangkan pengaruh gaya normal dan gaya geser antaririsan (*inter-slice forces*) sehingga hasil analisis lebih mendekati kondisi sebenarnya (Duncan, Wright, & Brandon, 2014).

Prinsip dasar Metode Morgenstern–Price adalah membagi massa tanah yang berpotensi longsor menjadi sejumlah irisan vertikal (*slices*). Pada setiap irisan dihitung gaya-gaya yang bekerja, meliputi berat tanah, gaya normal, gaya geser, tekanan air pori, serta gaya antaririsan. Berbeda dengan metode lain, hubungan antara gaya normal dan gaya geser antaririsan dinyatakan menggunakan suatu fungsi gaya antaririsan *(inter-slice force function).* Fungsi ini memberikan fleksibilitas dalam menggambarkan distribusi gaya di dalam massa tanah sehingga metode ini dapat digunakan pada berbagai kondisi lereng.

Hubungan antara gaya geser antaririsan (X) dan gaya normal antaririsan (E) dinyatakan sebagai:

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

dengan:

- **X** = gaya geser antaririsan (kN)
- **E** = gaya normal antaririsan (kN)
- **λ** = faktor skala (*scaling factor*)
- **f(x)** = fungsi distribusi gaya antaririsan

Fungsi dapat dipilih sesuai kondisi analisis, misalnya fungsi konstan, setengah sinus (*half-sine*), trapesium, atau fungsi lainnya. Nilai faktor skala () ditentukan melalui proses iterasi hingga keseimbangan gaya dan momen terpenuhi.

Dalam Metode Morgenstern–Price, kuat geser tanah tetap dihitung menggunakan kriteria keruntuhan Mohr–Coulomb, yaitu:

$$\boldsymbol{\tau} = c' + \sigma' \tan \phi'$$

dengan:

- **τ** = kuat geser tanah (kPa)
- **c'** = kohesi efektif (kPa)
- **σ'** = tegangan normal efektif (kPa)
- **φ'** = sudut geser dalam efektif (°)

Faktor keamanan (*Factor of Safety/FoS*) diperoleh melalui proses iterasi yang memenuhi keseimbangan gaya dan keseimbangan momen secara bersamaan. Oleh karena itu, metode ini memerlukan bantuan perangkat lunak geoteknik, seperti SLOPE/W, karena perhitungannya sangat kompleks apabila dilakukan secara manual.

Keunggulan utama Metode Morgenstern–Price adalah tingkat akurasinya yang tinggi. Dengan mempertimbangkan seluruh gaya antaririsan, metode ini mampu memberikan hasil analisis yang lebih representatif untuk berbagai bentuk bidang longsor, baik berbentuk melingkar (*circular failure*) maupun tidak melingkar (*non-circular failure*). Selain itu, metode ini dapat digunakan pada lereng yang tersusun atas beberapa lapisan tanah, memiliki kondisi muka air tanah yang bervariasi, maupun menerima beban tambahan di permukaan lereng.

Metode Morgenstern–Price juga memiliki fleksibilitas yang tinggi karena pengguna dapat memilih fungsi distribusi gaya antaririsan sesuai kondisi lapangan. Fleksibilitas tersebut menjadikan metode ini banyak digunakan dalam analisis

geoteknik profesional, terutama pada proyek bendungan, jalan raya, tambang terbuka, tanggul, dan lereng dengan kondisi geologi yang kompleks.

Meskipun demikian, metode ini memiliki beberapa keterbatasan. Proses perhitungan yang melibatkan iterasi menyebabkan analisis menjadi lebih rumit dibandingkan metode Fellenius atau Bishop. Selain itu, pemilihan fungsi gaya antaririsan memerlukan pemahaman yang baik mengenai kondisi lereng agar hasil analisis tidak menyimpang dari kondisi sebenarnya. Oleh karena itu, metode ini hampir selalu diterapkan menggunakan perangkat lunak geoteknik yang mampu melakukan iterasi secara otomatis.

Dalam perangkat lunak SLOPE/W, Metode Morgenstern–Price merupakan salah satu metode standar yang tersedia untuk analisis stabilitas lereng. Hasil analisis menggunakan metode ini sering dijadikan acuan karena memenuhi seluruh persyaratan keseimbangan statis. Nilai faktor keamanan yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan hasil metode lain, seperti Bishop atau Janbu, untuk mengevaluasi konsistensi dan keandalan hasil analisis.

2.9. Software SLOPE/W

2.9.1. Pengertian SLOPE/W

SLOPE/W merupakan salah satu modul dalam perangkat lunak GeoStudio yang dikembangkan oleh Seequent untuk melakukan analisis stabilitas lereng berdasarkan prinsip Limit Equilibrium Method (LEM) atau metode keseimbangan batas. Perangkat lunak ini dirancang untuk menghitung nilai Faktor Keamanan (Factor of Safety/FoS) suatu lereng dengan mempertimbangkan parameter geoteknik, seperti kohesi (c), sudut geser dalam (φ), berat isi tanah (γ), tekanan air pori, geometri lereng, serta beban yang bekerja pada lereng (Seequent, 2024).

Dalam analisisnya, SLOPE/W membagi massa tanah yang berpotensi mengalami longsor menjadi beberapa irisan (*slices*). Selanjutnya, perangkat lunak menghitung keseimbangan gaya dan momen pada setiap irisan berdasarkan metode analisis yang dipilih. SLOPE/W menyediakan beberapa metode analisis stabilitas lereng, di antaranya Ordinary/Fellenius, Bishop Simplified, Janbu, Spencer, dan

Morgenstern–Price. Dengan tersedianya berbagai metode tersebut, pengguna dapat memilih metode yang paling sesuai dengan kondisi lereng dan tujuan analisis.

SLOPE/W banyak digunakan dalam bidang geoteknik untuk menganalisis stabilitas lereng alami maupun lereng buatan, seperti lereng jalan, tanggul, bendungan, tambang terbuka, dan tebing sungai. Selain mampu menghitung nilai faktor keamanan, perangkat lunak ini juga dapat menentukan bidang longsor kritis (*critical slip surface*) secara otomatis sehingga proses analisis menjadi lebih efektif dan hasil yang diperoleh lebih representatif terhadap kondisi lapangan.

2.9.2. Keunggulan SLOPE/W

SLOPE/W memiliki beberapa keunggulan yang menjadikannya sebagai salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan dalam analisis stabilitas lereng, yaitu:

1. **Menyediakan berbagai metode analisis stabilitas lereng**, seperti Metode Fellenius, Bishop Simplified, Janbu, Spencer, dan Morgenstern–Price.
2. **Mampu menghitung nilai Faktor Keamanan (Factor of Safety/FoS)** secara akurat berdasarkan parameter geoteknik dan kondisi lereng.
3. **Dapat memodelkan kondisi lereng secara rinci**, meliputi geometri lereng, lapisan tanah, muka air tanah, tekanan air pori, serta beban yang bekerja.
4. **Memiliki fitur pencarian bidang longsor kritis (*critical slip surface*) secara otomatis**, sehingga memudahkan pengguna dalam menentukan bidang longsor yang paling berpotensi mengalami keruntuhan.
5. **Menyajikan hasil analisis dalam bentuk visual**, seperti bidang longsor, distribusi gaya, dan nilai faktor keamanan sehingga lebih mudah dipahami dan dianalisis.
6. **Memiliki antarmuka (*Graphical User Interface/GUI*) yang mudah digunakan**, sehingga mempermudah proses pemodelan, analisis, dan interpretasi hasil.

7. **Dapat diintegrasikan dengan modul lain dalam GeoStudio**, seperti SEEP/W untuk analisis rembesan dan SIGMA/W untuk analisis tegangan, sehingga memungkinkan analisis geoteknik yang lebih komprehensif.

2.9.3. Tahapan Analisis pada SLOPE/W

Analisis stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak SLOPE/W dilakukan melalui beberapa tahapan agar model yang dibuat sesuai dengan kondisi lapangan dan menghasilkan nilai Faktor Keamanan (*Factor of Safety/FoS*) yang akurat. Tahapan analisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tahapan analisis meliputi:

1. **Membuat geometri lereng**
   Tahap pertama adalah membuat model geometri lereng sesuai dengan kondisi lapangan, meliputi tinggi lereng, kemiringan lereng, serta batas daerah analisis.
2. **Menentukan jenis dan parameter tanah**
   Selanjutnya dilakukan input parameter geoteknik tanah yang meliputi berat isi tanah (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (φ). Parameter tersebut digunakan sebagai dasar dalam perhitungan kuat geser tanah.
3. **Menentukan kondisi muka air tanah (jika ada)**
   Apabila terdapat pengaruh air tanah, posisi muka air tanah atau tekanan air pori dimasukkan ke dalam model karena dapat memengaruhi nilai tegangan efektif dan stabilitas lereng.
4. **Memilih metode analisis**
   Setelah parameter tanah dimasukkan, dipilih metode analisis stabilitas lereng yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan Metode Bishop **Simplified** karena sesuai untuk analisis bidang longsor berbentuk melingkar.
5. **Menentukan bidang longsor (*Slip Surface*)**

SLOPE/W akan melakukan pencarian bidang longsor secara otomatis (*Auto Search*) untuk memperoleh bidang longsor kritis yang menghasilkan nilai faktor keamanan paling kecil.

6. **Menjalankan proses analisis**

   Setelah seluruh data dimasukkan, proses analisis dijalankan untuk menghitung nilai faktor keamanan berdasarkan parameter tanah, geometri lereng, dan metode analisis yang dipilih.

7. **Mengevaluasi hasil analisis**

   Tahap terakhir adalah mengevaluasi hasil analisis yang ditampilkan oleh SLOPE/W, meliputi nilai Factor of Safety (FoS), bentuk bidang longsor kritis, serta tingkat kestabilan lereng. Nilai faktor keamanan tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam menilai apakah lereng berada dalam kondisi stabil atau berpotensi mengalami kelongsoran.

2.10. Pengaruh Sudut Lereng terhadap Stabilitas Lereng

Sudut lereng merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap kestabilan suatu lereng. Semakin besar sudut kemiringan lereng, semakin besar pula gaya penggerak (*driving force*) yang bekerja pada massa tanah. Kondisi tersebut menyebabkan kemampuan tanah dalam menahan gaya geser menjadi berkurang sehingga potensi terjadinya kelongsoran semakin meningkat. Sebaliknya, lereng dengan sudut yang lebih landai memiliki gaya penggerak yang lebih kecil sehingga umumnya memiliki tingkat kestabilan yang lebih tinggi (Das & Sobhan, 2018).

Semakin besar sudut lereng:

a. Komponen gaya gravitasi yang sejajar lereng semakin besar.
b. Gaya penggerak meningkat.
c. Faktor keamanan menurun.

Sebaliknya, semakin kecil sudut lereng:

- Gaya penggerak berkurang.
- Lereng menjadi lebih stabil.
- Faktor keamanan meningkat.

Hubungan umum antara sudut lereng dan faktor keamanan dapat digambarkan sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Hubungan Sudut Lereng dengan FK

Sudut Lereng	**Faktor Keamanan**
Kecil	Tinggi
Sedang	Menurun
Besar	Rendah

Penelitian ini akan mengkaji pengaruh variasi sudut lereng sebesar 20°, 30°, 40°, 50°, dan 60° terhadap nilai faktor keamanan yang dihasilkan oleh software SLOPE/W.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum

Metodologi penelitian merupakan tahapan yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian secara sistematis. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi sudut lereng terhadap faktor keamanan lereng tebing sungai menggunakan software SLOPE/W. Analisis dilakukan dengan memodelkan geometri lereng pada beberapa variasi sudut kemiringan dan menghitung nilai faktor keamanan yang dihasilkan menggunakan metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*). Hasil analisis kemudian dibandingkan untuk mengetahui pengaruh perubahan sudut lereng terhadap tingkat kestabilan lereng tebing sungai.

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Sungai Majo, Kelurahan Betung, Kecamatan Betung, Kabupaten Banyuasin dengan koordinat -2.7800955,104.24889395 dapat dilihat pada gambar 3.1.. Lokasi penelitian dipilih berdasarkan kriteria sebagai berikut:

a) Memiliki lereng tebing sungai yang cukup jelas untuk dilakukan pemodelan geometri.
b) Tersedia data geometri lereng dan parameter tanah yang dapat digunakan dalam analisis.
c) Mewakili kondisi lereng tebing sungai yang umum dijumpai di Sumatera Selatan.

Data lokasi yang perlu dicantumkan pada penelitian meliputi:

- Nama sungai
- Kecamatan
- Kabupaten/Kota
- Provinsi

- Koordinat lokas



Gambar 3. 1. Lokasi Penelitian

3.3. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan analisis numerik menggunakan software SLOPE/W. Metode yang digunakan adalah simulasi numerik dengan variasi geometri lereng berupa perubahan sudut lereng. Nilai faktor keamanan yang diperoleh dari setiap model digunakan untuk mengevaluasi tingkat kestabilan lereng.

3.4. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian terdiri dari data primer dan data sekunder.

3.4.1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari lokasi penelitian.

Data primer meliputi:

- Pengukuran geometri lereng.
- Tinggi lereng.
- Kemiringan lereng eksisting.
- Dokumentasi kondisi lapangan.

3.4.2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari instansi terkait maupun hasil investigasi tanah yang telah tersedia.

Data sekunder yang digunakan meliputi:

a. Data Laboratorium.
b. Literatur parameter tanah.
c. Jurnal dan penelitian terdahulu.

3.5. Parameter Tanah

Parameter tanah yang digunakan pada analisis stabilitas lereng diperoleh dari hasil investigasi tanah maupun referensi yang relevan.

Parameter yang digunakan dalam pemodelan SLOPE/W meliputi:

Tabel 3. 1. Parameter Tanah yang Digunakan

Parameter	Simbol	Satuan
Berat isi tanah	γ	kN/m³
Kohesi	c	kPa
Sudut geser dalam	φ	°
Berat isi jenuh	γsat	kN/m³

Nilai aktual akan disesuaikan dengan hasil investigasi tanah di lokasi penelitian.

3.6. Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri dari variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol.

3.6.1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah sudut lereng.

Variasi sudut lereng yang digunakan:

- 20°
- 30°
- 40°

- 50°
- 60°

3.6.2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah: Faktor keamanan lereng (*Factor of Safety/FS).*

3.6.3. Variabel Kontrol

Parameter yang dibuat tetap selama analisis:

a) Tinggi lereng.
b) Jenis tanah.
c) Kohesi tanah.
d) Sudut geser dalam tanah.
e) Berat isi tanah.
f) Kondisi muka air tanah.
g) Kondisi pembebanan.

3.7. Pemodelan Lereng

Pemodelan dilakukan menggunakan software SLOPE/W. Geometri lereng dibuat dengan tinggi yang sama pada seluruh model, sedangkan sudut lereng divariasikan.

- Model 1: Sudut lereng = 20°
- Model 2: Sudut lereng = 30°
- Model 3: Sudut lereng = 40°
- Model 4: Sudut lereng = 50°
- Model 5: Sudut lereng = 60°

Masing-masing model akan dianalisis untuk memperoleh nilai faktor keamanan.

3.8. Metode Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method).*

Metode yang dipilih dalam penelitian ini adalah:

3.8.1. Metode Morgenstern-Price

Metode Morgenstern-Price dipilih karena:

- Memenuhi keseimbangan gaya.
- Memenuhi keseimbangan momen.
- Mampu memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan beberapa metode lainnya.
- Merupakan metode yang umum digunakan dalam software SLOPE/W.

Faktor keamanan dihitung berdasarkan perbandingan antara gaya penahan terhadap gaya penggerak pada bidang longsor kritis.

Secara umum:

$$FK = \frac{Gaya\ Penahan}{Gaya\ Penggerah}$$

3.9. Tahapan Analisis Menggunakan SLOPE/W

Tahapan analisis pada software SLOPE/W dilakukan sebagai berikut:

1) **Pembuatan Geometri Lereng.**

   Membuat model geometri lereng sesuai variasi sudut yang ditentukan.

2) **Definisi Material Tanah.**

   Menginput parameter tanah:

   a) Berat isi tanah (γ)
   b) Kohesi (c)
   c) Sudut geser dalam (φ)

3) **Penentuan Metode Analisis**

   Metode yang digunakan: Morgenstern-Price

4) **Penentuan Slip Surface**

Menentukan pencarian bidang longsor secara otomatis (*Entry and Exit Method).*

5) *Running Analysis*

Menjalankan analisis untuk memperoleh nilai faktor keamanan.

6) Interpretasi Hasil

Mengevaluasi:

- Nilai FS
- Bidang longsor kritis
- Pengaruh sudut lereng

3.10. Kriteria Evaluasi Stabilitas Lereng

Kriteria faktor keamanan yang digunakan dalam penelitian mengacu pada praktik geoteknik yang umum digunakan.

Tabel 3. 2. Kriteria Faktor Keamanan Lereng

Faktor Keamanan	Kategori
FK < 1,00	Tidak Stabil
1,00 ≤ FK < 1,25	Kritis
1,25 ≤ FK < 1,50	Cukup Stabil
FK ≥ 1,50	Stabil

Sumber: Sosrodarsono, 2003

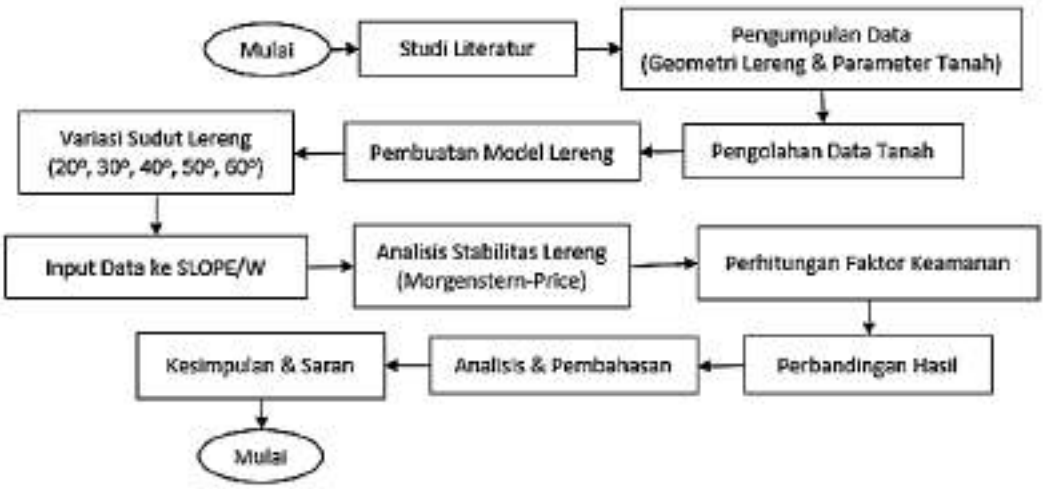
3.11. Teknik Analisis Data

Hasil analisis dari setiap model lereng akan dibandingkan berdasarkan nilai faktor keamanan yang diperoleh. Analisis dilakukan dengan:

- Membandingkan nilai FK pada setiap variasi sudut lereng.
- Menyusun grafik hubungan sudut lereng dan faktor keamanan.
- Mengidentifikasi kecenderungan perubahan faktor keamanan akibat perubahan sudut lereng.
- Menentukan sudut lereng yang masih memenuhi persyaratan stabilitas.

3.12. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.



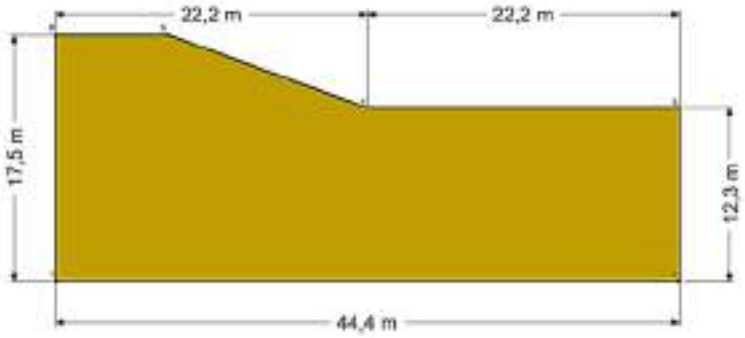
Gambar 3. 2. Diagram Alur Penelitian

Gambar diagram alir diatas menunjukkan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian, dari tahap awal sampai selesai.

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa

Ukuran dari model lereng yang akan dianalisa dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 4. 1. Ukuran Model

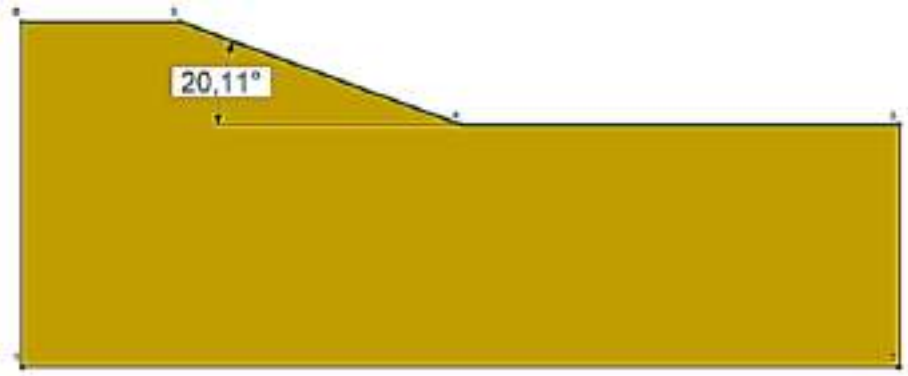
Nilai Faktor Keamanan dari kondisi lereng dapat dilihat pada tabel dibawah:

Tabel 4. 1. Faktor Keamanan dan Keadaan Lereng

Faktor Keamanan (FK)	Keadaan Lereng
FK< 1,00	Lereng dalam kondisi tidak mantap (lereng labil)
1,00<FK<1,20	Lereng dalam kondisi kemantapan diragukan
1,30<FK<1,40	Lereng dalam kondisi memuaskan
1,50<FK<1,70	Lereng dalam kondisi mantap (lereng stabil

Sumbe: Sosrodarsono, 2003

Gambar nilai Faktor Keamanan untuk perancangan lereng dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 4. 2. Sudut Lereng yang Akan Divariasikan

Pemodelan dilakukan menggunakan software SLOPE/W. Geometri lereng dibuat dengan tinggi yang sama pada seluruh model, sedangkan sudut lereng divariasikan.

Model 1: Sudut lereng = 20°

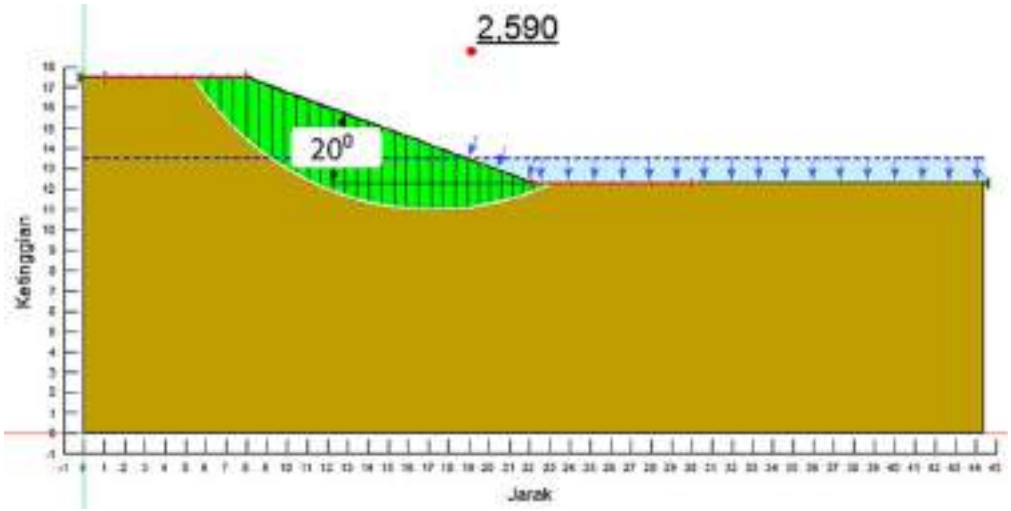
Model 2: Sudut lereng = 30°

Model 3: Sudut lereng = 40°

Model 4: Sudut lereng = 50°

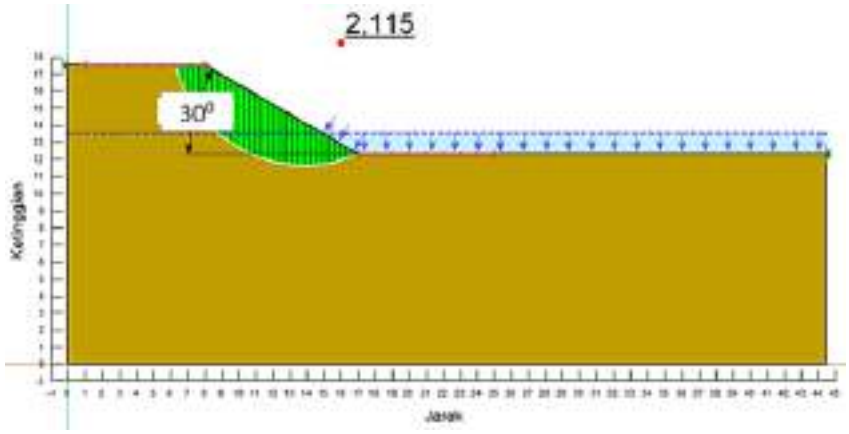
Model 5: Sudut lereng = 60°

Masing-masing model akan dianalisis untuk memperoleh nilai faktor keamanan.



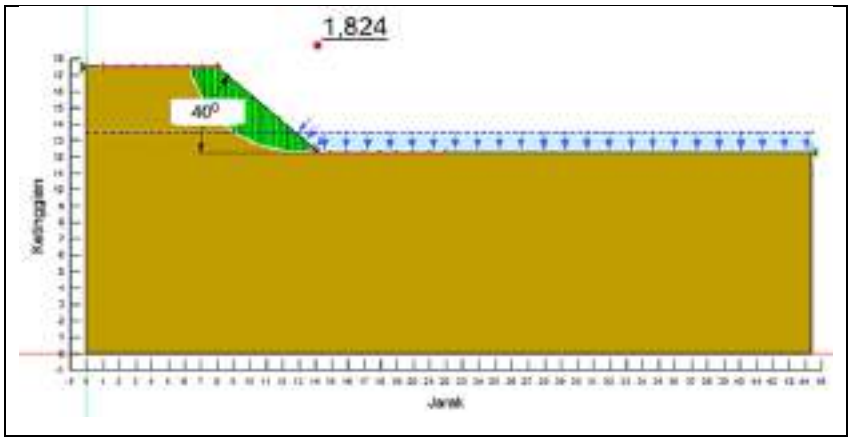
Gambar 4. 3. Faktor Keamanan Lereng Sudut 20°.

Hasil Analisa software SLOPE/W pada lereng bersudut 20° didapatkan Faktor Keamanan (FK) sebesar 2,590.



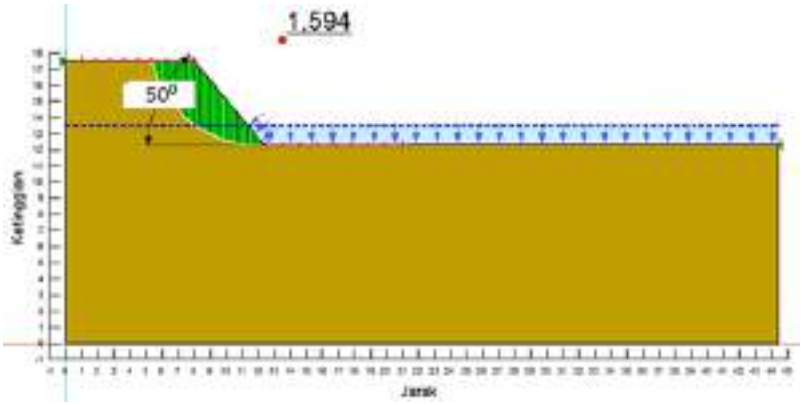
Gambar 4. 4. Faktor Keamanan Lereng Sudut 30°

Hasil Analisa software SLOPE/W pada lereng bersudut 30° didapatkan Faktor Keamanan (FK) sebesar 2,115.



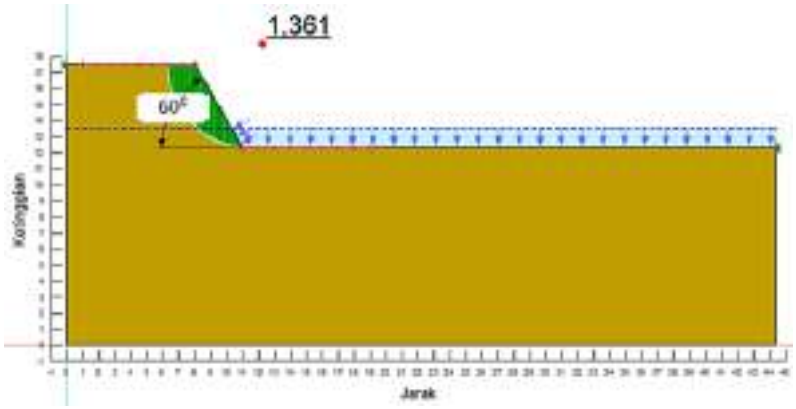
Gambar 4. 5. Faktor Keamanan Lereng Sudut 40°

Hasil Analisa software SLOPE/W pada lereng bersudut 40° didapatkan Faktor Keamanan (FK) sebesar 1,824.



Gambar 4. 6. Keamanan Lereng Sudut 50°.

Hasil Analisa software SLOPE/W pada lereng bersudut 50° didapatkan Faktor Keamanan (FK) sebesar 1,361.



Gambar 4. 7. Faktor Keamanan Lereng Sudut 60°

Hasil Analisa software SLOPE/W pada lereng bersudut 60° didapatkan Faktor Keamanan (FK) sebesar 1,361.

4.2. Pembahasan

Hasil dari analisa lereng disajikan dalam grafik dibawah:



Gambar 4. 8. Grafik Perbandingan Faktor Keamanan

Grafik di atas menunjukkan kondisi dari Faktor Keamanan (FK) lereng sebagai berikut:

- Sudut 20° memiliki FK 2,590
- Sudut 30° memiliki FK 2,115
- Sudut 40° memiliki FK 1,824
- Sudut 50° memiliki FK 1,594
- Sudut 60° memiliki FK 1,261

Pada peningkatan sudut lereng terjadi penurunan FK.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Pengaruh sudut lereng terhadap faktor keamanan (FK) Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng menggunakan software SLOPE/W ditemukan hubungan linear terbalik antara kemiringan sudut lereng dengan nilai faktor keamanan (FK) semakin besar (curam) sudut lereng yang dimodelkan pada bantaran sungai majo, maka nilai faktor keamanan lereng akan semakin menurun secara signifikan

- Nilai Faktor Keamanan (FK) pada lokasi penelitian bernilai 1,261 (kondisi rawan).
- Dari hasil Analisa diketahui bahwa semakin besar sudut lereng akan mengurangi Faktor Keamanan lereng (FK).
- Dari sudut lereng yang dianalisa (20^0, 30^0, 40^0, 50^0, dan 60^0) lereng yang bersudut 60^0 memiliki kondisi rawan.

5.2. Saran

1. Berdasarkan hasil penelitian, peningkatan kemiringan lereng terbukti menurunkan nilai Faktor Keamanan (FK). Oleh sebab itu, perencanaan lereng tebing sungai sebaiknya mempertimbangkan sudut kemiringan yang mampu memberikan nilai FK sesuai dengan kriteria kestabilan sehingga potensi longsor dapat diminimalkan.
2. Pada lereng yang memiliki nilai FK mendekati kondisi rawan, seperti pada sudut lereng 60° dengan nilai FK sebesar 1,261, perlu dipertimbangkan upaya perkuatan lereng, seperti pemasangan dinding penahan tanah, soil nailing, geotekstil, atau perbaikan sistem drainase untuk meningkatkan kestabilan lereng.
3. Penelitian selanjutnya disarankan tidak hanya menganalisis pengaruh variasi sudut lereng, tetapi juga mempertimbangkan faktor-faktor lain yang memengaruhi stabilitas lereng, seperti pengaruh curah hujan, muka air

tanah, beban di atas lereng, aktivitas gempa, serta perubahan sifat mekanik tanah.

4. Penelitian berikutnya juga disarankan menggunakan data investigasi tanah yang lebih rinci serta melakukan perbandingan hasil analisis dengan beberapa metode keseimbangan batas sehingga tingkat keandalan hasil penelitian dapat ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

Aisah, E., & Gofar, N. (2022). Studi Pengaruh Curah Hujan Terhadap Stabilitas Lereng Menggunakan Program Perisi. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, *18*(2), 133. https://doi.org/10.25077/jrs.18.2.133-147.2022

Amir, M., Musa, R., & Mallombassi, A. (2024). Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Software Geoslope pada Sungai Rongkong (Kabupaten Luwu Utara). *Jurnal Kridatama Sains Dan Teknologi*, *6*(01), 113–126. https://doi.org/10.53863/kst.v6i01.1030

Apriansyah, A., & Ghofar, N. (2022). Pengaruh Geometri terhadap Kestabilan Lereng. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, *15*(2), 85–90. https://doi.org/10.23917/dts.v15i2.19622

Ardiansyah, M. R. (2023). Analisa Stabilitas Lereng Dengan Menggunakan Software Geostudio 2023 Pada Lereng Aliran Sungai Brantas Di Wilayah Permukiman Wringinanom Gresik. *Jurnal Vokasi Teknik Sipil*, *1*(1).

Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design* (5th ed.). McGraw-Hill.

Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). *Principles of geotechnical engineering* (9th ed.). Cengage Learning.

Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil strength and slope stability* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Haris, A. D., & Gofar, N. (2025). Analysis of Slope Failure at Jalan Muaradua – Kotabatu District OKU Selatan, South Sumatra. *Jurnal Teknik Sipil, 21*(2), 220–232. https://doi.org/10.28932/jts.v21i2.9828

Janbu, N. (1954). *Application of composite slip surfaces for stability analysis*. European Conference on Stability of Earth Slopes, Stockholm.

Lembang, L. D. (2021). Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil

Menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus di Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta. 132+750). *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, *23*(1), 42–53.

Morgenstern, N. R., & Price, V. E. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. *Géotechnique*, *15*(1), 79–93. https://doi.org/10.1680/geot.1965.15.1.79

Prabowo, B. E., Rachmayani, F., Adiguna, G. A., Hamdany, A. H., Bahsan, E., Wijaya, M., Prakoso, W. A., Rahayu, W., Gofar, N., Dewangga, E., & Satyanaga, A. (2026). Rainfall duration effect on slope stability of unsaturated silty sand soil. *Frontiers in Built ccEnvironment*, *11*(January), 1–11. https://doi.org/10.3389/fbuil.2025.1680297

Rumbyarso, Y. P. A., & Pribadi, G. (2023). Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Bishop pada Proyek Geotechnical Investigation Jalur Transportasi Pelabuhan Batubara Marangkayu Kabupaten Kutai Kartanegara. *Jurnal Kridatama Sains Dan Teknologi*, *5*(02), 562–577. https://doi.org/10.53863/kst.v5i02.987

Sary, P. I., & Gofar, N. (2024). Pengaruh Hujan Terhadap Stabilitas Lereng Simpang Sugih Waras - Batas Kota Baturaja. *Jurnal Tekno*, *20*(2), 51–64. https://doi.org/10.33557/jtekno.v20i2.2308

SNI 8460. (2017). Persyaratan Perancangan Geoteknik. *Standar Nasional Indonesia*, *8460*, 1–323.

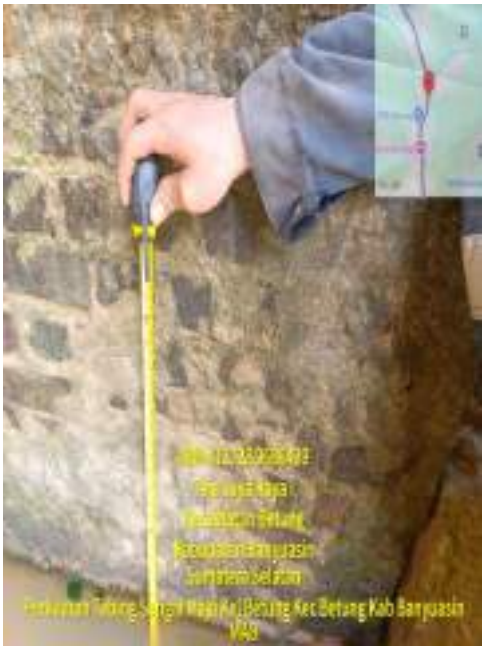
Waruwu, R. R., Telaumbanua, A. A., & Endayanti, M. (2022). Analisis Stabilitas Lereng Di Desa Padang Mas Kecamatan Kabanjahe Kabupaten Karo Menggunakan Metode Fellenius. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, *11*(2), 286. https://doi.org/10.46930/tekniksipil.v11i2.2758

LAMPIRAN DOKUMENTASI DI LAPANGAN





















CV. RIDHO REGINA BERJAYA
PENGUJIAN SAMPEL UNDISTURBED
Perkuatan Tebing Sungai Majo Kel. Betung Kec. Betung Kab. Banyuasin

CV. GEOTEKNIK PRATAMA JALAN ALAMSYAH RATU PRAWIRANEGARA, KELURAHAN KARANG JAYA, KECAMATAN GANDUS PALEMBANG 30139
geoteknikpratama.cv@gmail.com
0811 7193 206 0811 7193 206

CV. GEOTEKNIK PRATAMA
LABORATORIUM PENGUJIAN MEKANIKA TANAH DAN BETON
JL. POLITEKNIK LR. PERKEBUN NO. 9 BUKIT LAMA KECAMATAN ILIR BARAT I KOTA PALEMBANG SUMATERA SELATAN KODE POS 30139
geoteknikpratama.cv@gmail.com

Pelanggan	:	CV. RIDHO REGINA BERJAYA
Proyek	:	Perkuatan Tebing Sungai Majo Kel. Betung Kec. Betung Kab. Banyuasin
Lokasi	:	Sungai Majo
Registrasi	:	419/GP-PLB/IX/2025

RESUME PENGUJIAN TANAH

Tanggal Terima Sampel	:	01 September 2025	Kode Sampel	:	Ex. Sungai Majo
Tanggal Pereparasi	:	08 - 09 September 2025	Di Kerjakan	:	Muhammad Aji
Tanggal Pengujian	:	09 Sep - 16 Sep 2025	Di Periksa	:	Yudi Hariantо, S.t, M.T

Sifat Tanah	No.	Parameter	Simbol	Ex. Talang Jambe	Satuan	Metode Standar
FISIK	1]	Kadar Air	ω	52,88	%	SNI 1965 2008
	2]	Berat Jenis	Gs	2,64	-	SNI 1964 2008
TEKSTUR TANAH	3]	Analisa Saringan				SNI 3423 2008
		Persentase Lolos				
		19,00 mm	3/4"	100,00	%	
		9,50 mm	3/8"	100,00	%	
		4,75 mm	No. 4	100,00	%	
		2,00 mm	No. 10	100,00	%	
		0,85 mm	No. 20	100,00	%	
		0,425 mm	No. 40	100,00	%	
		0,25 mm	No. 60	99,91	%	
		0,15 mm	No. 100	99,75	%	
		0,075 mm	No. 200	99,43	%	
		Koefisien Keseragaman	C_u (D_{60} / D_{10})	30,50	-	
		Koefisien Kelengkungan	C_c D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10})	0,41	-	
	4]	Komposisi Material				SNI 3423 2008
		≥ 4,75 mm	Kerikil	0,43	%	
		4,75 - 2,00 mm	Pasir Kasar	1,32	%	
		2,00 - 0,420 mm	Pasir Sedang	3,31	%	
		0,420 - 0,075 mm	Pasir Halus	13,86	%	
		0,075 - 0,005 mm	Lanau	58,16	%	
		< 0,002 mm	Lempung	22,93	%	
KONSISTENSI TANAH	5]	Batas Susut	SL	18,67	%	SNI 3422 : 2008
		Susut Linear	LS	10,41	%	
	6]	Atterberg Limit				SNI 1966 2008
		Batas Cair	LL	67,84	%	
		Batas Plastis	PL	30,27	%	
		Plastisitas Indeks	PI	37,57	%	
		Indeks Cair	LI	0,60	-	
KLASIFIKASI	7]	Nilai Aktifity	(Ac)	1,64	-	PD T 10 2005 B
	8]	Klasifikasi Tanah	USCS	CH	-	SNI 6371 : 2015
			AASHTO	A-7	-	SNI 03 6797 2002
		Grup Indeks	GI	28	-	
MEKANIS TANAH	9]	Berat Isi Tanah	Berat Isi (γb)	1,64	%	SNI 03 3637 1994
			Berat Isi kering (γdry)	2,64	gr/cm³	
			Angka Port, (e)	1,46	-	
			Porositas, (n)	0,59	-	
			Derajat Kejenuhan, (Sr)	95,66	%	
	10]	Kuat Tekan Bebas	Kuat tekan, q_u	1,44	gr/cm²	ASTM 2166
			Kuat Geser, S_u	0,72	gr/cm²	
	11]	Kuat Geser Langsung	Sudut Geser, ϕ	23,01	o	ASTM 3080
			Kohesi, C	0,20	kg/cm²	

Palembang, 16 September 2025
CV. GEOTEKNIK PRATAMA

Yudi Hariantо, S.t, M.T
Laboratorium Tingkat

CV. GEOTEKNIK PRATAMA
LABORATORIUM PENGUJIAN MEKANIKA TANAH DAN BETON
JL. POLITEKNIK LR. PERKUTUT NO. 9 BUKIT LAMA KECAMATAN ILIR BARAT I KOTA PALEMBANG SUMATERA SELATAN KODE POS 30139
geoteknikpratama.cv@gmail.com

Pelanggan	:	CV. RIDHO REGINA BERJAYA
Proyek	:	Perkuatan Tebing Sungai Majo Kel. Betung Kec. Betung Kab. Banyuasin
Lokasi	:	Sungai Majo
Registrasi	:	419/GP-PLB/IX/2025

KADAR AIR NATURAL

Kedalaman	:	Ex. Sungai Majo	Tanggal Terima	:	01 September 2025
Jenis Tanah	:	Lanau Kelempungan	Tanggal Pengujian	:	09 Sep - 16 Sep 2025
Metode Standar	:	SNI 1965 2008	Di Kerjakan	:	Muhammad Aji
Temperatur	:	110 ± 5 ^{0}C	Di Periksa	:	Yudi Harianto, S.t, M.T

No.	Keterangan		Sampel No.		Rata-rata
			G.7	G.6	
1	Berat Cawan + Tanah Basah (gram), W1	gr	290,40	340	
2	Berat Cawan + Tanah Kering (gram), W2	gr	201,40	234,10	
3	Berat Air (gram), W3 = (W1-W2)	gr	89	105,9	
4	Berat Cawan (gram), W4	gr	33,6	33,2	
5	Berat Tanah Kering (gram), W5 = (W2-W4)	gr	167,8	200,9	
6	Kadar Air, ω = [(W3/W5)*100]	%	53,04	52,71	52,88

CV. GEOTEKNIK PRATAMA
LABORATORIUM PENGUJIAN MEKANIKA TANAH DAN BETON
JL. POLITEKNIK LR. PERKUTUT NO. 9 BUKIT LAMA KECAMATAN ILIR BARAT I KOTA PALEMBANG SUMATERA SELATAN KODE POS 30139
geoteknikpratama.cv@gmail.com

Pelanggan	:	CV. RIDHO REGINA BERJAYA
Proyek	:	Perkuatan Tebing Sungai Majo Kel. Betung Kec. Betung Kab. Banyuasin
Lokasi	:	Sungai Majo
Registrasi	:	419/GP-PLB/IX/2025

BERAT JENIS

Kedalaman	:	Ex. Sungai Majo	Tanggal Terima	:	01-Sep-25
Jenis Tanah	:	Lanau Kelempungan	Tanggal Pengujian	:	09 Sep - 16 Sep 2025
Metode Standar	:	SNI 1964 2008	Di Kerjakan	:	Muhammad Aji
Material Lolos Saringan	:	No. 10 (2,0 mm)	Di Periksa	:	Yudi Harianto, S.t, M.T

No.	Keterangan		Sampel No.		Rata-rata
			8	5	
1	Berat Piknometer (W_1)	gr	31,92	40,52	
2	Berat Piknometer + Sampel (W_2)	gr	50,12	57,51	
3	Koreksi Faktor Density Air 15^oC	-	0,9997	0,9997	
4	Berat Piknometer +Sampel + Air (W_4)	gr	93,89	97,65	
5	Berat Piknometer + Air (W_5)	gr	82,55	87,12	
6	Berat Jenis = $[(W_2-W_1)/((W_2-W_1)-(W_4-W_5))]$		2,65	2,63	2,64

CV. GEOTEKNIK PRATAMA
LABORATORIUM PENGUJIAN MEKANIKA TANAH DAN BETON
JL. POLITEKNIK LR. PERKUTUT NO. 9 BUKIT LAMA KECAMATAN ILIR BARAT I KOTA PALEMBANG SUMATERA SELATAN KODE POS 30139
geoteknikpratama.cv@gmail.com

Pelanggan	:	CV. RIDHO REGINA BERJAYA
Proyek	:	Perkuatan Tebing Sungai Majo Kel. Betung Kec. Betung Kab. Banyuasin
Lokasi	:	Sungai Majo
Registrasi	:	419/GP-PLB/IX/2025

BERAT ISI TANAH

Kedalaman	Ex. Sungai Majo	Tanggal Terima	:	01-Sep-25
Jenis Tanah	Lanau Kelempungan	Tanggal Pengujian	:	09 Sep - 16 Sep 2025
Metode Standar	SNI 03 3637 1994	Di Kerjakan	:	Muhammad Aji
Temperatur	110 ± 5 OC	Di Periksa	:	Yudi Harianto, S.t, M.T

No.	Keterangan	SIMBOL	SATUAN	Sampel No.			Rata -Rata
				I	II	III	
1	Berat Cicin	W_1	gr	72,92	72,92	72,92	-
2	Berat Cicin + Tanah Basah	W_2	gr	172,80	172,55	172,70	-
3	Berat Tanah Basah	$W = W_2 - W_1$	gr	99,88	99,63	99,78	-
4	Volume Tanah Basah	V	cm^3	60,79	60,79	60,79	-
5	Berat Isi Tanah Basah	γ_b	gr/cm^3	1,64	1,64	1,64	1,64
6	Berat Isi Tanah Kering	γ_{dry}	gr/cm^3	1,07	1,07	1,07	1,07
7	Berat Jenis Spesifik	Gs	Gs	2,64	2,64	2,64	2,64
8	Kadar Air	ω	%	52,88	52,88	52,88	52,88
9	Angka Pori	e	-	1,46	1,46	1,46	1,46
10	Porositas	n	-	0,59	0,59	0,59	0,59
11	Derajat Kejenuhan	Sr	%	95,85	95,45	95,69	95,66

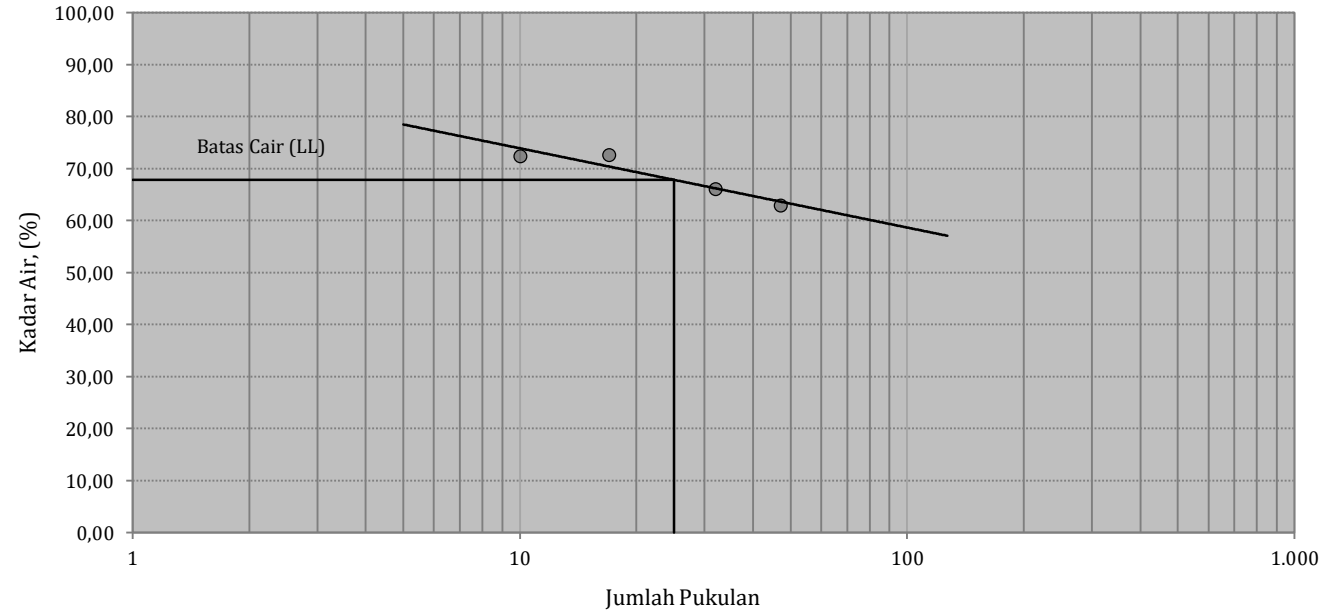
CV. GEOTEKNIK PRATAMA
LABORATORIUM PENGUJIAN MEKANIKA TANAH DAN BETON
JL. POLITEKNIK LR. PERKUTUT NO. 9 BUKIT LAMA KECAMATAN ILIR BARAT I KOTA PALEMBANG SUMATERA SELATAN KODE POS 30139
geoteknikpratama.cv@gmail.com

Pelanggan	:	CV. RIDHO REGINA BERJAYA
Proyek	:	Perkuatan Tebing Sungai Majo Kel. Betung Kec. Betung Kab. Banyuasin
Lokasi	:	Sungai Majo
Registrasi	:	419/GP-PLB/IX/2025

BATAS CAIR, LL & BATAS PLASTIS, PL

Kedalaman	:	Ex. Sungai Majo	Tanggal Terima	:	01 September 2025
Jenis Tanah	:	Lanau Kelempungan	Tanggal Pengujian	:	09 Sep - 16 Sep 2025
Metode Standar	:	SNI 1966 2008	Di Kerjakan	:	Muhammad Aji
Material Lolos Saringan	:	No. 40	Di Periksa	:	Yudi Harianto, S.t, M.T

	Batas Cair				Batas Plastis	
No. Tes	1	2	3	4	5	6
Jumlah Pukulan	10	17	32	47	-	
No. Cawan	G.7	C.1	K.8	M.1	K.4	B.9
Berat Cawan + S. Basah	47,20	48,78	46,92	50,61	28,21	30,61
Berat Cawan + S. Kering	31,51	32,25	41,95	44,32	24,32	25,90
Berat Cawan	9,85	9,50	34,43	34,33	11,45	10,36
Berat Air	15,69	16,53	4,97	6,29	3,89	4,71
Berat Sampel Kering	21,66	22,75	7,52	9,99	12,87	15,54
Kadar Air	72,44	72,66	66,09	62,96	30,23	30,31
				Rata-rata, PL	30,27	



Batas Cair, (LL)	**67,84**
Batas Plastis, (PL)	**30,27**
Indeks Plastisitas, (PI)	**37,57**

Keterangan	CL	ML	CH/MH
Batas Spesfikasi	LL < 50, PI > 7	LL < 50, PI < 4	LL > 50, PI > 20

CV. GEOTEKNIK PRATAMA
LABORATORIUM PENGUJIAN MEKANIKA TANAH DAN BETON
JL. POLITEKNIK LR. PERKUTUT NO. 9 BUKIT LAMA KECAMATAN ILIR BARAT I KOTA PALEMBANG SUMATERA SELATAN KODE POS 30139
geoteknikpratama.cv@gmail.com

Pelanggan	:	CV. RIDHO REGINA BERJAYA
Proyek	:	Perkuatan Tebing Sungai Majo Kel. Betung Kec. Betung Kab. Banyuasin
Lokasi	:	Sungai Majo
Registrasi	:	419/GP-PLB/IX/2025

BATAS SUSUT

Kedalaman	:	Ex. Sungai Majo	Tanggal Terima	:	01 September 2025
Jenis Tanah	:	Lanau Kelempungan	Tanggal Pengujian	:	09 Sep - 16 Sep 2025
Metode Standar	:	SNI 3422 : 2008	Di Kerjakan	:	Muhammad Aji
Lolos Saringan	:	No. 40	Di Periksa	:	Yudi Harianto, S.t, M.T
Berat Jenis Mercury, γhg (gr/ml)	:	13,5	Berat Jenis Air, γw (gr/ml)	:	1,0

Uaraian	Formula	Satuan	Nilai
Berat Cawan	w_1	(gr)	10,32
Berat Cawan + Tanah Basah	w_2	(gr)	25,56
Berat Cawan + Tanah Kering	w_3	(gr)	19,4
Kadar Air Awal	$w_a = ((w_2 - w_3)/(w_3 - w_1))x100$	(%)	67,84
Berat Cawan + *Mercury*	w_4	(gr)	149,1
Berat *Mercury*	$w_5 = (w_4 - w_1)$	(gr)	138,8
Volume Tanah Basah	$V_1 = (w_5 / \gamma_{hg})$	(cm^3)	10,28
Berat Takaran	w_6	(gr)	10,70
Berat Takaran + *Mercury* (sebelum)	w_7	(gr)	1016,5
Berat Takaran + *Mercury* (sesudah)	w_8	(gr)	932,93
Berat *Mercury*	$w_9 = ((w_7 - w_6)/(w_8 - w_6))$	(gr)	83,57
Volume Tanah Kering	$V_2 = (w_9 / \gamma_{hg})$	(cm^3)	6,19
Batas Susut, S_L	$s_L = ((w_a / 100) - v_1 - v_2) \times \gamma_w) / (w_3 - w_1)) \times 100$	(%)	22,83
Ratio Susut, SR	$SR = ((w_3-w_1)/(v_2*\gamma_w))$	-	1,47
Berat Jenis, Gs	$(1/(1/SR-S_L))$	-	2,21
Perubahan Volume, Vs	$(SR*(w_a-S_L))$	(%)	66,03
Susut Linear, Ls	$(100*(1-(100/(V_S+100)^{1/3})))$	(%)	13,26

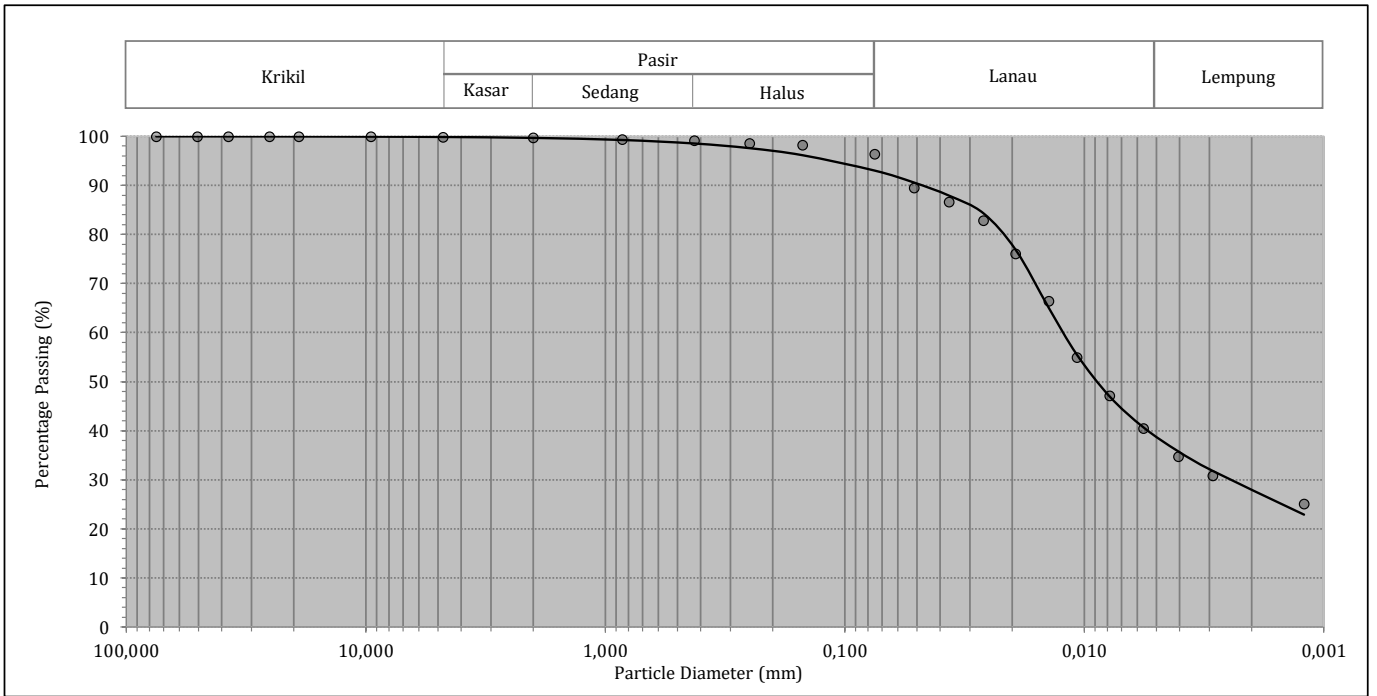
CV. GEOTEKNIK PRATAMA
LABORATORIUM PENGUJIAN MEKANIKA TANAH DAN BETON
JL. POLITEKNIK LR. PERKUTUT NO. 9 BUKIT LAMA KECAMATAN ILIR BARAT I KOTA PALEMBANG SUMATERA SELATAN KODE POS 30139
geoteknikpratama.cv@gmail.com

Pelanggan	:	CV. RIDHO REGINA BERJAYA
Proyek	:	Perkuatan Tebing Sungai Majo Kel. Betung Kec. Betung Kab. Banyuasin
Lokasi	:	Sungai Majo
Registrasi	:	419/GP-PLB/IX/2025

ANALISA SARINGAN

Berat Sampel Kering	:	500,11	Tanggal Terima	:	01 September 2025
Berat sampel Tertahan No. 200	:	17,99	Tanggal Pengujian	:	09 Sep - 16 Sep 2025
Berat Sampel Lolos No.200	:	482,12	Metode Pengujian	:	Saringan Basah
Persentase Lolos No.200	:	96,40	Metode Standar	:	SNI 3423 2008

Ukuran Saringan (mm)	Berat Saringan (gr)	Berat Sieve + Sample (gr)	Berat Tertahan (gr)	Kumulatif Tertahan (gr)	Kumlatif Tertahan (%)	Persentase Lolos (%)
75,0	522,1	522,1	0,00	0,00	0,00	100,00
50,4	476,35	476,35	0,00	0,00	0,00	100,00
37,5	484,95	484,95	0,00	0,00	0,00	100,00
25,2	434,16	434,16	0,00	0,00	0,00	100,00
19,0	397,36	397,36	0,00	0,00	0,00	100,00
9,5	373,2	373,2	0,00	0,00	0,00	100,00
4,75	375,03	375,47	0,44	0,44	0,09	99,91
2,00	359,02	359,83	0,81	1,25	0,25	99,75
0,85	346,12	347,7	1,58	2,83	0,57	99,43
0,425	323,16	324,47	1,31	4,14	0,83	99,17
0,25	323,16	325,61	2,45	6,59	1,32	98,68
0,15	323,16	324,91	1,75	8,34	1,67	98,33
0,075	323,16	332,812316	9,65	17,99	3,60	96,40
Pan			482,12	500,11	100,00	



Kerikil (%)	Pasrir Kasar (%)	Pasir Sedang (%)	Pasir Halus (%)	Lanau (%)	Lempung (%)
0,1	0,2	1,1	5,5	66,0	27,0
Cu, (D_{60} / D_{10})		10,2	Cc, D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10})		0,44

CV. GEOTEKNIK PRATAMA
LABORATORIUM PENGUJIAN MEKANIKA TANAH DAN BETON
JL. POLITEKNIK LR. PERKUTUT NO. 9 BUKIT LAMA KECAMATAN ILIR BARAT I KOTA PALEMBANG SUMATERA SELATAN KODE POS 30139
geoteknikpratama.cv@gmail.com

Pelanggan	:	CV. RIDHO REGINA BERJAYA
Proyek	:	Perkuatan Tebing Sungai Majo Kel. Betung Kec. Betung Kab. Banyuasin
Lokasi	:	Sungai Majo
Registrasi	:	419/GP-PLB/IX/2025

HYDROMETER TEST

Water Glass	:	2% @ 125 ml	Berat Jenis, Gs	:	2,640	Tanggal Terima	: 01 September 2025
Berat Tanah Ws	:	50,59	Faktor Koreksi dari Berat Jenis	:	1,010	Tanggal Pengujian	: 09 Sep - 16 Sep 2025
Koreksi Temperature, Cr	:	3,1	Koreksi Meniscus, Cm	:	0,500	Hidrometer	: 152 H
% Lolos No. 200	:	96,40	Hydrometer No.	:	12424	Metode Standar	: SNI 3423 2008

Time, T	Hydrometer Reading,	Temp.	Hydro. Reading Corrected for Meniscus	Zero Correction	K	L cm	Corrected Reading	Diameter	% Finer	Corrected % Finer
0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
0,5	45,5	31,0	46,0	2,0	0,01217	8,90	46,6	0,0513	92,93	89,59
1	44,0	31,0	44,5	2,0	0,01217	9,10	45,1	0,0367	89,94	86,70
2	42,0	30,0	42,5	2,0	0,01217	9,40	43,1	0,0264	85,95	82,85
4	38,5	30,0	39,0	2,0	0,01217	10,10	39,6	0,0193	78,96	76,12
8	34,0	29,0	34,5	2,5	0,01217	10,70	34,6	0,0141	68,98	66,50
15	28,0	29,0	28,5	2,5	0,01217	11,70	28,6	0,0107	57,00	54,95
30	24,0	29,0	24,5	2,5	0,01217	12,40	24,6	0,0078	49,01	47,25
60	21,0	28,0	21,5	3,0	0,01217	12,90	21,1	0,0056	42,03	40,51
120	18,0	28,0	18,5	3,0	0,01217	13,30	18,1	0,0041	36,04	34,74
240	16,0	27,0	16,5	3,0	0,01217	13,70	16,1	0,0029	32,04	30,89
1440	13,0	27,5	13,5	3,0	0,01217	14,20	13,1	0,0012	26,05	25,12

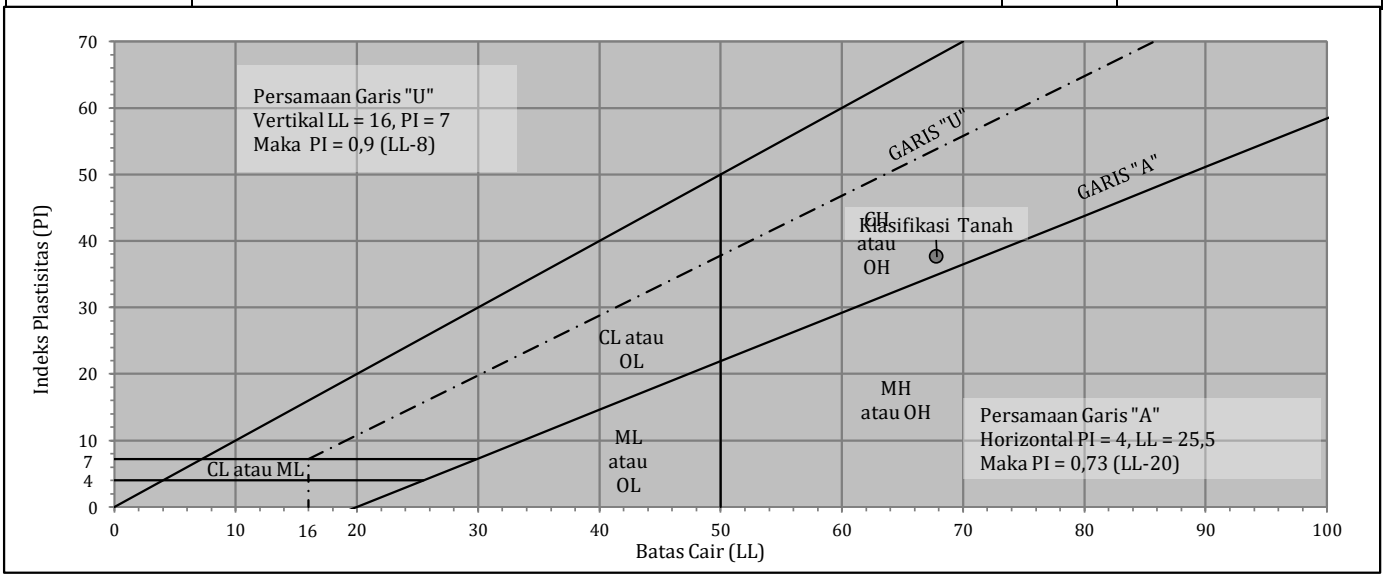
CV. GEOTEKNIK PRATAMA
LABORATORIUM PENGUJIAN MEKANIKA TANAH DAN BETON
JL. POLITEKNIK LR. PERKUTUT NO. 9 BUKIT LAMA KECAMATAN ILIR BARAT I KOTA PALEMBANG SUMATERA SELATAN KODE POS 30139
geoteknikpratama.cv@gmail.com

Pelanggan	:	CV. RIDHO REGINA BERJAYA
Proyek	:	Perkuatan Tebing Sungai Majo Kel. Betung Kec. Betung Kab. Banyuasin
Lokasi	:	Sungai Majo
Registrasi	:	419/GP-PLB/IX/2025

KLASIFIKASI TANAH (USCS)

Kedalaman	:	Ex. Sungai Majo	Tanggal Terima	:	01 September 2025
Jenis Tanah	:	Lanau Kelempungan	Tanggal Pengujian	:	09 Sep - 16 Sep 2025
Metode Standar	:	SNI 6371 : 2015	Di Kerjakan	:	Muhammad Aji
Temperatur	:	-	Di Periksa	:	Yudi Harianto, S.t, M.T

Kriteria Untuk Menetapkan Simbol-Simbol Kelompok dan Nama-Nama Kelompok Menggunakan Pengujian-Pengujian Propertis Tanah				Klasifikasi Tanah	
				Simbol Kelompok	Nama Kelompok
Tanah Berbutir Kasar >50% Tertahan ayakan No. 200	Kerikil (Lebih besar dari 50% Fraksi kasar yang tertahan ayakan No. 4)	Kerikil Bersih (Butiran Halus < 5%)	Cu ≥ 4 dan 1≤ Cc ≤ 3	GW	Kerikil bergradasi baik
			Cu < 4 dan Cc < 1 atau Cc > 3	GP	Kerikil bergradasi jelek
		Kerikil dengan butir halus (butiran halus > 12%	Butiran halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH	GM	Kerikil Kelanauan
			Butiran halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH	GC	Kerikil Kelempungan
	Pasir (Lebih besar dari ≥ 50% Fraksi kasar yang Lolos ayakan No. 4)	Pasir Bersih (Butiran halus < 5%)	Cu ≥ 6 dan 1 ≤ Cc ≤ 3	SW	Pasir bergradasi baik
			Cu < 6 dan Cc < 1 atau Cc > 3	SP	Pasir bergradasi jelek
		Pasir dengan butir halus (butiran halus > 12%	Butiran halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH	SM	Pasir Kelanauan
			Butiran halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH	SC	Pasir Kelempungan
Tanah Berbutir Halus ≥ 50% Lolos ayakan No. 200	Lanau dan Lempung batas cair < 50	Non Organik	PI > 7 dan terletak pada atau di atas garis "A"	CL	Lempung Batas cair Rendah
			PI < 4 atau terletak pada garis "A"	ML	Lanau Batas cair Rendah
		Organik	Batas Cair Kering Oven	OL	Lempung Organik
			Batas Cair tidak Kering		Lanau Organik
	Lanau dan Lempung batas cair ≥ 50	Non Organik	PI terletak pada atau di atas garis "A"	CH	Lempung Batas Cair Tinggi
			PI terletak di bawah garis "A"	MH	Lanau elastis
		Organik	Batas Cair Kering Oven	OH	Lempung Organik
			Batas Cair tidak Kering		Lempung Organik
Tanah Berorganik	Secara primer terdiri atas zat-zat organik, berwarna gelap dan berbau organik			PT	Gambut



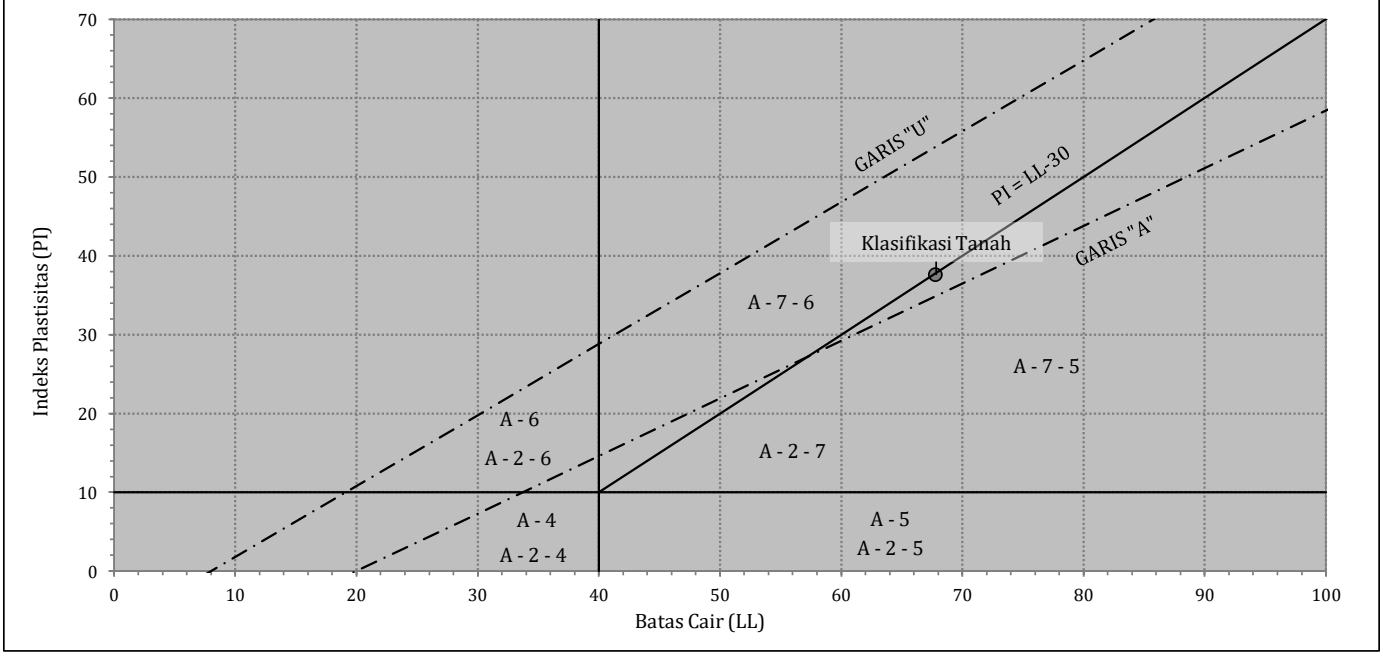
CV. GEOTEKNIK PRATAMA
LABORATORIUM PENGUJIAN MEKANIKA TANAH DAN BETON
JL. POLITEKNIK LR. PERKUTUT NO. 9 BUKIT LAMA KECAMATAN ILIR BARAT I KOTA PALEMBANG SUMATERA SELATAN KODE POS 30139
geoteknikpratama.cv@gmail.com

Pelanggan	:	CV. RIDHO REGINA BERJAYA
Proyek	:	Perkuatan Tebing Sungai Majo Kel. Betung Kec. Betung Kab. Banyuasin
Lokasi	:	Sungai Majo
Registrasi	:	419/GP-PLB/IX/2025

KLASIFIKASI TANAH (AASHTO)

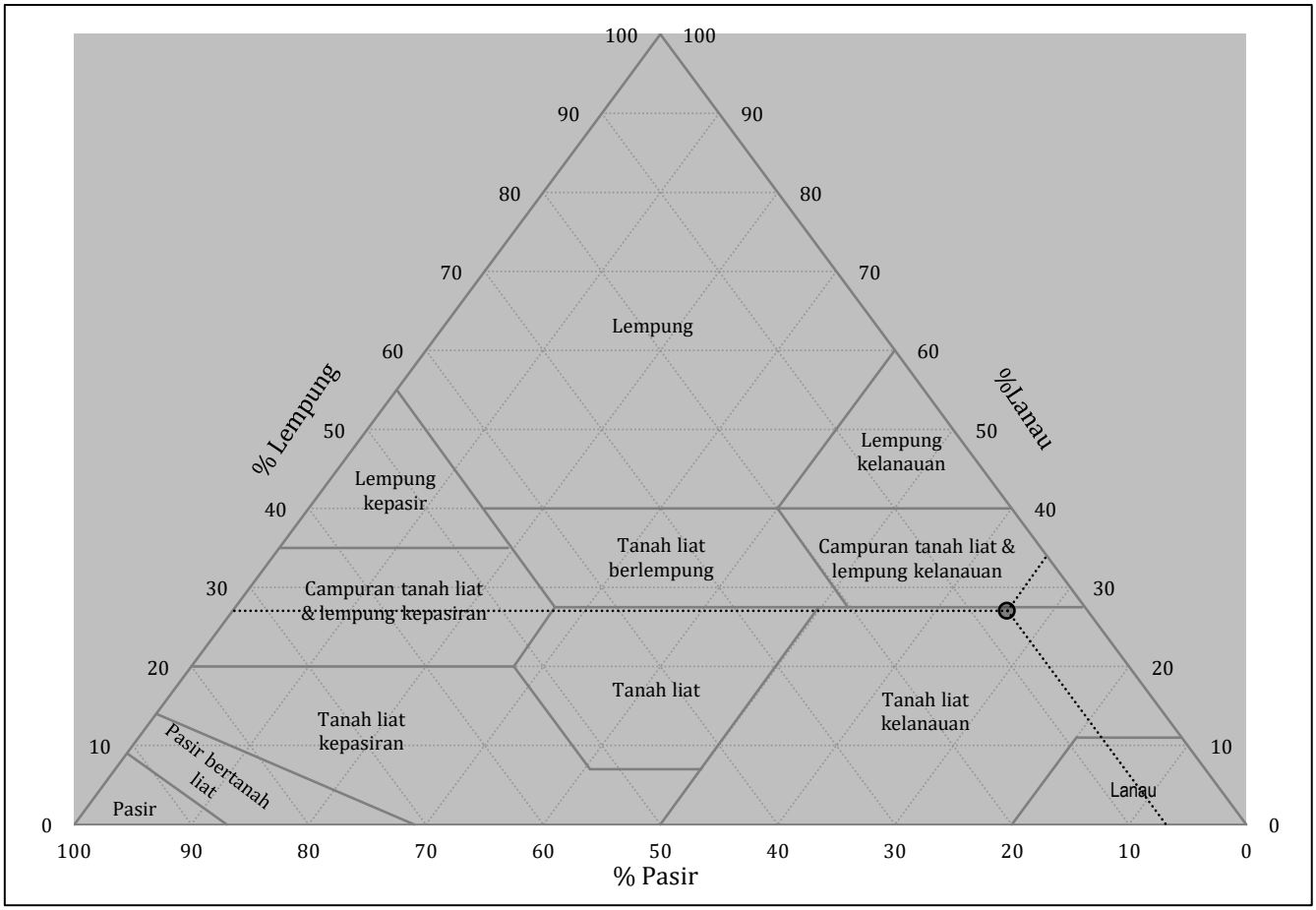
Kedalaman	:	Ex. Sungai Majo	Tanggal Terima	:	01 September 2025
Jenis Tanah	:	Lanau Kelempungan	Tanggal Pengujian	:	09 Sep - 16 Sep 2025
Metode Standar	:	SNI 03 6797 2002	Di Kerjakan	:	Muhammad Aji
Temperatur	:	-	Di Periksa	:	Yudi Harianto, S.t, M.T

Klasifikasi Umum	Material Granular (<35% lolos saringan 200)							Tanah-tanah Lanau-Lempung (>35% lolos saringan No. 200			
Klasifikasi Kelompok	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Analisa Saringan (% lolos)											
2,00 mm (No. 10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (No. 40)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (No. 200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat farksi lolos saringan No. 40											
Batas Cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks Plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks Kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	pecahan batu, kerikil dan pasir		pasir halus	kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah Berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian Umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			
Indeks Kelompok (GI)								43			



CV. GEOTEKNIK PRATAMA
LABORATORIUM PENGUJIAN MEKANIKA TANAH DAN BETON
JL. POLITEKNIK LR. PERKUTUT NO. 9 BUKIT LAMA KECAMATAN ILIR BARAT I KOTA PALEMBANG SUMATERA SELATAN
KODE POS 30139 geoteknikpratama.cv@gmail.com

Pelanggan	:	CV. RIDHO REGINA BERJAYA		
Proyek	:	Perkuatan Tebing Sungai Majo Kel. Betung Kec. Betung Kab. Banyuasin		
Lokasi	:	Sungai Majo		
Registrasi	:	419/GP-PLB/IX/2025		
KLASIFIKASI TANAH SISTEM (USDA)				
Kedalaman	:	Ex. Sungai Majo	Tanggal Terima	: 01 September 2025
Jenis Tanah	:	Lanau Kelempungan	Tanggal Pengujian	: 09 Sep - 16 Sep 2025
##########		SNI 637 : 2015	Di Kerjakan	: Muhammad Aji
Temperatur	:	-	Di Periksa	: Yudi Harianto, S.t, M.T



% Proporsi Fraksi Tanah		
Pasir	Lanau	Lempung
4,75 - 0,075	0,075 - 0,005	< 0,002
6,8	66,0	27,0

CV. GEOTEKNIK PRATAMA
LABORATORIUM PENGUJIAN MEKANIKA TANAH DAN BETON
JL. POLITEKNIK LR. PERKUTUT NO. 9 BUKIT LAMA KECAMATAN ILIR BARAT 1 KOTA PALEMBANG SUMATERA SELATAN
KODE POS 30139 geotekniikpratama.cv@gmail.com

Pelanggan	CV. RIDHO REGINA BERJAYA
Proyek	Perkuatan Tebing Sungai Majo Kel. Betung Kec. Betung Kab. Banyuasin
Lokasi	Sungai Majo
Registrasi	419/GP-PLB/IX/2025

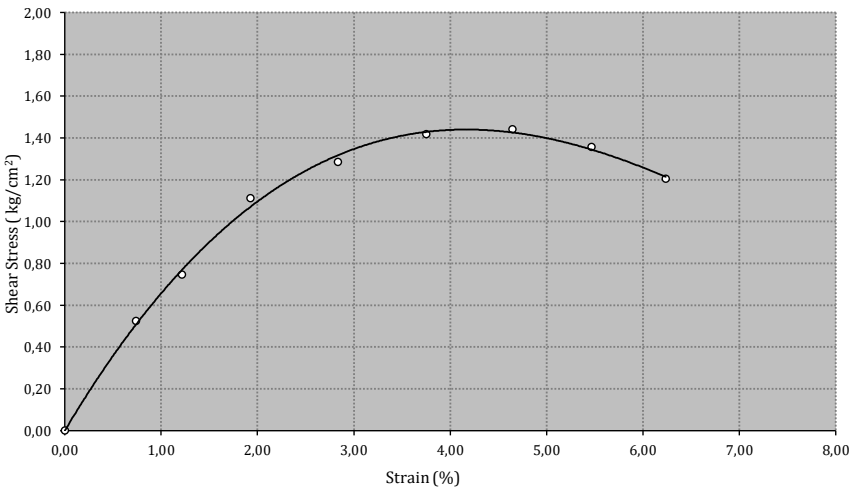
UNCONFINED COMPRESSION STRENGHT

Dimention Of Sampel		Moisture Content		Density in Oven at 105°C	
Diameter, cm :	6,10	Wt. Sampel wet + Can. gr :	78,7	Density of Wet, gr/cm^3 :	1,65
Heihgt, cm :	12,32	Wt. Sampel dry + Can. gr :	57,84	Density of Dry, gr/cm^3 :	1,14
Area, cm^2 :	29,22	Wt. Water gr :	20,86	Specific Grafity :	2,62
Volume, cm^3 :	359,78	Wt. Container, gr :	10,5	Date of Sampling :	01/09/2025
Weight of Sample, gr :	593,21	Wt. dry sampel, gr :	47,34	Date of Testing :	01/09/2025
Calibration, kg/div :	1,103	Moisture Content, (%) :	44,06	Referention :	ASTM 2166

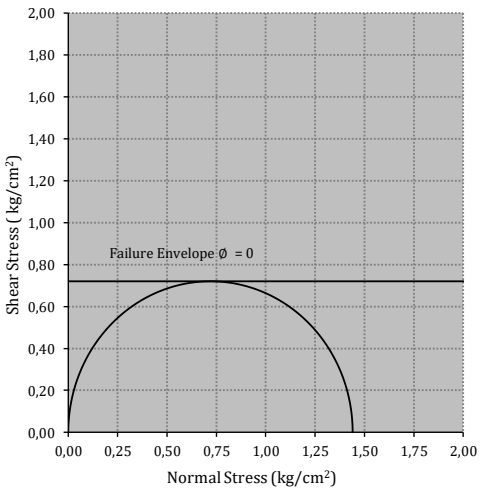
No.	Deformation		Unit Strain, $\Delta L/L_0$	Strain, %	Corected Area (cm^2)	Axial Load		Stress, (kg/cm^2)
	Reading (div)	Strain (cm)				Reading, (div)	Load, (kg)	
1	0	0,00	0,000	0,00	29,22	0,0	0,00	0,00
2	91	0,09	0,007	0,74	29,43	14,0	15,45	0,52
3	150	0,15	0,012	1,22	29,58	20,0	22,06	0,75
4	237	0,24	0,019	1,92	29,79	30,0	33,10	1,11
5	349	0,35	0,028	2,83	30,07	35,0	38,61	1,28
6	462	0,46	0,038	3,75	30,35	39,0	43,03	1,42
7	572	0,57	0,046	4,64	30,64	40,0	44,13	1,44
8	673	0,67	0,055	5,46	30,90	38,0	41,92	1,36
9	768	0,77	0,062	6,24	31,16	34,0	37,51	1,20

Compressive Streght, qu (kg/cm^2)	**1,44**
Shear Strenght, Su (kg/cm^2)	**0,72**

STRESS-STRAIN CURVE



MOHR CIRCLE CURVE



CV. GEOTEKNIK PRATAMA
LABORATORIUM PENGUJIAN MEKANIKA TANAH DAN BETON
JL. POLITEKNIK LR. PERKUTUT NO. 9 BUKIT LAMA KECAMATAN ILIR BARAT I KOTA PALEMBANG SUMATERA SELATAN
KODE POS 30139 geotekniikpratama.cv@gmail.com

Pelanggan	CV. RIDHO REGINA BERJAYA
Proyek	Perkuatan Tebing Sungai Majo Kel. Betung Kec. Betung Kab. Banyuasin
Lokasi	Sungai Majo
Registrasi	419/GP-PLB/IX/2025

DRICT SHEAR TEST

Diameter, cm	:	6,308	Date of Sampling	:	01 September 2025
Hight, cm	:	1,986	Date of Testing	:	09 Sep - 16 Sep 2025
Area, cm2	:	31,3	Method of Test	:	Drained
Calibration, kg/div	:	1,1033	Referention	:	ASTM 3080

No.	Read (div)	Percent Relative Displacement, (%)	Corrected Area (cm^2)	Normal Stress, (kg/cm^2)		0,50	Normal Stress, (kg/cm^2)		1,00	Normal Stress, (kg/cm^2)		1,50
				Shear Load		Sheare Stress (kg/cm^2)	Shear Load		Sheare Stress (kg/cm^2)	Shear Load		Sheare Stress (kg/cm^2)
				Read (div)	kg		Read (div)	kg		Read (div)	kg	
1	0	0,00	31,25	0,0	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
2	20	0,32	31,24	1,0	1,10	0,035	2,00	2,21	0,071	3,00	3,31	0,106
3	40	0,63	31,20	2,0	2,21	0,071	4,00	4,41	0,141	5,50	6,07	0,194
4	60	0,95	31,16	3,0	3,31	0,106	5,00	5,52	0,177	7,00	7,72	0,248
2	80	1,27	31,10	3,5	3,86	0,124	6,50	7,17	0,231	9,00	9,93	0,319
3	100	1,59	31,02	4,50	4,96	0,160	8,00	8,83	0,285	10,50	11,58	0,373
4	120	1,90	30,92	5,50	6,07	0,196	9,00	9,93	0,321	12,00	13,24	0,428
5	140	2,22	30,82	6,00	6,62	0,215	10,00	11,03	0,358	12,50	13,79	0,448
6	160	2,54	30,69	7,00	7,72	0,252	10,50	11,58	0,377	14,00	15,45	0,503
7	180	2,85	30,55	7,50	8,27	0,271	11,00	12,14	0,397	14,50	16,00	0,524
8	200	3,17	30,40	8,00	8,83	0,290	11,50	12,69	0,417	15,00	16,55	0,544
9	220	3,49	30,23	8,00	8,83	0,292	11,00	12,14	0,401	15,00	16,55	0,547
10	240	3,80	30,05	7,00	7,72	0,257	10,00	11,03	0,367	14,00	15,45	0,514
11	260	4,12	29,86		0,00	0,000	9,50	10,48	0,351	13,00	14,34	0,480
12	280	4,44	29,65		0,00	0,000	9,00	9,93	0,335			
13	300	4,76	29,43									
14	320	5,07	29,19									

No.	Normal Stress (kg/cm^2)	MAX. Shear Stress (kg/cm^2)	Result from Graph	
1	0,50	0,292	Angle of Internal Friction, Ø°	Cohesion, C kg/cm^2
2	1,00	0,417		
3	1,50	0,547	14,3	0,163

