

TUGAS AKHIR

ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN PROGRAM PLAXIS & SLOPE/W (Studi Kasus: Ruas Jalan Bagbagan - Jampang Kulon STA 8+400)

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
(Strata-1) Program Studi Teknik Sipil*

Dosen Pembimbing:

Chandra Afriade Siregar, ST., MT

NIK. 432.200.167

Disusun Oleh:

Hagi Riski Nugraha

NPM. 2112191003



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANGGA BUANA
YAYASAN PENDIDIKAN KEUANGAN DAN PERBANKAN
BANDUNG
2023**

HALAMAN PERSEMBAHAN

Without commitment, you'll never start. But more importantly, without consistency, you'll never finish! Keep working, keep striving, never give up, fall down 7 times, get up 8. Ease is a greater threat to progress than hardship. So, keep moving, keep growing, keep learning, see you at work!

-hagiriski



Assalamualaikum Warahmatullahi wabarakatu, salam sejahtera bagi kita semua (Shalom), Om Swastu, Namo Budaya dan salam kebajikan.

Tugas Akhir ini saya persembahkan khusus untuk:

Kedua orangtua tercinta yang tidak pernah henti hentinya memberikan doa dan semangat agar bisa mencapai cita-cita yang diinginkan.

Nanda Sri Lestari yang selalu menjadi support sistem bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

Seluruh keluarga besar saya yang selalu memberi semangat dan dorongan.

Semua teman teman seperjuangan yang telah memberikan semangat agar dapat lulus tepat pada waktunya, dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, saya ucapkan terimakasih banyak untuk semuanya.

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Nama : Hagi Riski Nuggraha
Nomor Pokok Mahasiswa : 2112191003
Alamat : Jln. Pasirkoja, Kota Bandung
Email : hagiriski11@gmail.com

Menyatakan bahwa Tugas akhir ini merupakan karya keaslian saya sendiri, dengan judul:

**"ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN
PROGRAM PLAXIS & SLOPE/W
(Studi Kasus: Ruas Jalan Bagbagan - Jampangkulon STA 8+400)"**

Sesungguhnya adalah benar-benar karya sendiri, saya tidak melakukan penjiplakan dan pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko/sanksi yang dijatuhkan kepada saya, apabila dikemudian hari adanya pelanggaran terhadap kejujuran akademik atau etika keilmuan dalam karya ini, atau ditemukan bukti yang menunjukkan ketidak aslian karya ini.

Bandung, 20 juli 2023

Pembuat Pernyataan

Hagi Riski Nuggraha
2112191003

**ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN
PROGRAM PLAXIS & SLOPE/W
(Studi Kasus: Ruas Jalan Bagbagan - Jampangkulon STA 8+400)**

Oleh:
Hagi Riski Nuggraha

Seluruh tugas akhir yang diajukan untuk memenuhi salahsatu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas
Teknik Universitas Sangga Buanan YPKP Bandung

© Hagi Riski Nuggraha 2023
Universitas Sangga Buana – YPKP
2023

Hak Cipta dilindungi undang – undang,
Tugas akhir ini tidak boleh diperbanyak seluruh atau sebagian, dengan dicetak
ulang, difoto kopi, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

**LEMBAR PENGESAHAN DAN PERSETUJUAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN
PROGRAM PLAXIS & SLOPE/W
(Studi Kasus: Ruas Jalan Bagbagan - Jampangkulon STA 8+400)**

Disusun Oleh:

**Hagi Riski Nuggraha
NPM. 2112191003**

Naskah Tugas Akhir ini diperiksa dan disetujui sebagai kelengkapan persyaratan kelulusan dan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung

**Mengetahui,
Dosen Pembimbing**

**Chandra Afriade Siregar, ST.,MT
NIK: 432.200.167**

Menyetujui,

Dekan Fakultas Teknik
USB PKP Bandung

Ketua Program Studi
Teknik Sipil USB PKP Bandung

**Slamet Risnanto, ST.,M,Kom
NIK: 432.200.125**

**Muhammad Syukri, ST.,MT
NIK: 432.200.200**

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah – Nya sehingga kami dapat menyelesaikan “Tugas Akhir” ini tepat pada waktunya dengan Judul “**Analisis Stabilitas Lereng Dengan Menggunakan Program Plaxis & Slope/W (Studi Kasus Ruas Jalan Bagbagan – Jampang Kulon STA 8+400)**”.

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil di Universitas Sangga Buana YPKP Bandung demi memperoleh gelar Sarjana Teknik. Keberhasilan dalam penulisan Usulan Penelitian ini tidak lepas dari do’a, semangat, perhatian dan bantuan berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Didin Saepudin, SE., M.Si., selaku Rektor Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
2. Bapak Dr. Teguh Nurhadi Suharsono, ST., M.T, selaku Wakil Rektor I Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
3. Bapak Bambang Susanto, SE., M.Si selaku Wakil Rektor II Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
4. Ibu Nurhaeni Sikki, S.A.P., M.A.P selaku Wakil Rektor III Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
5. Bapak Slamet Risnanto, S.T, M.Kom selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
6. Bapak M. Syukri, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
7. Bapak Chandra Afriade Siregar, ST., MT. selaku Dosen Wali dan Dosen Pembimbing.
8. Para dosen dan Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung yang telah mengajar, mengarahkan dan membantu penulis selama perkuliahan.
9. Ucapan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada kedua orang tua tercinta yaitu Bapak Yusup Supriatna dan Ibu Apong Komariah yang senantiasa selalu

memberikan dukungan moral, materil, motivasi penuh, do'a dan inspirasi pantang menyerah bagi penulis.

10. Begitu juga kepada orang spesial bagi penulis yaitu Nanda Sri Lestari yang selalu menemani dan memberikan dukungan, motivasi, serta semangat juang kepada penulis.
11. Para sahabat seperjuangan, Arafiz Azhar, M Dafa Ryanto, Rezky Maulana, Nurna Hambali, Hendri Azhari, Dewi Warlina, Revi Sekar, Shilvia Adinda, yang senantiasa berjuang bersama dalam mencapai kelulusan dan pengembangan diri menuju pribadi yang giat, tekun, dan pantang menyerah.
12. Teman-teman PUBG Mobile, Yoga Pratama, Luthfi Abdul Latif, Farhan Firmansyah, R Faizal Alparizki, Bagas Rizky, Aris Al-fauzi yang telah senantiasa bersama menghibur penulis dalam mengisi waktu luang.
13. Seluruh pihak yang tak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyusunan penulisan ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga dapat dijadikan referensi bagi penulis guna perbaikan di masa yang akan datang.

Akhirnya, dengan segala kerendahan hati penulis mempersembahkan Tugas Akhir ini dengan harapan dapat memberikan manfaat bagi semua pihak. Aamiin.

Bandung, Januari 2023

Hagi Riski Nuggraha
2112191003

ABSTRAK

Stabilitas atau faktor keamanan merupakan pertimbangan penting dalam suatu lereng atau timbunan. Stabilitas suatu lereng adalah faktor krusial dalam pekerjaan yang melibatkan penggalian, kerja tanah, batuan, dan material mineral. Dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan antara Metode Elemen Hingga (Finite Element Method) dan Metode Keseimbangan Batas (Limit Equilibrium Method) dalam hal faktor keamanan suatu lereng. Penulis berusaha membandingkan hasil analisis menggunakan dua program perangkat lunak, yaitu Plaxis dan Slope/W. Hasil analisis yang diperoleh menggunakan program Plaxis dibandingkan dengan yang diperoleh menggunakan Slope/W, menghasilkan sebagai berikut: Nilai faktor keamanan untuk Metode Elemen Hingga dalam aplikasi Plaxis adalah SF 1.315 untuk beban kelas I dan SF 1.318 untuk beban kelas II. Nilai faktor keamanan untuk Metode Keseimbangan Batas dalam aplikasi Slope/W adalah 1.226 untuk beban kelas I dan 1.229 untuk beban kelas II. Hasil perbandingan menggunakan dua metode dalam dua aplikasi yang berbeda menghasilkan perbedaan sebesar 9% pada nilai faktor keamanan.

Kata Kunci: Stabilitas Lereng, Elemen Hingga, Keseimbangan Batas, Plaxis, Slope/W

ABSTRACT

Stability or safety factor is a crucial consideration in a slope or embankment. The stability of a slope is a critical factor in projects involving excavation, soil work, rock, and mineral materials. In this thesis, a comparison is made between the Finite Element Method and the Limit Equilibrium Method in terms of the safety factor of a slope. The author attempts to compare the analysis results using two software programs, namely Plaxis and Slope/W. The analysis results obtained using the Plaxis program are compared to those obtained using Slope/W, resulting in the following: Safety factor value for the Finite Element Method in the Plaxis application is SF 1.315 for load class I and SF 1.318 for load class II. Safety factor value for the Limit Equilibrium Method in the Slope/W application is 1.226 for load class I and 1.229 for load class II. The comparison results using the two methods in two different applications yield a 9% difference in the safety factor value.

Keywords: *Slope Stability, Finite Element, Limit Equilibrium, Plaxis, Slope/W*

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	x
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Lereng.....	5
2.2 Tipe Lereng	5
2.2.1 Lereng Alam	5
2.2.2 Lereng Buatan	6
2.2.3 Lereng Akibat Galian	7
2.2.4 Lereng Akibat Timbunan.....	7
2.3 Stabilitas Lereng.....	8
2.4 Kuat Geser	9
2.5 Faktor Keamanan	10
2.6 Analisis Stabilitas Lereng dengan Analitis.....	12
2.6.1 Metode felenius.....	12
2.6.2 Metode Bishop	14
2.6.3 Metode Janbu	15
2.7 Analisis Stabilitas Lereng dengan Grafik.....	17
2.7.1 Metode Cousins	17
2.7.2 Metode Janbu	24
2.7.3 Metode Duncan & Buchignani.....	29

2.8	Sifat Mekanis Tanah yang Digunakan Pada Analisis Plaxis.....	31
2.9	Aplikasi Plaxis.....	35
2.10	Aplikasi Slope/W	36
BAB III.....		37
METODOLOGI.....		37
3.1	Diagram Alir.....	37
3.2	Lokasi Penelitian	38
3.3	Tahapan Penelitian	39
3.4	Persiapan Penelitian	40
3.5	Data Teknis.....	41
3.5.1	Data Borlog.....	41
3.5.2	Data Parameter Tanah.....	42
3.6	Analisis Stabilitas Lereng dengan Komputasi.....	43
3.6.1	Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Method</i>) PLAXIS.....	43
3.6.2	Metode Keseimbangan Batas (<i>Limit Equilibrium Method</i>) SLOPE/W	43
3.7	Analisis Dengan Bantuan Program Plaxis.....	45
3.7.1	Program Input	46
3.7.2	Program Calculations.....	48
3.7.3	Program Output.....	49
3.7.4	Program Curve	49
3.7.5	Prinsip Dasar Perhitungan Plaxis.....	50
3.7.6	Pemodelan Tanah pada Plaxis	53
3.8	Analisa Dengan Bantuan Program Slope/W	55
3.8.1	Idealisasi Bentuk Geometri Lereng	56
3.8.2	Penentuan Nilai Kohesi dan Sudut Geser Tanah	57
3.8.3	Penentuan Besar Beban Kerja pada Lereng.....	58
3.8.4	Program Input	58
3.8.5	Solving The Problem	59
3.8.6	Viewing the Results	59
BAB IV		60
HASIL & PEMBAHASAN.....		60
4.1	Pemodelan Kasus	60
4.2	Analisis Stabilitas Lereng dengan Program Plaxis.....	62
4.2.1	Input	62

4.2.2 Program Calculations.....	69
4.2.3 Program Output.....	71
4.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan Slope/W	72
4.3.1 Input	72
4.3.2 Solving The Problem	76
4.3.3 Result	77
4.4 Hasil Analisa Plaxis dan Slope/W	77
BAB V.....	78
KESIMPULAN.....	78
5.1 Kesimpulan.....	78
5.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA.....	79
LAMPIRAN.....	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Keberadaan Lereng Alam Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Badan Jalan Berada Pada Samping Lereng Alam	6
Gambar 2. 2 Ilustrasi Keberadaan Lereng Alam Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Badan Jalan Berada Pada Daerah Galian	6
Gambar 2. 3 Ilustrasi Keberadaan Lereng Buatan Akibat Galian Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Permukaan Badan Jalan Berada Di Bawah Permukaan Tanah Asli	7
Gambar 2. 4 Ilustrasi Keberadaan Lereng Bentukan / Buatan Akibat Tiimbunan Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Permukaan Badan Jalan Berada Di Atas Permukaan Tanah Asli	8
Gambar 2. 5 Keseimbangan Benda Pada Bidang Miring	8
Gambar 2. 6 Kekuatan Geser Tanah atau Batu	10
Gambar 2. 7 Sistem Gaya Pada Cara Fellinius.....	13
Gambar 2. 8 Sistem Gaya Pada Suatu Elemen Menurut Bishop.....	15
Gambar 2. 9 Sistem Gaya Pada Irisan dengan Metoda Janbu	17
Gambar 2. 10 Harga $m\alpha$ Untuk Persamaan Bishop	17
Gambar 2. 11 Definisi Dari Tanda-tanda Yang Digunakan Untuk Perhitungan ru	19
Gambar 2. 12 Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis – 1.....	19
Gambar 2. 13 Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 2	20
Gambar 2. 14 Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 3	20
Gambar 2. 15 Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 4.....	21
Gambar 2. 16 Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 5	21
Gambar 2. 17 Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 6	22

Gambar 2. 18 Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 7	22
Gambar 2. 19 Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 8	23
Gambar 2. 20 Lereng Yang Terdiri Atas Empat Lapisan.....	23
Gambar 2. 21 Faktor Reduksi Stabilitas $\phi = 0$ dan $\phi > 0$	26
Gambar 2. 22 Faktor Reduksi Grafik Stabilitas $\phi = 0$ dan $\phi > 0$	26
Gambar 2. 23 Angka Kemantapan dan Koordinat Titik Pusat Bidang Longsor Kritis Untuk Lereng Sederhana.....	27
Gambar 2. 24 Grafik Stabilitas Untuk $\phi > 0$	27
Gambar 2. 25 Angka Kemantapan Untuk Lereng Tak Terhingga	30
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian	38
Gambar 3. 3 Kondisi Topografi.....	38
Gambar 3. 4 Potongan Melintang Lereng	39
Gambar 3. 5 Data Borlog STA 8+400.....	41
Gambar 3. 6 Data Parameter Tanah	42
Gambar 3. 7 Bidang Longsor Circular	44
Gambar 3. 8 Bidang Longsor Non-Circular	44
Gambar 3. 9 Gaya Yang Bekerja Pada Bidang Irisan	45
Gambar 3. 10 Contoh Regangan bidang dan Axi-simetri	52
Gambar 3. 11 Posisi titik-titik nodal dan titik-titik regangan pada elemen tanah	53
Gambar 4. 1 Titik Uji Bor	60
Gambar 4. 2 General Model yang Dipakai.....	62
Gambar 4. 3 Penentuan Satuan Pada Plaxis	62
Gambar 4. 4 Geometri Lereng.....	63
Gambar 4. 5 Material Sets	63
Gambar 4. 6 General Pasir Lepas	64
Gambar 4. 7 Parameter Pasir Lepas.....	64
Gambar 4. 8 General Pasir Padat.....	65
Gambar 4. 9 Parameter Pasir Padat	65
Gambar 4. 10 General Pasir Sangat Padat.....	66

Gambar 4. 11 Parameter Pasir Sangat Padat	66
Gambar 4. 12 Boundary Conditions (Standard Fixities)	67
Gambar 4. 13 Mesh Generation.....	67
Gambar 4. 14 Initial Condition.....	68
Gambar 4. 15 Input Nilai Beban Jalan Kelas II.....	68
Gambar 4. 16 Input Nilai Beban Jalan Kelas I.....	68
Gambar 4. 17 Calculation Type, Gravity Loading	69
Gambar 4. 18 Calculation Type, Safety	69
Gambar 4. 19 Tahap Perhitungan	70
Gambar 4. 20 Hasil Calculation	70
Gambar 4. 21 Deformasi Pada Tahap Initial Phase.....	71
Gambar 4. 22 Bentuk Longsor + Beban Kelas I (FS=1.315)	72
Gambar 4. 23 Bentuk Busur Longsor + Beban Kelas II (FS = 1.318)	72
Gambar 4. 24 Metode Analisa yang Digunakan.....	73
Gambar 4. 25 Tipe Analisis Morgenstern-Price	73
Gambar 4. 26 Tipe Slip Surface	73
Gambar 4. 27 Geometri Lereng.....	74
Gambar 4. 28 Soil Properties.....	74
Gambar 4. 29 Input Beban Perkerasan	75
Gambar 4. 30 Menggambar Garis Beban Perkerasan.....	75
Gambar 4. 31 Slip Surface Entry & Exit.....	75
Gambar 4. 32 Jumlah Titik Increments	76
Gambar 4. 33 Solving The Problem	76
Gambar 4. 34 Faktor Keamanan + Beban Jalan Kelas I = 1.226 LEM.....	77
Gambar 4. 35 Faktor Keamanan + Beban Jalan kelas II = 1.229 LEM	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Faktor Keamanan Minimum Kemantapan Lereng.....	11
Tabel 2. 2 Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah.....	32
Tabel 2. 3 Hubungan Angka Poisson dengan Jenis Tanah dan Konsistensi	32
Tabel 2. 4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas	33
Tabel 2. 5 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah.....	34
Tabel 2. 6 Hubungan Antara Angka Pori, Kelembaban dan Berat Volume Tanah Kering.....	34
Tabel 4. 1 Stratifikasi Tanah BH 1.....	60
Tabel 4. 2 Stratifikasi Tanah BH 2.....	61
Tabel 4. 3 Klasifikasi Kelas Beban Jalan	61
Tabel 4. 5 Hasil Analisis Faktor Keamanan.....	77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebuah lereng merupakan permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horisontal. Lereng dapat terjadi secara alami melalui proses geologi atau dibentuk oleh manusia. Contoh lereng alami termasuk bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia mencakup galian dan timbunan untuk konstruksi jalan raya, jalan kereta api, bendungan, tanggul sungai, kanal, dan tambang terbuka. Longsoran adalah peristiwa keruntuhan massa tanah yang terjadi pada lereng, di mana massa tanah bergerak ke bawah dan keluar. Longsoran dapat terjadi dengan berbagai cara, baik secara perlahan-lahan maupun tiba-tiba, dengan atau tanpa tanda-tanda yang jelas.

Stabilitas atau faktor keamanan merupakan hal yang harus diperhatikan pada suatu lereng atau talud. Jika lereng tetap aman atau stabil, berarti lereng tersebut tidak mudah mengalami longsor. Namun, jika lereng terpengaruh oleh gaya internal atau eksternal, kemungkinan longsor akan meningkat. Pada tanah yang lunak, risiko longsoran lebih tinggi karena adanya keruntuhan lereng.

Ketahanan (stabilitas) lereng adalah faktor yang sangat penting dalam pekerjaan yang melibatkan penggalian dan penimbunan tanah, batuan, dan bahan galian. Hal ini berkaitan dengan keselamatan pekerja, keamanan peralatan, dan kelancaran produksi. Situasi ini relevan dalam berbagai jenis pekerjaan, seperti pembuatan jalan, bendungan, penggalian kanal, konstruksi, penambangan, dan lain-lain.

Ketidakstabilan tanah dapat menyebabkan terjadinya kelongsoran. Kelongsoran terjadi akibat rendahnya kekuatan geser tanah, peningkatan beban eksternal, dan tingginya kandungan air (Turnbull dan Hvorslev, 1967). Kelongsoran pada lereng sering terjadi karena kondisi geografis di beberapa tempat memiliki curah hujan yang tinggi dan peningkatan tekanan air pori dalam lempung, yang mempengaruhi kekuatan geser. Dampaknya ekonomi adalah kerugian yang signifikan, baik dalam hal korban jiwa yang terdampak bencana tanah longsor maupun kerusakan pada sumber mata pencaharian masyarakat.

Hardiyatmo, (2012) Banyak faktor, seperti kondisi – kondisi geologi dan hidrologi, topografi, iklim, dan perubahan cuaca mempengaruhi stabilitas lereng yang mengakibatkan terjadinya longsor. Sebab-sebab alami yang mengganggu kestabilan lereng, contohnya : pelapukan, hujan lebat atau hujan tidak begitu lebat tapi berkepanjangan, adanya lapisan lunak dan lain-lain. Sebab-sebab yang terkait dengan aktivitas manusia, contohnya : penggalian dikaki lereng, pembangunan dipermukaan lereng dan lain-lain. Sebab-sebab longsor lereng alam adalah :

1. Penambahan beban pada lereng. tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban oleh air yang masuk kepori-pori tanah maupun yang menggenang dipermukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuh-tumbuhan yang tertiup angin dan lain-lain.
2. Penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng yang menyebabkan tinggi lereng bertambah,
3. Penggalian yang mempertajam kemiringan lereng.
4. Perubahan posisi muka air secara cepat (rapid drawdown) pada bendungan, sungai dan lain-lain.
5. Kenaikan tekanan lateral oleh air (air yang mengisi retakan mendorong tanah kearah lateral).
6. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng oleh akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air didalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain.
7. Getaran atau gempa bumi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, perlu dilakukan analisis kestabilan lereng pada tanah di Ruas Jalan Bagbagan – Jampang Kulon STA 8+400 untuk :

1. Berapa Faktor Keamanan (FK) lereng pada lokasi longsor tersebut dengan menggunakan program *Plaxis & Slope-W* ?
2. Perbandingan nilai faktor keamanan menggunakan metode FEM & LEM dengan menggunakan program *Plaxis & Slope/W* ?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis ingin menekankan analisis lereng ruas jalan Bagbagan – Jampang Kulon di daerah Sta 8+400 dengan bantuan program Plaxis & Geoslope/W. Dengan menganalisa lereng Jalan Bagbagan – Jampang Kulon Sta 8+400 maka penulis membatasi masalah yang akan dibahas meliputi bentuk geometris, sudut lereng agar dapat dilakukan pemecahan masalah dengan baik. Batasan-batasan masalah yang diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Data tanah yang digunakan merupakan data sekunder dari PT. KARYA UTAMA CITRAMANDIRI, yang berlokasi di STA 8+400 Ruas Jalan Bagbagan, Jampangkulon, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat.
- Lereng digambarkan dengan menggunakan pemodelan dua dimensi menggunakan program *Plaxis* dan *Slope/W*
- Tidak meninjau dari segi biaya dan waktu
- Tidak memperhitungkan adanya muka air tanah
- Perhitungan dilakukan dengan program *Plaxis* dan *Slope-W*

1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini ada beberapa tujuan yang ingin dicapai, antara lain:

1. Berapa Faktor Keamanan (FK) lereng pada lokasi longsor tersebut dengan menggunakan program *Plaxis & Slope-W* ?
2. Perbandingan nilai faktor keamanan menggunakan metode FEM & LEM dengan menggunakan program *Plaxis & Slope/W* ?

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini dapat diperoleh manfaat antara lain:

1. Manfaat teoritis, diharapkan penelitian ini dapat digunakan untuk perkembangan ilmu pengetahuan teknik sipil, khususnya menganalisis kestabilan lereng berdasarkan data lapangan dengan pemodelan menggunakan aplikasi *Plaxis & Slope/W*.

2. Manfaat praktis, sebagai tambahan informasi untuk praktisi maupun akademisi dalam mempelajari kestabilan lereng.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika penulisan dalam laporan ini dapat diuraikan sebagai berikut :

- **BAB I PENDAHULUAN**
dalam bab ini terdiri atas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, manfaat penelitian serta sistematikan penulisan.
- **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**
dalam bab ini terdiri atas definisi lereng, stabilitas lereng, longsoran, kuat geser, konsep stabilitas lereng dari berbagai metode, penyelidikan tanah, dan kriteria faktor keamanan.
- **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**
dalam bab ini membahas uraian mengenai data yang akan digunakan serta menjelaskan juga metode dan program yang akan digunakan untuk analisis stabilitas lereng.
- **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**
Bab ini berisi penjelasan tentang analisis faktor keamanan menggunakan metode FEM dan LEM dengan menggunakan program Plaxis & Slope/W
- **BAB V KESIMPULAN**
Bab ini merupakan hasil analisis dan pembahasan yang dirangkum dan disajikan dalam kesimpulan dan saran – saran dari hasil kegiatan penelitian dalam Tugas Akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Lereng

Lereng merujuk pada suatu area di permukaan tanah yang menghubungkan area yang lebih tinggi dengan area yang lebih rendah. Lereng dapat terbentuk secara alami atau manusia dapat membuatnya.

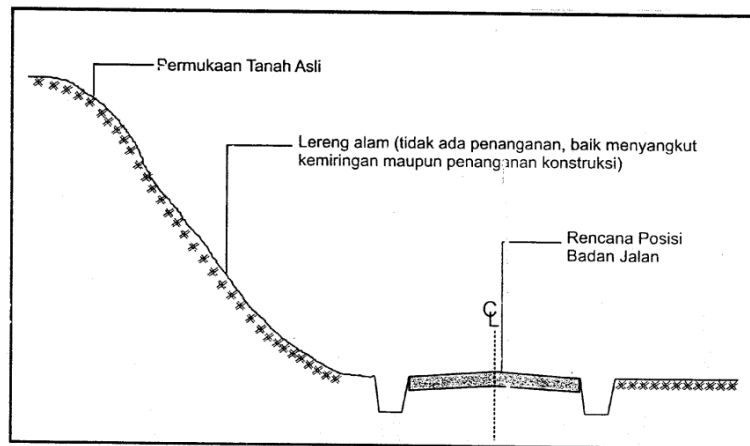
Di tempat di mana terdapat perbedaan tinggi antara dua area tanah, gaya-gaya akan bekerja untuk mendorong tanah yang lebih tinggi agar bergerak ke bawah. Namun, ada juga gaya-gaya dalam tanah yang bertindak sebagai penahan atau melawan gerakan, sehingga menjaga kestabilan posisi tanah tersebut. Gaya-gaya pendorong termasuk gaya berat dan gaya tahanan gesekan atau tahanan akibat muatan. Gaya-gaya penahan termasuk gaya gesekan, adhesi (kohesi), dan kekuatan geser tanah. Jika gaya-gaya pendorong lebih dominan daripada gaya-gaya penahan, maka tanah akan mulai runtuh, dan akhirnya terjadi keruntuhan pada bidang yang melintang, di mana massa tanah di atas bidang ini akan longsor. Kejadian ini dikenal sebagai keruntuhan lereng, dan bidang melintang tersebut disebut bidang gelincir.

2.2 Tipe Lereng

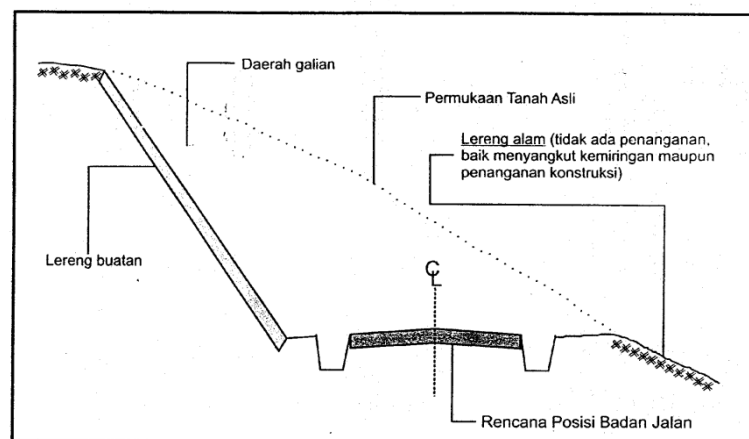
2.2.1 Lereng Alam

Lereng alam (natural slope) merujuk pada lereng yang terbentuk secara alami sebagai hasil dari proses geologi. Dalam konteks perencanaan teknik jalan, lereng alam sering ditemukan di daerah dengan topografi berbukit dan pegunungan, di mana badan jalan berada pada elevasi tanah asli (existing ground) yang terletak di sisi bukit, atau badan jalan berada pada lereng bukit yang sebagian digali/dipotong untuk posisi badan jalan. Pada daerah dengan topografi datar, keberadaan lereng alam relatif sulit ditemui. Dalam konteks panduan ini, lereng alam mengacu pada kondisi di mana tidak ada perlakuan atau penanganan khusus terhadap lereng tersebut, baik itu dalam bentuk perubahan kemiringan atau penambahan struktur konstruksi tertentu. Kestabilan lereng alam dipengaruhi oleh sifat, karakteristik, dan struktur tanah, serta bentuk alami lereng tersebut. Ilustrasi visual yang

menggambarkan keberadaan lereng alam dapat dilihat pada... Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2. 1 Ilustrasi Keberadaan Lereng Alam Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Badan Jalan Berada Pada Samping Lereng Alam



Gambar 2. 2 Ilustrasi Keberadaan Lereng Alam Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Badan Jalan Berada Pada Daerah Galian

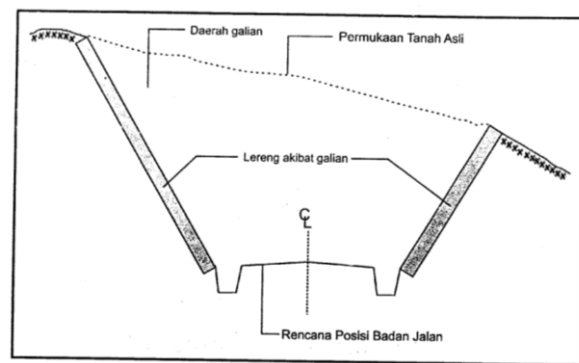
2.2.2 Lereng Buatan

Lereng buatan (man-made slope) adalah lereng yang terbentuk sebagai hasil dari proses perencanaan geometrik jalan yang melibatkan penggalian atau penimbunan tanah. Lereng buatan dapat berupa lereng yang dibuat dengan perlakuan konstruksi, baik menggunakan struktur maupun tanpa struktur, atau lereng buatan tanpa perlakuan konstruksi, di mana kestabilan lereng hanya mengandalkan kemiringan dan tinggi kritis berdasarkan karakteristik tanah yang

membentuk lereng tersebut. Secara umum, lereng buatan dapat terjadi dalam semua kondisi topografi, baik itu datar, berbukit, maupun pegunungan.

2.2.3 Lereng Akibat Galian

Dalam perencanaan Teknik jalan, lereng buatan akibat galian terjadi karena kebutuhan desain geometrik jalan yang mengharuskan badan jalan berada di bawah elevasi tanah asli. Lereng buatan akibat galian dapat terjadi dalam berbagai kondisi topografi, baik datar, berbukit, maupun pegunungan. Kemiringan dan penanganan lereng buatan akibat galian ditentukan oleh perencana dengan mempertimbangkan faktor-faktor teknis seperti geometri jalan, topografi, karakteristik tanah, geologi, geoteknik, sistem drainase, dan kondisi lingkungan sekitarnya. Ilustrasi visual yang menunjukkan contoh lereng buatan akibat galian dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut ini.

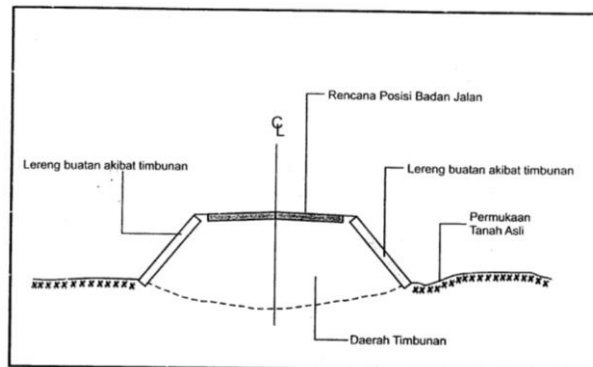


Gambar 2. 3 Ilustrasi Keberadaan Lereng Buatan Akibat Galian Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Permukaan Badan Jalan Berada Di Bawah Permukaan Tanah Asli

2.2.4 Lereng Akibat Timbunan

Dalam konteks perencanaan teknis jalan, lereng buatan akibat timbunan terjadi karena kebutuhan desain geometrik jalan yang mengharuskan badan jalan berada di atas elevasi tanah asli. Lereng buatan akibat timbunan dapat terjadi dalam berbagai kondisi topografi, termasuk datar, berbukit, maupun pegunungan. Kemiringan dan penanganan lereng buatan akibat timbunan ditentukan oleh perencana berdasarkan pertimbangan teknis, yang mencakup geometri jalan, topografi, karakteristik tanah timbunan untuk badan jalan, geologi, geoteknik, sistem drainase, dan kondisi lingkungan sekitarnya. Ilustrasi visual yang

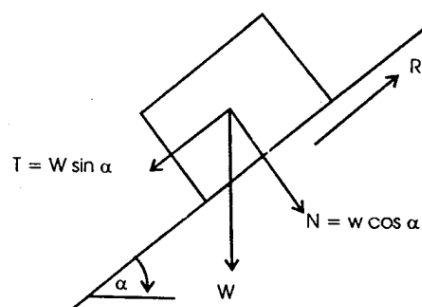
menunjukkan contoh lereng buatan akibat timbunan dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2. 4 Ilustrasi Keberadaan Lereng Bentukan / Buatan Akibat Tiimbunan Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Permukaan Badan Jalan Berada Di Atas Permukaan Tanah Asli

2.3 Stabilitas Lereng

Teori stabilitas lereng pada dasarnya adalah teori mekanisme gerak suatu benda yang terletak pada bidang miring, dimana benda yang menjadi obyek tinjauan adalah butir-butir tanah, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.5 yang menganalisis mekanisme gerak benda pada bidang miring serta gaya-gaya yang mempengaruhinya. (Departemen Pekerjaan umum, 2005)



Gambar 2. 5 Keseimbangan Benda Pada Bidang Miring

Dari Mekanisme gerak yang diilustrasikan pada gambar 2.5 tersebut dapat diambil kesimpulan beberapa kemungkinan yang terjadi berkaitan dengan kestabilan butir tanah yaitu :

$R/T < 1$	benda akan bergerak (labil/longsor)
$R/T = 1$	benda dalam keadaan seimbang (tidak bergerak)
$R/T > 1$	benda akan diam (stabil)

Teori dasar dalam konsep kestabilan lereng menerapkan dan menganalogikan mekanisme gerak untuk memahami stabilitas tanah terhadap longsor dan gaya-gaya lateral yang mempengaruhi tanah. Ini mencakup analisis mekanisme gerak yang dihasilkan oleh gaya-gaya internal dan eksternal yang bekerja pada tanah, serta parameter-parameter yang mempengaruhi terjadinya longsor.

Dalam konteks stabilitas terhadap longsor, hal-hal yang diperhatikan meliputi lokasi, kedalaman, dan dimensi bidang longsor. Sedangkan untuk stabilitas terhadap gaya-gaya lateral, hal-hal yang diperhatikan meliputi mekanisme gaya lateral yang terjadi dan pengaruhnya terhadap stabilitas.

Parameter dan faktor yang memengaruhi stabilitas terhadap longsor dan gaya lateral termasuk kuat geser tanah, tekanan air pori, berat isi tanah, faktor gempa, dan faktor keamanan. Semua faktor ini perlu dianalisis dan dipertimbangkan untuk memahami dan mencegah potensi longsor dan mengamankan stabilitas lereng.

2.4 Kuat Geser

Kuat geser terdiri dari kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Untuk analisis kemantapan lereng jangka Panjang digunakan harga kuat geser efektif maksimum (c' , ϕ'). Untuk lereng yang sudah mengalami gerakan atau material pembentuk lereng yang mempunyai diskontinuitas tinggi digunakan harga kuat geser sisa $C_r = 0$, ϕ'). Harga kuat geser sisa rata-rata untuk lereng yang telah longsor (bila diketahui bidang longsornya) disarankan menggunakan cara analisis balik.

Kuat geser tergantung pada gaya yang bekerja antara butiran, dengan demikian dapat dikatakan bahwa kekuatan geser terdiri atas:

- 1) Bagian yang bersifat kohesif, tergantung pada macam tanah / batuan dan ikatan butirnya.

- 2) Bagian yang bersifat gesekan, yang sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang geser.

Kekuatan geser tanah dapat dinyatakan dalam rumus:

$$S = C' + (\tau - \mu) \tan \Phi'$$

Dimana :

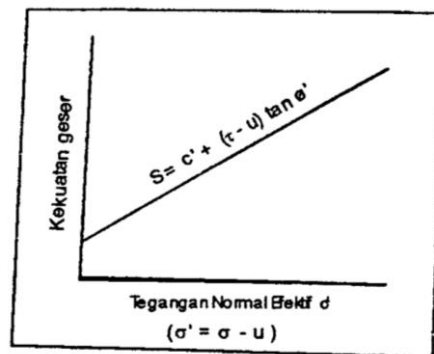
S = kekuatan geser

τ = tegangan total pada bidang geser

μ = tekanan air pori

C' = kohesi efektif

Φ' = sudut geser dalam efektif



Gambar 2. 6 Kekuatan Geser Tanah atau Batu

2.5 Faktor Keamanan

Dalam mendesain penanggulangan lereng, penting untuk melakukan penyederhanaan dan membuat berbagai asumsi karena lereng terbentuk oleh material yang sangat beragam dan terdapat banyak faktor ketidakpastian. Secara teoritis, gerakan massa tanah dapat dihentikan dengan meningkatkan faktor keamanan.

Dalam menentukan kriteria faktor keamanan, hal-hal yang perlu dipertimbangkan adalah risiko yang dihadapi, kondisi beban, dan parameter yang digunakan dalam analisis kemantapan lereng. Risiko yang dihadapi dapat dikategorikan menjadi tiga tingkatan, yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Pada analisis kemantapan lereng, juga perlu mempertimbangkan kondisi beban yang meliputi gempa dan tanpa gempa (beban normal).

Penentuan faktor keamanan harus dilakukan dengan hati-hati, dengan mempertimbangkan semua faktor dan aspek yang relevan. Dalam kasus risiko yang tinggi atau beban yang signifikan, faktor keamanan yang lebih tinggi dapat digunakan untuk memberikan margin keamanan yang lebih besar. Namun, dalam kondisi beban yang lebih rendah atau risiko yang lebih rendah, faktor keamanan yang lebih konservatif mungkin tidak diperlukan.

Pemilihan faktor keamanan yang tepat adalah bagian penting dari desain penanggulangan lereng yang efektif, yang memperhitungkan semua faktor yang mempengaruhi stabilitas dan meminimalkan risiko potensial. Parameter yang digunakan menyangkut hasil pengujian dengan harga batas atau sisa dengan mempertimbangkan ketelitiannya. Tabel. 2.1 memperlihatkan faktor keamanan terendah berdasarkan hal-hal tersebut diatas. (Badan Standarisasi Nasional, 2017)

Tabel 2. 1 Faktor Keamanan Minimum Kemantapan Lereng

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

Keterangan :

*)

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

**)

- Kekuatan geser maksimum adalah harga puncak dan dipakai apabila massa tanah / betuan yang potensial longsor tidak mempunyai bidang diskontinuitas (perlapisan, rekahan, sesar, dan sebagainya) dan belum pernah mengalami gerakan
- Kekuatan geser residual dipakai apabila : (1) massa tanah / batuan yang potensial bergerak mempunyai bidang diskontinuitas, dan atau (ii) pernah bergerak (walaupun tidak mempunyai bidang diskontinuitas).

2.6 Analisis Stabilitas Lereng dengan Analitis

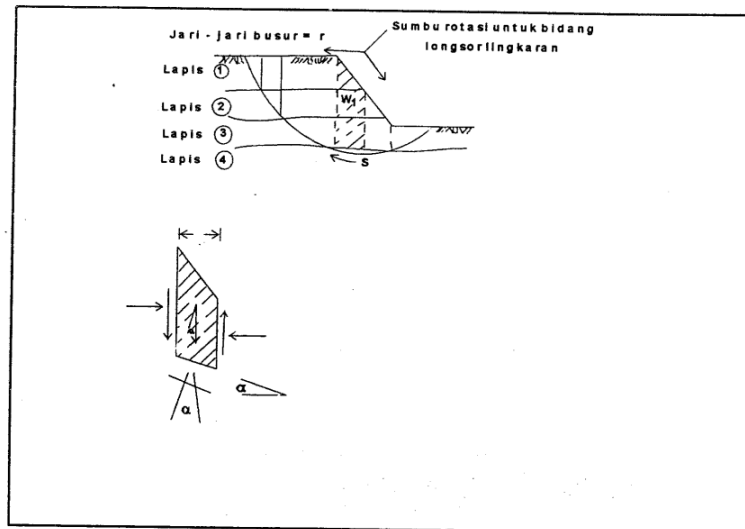
Analisis stabilitas lereng dengan menggunakan komputansi mencakup metode Fellenius, Bishop, dan Janbu.

2.6.1 Metode Fellenius

Metode Fellenius adalah metode yang digunakan untuk menganalisis kemantapan lereng dengan menganggap massa tanah yang bergerak terdiri dari beberapa elemen vertikal. Metode ini dapat diterapkan pada lereng dengan kondisi isotropis (sifat tanah yang sama di semua arah), non-isotropis (sifat tanah berbeda di berbagai arah), dan berlapis-lapis.

Dalam metode Fellenius, elemen-elemen vertikal digunakan sebagai representasi diskrit dari massa tanah yang bergerak. Lebar elemen dapat diambil dalam berbagai ukuran dan tidak harus sama, sehingga lengkung busur di dasar elemen dapat dianggap sebagai garis lurus. Dengan asumsi ini, analisis dilakukan pada setiap elemen secara terpisah, dengan memperhitungkan gaya-gaya yang bekerja pada masing-masing elemen.

Metode Fellenius memberikan pendekatan yang relatif sederhana dalam menganalisis kemantapan lereng dengan membagi massa tanah menjadi elemen-elemen vertikal. Namun, perlu diingat bahwa metode ini memiliki asumsi yang signifikan dan keterbatasan, dan hasilnya mungkin tidak akurat jika tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya dari lereng yang dianalisis. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor lain dan menggunakan metode lain yang lebih kompleks jika diperlukan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan konservatif dalam analisis kemantapan lereng.



Gambar 2. 7 Sistem Gaya Pada Cara Fellenius

Berat “total” tanah / batuan pada suatu elemen (W_t) termasuk beban luar yang bekerja pada permukaan lereng (Gambar 2.7). W_t diuraikan dalam komponen tegak lurus dan tangensial pada dasar elemen, Dengan cara ini, pengaruh gaya T dan E yang bekerja di samping elemen diabaikan. Faktor keamanan adalah perbandingan momen penahan longsor dengan penyebab longsor. Pada Gambar momen tahanan geser pada bidang longsor adalah:

$$M_{\text{penahan}} = R \cdot r$$

(2)

Dimana R adalah gaya geser dan r adalah jari-jari bidang longsor.

Tahanan geser pada dasar tiap elemen adalah:

$$R = S \cdot 1 = 1 (c' + \sigma \tan \Phi') ; \sigma = \frac{W_t \cos \alpha}{1} \quad (3)$$

Momen penahan yang ada sebesar:

$$M_{\text{penahan}} = r (c' \cdot 1 + W_t \cos \alpha \tan \Phi') \quad (4)$$

Komponen tangensial W_t bekerja sebagai penyebab longsor menimbulkan momen penyebab:

$$M_{\text{penyebab}} = (W_t \sin \alpha) \cdot r \quad (5)$$

Faktor keamanan dari lereng menjadi:

$$FK = \frac{\sum(c' + W_t \cos \alpha \tan \Phi')}{\sum W_t \sin \alpha} \quad (6)$$

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

$$FK = \frac{\sum[c' + (W_t \cos \alpha - \mu) \tan \Phi']}{\sum W_t \sin \alpha} \quad (7)$$

μ = Tekanan air pori didasar bidang longsoran.

2.6.2 Metode Bishop

Cara analisis yang dibuat oleh A.W Bishop (1955) menggunakan cara elemen dimana gaya yang bekerja pada tiap elemen ditunjukkan seperti pada gambar. Persyaratan keseimbangan diterapkan pada elemen yang membentuk lereng tersebut. Faktor keamanan terhadap longsoran didefinisikan sebagai perbandingan kekuatan geser maksimum yang dimiliki tanah di bidang longsoran ($S_{tersedia}$) dengan tahanan geser yang diperlukan untuk keseimbangan (S_{perlu})

$$FK = \frac{S_{tersedia}}{S_{perlu}}$$

Bila kekuatan geser tanah adalah:

$$S_{tersedia} = c' + (\sigma - \mu) \tan \Phi' = c' + \sigma \tan \Phi'$$

Maka tahanan geser yang diperlukan untuk keseimbangan adalah:

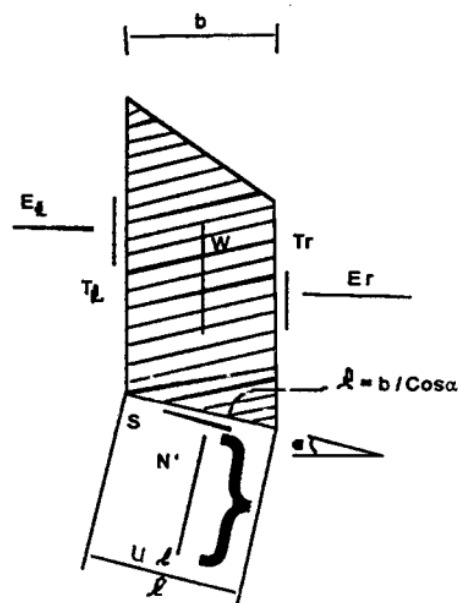
$$S_{perlu} = \frac{1}{FK} (c' + (\sigma - \mu) \tan \Phi') \quad (8)$$

Faktor keamanan dihitung berdasar rumus:

$$FK = \frac{\sum \frac{1}{m} (c' + (W - \mu) \tan \Phi')}{W \sin \alpha} \quad (9)$$

Harga m dapat ditentukan dari gambar 9. Cara penyelesaian merupakan coba ulang (trial and errors) harga faktor keamanan FK di ruas kiri persamaan (9), dengan menggunakan Gambar 2.8. Untuk mempercepat perhitungan.

Faktor keamanan menurut cara ini menjadi tidak sesuai dengan kenyataan terlalu besar, bila sudut negative (-) di lereng paling bawah mendekati 30° (Gambar 2.8). Kondisi ini bisa timbul bila lingkaran longsor sangat dalam atau pusat rotasi yang diandalkan berada dekat puncak lereng. Faktor keamanan yang didapat dari cara Bishop ini lebih besar dari yang didapat dari cara Fellenius.



Gambar 2. 8 Sistem Gaya Pada Suatu Elemen Menurut Bishop

2.6.3 Metode Janbu

Janbu (1954) mengembangkan suatu metode analisis stabilitas lereng yang dapat diterapkan untuk semua bentuk bidang longsoran (Gambar 2.9). Besaran-besaran yang akan dicari adalah: F (yang berhubungan dengan T , N , E , dan S).

Berdasarkan keseimbangan gaya vertical:

$$N \cos \theta = W + \Delta S - T \sin \theta$$

$$N = (W + \Delta S) \sec \theta - T \tan \theta$$

Jumlah gaya-gaya tegak lurus maupun tangensial terhadap bidang dasar irisan adalah nol. Sehingga persamaannya adalah:

$$S = y \frac{dE}{dx} - \frac{d}{dx} (Ey_t) \quad (10)$$

$$\Delta N = (\Delta W - \Delta S) \cos \theta + \Delta E \sin \theta \quad (11)$$

$$\Delta T = (\Delta W + \Delta S) \sin \theta - \Delta E \cos \theta \quad (12)$$

Kriteria longsor MOHR – COULOMB adalah:

$$\Delta T = \frac{C \Delta x \sec \theta + \Delta N (\tan \theta)}{F} \quad (13)$$

Dengan menggabungkan persamaan (11), (12), (13) dan memisalkan $x = 0$,

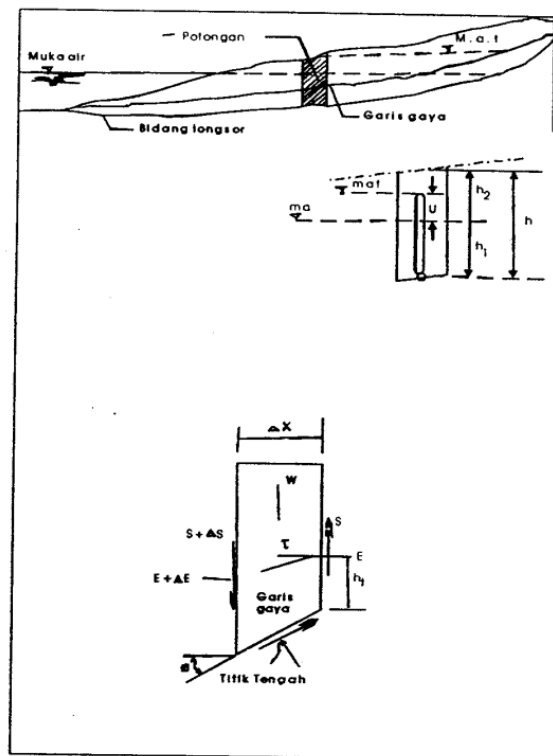
$$\frac{dE}{dx} \left(1 + \frac{\tan \phi}{F} \frac{dy}{dx} \right) + \frac{dS}{dx} \left(\frac{\tan \phi}{F} - \frac{dy}{dx} \right) = -\frac{c}{F} \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right] + \frac{dW}{dx} \left(\frac{\tan \phi}{F} - \frac{dy}{dx} \right) \quad (14)$$

Persamaan (10) dan (14) merupakan dua persamaan diferensial, yang digunakan untuk menentukan E , S , y_t . Untuk melengkapi sistem persamaan tersebut, dimisalkan:

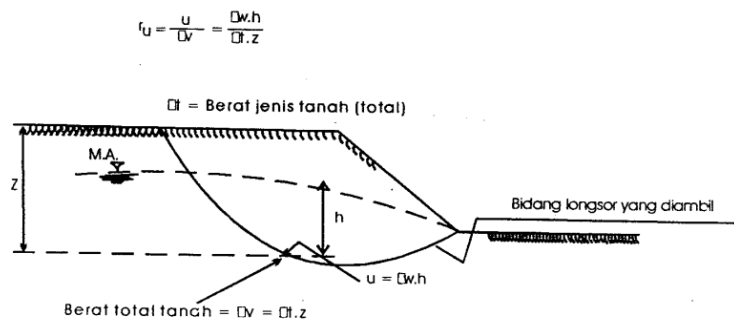
$$S = \lambda f(x) E$$

Dimana $f(x)$ adalah suatu fungsi dari x , dan $\lambda = \text{konstanta}$.

λ dan f dapat dipecahkan dengan persamaan (10) dan (14). $f(x)$ dimisalkan linier dengan menentukan suatu angka tertentu dapat ditentukan harga λ yang memenuhi persamaan-persamaan tersebut.



Gambar 2. 9 Sistem Gaya Pada Irisan dengan Metoda Janbu



Gambar 2. 10 Harga m_α Untuk Persamaan Bishop

2.7 Analisis Stabilitas Lereng dengan Grafik

Metode analisis stabilitas lereng dengan menggunakan grafik mencakup metode-metode Cousins, Janbu, Duncan & Buchignani, Hoek & Bray.

2.7.1 Metode Cousins

Untuk mengevaluasi stabilitas jangka Panjang suatu lereng harus digunakan tegangan efektif dan tegangan air pori yang bekerja pada bidang longsor. Grafik yang dibuat oleh Cousins (1978) secara luas dipakai untuk keperluan praktis.

Pengaruh air pori dinyatakan dalam perbandingan tekanan pori, r_u yang didefinisikan sebagai perbandingan tekanan air pori dengan beban tanah total pada suatu kedalaman tertentu dalam suatu massa tanah (lihat Gambar 2.11).

Grafik Cousins [Gambar 2.12. (a) sampai 2.19 (p)] didasarkan atas analisis lingkaran geser (*friction circle method*) seperti untuk grafik Taylor.

Angka kestabilan Cousins didefinisikan sebagai:

$$N = \frac{H_{ada}(FK)}{c'} \quad (15)$$

Cousins juga menggunakan parameter $c\phi$ pada kelompok tanda yang berhubungan dengan sifat tanah dan tinggi lereng, dimana:

$$c\phi = \frac{H_{ada}\phi'}{c'} \quad (16)$$

faktor keamanan D diperlihatkan pada grafik-grafik dan dapat digunakan untuk mempelajari longsor dengan bidang longsor dalam (*base failure*)

$$D = \frac{V}{H}$$

Dimana: V = Jarak vertical dari atas lereng ke titik terbawah pada bidang longsor

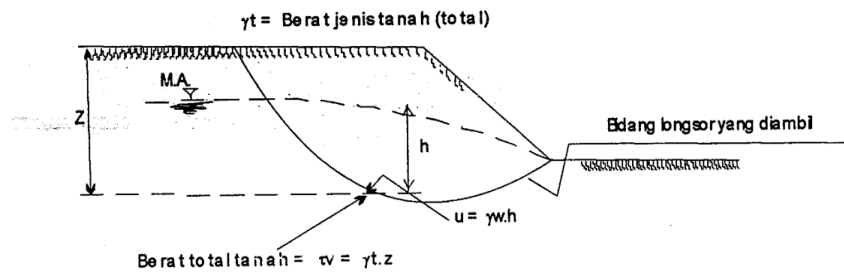
H = tinggi lereng

Bila lereng terkena pengaruh aliran air (*seepage*), tekanan air pori atau nilai perbandingan tekanan air pori akan berubah besarnya sepanjang bidang longsor tersebut.

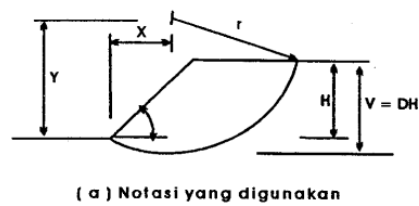
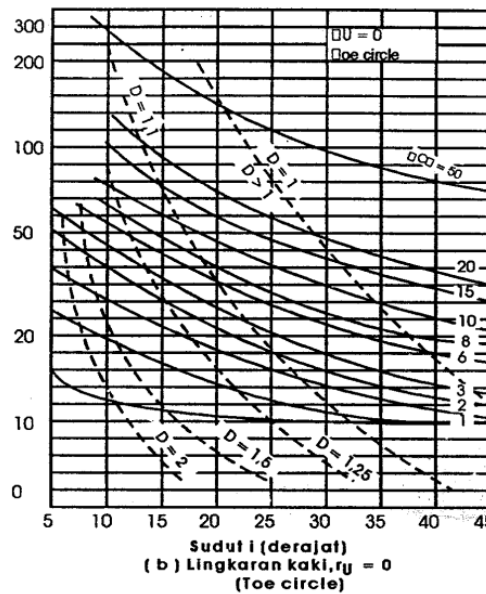
Harga rata-rata yang menguntungkan untuk r_u harus digunakan jika grafik-grafik dipakai. Nilai r_u rata-rata ditetapkan untuk digunakan dalam perhitungan berdasarkan Gambar 2.12 (p).

Menggunakan nilai r_u D dan c dapat diketahui dengan mencari X dan Y dari r_i r_u (X/H) tan l dan (Y/H) tan l yang dapat dilihat pada Gambar 2.15(h) s/d 2.19(o)

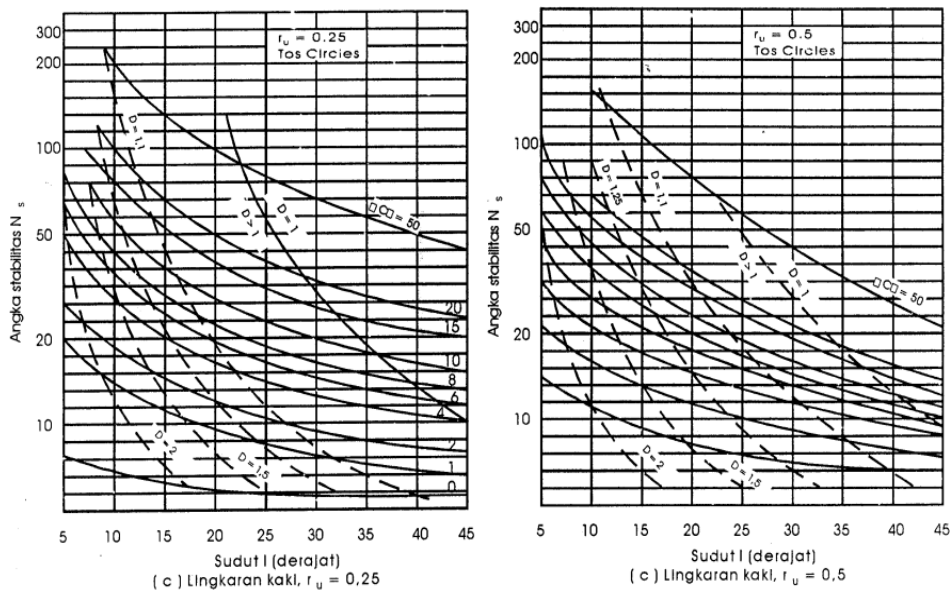
$$r_u = \frac{u}{\tau_v} = \frac{\gamma_w \cdot h}{\gamma_t \cdot z}$$



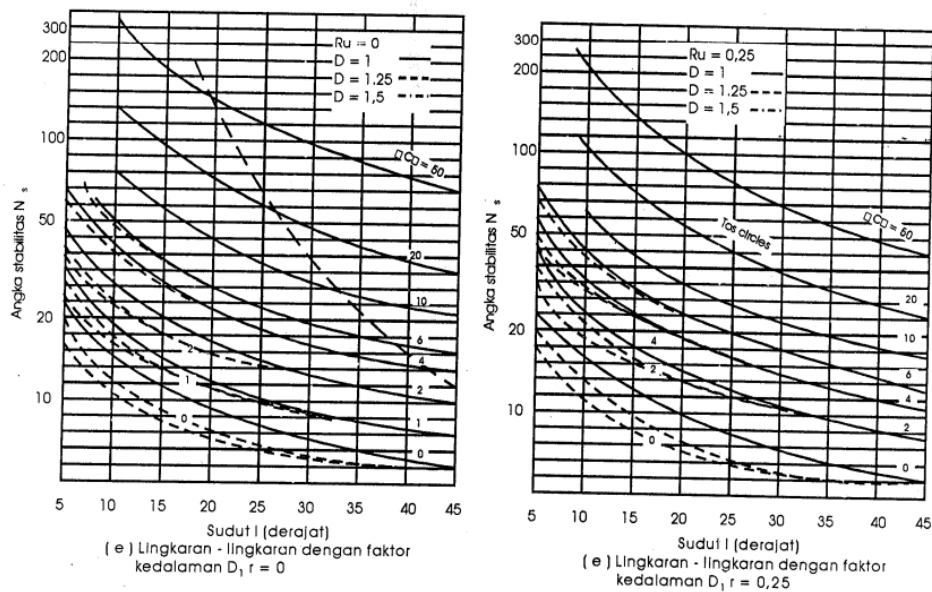
Gambar 2. 11 Definisi Dari Tanda-tanda Yang Digunakan Untuk Perhitungan r_u



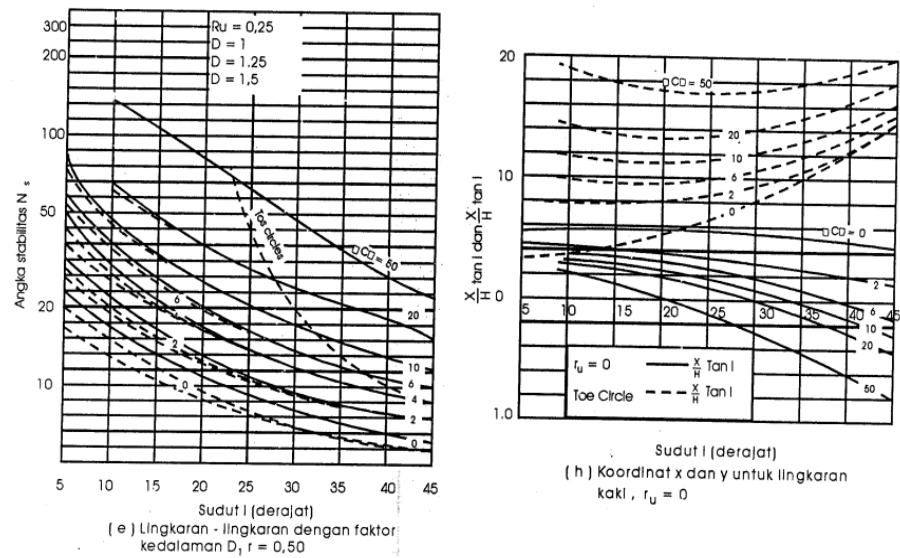
Gambar 2. 12 Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis – 1



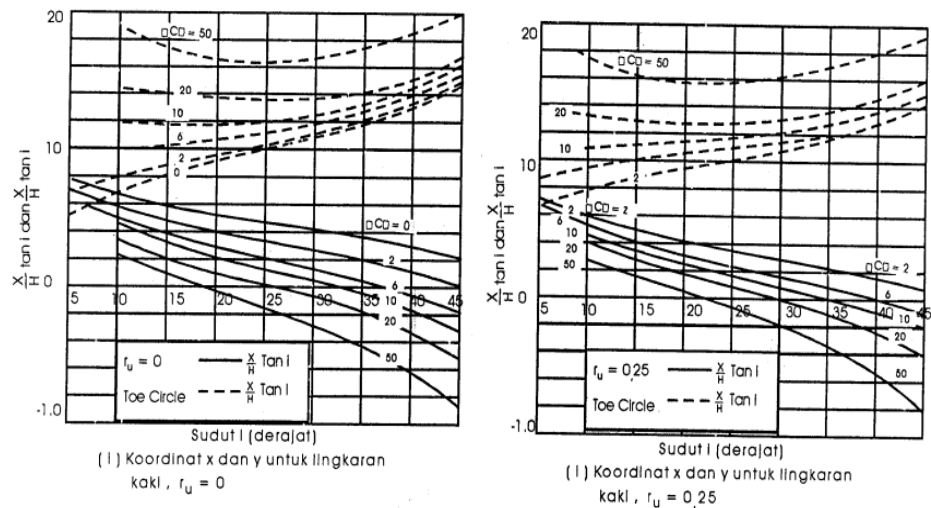
Gambar 2. 13 Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 2



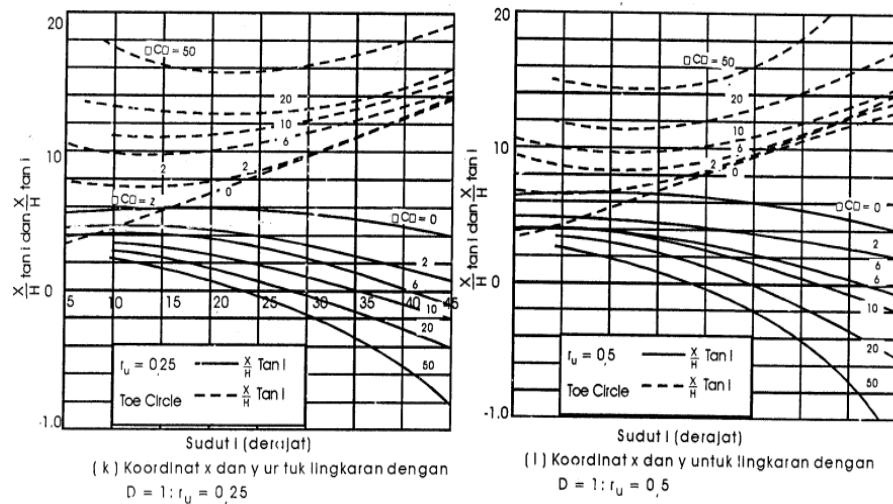
Gambar 2. 14 Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 3



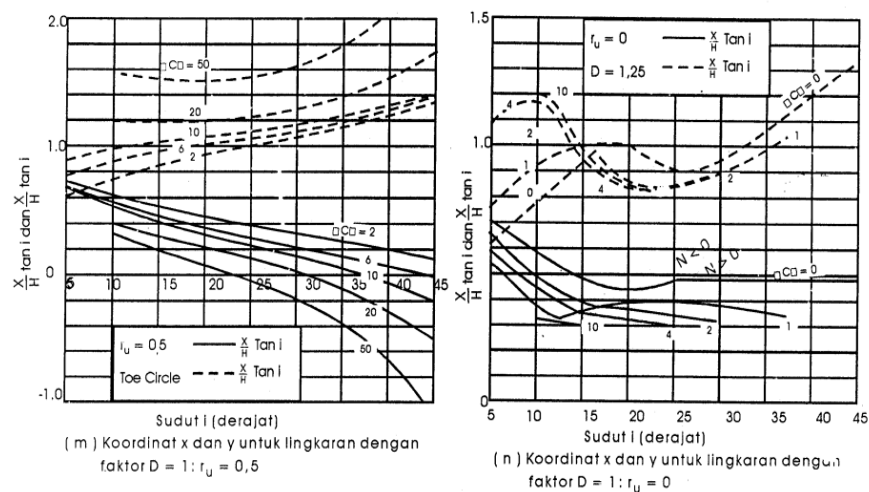
Gambar 2. 15 Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 4



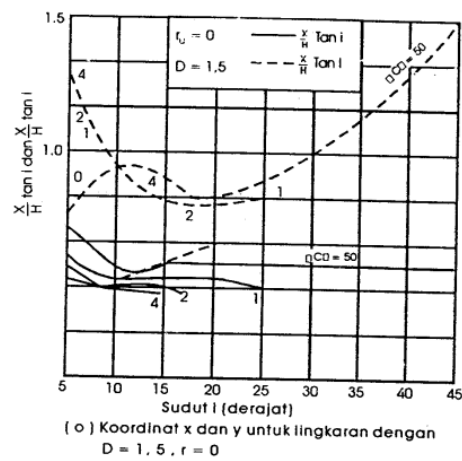
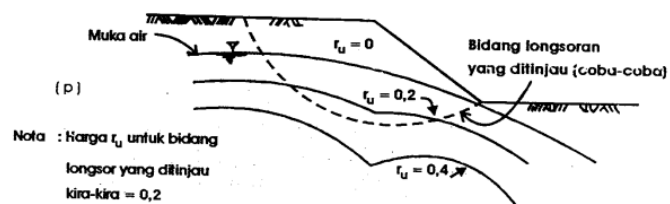
Gambar 2. 16 Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 5



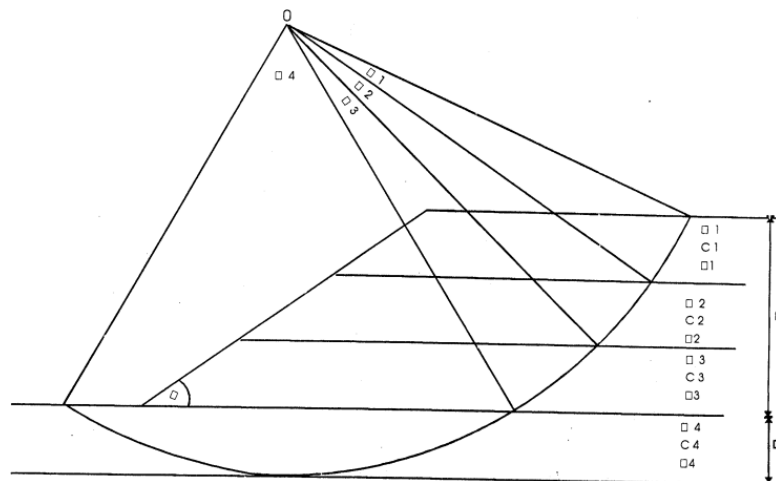
Gambar 2. 17 Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 6



Gambar 2. 18 Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 7



Gambar 2. 19 Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 8



Gambar 2. 20 Lereng Yang Terdiri Atas Empat Lapisan

2.7.2 Metode Janbu

Analisis stabilitas lereng dengan menggunakan grafik dengan metode Janbu dipakai untuk kondisi tanah jenuh air dengan $\phi = 0$, $c \neq 0$ dan kondisi tanah yang mempunyai harga $\phi \neq 0$, $c \neq 0$.

a. Kondisi Tanah Jenuh Air $\phi = 0$, $c \neq 0$

Bagian ini terutama membahas mengenai stabilitas lereng untuk tanah lempung jenuh air.

Langkah-langkah penggunaan grafik stabilitas:

- Tentukan parameter desain serta perlapisan tanah yaitu ϕ , c , γ , h dan D .
- Tentukan kemiringan lereng
- Tanah berlapis-lapis disederhanakan menjadi satu lapisan

Cara yang dapat ditempuh adalah dengan mengambil harga “weighted average” dari ϕ dan c dan harga rata-rata dengan menggunakan persamaan:

$$\tan(\phi_{rata}) = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \theta_i \tan \phi_i}{\sum_{i=1}^{i=n} \theta_i} \quad (17)$$

$$C_{rata} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \theta_i C_i}{\sum_{i=1}^{i=n} \theta_i} \quad (18)$$

$$\gamma_{rata} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i}{n} \quad (19)$$

- Hitung faktor kedalaman d menggunakan persamaan:

$$d = \frac{D}{H} \quad (20)$$

dimana:

d = faktor kedalaman

D = kedalaman (m)

H = tinggi (m)

- Hitung faktor P_d menggunakan persamaan:

$$P_d = \frac{\gamma_{rata} H + q - \gamma_w H_w}{U_q U_w U_t} \quad (21)$$

dimana:

- γ_{rata} = berat volume rata-rata (ton/m³)
- H = tinggi lereng dari dasar (m)
- q = beban merata (ton/m³)
- H_w = tinggi air diluar lereng (m)
- U_q = faktor kondisi beban merata (lihat Gambar 2.22)
- U_w = faktor koreksi beban perendaman (Gambar 2.22)
- U_t = faktor koreksi retakan susut (lihat Gambar 17)

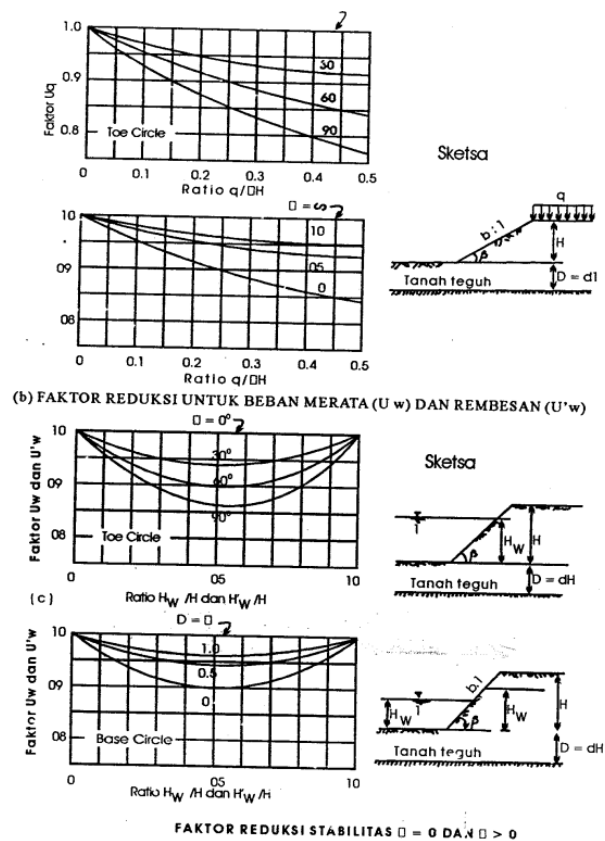
Bila tidak ada beban merata, U_q = 1; bila tidak ada perendaman U_w = 1 dan bila tidak ada retakan susut U_t = 1.

- Menggunakan grafik dalam Gambar 18, dicari angka stabilitas N_o yang tergantung pada harga β dan d
- Hitung faktor keamanan FK, menggunakan persamaan:

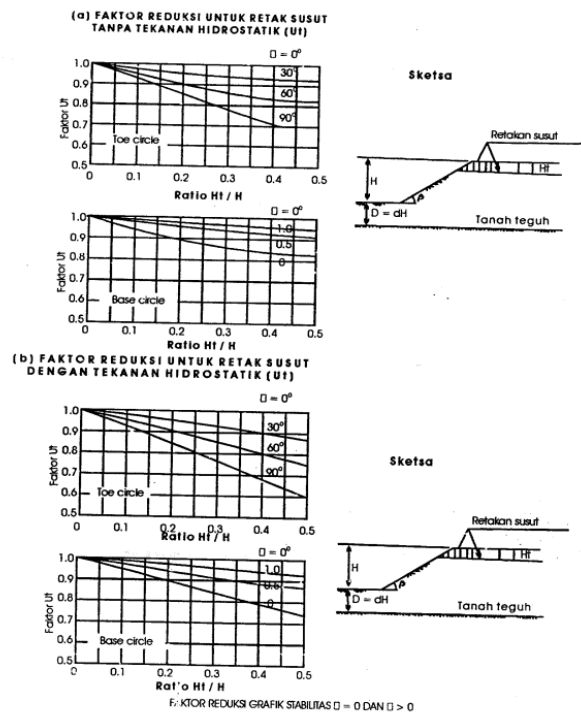
$$FK = - \frac{N_o C_{rata}}{P_d} \quad (22)$$

dimana :

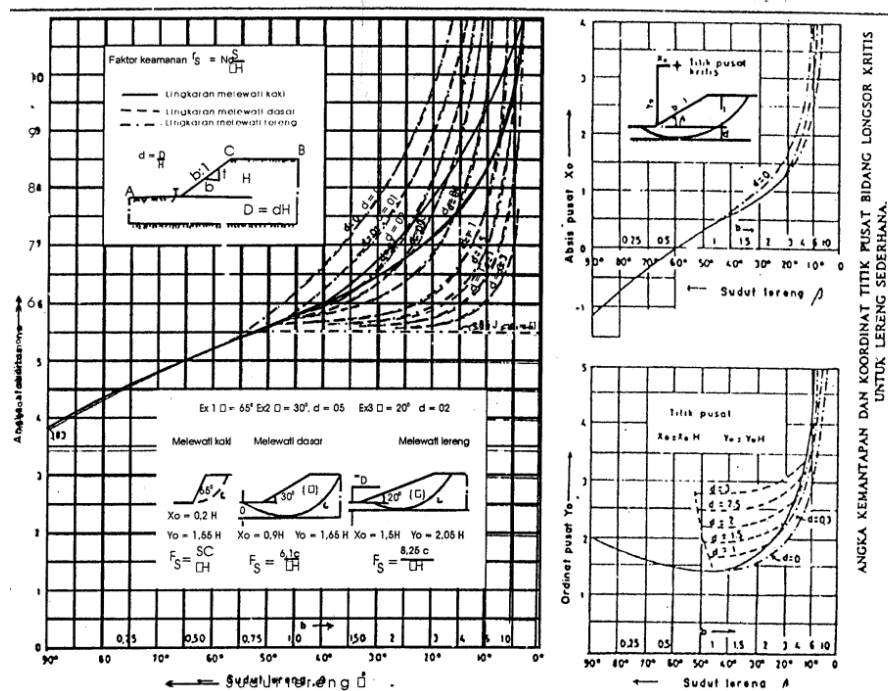
- FK = faktor keamanan
- N_o = angka stabilitas
- C_{rata} = harga kohesi rata-rata (ton/m³)
- P_d = faktor
- Tentukan titik tangkap lingkaran kritis (bidang longsor) menggunakan grafik dalam Gambar 18. Titik tangkap dinyatakan dalam X_o dan Y_o



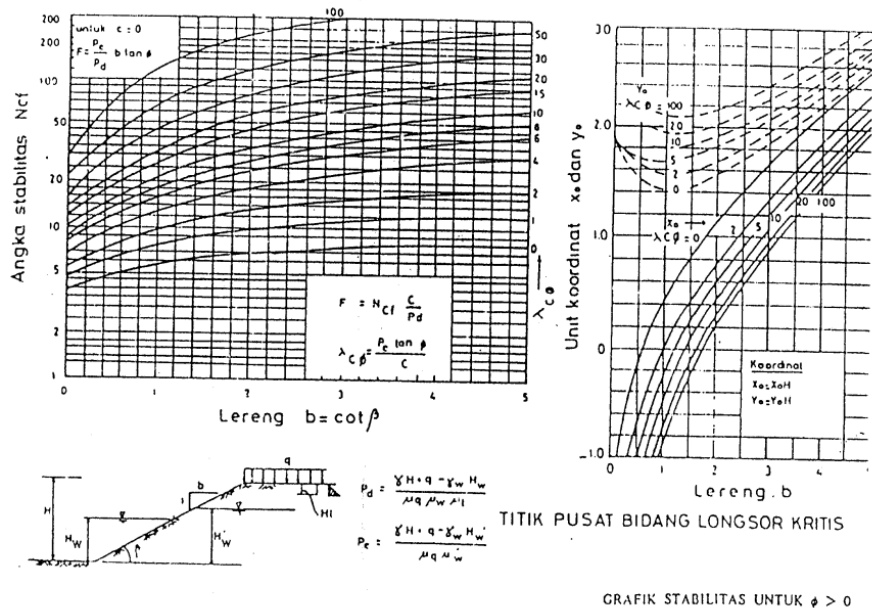
Gambar 2. 21 Faktor Reduksi Stabilitas $\phi = 0$ dan $\phi > 0$



Gambar 2. 22 Faktor Reduksi Grafik Stabilitas $\phi = 0$ dan $\phi > 0$



Gambar 2. 23 Angka Kemantapan dan Koordinat Titik Pusat Bidang Longsor Kritis Untuk Lereng Sederhana



Gambar 2. 24 Grafik Stabilitas Untuk $\phi > 0$

- b. Kondisi Tanah yang Mempunyai harga $\Phi > 0$ dan $c > 0$.

Bagian ini terutama membahas mengenai kemantapan lereng untuk tanah lempung yang mempunyai parameter $\Phi > 0$ dan $c > 0$, dan peninjauan dapat

dilakukan terhadap lereng terendam sebagian, retakan susut, dan gaya-gaya luar lainnya.

Langkah-langkah penggunaan grafik:

1. Tentukan parameter desain setiap lapisan tanah yaitu Φ , c , γ , h dan D .
2. Tentukan kemiringan lereng
3. Tanah berlapis-lapis disederhanakan menjadi satu lapisan. Caranya sama untuk tanah jenuh air ($\Phi = 0$, $c \neq 0$) dengan menggunakan persamaan (12, 18, 19).

4. Perkiraan letak bidang longsoran

Untuk lereng sederhana dengan $\Phi > 0$ bidang longsoran kritis melewati kaki lereng bila tanah dasarnya akan melewati tanah dasar, menyinggung lapisan yang kuat.

5. Hitung faktor P_d menggunakan persamaan (21)

$$P_d = \frac{\gamma_{rata} H + q - \gamma_w H_w}{U_q U_w U_t}$$

6. Hitung faktor P_e menggunakan persamaan

$$P_e = \frac{\gamma_{rata} H + q - \gamma_w H_w}{U_q U_w} \quad (23)$$

Dimana:

H_w = tinggi air dalam lereng (m)

u_w = faktor koreksi rembesan

Bila tidak ada beban merata, $u_q = 1$; bila tidak ada rembesan $u_w = 1$

7. Hitung parameter tak berdimensi $\lambda_{c\phi}$ menggunakan persamaan

$$\lambda_{c\phi} = \frac{P_e \tan(\phi_{rata})}{c_{rata}} \quad (24)$$

Dimana;

$\tan(\phi_{rata})$ = harga rata dari $\tan \phi$

c_{rata} = harga kohesi rata-rata (ton/m^2)

Bila $c_{rata} = 0$ maka $\lambda_{c\phi}$ menjadi tak terhingga

Dalam hal ini langkah 7 diloncat.

8. Menggunakan grafik dalam gambar 2.23 cari angka kemantapan N_{cf} yang tergantung pada sudut kemiringan β dan $\lambda_{c\phi}$
9. Hitung faktor keamanan, FK menggunakan persamaan:

$$FK = N_{cf} \frac{c_{rata}}{P_d} \text{ (untuk } c > 0) \quad (25)$$

$$FK = \frac{P_e}{P_d} b \tan \phi_{rata} \text{ (untuk } c = 0) \quad (26)$$

dimana: $b = \cot \beta$

10. Tentukan titik tangkap lingkaran kritis (bidang longsoran) menggunakan grafik dalam Gambar 2.23 dan dinyatakan dalam X_o dan Y_o
11. Bila lereng terdiri atas banyak lapisan maka perhitungan perlu ditinjau beberapa lingkaran kritis yang menyinggung batas-batas lapisan.

2.7.3 Metode Duncan & Buchignani

Analisis Duncan & Buchignani untuk lereng tak terbatas mencakup dua kondisi, yaitu:

- 1) Lereng dari material tak berkohezi dengan bidang longsoran kritis dangkal
- 2) Lereng dari tanah residual dengan lapisan tanah tipis terletak diatas lapisan tanah lebih kuat dan bidang longsornya melewati bidang datar sejajar lereng, lihat Gambar 2.25.

A. Langkah-langkah dalam penggunaan grafik stabilitas untuk analisa tegangan efektif

- Tentukan ratio tekanan air pori r_u menggunakan persamaan:

$$r_u = \frac{x}{T} \frac{\gamma w}{\gamma} \cos^2 \beta \quad \text{(untuk rembesan sejajar lereng)} \quad (27)$$

$$r_u = \frac{\gamma w}{\gamma} \frac{1}{1 + \tan \beta \tan \theta} \quad \text{(untuk rembesan memotong lereng)} \quad (28)$$

dimana:

- x = Jarak dari bidang longsoran ke garis rembesan diukur normal terhadap lereng (m)
- T = jarak dari bidang longsoran ke permukaan lereng, diukur normal terhadap permukaan lereng
- γw = berat volume air (ton/m³)
- β = sudut kemiringan lereng
- θ = sudut garis muka air bebas dengan bidang horizontal

- Tekanan parameter A menggunakan grafik dalam Gambar 2.25 yang tergantung pada r_u dan $\cot \beta = b$.
- Tentukan parameter B menggunakan grafik dalam Gambar 2.25 yang tergantung pada $\cot \beta$
- Hitung faktor keamanan, FK menggunakan persamaan:

$$FK = A \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} + B \frac{c'}{\gamma H} \quad (29)$$

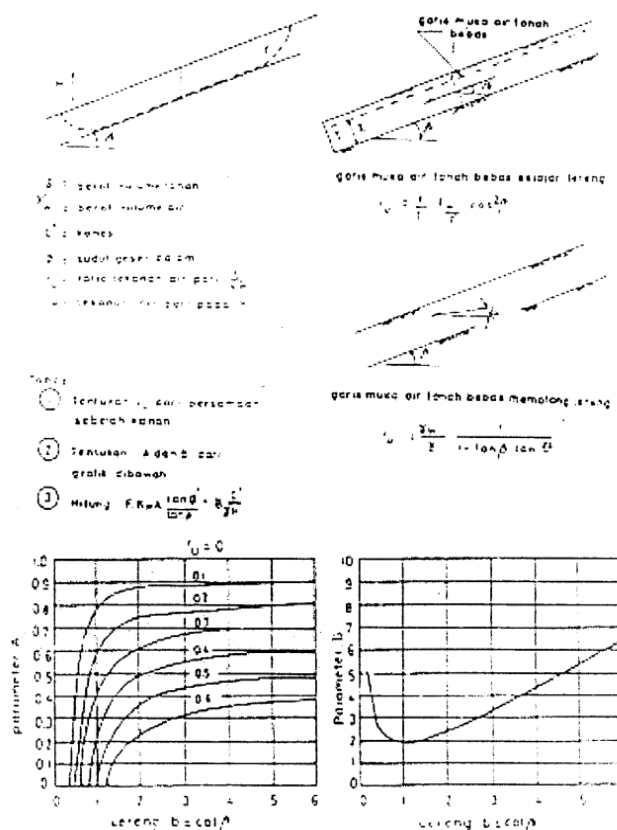
dimana:

ϕ' = sudut geser dalam menggunakan tegangan efektif (derajat)

c' = kohesi dalam tegangan efektif (ton/m²)

β = sudut kemiringan lereng

H = kedalaman bidang longsor diukur vertical dari permukaan lereng



Gambar 2. 25 Angka Kemantapan Untuk Lereng Tak Terhingga

B. Langkah penggunaan grafik stabilitas untuk analisa tegangan total

- Tentukan parameter B menggunakan grafik stabilitas untuk analisa tegangan total

- Hitung faktor keamanan FK menggunakan persamaan:

$$FK = A \frac{\tan \phi}{\tan \beta} + B \frac{c}{\gamma H} \quad (30)$$

dimana:

ϕ = sudut geser dalam menggunakan tegangan total

c = kohesi dalam tegangan total

2.8 Sifat Mekanis Tanah yang Digunakan Pada Analisis Plaxis

Menurut Setiawan (2019) parameter-parameter yang digunakan pada permodelan Mohr Coulomb atau input data sifat mekanis tanah pada PLAXIS adalah sebagai berikut:

1. Berat Volume (γ)

Pada program PLAXIS, berat volume tanah yang dibutuhkan dalam perhitungan terbagi ke dalam dua jenis yaitu berat volume tanah jenuh dan berat volume kering. Parameter ini akan dipergunakan untuk mendapatkan tegangan confining pada kedalaman tertentu pada kondisi jenuh maupun kondisi Kering. Berat volume tanah merupakan perbandingan berat tanah terhadap volume dari tanah tersebut.

2. Koefisien Permeabilitas (K)

Koefisien permeabilitas dari tanah akan dipergunakan untuk menghitung kecepatan pengurangan tegangan air pori eksese selama proses pengeluaran air dari pori-pori tanah. Parameter ini pada Analisa undrained akan mengontrol besarnya penurunan terhadap waktu. Harga koefisien rembesan (k) untuk tiap-tiap tanah adalah berbeda. Menurut Craig (1989) dalam Satindra (2018) menyatakan bahwa nilai koefisien permeabilitas tanah dapat ditentukan berdasarkan jenis tanahnya seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2. 2 Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah

Jenis Tanah	K	
	m/detik	m/hari
Kerikil bersih	$1 - 10^{-1}$	86400 - 8640
Pasir bersih dan campuran pasir kerikil	$10^{-1} - 10^{-4}$	8640 - 8,64
Pasir sangat halus, lanau dan lempung-lanau berlapis	$10^{-4} - 10^{-7}$	8,64 - 0,00864
Lempung tak bercelah dan lempung lanau (>20% lempung)	$10^{-7} - 10^{-10}$	0,00864 – 0,00000864
Lempung yang mengalami pengawetan dan bercelah	$10^{-1} - 10^{-7}$	8640 – 0,00000864

2. Angka Poisson

Angka Poisson merupakan harga perbandingan antara regangan lateral dengan tegangan aksial yang digunakan untuk menghubungkan besar Modulus Elastisitas (E) dengan Modulus Geser (G). Menurut Das (1995), hubungan antara angka Poisson dengan jenis tanah dari konsistensi tanahnya dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2. 3 Hubungan Angka Poisson dengan Jenis Tanah dan Konsistensi

Jenis Tanah	Angka Poisson
Pasir Lepas	0,20 – 0,40
Pasir agak padat	0,25 – 0,40
Pasir padat	0,30 – 0,45
Pasir berlanau	0,20 – 0,40
Lempung lembek	0,15 – 0,25
Lempung agak kaku	0,20 – 0,50

3. Modulus Elastisitas (E)

Modulus Elastisitas (E) atau bisa disebut Modulus Young merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan pada pengujian Triaxial Test. Menurut Das (1995), nilai modulus elastisitas tanah juga dapat ditentukan berdasarkan jenis tanahnya yang ditunjukkan pada Tabel 2.4 berikut ini.

Tabel 2. 4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas

Jenis Tanah	E	
	psi	kN/m ²
Lempung lembek	250-500	1380-3450
Lempung keras	850-2000	586-13800
Pasir lepas	1500-4000	10350-27600
Pasir padat	5000-10000	34500-69000

4. Kohesi (c)

Parameter ini di dalam program Plaxis bersama dengan sudut geser dalam tanah akan menjadi masukan untuk menghitung kekuatan tanah. Ketika dilakukan perhitungan konstruksi akan memunculkan peringatan (warning) kepada pengguna apabila tanah telah mengalami keruntuhan (failure) ketika dilaksanakan perhitungan. Kohesi memiliki dimensi yang sama dengan tegangan, kohesi akan cenderung meningkat sesuai dengan kedalaman yang ditinjau. Nilai kohesi dapat diperoleh dari beberapa jenis pengujian antara lain adalah pengujian triaxial dan unconfined compression test.

5. Sudut Geser Dalam (Φ)

Sudut geser dalam adalah sudut yang dibentuk bersamaan dengan kohesi untuk menentukan daya tahan tanah akibat tekanan lateral tanah. Nilai sudut geser dalam didapatkan dari pengujian triaxial test dan direct shear test. Perkiraan nilai sudut geser dalam dapat ditentukan tergantung pada jenis tanah yang dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut ini.

Tabel 2. 5 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil Kepasiran	35-40
Kerikil Kerakal	35-40
Pasir Padat	35-40
Pasir Lepas	30
Lempung	25-30
Lanau	20-25

6. *Void Ratio* (e)

Void Ratio atau angka pori adalah rasio atau perbandingan antara volume pori yang terdapat diantara butir butir tanah dan volume dari tanah itu sendiri. 28 hubungan antara angka pori, kelembaban dan berat volume tanah kering dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut ini.

Tabel 2. 6 Hubungan Atara Angka Pori, Kelembaban dan Berat Volume Tanah Kering

<i>Type of soil</i>	<i>Void Ration (e)</i>	<i>Natural Moisture content in a saturated state (%)</i>	<i>Dry unit weight (γ_d) kN/m²</i>
<i>Loose uniform sand</i>	0,8	30	14,5
<i>Dense uniform sand</i>	0,45	16	18
<i>Loose angular-grained silty sand</i>	0,65	25	16
<i>Dense angular-grained silty sand</i>	0,4	15	19
<i>Stiff clay</i>	0,6	21	17
<i>Soft clay</i>	0,9 - 1,4	30 – 50	11,5 – 14,5
<i>Loess</i>	0,9	25	13,5
<i>Soft organic clay</i>	2,5 - 3,2	90 – 120	6 – 8
<i>Glacial till</i>	0,3	10	21

2.9 Aplikasi Plaxis

Plaxis adalah sebuah paket perangkat lunak yang dikembangkan khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam bidang rekayasa geoteknik. Program ini menggunakan metode elemen hingga (finite element method) untuk menghitung respons tanah terhadap beban dan perubahan kondisi. Plaxis menyediakan prosedur pembuatan model secara grafis yang intuitif, memungkinkan pembuatan model elemen hingga yang kompleks dilakukan dengan cepat. Program ini juga dilengkapi dengan berbagai fasilitas untuk menampilkan hasil komputasi secara mendetail.

Dalam Plaxis, proses perhitungan berjalan secara otomatis berdasarkan prosedur numerik yang handal. Program ini dapat memodelkan berbagai fenomena geoteknik seperti deformasi tanah, pergerakan tanah, penurunan lereng, konsolidasi tanah, dan sebagainya. Plaxis memiliki berbagai elemen dan bahan yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan analisis, serta menyediakan kemampuan untuk memasukkan kondisi batas dan beban yang beragam.

Dengan menggunakan Plaxis, para insinyur dan ahli geoteknik dapat melakukan analisis yang mendalam terhadap deformasi dan stabilitas tanah dalam berbagai kondisi proyek rekayasa geoteknik. Program ini membantu dalam pemahaman yang lebih baik tentang respons tanah terhadap beban dan memberikan informasi yang penting dalam perencanaan dan perancangan struktur tanah. Konsep ini memungkinkan para pemula untuk dapat menggunakan paket program ini hanya dengan mengikuti beberapa jam pelatihan saja. (Acuan, n.d.)

Plaxis 2D adalah paket elemen hingga ditujukan untuk analisis dua dimensi deformasi dan stabilitas dalam rekayasa geoteknik. Hal ini dilengkapi dengan fitur untuk menangani berbagai aspek struktur geoteknik dan proses konstruksi menggunakan prosedur komputasi yang kuat dan secara teoritis suara.

Dengan Plaxis 2D geometri model dapat dengan mudah didefinisikan dalam mode tanah dan struktur, setelah model padat independent secara otomatis dapat dipotong dan menyatu. Mode konstruksi dipentaskan memungkinkan untuk

simulasi proses konstruksi dan penggalian dengan mengaktifkan cluster tanah dan obyek struktural.

2.10 Aplikasi Slope/W

Slope/W adalah program yang digunakan untuk melakukan analisis stabilitas lereng, baik pada tanah maupun batuan, termasuk galian dan timbunan. Program ini memiliki kemampuan untuk memodelkan berbagai kondisi, seperti:

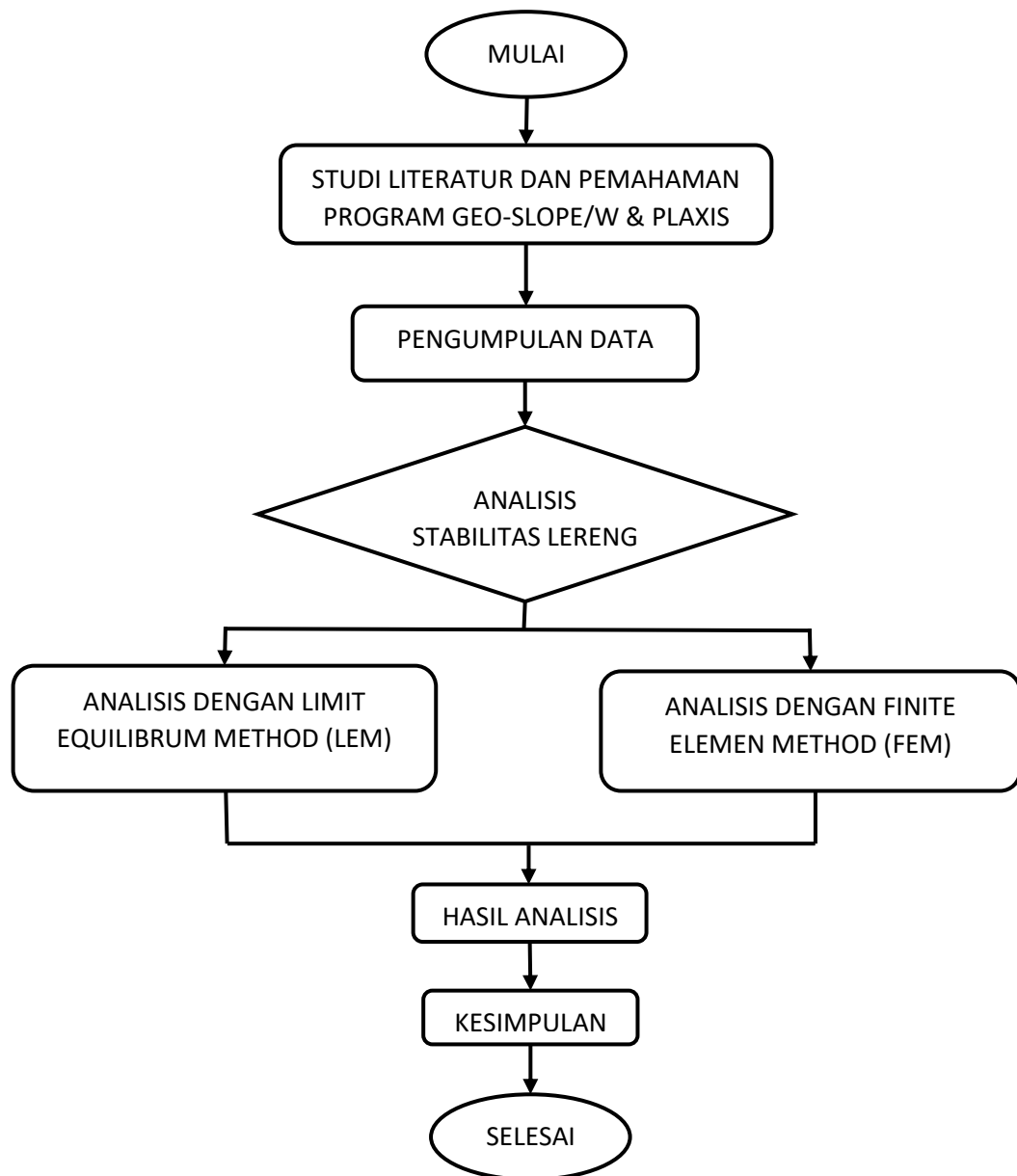
1. Geometri Lereng: Slope/W memungkinkan pemodelan berbagai bentuk dan geometri lereng, termasuk lereng tegak, lereng curam, dan lereng dengan berbagai sudut kemiringan.
2. Sifat Tanah dan Batuan: Program ini memperhitungkan karakteristik sifat geoteknik dari tanah dan batuan yang membentuk lereng, seperti kekuatan geser, kohesi, sudut geser dalam, dan parameter-parameter elastisitas.
3. Beban dan Pembebanan: Slope/W dapat memodelkan berbagai beban yang bekerja pada lereng, termasuk beban hidrostatik, beban tambahan akibat struktur di atas lereng, dan beban yang diinduksi oleh gempa.
4. Pergerakan Tanah: Program ini dapat memprediksi pergerakan tanah pada lereng, termasuk pergerakan translasional (gulung) dan rotasional (tipping). Slope/W juga dapat memodelkan deformasi lereng dan penurunan tanah.
5. Analisis Stabilitas: Dengan menggunakan metode analisis yang tepat, seperti metode Morgenstern-Price atau metode Bishop, Slope/W dapat menghitung faktor keamanan lereng untuk mengevaluasi stabilitasnya. Program ini juga dapat mengidentifikasi bidang longsor yang potensial dan memberikan rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan stabilitas.

Slope/W merupakan alat yang kuat untuk analisis stabilitas lereng, yang digunakan oleh insinyur geoteknik untuk memahami, memprediksi, dan mengelola risiko terkait dengan kemantapan lereng dalam berbagai proyek rekayasa sipil dan geoteknik. Lapisan tanah yang kompleks.

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir

Secara sistematis langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

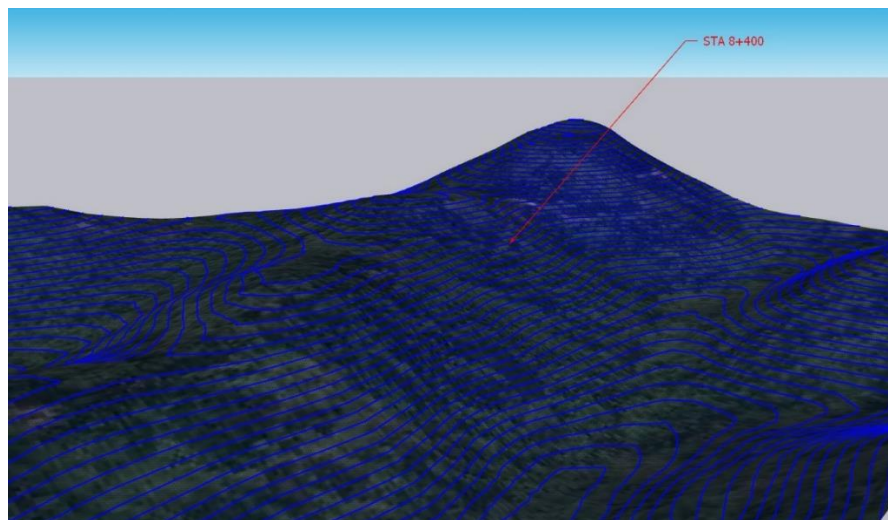
3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian berada di Ruas Jalan Bagbagan – Jampang Kulon STA 8+400, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat.

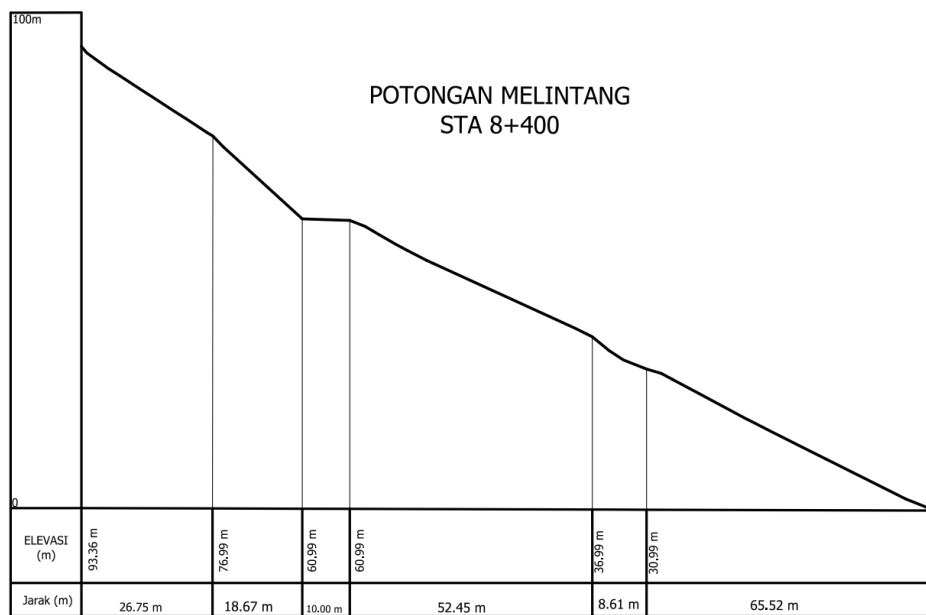


Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian

Berikut kondisi topografi di ruas jalan Bagbagan – Jampang Kulon STA 8+400.



Gambar 3. 3 Kondisi Topografi



Gambar 3. 4 Potongan Melintang Lereng

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan Penelitian data adalah metode atau cara yang digunakan untuk menyederhanakan dan mempermudah dalam memahami data yang diperoleh. Data yang didapatkan kemudian dianalisis berdasarkan tahap pengerjaannya. Pada penelitian ini, Adapun tahap pengerjaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur terhadap buku teks dan jurnal-jurnal yang terkait dengan Stabilitas Lereng beserta penanganannya menggunakan program Plaxis & Geoslope/W
2. Persiapan penelitian
3. peninjauan langsung ke lokasi penelitian
4. Tahap Pengumpulan Data, pada tahap ini data tanah didapatkan dari PT. KARYA UTAMA CITRAMANDIRI.
5. Menganalisis Stabilitas Lereng dengan menggunakan program Plaxis 2D dan Geoslope/W berdasarkan dari data yang didapat.
6. Menganalisis Nilai FK yang didapat dari hasil perhitungan menggunakan program dan membuat kesimpulan.

3.4 Persiapan Penelitian

Pada tahapan persiapan penelitian, terdapat beberapa langkah yang perlu dilakukan sebelum memulai pengumpulan dan pengolahan data. Berikut adalah beberapa persiapan yang biasanya dilakukan dalam penelitian:

1. **Pendalaman Konsep:** Melibatkan studi literatur yang mendalam untuk memahami konsep dan teori yang terkait dengan tugas akhir atau topik penelitian. Langkah ini membantu peneliti dalam memperoleh pemahaman yang baik tentang subjek penelitian dan membangun dasar pengetahuan yang kuat.
2. **Menentukan Tujuan dan Hipotesis:** Peneliti perlu merumuskan tujuan penelitian yang jelas dan hipotesis yang akan diuji dalam penelitian. Tujuan dan hipotesis ini akan menjadi panduan dalam merancang metodologi penelitian dan menganalisis hasil yang diperoleh.
3. **Desain Penelitian:** Peneliti perlu merancang desain penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian. Ini melibatkan pemilihan metode penelitian yang tepat, populasi sampel, teknik pengumpulan data, instrumen yang akan digunakan, dan rencana analisis data.
4. **Mengumpulkan Bahan dan Alat:** Peneliti perlu mempersiapkan bahan dan alat yang diperlukan untuk pengumpulan data, seperti kuesioner, wawancara, atau peralatan khusus. Jika diperlukan, peneliti juga perlu memperoleh izin atau persetujuan etik terkait dengan penelitian yang akan dilakukan.
5. **Perencanaan Pengolahan Data:** Peneliti perlu merencanakan langkah-langkah yang akan diambil dalam pengolahan data yang akan dikumpulkan. Ini meliputi pemilihan metode pengolahan data, teknik analisis statistik, dan perangkat lunak yang akan digunakan untuk menganalisis data.
6. **Dengan melakukan persiapan yang baik sebelum tahapan pengumpulan dan pengolahan data, peneliti dapat memastikan bahwa penelitian berjalan dengan lancar dan hasil yang diperoleh dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam bidang penelitian yang dipilih.** Pengumpulan data, merupakan tahapan untuk mengumpulkan data dan informasi yang dapat membantu dalam pelaksanaan pengerjaan tugas akhir (N et al., 2019)

Data ini diperoleh dari PT. KARYA UTAMA CITRAMANDIRI

BORLOG											
Project : PENYELIDIKAN TANAH Location : PENYELIDIKAN TANAH (KM 8+400) Boring No. : BH1 Date tested : 26-29 AGUSTUS 2022 Koordinat : X: 973288 Y: 9220071					Depth of boring : 30.00 m Ground Surface Level : - Ground Water Level : LOOSE Tested by : ARIF Checked by : MASBURUDEN						
Z:											
Depth	Drilling Method	Casing	Ground Water Level	Core recovery	RQD	Classification	SPT - N	GRAPH OF SPT - N	Sample type	Soil / Rock Description	Sampling Type : Piston (Pg), Spt, boring, Open Tube
(meter)	(meter)		%				0 10 20 30 40 50 60				Remarks
0	0.00										
	0.50										
	1.00										
	1.50										
	2.00										
	2.50						9		UDS	Pasir kerikil berkeakal, Abu-abu, Lepas	
	3.00								SPT	Pasir lanauan berlempung, Abu-abu, Lepas	
	3.50										N1=3/15, N2=4/15, N3=5/15
	4.00										
	4.50						44		DS	Pasir lanauan berlempung, Abu-abu, Padat	
	5.00								SPT	Pasir tufaan, Abu-abu kuning, Padat	
	5.50										
	6.00										
	6.50						>60		SPT	Pasir, Abu-abu coklat, Sangat Padat	
	7.00										N1=35/15, N2=30/2, N3>60
	7.50										
	8.00										
	8.50						>60		SPT		
	9.00										N1>60
	9.50										
10	10.00										
	10.50						>60		SPT		
	11.00										N1>60
	11.50										
	12.00										
	12.50						>60		SPT		
	13.00										N1>60
	13.50										
	14.00										
	14.50						>60		SPT	Pasir, Abu-abu tua, Sangat Padat	
15	15.00										N1>60
	15.50										
	16.00										
	16.50						>60		SPT		
	17.00										N1>60
	17.50										
	18.00										
	18.50						>60		SPT		
	19.00										N1>60
	19.50										
20	20.00										
	20.50						>60		SPT		
	21.00										N1>60
	21.50										
	22.00										
	22.50						>60		SPT	Kerakal kerikil berlanau, Abu-abu coklat, Sangat Padat	
	23.00										

PTS-FT-USBYPKP

3.5.2 Data Parameter Tanah

Project : LONGSORAN JABAR DD-3				Check by : Sri.W			
Location :				Date : Sep. 2022			
Bor location : KM 8 + 400				No. Bor : BH 1			
Laboratory Test Resume							
No. Sample				UDS 1			
Depth				1,50 - 2,00			
Index Properties		symbol	unit				
1.	Density	γ	t/m ³	1.843			
2.	Water content	ω	%	19.05			
3.	Specific of gravity	Gs	-	2.57			
	Void ratio	e	-	0.66			
	Porosity	n	-	0.40			
	Degree of saturation	Sr	%	74.01			
4.	Plastic limit	PL	%	22.37			
	Liquid limit	LL	%	41.50			
	Plasticity index	PI	%	19.13			
5.	Grain size	Gravel	G	%	2.23		
		Sand	S	%	46.91		
		Silt	M	%	33.95		
		Clay	C	%	16.91		
6	Soil Classification USCS			CL			
Engineering properties							
6.	Unconfined	q _u	kg/cm ²				
	Compression Test	q _u '	kg/cm ²				
		S _t	-				
		c _u	kg/cm ²				
7.	Triaxial - UU Test	ϕ	°	27.437			
		c	kg/cm ²	0.132			
8.	Triaxial - CU Test	ϕ	°				
		c	kg/cm ²				
9.	Direct Shear Test	ϕ	°				
		c	kg/cm ²				
10.	Consolidation Test	Cc	-	0.129			
		C _v	cm ² /sec	1.094E-03			
11.	Permeability	k	cm/sec				

Gambar 3. 6 Data Parameter Tanah

3.6 Analisis Stabilitas Lereng dengan Komputasi

3.6.1 Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) PLAXIS

Plaxis (*Finite Elemen Code for Soil and Rock Analyses*) merupakan suatu rangkuman program elemen hingga yang telah dikembangkan untuk menganalisis deformasi dan stabilisasi geoteknik dalam perencanaan-perencanaan sipil. Grafik prosedur-prosedur input data (*soil properties*) yang sederhana mampu menciptakan model-model elemen hingga yang kompleks dan menyediakan output tampilan secara detail berupa hasil-hasil perhitungan. Perhitungan program ini seluruhnya secara otomatis dan berdasarkan pada prosedur-prosedur penulisan angka yang tepat. Konsep ini dapat dikuasai oleh pengguna baru dalam waktu yang relatif singkat setelah melakukan beberapa latihan (Plaxis, 2012)

Dalam metode ini, parameter kekuatan geser tanah yang tersedia berturut-turut direduksi secara otomatis hingga kelongsoran terjadi. Sehingga faktor aman (SF) stabilitas lereng menjadi:

$$\Sigma M_{sf} = \tan \varphi_{input} / \tan \varphi_{reduksi} = c_{input} / c_{reduksi}$$
$$SF = \frac{\text{Kekuatan geser yang tersedia}}{\text{Kekuatan geser saat longsor}} = \text{Nilai } \Sigma M_{sf} \text{ pada saat longsor}$$

dengan:

c_{input} = kohesi tanah (kN/m²)

φ_{input} = sudut geser dalam tanah (°)

$c_{reduksi}$ = kohesi tanah tereduksi (kN/m²)

$\varphi_{reduksi}$ = sudut geser dalam tereduksi (°)

3.6.2 Metode Keseimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*) SLOPE/W

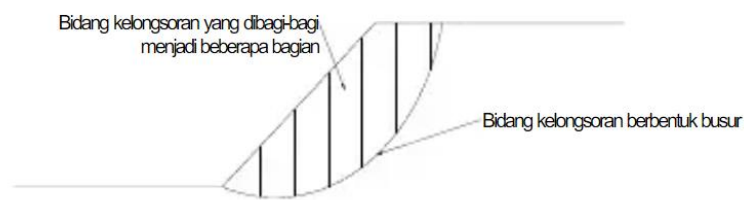
LEM (Limit Equilibrium Method) adalah metode yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng dengan menggunakan prinsip kesetimbangan gaya. Metode ini melibatkan asumsi mengenai bidang kelongsoran yang dapat terjadi. Terdapat dua asumsi yang umum digunakan dalam LEM:

1. Bidang Kelongsoran Berbentuk Circular: Dalam asumsi ini, bidang kelongsoran diasumsikan memiliki bentuk melingkar. Ini berarti bidang kelongsoran berbentuk busur lingkaran dengan pusat yang terletak di dalam

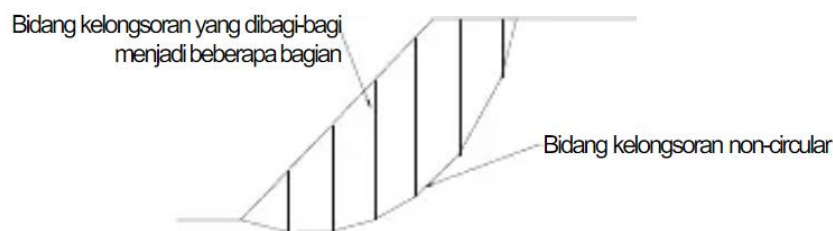
lereng. Metode ini sering digunakan untuk analisis lereng yang memiliki kemiringan yang relatif curam.

2. Bidang Kelongsoran Berbentuk Non-circular: Dalam asumsi ini, bidang kelongsoran tidak diasumsikan memiliki bentuk melingkar. Bidang kelongsoran dapat memiliki bentuk yang lebih kompleks, seperti bentuk planar atau bentuk yang sesuai dengan karakteristik tanah dan kondisi lereng yang diamati. Metode ini memungkinkan untuk menganalisis lereng dengan variasi bentuk kelongsoran yang lebih fleksibel.

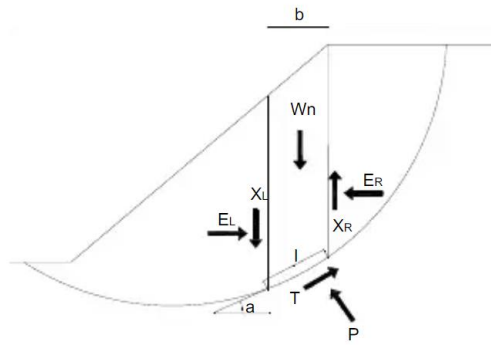
Kedua asumsi ini digunakan sebagai pendekatan dalam analisis stabilitas lereng dengan LEM. Dalam praktiknya, pemilihan asumsi bidang kelongsoran akan tergantung pada kondisi geologi, geometri lereng, dan tujuan analisis yang diinginkan. Penting untuk memilih asumsi yang sesuai dengan karakteristik lereng yang sedang dianalisis agar hasil analisis lebih akurat dan relevan.



Gambar 3. 7 Bidang Longsor Circular



Gambar 3. 8 Bidang Longsor Non-Circular



Gambar 3. 9 Gaya Yang Bekerja Pada Bidang Irisan

Perhitungan dilakukan dengan membagi-bagi tanah yang berada dalam bidang longsor dalam irisan-irisan sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 3.7 hingga 3.9, karena itu metoda ini dikenal juga dengan nama metoda irisan (*method of slice*).

Dalam LEM ini faktor keamanan, SF, ada prinsipnya dihitung dari perbandingan antara kuat geser tanah, τ_f , dengan gaya dorong, τ , atau perbandingan antara momen tahan, RM, terhadap momen dorong, DM, sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan () di bawah ini:

$$SF = \frac{\tau_f}{\tau} \text{ atau } SF = \frac{RM}{DM} \quad (31)$$

Program komputer SLOPE/W adalah bagian dari Geostudio yang berfungsi untuk menganalisis SF (safety faktor/faktor keamanan) lereng. Geostudio berasal dari Kanada yang dikembangkan oleh perusahaan swasta. SLOPE/W dapat menganalisis masalah stabilitas baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan (Limit Equilibrium) batas untuk berbagai permukaan yang miring.

3.7 Analisis Dengan Bantuan Program Plaxis

Plaxis adalah program elemen hingga 2 dan 3 dimensi yang digunakan untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam berbagai aplikasi geoteknik. Program ini dapat digunakan untuk memodelkan situasi kasus nyata baik dalam bentuk plane strain (deformasi di bidang datar) maupun model axisymmetric (deformasi sepanjang sumbu simetri).

Plaxis menyediakan antarmuka pengguna yang mudah digunakan secara grafis. Pengguna dapat dengan cepat membangun dan memproses model elemen hingga yang kompleks dengan menggunakan prosedur input yang intuitif. Program ini juga dilengkapi dengan fasilitas output yang memungkinkan pengguna untuk memperoleh hasil perhitungan secara mendetail dan dapat dipresentasikan dengan baik.

Plaxis terdiri dari empat sub-program utama yang berfungsi sebagai berikut:

1. Input: Sub-program ini digunakan untuk membuat model elemen hingga dengan menggambar geometri, mengatur properti material, dan menentukan kondisi batas dan beban.
2. Calculation: Sub-program ini digunakan untuk menjalankan perhitungan numerik berdasarkan model yang telah dibuat. Program ini menggunakan metode elemen hingga untuk memperkirakan deformasi dan stabilitas.
3. Output: Sub-program ini menyediakan fasilitas untuk menampilkan hasil perhitungan secara visual dan mendetail. Pengguna dapat menghasilkan grafik, tabel, dan laporan untuk menganalisis dan mempresentasikan hasil analisis
4. Curve: Sub-program ini digunakan untuk mengelola dan memvisualisasikan kurva kekakuan dan deformasi untuk bahan geoteknik yang digunakan dalam model.

Dengan kombinasi keempat sub-program tersebut, Plaxis menjadi alat yang kuat dan lengkap untuk analisis deformasi dan stabilitas dalam rekayasa geoteknik.

3.7.1 Program Input

Untuk membuat analisis elemen hingga dengan Plaxis, pengguna harus membuat model elemen hingga dan menentukan property material dan kondisi batas. Dalam membuat model elemen hingga, pengguna harus membuat model Geometrik 2 dimensi pada bidang x-y,

Program Input terdiri dari beberapa tahapan, antara lain :

a. General Setting.

Pada tahap ini terdapat dua lembar kerja (*tab sheet*) yaitu Project dan Dimension. Lembar Project berisi nama proyek dan deskripsi, tipe model dan akselerasi. Lembar Dimension berisi satuan 47eometr, gaya, waktu dan dimensi area untuk menggambar model.

b. Pemodelan Secara Geometrik.

Tahapan dari permodelan elemen hingga dimulai dengan membuat model 47eometric yang akan melukiskan permasalahan yang terjadi. Permodelan 47eometric terdiri dari titik, garis dan kelompok (*cluster*). Titik dan garis dimasukkan oleh pengguna, sedangkan cluster diolah oleh program. Tambahan dari komponen dasar, objek struktur atau kondisi tertentu dapat dipilih permodelan 47eometric untuk mensimulasikan garis terowongan, dinding, plat, interaksi antara tanah dan struktur, dan beban. Setelah semua permodelan geometric telah ditetapkan dan semua komponen geometric telah memiliki property masing-masing, maka struktur elemen hingga dapat diolah.

c. Loads dan Boundary Conditions.

Menu loads berisi pilhan yang menjelaskan distribusi beban, apakah beban garis atau beban titik. Kondisi batas menjelaskan displacement (perpindahan) yang sama dengan nol. Kondisi ini dapat diterapkan pada garis geometric dan pada titik.

d. Material Properties.

Pada Plaxis, property tanah dan property material dari struktur disimpan pada data material. Dimana ada 4 macam material, data untuk tanah dan interaksi, plat, geogrid, dan angkur. Semua data disimpan pada data base material. Dari data base tersebut dapat ditetapkan kumpulan tanah atau objek struktur pada permodelan 47eometric.

e. Mesh Generation.

Setelah permodelan 47eometric semua sudah ditetapkan dan property material dipilih untuk semua jenis kumpulan tanah dan objek struktur, permodelan geometric harus dibagi-bagi menjadi elemen hingga (mesh) dengan tujuan

untuk membuat perhitungan elemen hingga. Komposisi untuk elemen hingga disebut “mesh”.

f. Initial Condition.

Setelah pemodelan geometric dibuat dan 48eometr elemen hingga sudah di-*generate* (diproses), keadaan tegangan awal dan konfigurasi awal harus ditetapkan. Pada *Initial conditions* (kondisi awal) terdapat dua model yang berbeda, yaitu : model pertama untuk memproses tekanan air awal (*water conditions mode*) dan model kedua untuk persyaratan konfigurasi 48eometric awal dan untuk memproses tegangan efektif dasar awal (*geometric configurations mode*)

3.7.2 Program Calculations

Setelah memproses pemodelan hingga, perhitungan elemen hingga sebenarnya dapat dilaksanakan. Oleh karena itu perlu ditetapkan tipe dari perhitungan yang akan digunakan dan jenis pembebanan atau tahapan konstruksi yang mana harus diaktifkan selama perhitungan. Semua ini dilakukan oleh program “*Calculations*”. Program Calculations hanya mempertimbangkan analisis deformasi (perpindahan) dan membedakan antara perhitungan *Plastic*, analisis *Consolidations* (pemampatan), analisis *Phi-c reduction* (faktor keamanan) dan perhitungan *Dynamic*. Pengertian tipe perhitungan tersebut secara singkat dapat dijelaskan sebagai berikut,

- Perhitungan *Plastic*. Perhitungan type ini harus dipilih untuk mendapatkan elastic-plastic deformation analysis yang mana tidak diperlukan untuk memasukkan kekurangan dari kelebihan tekanan air pori beserta fungsi waktu ke dalam perhitungan. Type Perhitungan ini sangat cocok pada sebagian besar penerapan praktek geoteknik.
- Perhitungan *Consolidations*, Perhitungan ini harus dipilih ketika cukup penting untuk menganalisis perkembangan dari disipasi dari kelebihan tekanan air pori pada type tanah lempung yang jenuh air dalam fungsi waktu.
- Perhitungan *Phi-c reduction*, Perhitungan ini digunakan pada Plaxis untuk mendapatkan nilai factor keamanan dengan mereduksi parameter kekuatan dari tanah. Suatu analisis keamanan dapat dilakukan setelah setiap tahapan

perhitungan ataupun tahapan konstruksi. Tetapi perlu diperhatikan bahwa suatu tahapan *Phi-c reduction*, tidak dapat menjadi kondisi awal untuk tahapan perhitungan yang lain karena tahapan Reduksi Phi-c berakhir pada suatu kondisi keruntuhan.

- Perhitungan *Dynamic*, Perhitungan ini digunakan apabila beban yang bekerja bukan beban statis (diam), melainkan beban bergerak, seperti gempa bumi.

Pada prakteknya, suatu proyek akan dibagi menjadi tahapan-tahapan proyek (phase). Serupa pada Plaxis, proses perhitungan dibagi menjadi tahapan perhitungan. Contoh dari tahapan perhitungan antara lain, pengaktifan beban khusus pada waktu tertentu, simulasi dari tahapan-tahapan konstruksi, pendahuluan dari waktu konsolidasi, perhitungan faktor keamanan, dan lain sebagainya.

3.7.3 Program Output

Hasil utama output dari perhitungan elemen hingga adalah *displacement* (perpindahan) pada titik dan perubahan tegangan pada titik yang ditinjau. Beberapa parameter yang dapat diketahui dari hasil program output antara lain : deformasi, perpindahan (*total*, *horizontal*, *vertical*, dan *incremental displacement*), regangan (*total*, *cartesian*, dan *incremental strain*), tegangan (*effective* dan *total stresses*), Over Consolidations Ratio (OCR), titik plastis (*plastis point*), tekanan aktif pori (*active pore pressure*), tekanan air pori berlebih (*excess pore pressure*), *ground water head*, *flow field*, dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

3.7.4 Program Curve

Dalam program Curve, pengguna dapat menggunakan fitur untuk menggambar kurva beban atau waktu terhadap perpindahan (*displacement*), diagram tegangan-regangan, serta garis tegangan atau garis regangan dari titik yang telah dipilih dan dimodelkan secara geometris. Kurva-kurva ini menggambarkan perkembangan hasil perhitungan selama berbagai tahap analisis, dan memberikan gambaran secara global atau lokal tentang perilaku tanah.

Pada kurva beban terhadap perpindahan, pengguna dapat melihat bagaimana perpindahan berubah seiring dengan beban yang diterapkan pada sistem. Ini dapat

memberikan informasi tentang elastisitas dan kekakuan tanah, serta potensi deformasi yang terjadi.

Diagram tegangan-regangan menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan dalam materi tanah. Hal ini memberikan wawasan tentang elastisitas, plastisitas, dan deformasi pada tanah selama proses pembebanan.

Garis tegangan atau garis regangan dapat dihasilkan dari titik yang telah ditentukan dalam analisis dan memberikan gambaran khusus tentang perilaku tanah pada titik tersebut. Ini memungkinkan identifikasi lokal dari zona-zona tertentu dengan perilaku kritis atau perubahan yang signifikan.

Melalui fitur *Curve* dalam program Plaxis, pengguna dapat memvisualisasikan dan menganalisis hasil perhitungan dalam bentuk grafik yang informatif. Ini membantu dalam memahami perilaku dan respons tanah secara lebih mendalam selama berbagai tahap analisis geoteknik.

3.7.5 Prinsip Dasar Perhitungan Plaxis

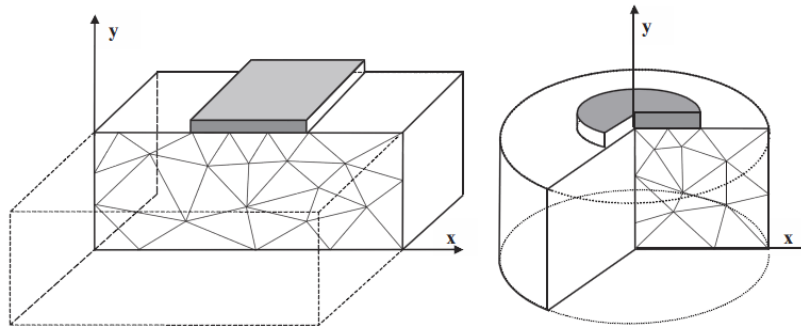
Program plaxis digunakan untuk menganalisis elemen hingga 3 dimensi, model elemen hingga yang digunakan adalah *model regangan bidang* ataupun *Axi-simetri* Gambar 3.10

- Model regangan bidang (*plane strain*) digunakan ketika geometri suatu struktur memiliki penampang melintang yang secara kasar seragam, dan kondisi tegangan serta pembebanan terjadi dalam skala yang cukup panjang dalam arah tegak lurus terhadap penampang tersebut (arah *z*). Dalam model ini, perpindahan dan regangan dalam arah *z* diasumsikan tidak ada atau dianggap nol. Meskipun demikian, tegangan normal pada arah *z* tetap diperhitungkan sepenuhnya dalam analisis. Dengan menggunakan model regangan bidang, kita dapat memperhatikan dan mempelajari respons struktur dalam dua dimensi, yaitu bidang *x* dan *y*, tanpa memperhatikan perpindahan atau regangan dalam arah *z*. Hal ini memungkinkan untuk menganalisis keadaan ketegangan dan deformasi yang terjadi di bidang melintang dengan lebih efisien.

Meskipun asumsi ini dapat mempermudah analisis dan mengurangi kompleksitas, penting untuk diingat bahwa pengaruh tegangan normal pada arah z tetap diperhitungkan dalam model ini. Oleh karena itu, tegangan normal pada arah z harus dipertimbangkan dengan benar dalam analisis untuk mendapatkan hasil yang akurat.

- Model aksisimetri digunakan untuk menganalisis struktur yang memiliki bentuk lingkaran dengan penampang melintang yang secara kasar seragam dan kondisi pembebanan yang berputar mengelilingi sumbu aksial. Dalam model ini, deformasi dan kondisi tegangan diasumsikan seragam di setiap arah radial. Perlu diperhatikan bahwa dalam model aksisimetri, koordinat x merepresentasikan radius dari sumbu aksial, sedangkan koordinat y merupakan sumbu simetri dalam arah aksial. Koordinat x negatif tidak dapat digunakan dalam model ini. Dengan menggunakan model aksisimetri, kita dapat menyederhanakan analisis struktur yang memiliki simetri lingkaran, sehingga hanya perlu menganalisis satu sektor dari struktur tersebut. Hal ini mengurangi kompleksitas analisis dan memungkinkan kita untuk memperoleh informasi tentang keadaan deformasi dan tegangan yang sama di setiap arah radial. Namun, penting untuk memperhatikan bahwa model aksisimetri hanya berlaku untuk struktur yang memiliki simetri lingkaran. Jika struktur tidak memiliki simetri lingkaran atau memiliki fitur yang signifikan dalam arah yang tidak simetris, maka model aksisimetri tidak akan memberikan hasil yang akurat. Dalam model aksisimetri, koordinat x negatif tidak dapat digunakan karena tidak ada radius negatif dalam konteks lingkaran. Oleh karena itu, hanya koordinat x positif yang relevan dalam mewakili radius dari sumbu aksial pada model aksisimetri. Dengan menggunakan model aksisimetri, kita dapat menganalisis struktur yang memiliki simetri lingkaran dengan lebih efisien dan mendapatkan informasi yang berguna tentang respons struktur secara radial.

Penggunaan Regangan bidang maupun Axi-simetri akan menghasilkan model elemen hingga dua dimensi dengan hanya dua buah derajat kebebasan translasi saja pada tiap titik nodalnya (arah x dan y).



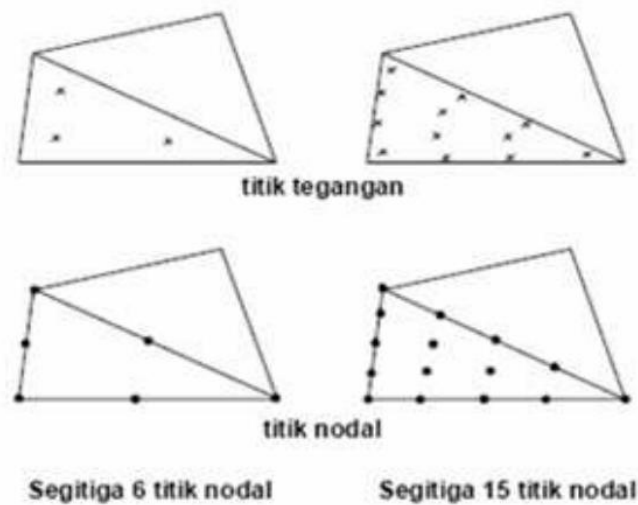
Gambar 3. 10 Contoh Regangan bidang dan Axi-simetri

Ide dasar di balik metode elemen hingga dalam analisis tegangan adalah membagi suatu struktur atau sistem yang kompleks menjadi elemen-elemen yang lebih sederhana. Setiap elemen dihubungkan pada titik-titik simpul yang memungkinkan perpindahan simpul dihitung dengan akurasi yang cukup. Dengan menyelesaikan sistem persamaan yang terdiri dari simpul-simpul yang tidak diketahui, perpindahan simpul dapat ditentukan.

Setelah perpindahan simpul diketahui, tegangan dan regangan pada setiap elemen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang sesuai. Dengan memahami perpindahan simpul dan karakteristik elemen, kita dapat memperoleh informasi tentang tegangan dan regangan pada setiap elemen.

Elemen-elemen yang digunakan dalam metode elemen hingga dapat berbeda-beda, tergantung pada jenis analisis yang dilakukan dan kompleksitas struktur yang sedang dipelajari. Dalam Plaxis, program elemen hingga yang disebutkan sebelumnya, elemen yang digunakan adalah elemen segitiga (triangular) dengan variasi jumlah titik nodal, yaitu 3, 6, dan 15 titik nodal. Elemen segitiga dipilih karena dapat mewakili bentuk dan deformasi dengan baik pada berbagai jenis struktur geoteknik.

Dengan menggunakan elemen hingga dan memanfaatkan karakteristik elemen serta perpindahan simpul, metode ini memungkinkan analisis tegangan dan regangan yang akurat pada struktur kompleks secara efisien dan efektif.



Gambar 3. 11 Posisi titik-titik nodal dan titik-titik regangan pada elemen tanah

Elemen segitiga dengan 15 titik nodal merupakan elemen yang sangat akurat yang telah memberikan perhitungan tegangan dengan hasil yang sangat baik, misalnya dalam perhitungan keruntuhan untuk tanah-tanah yang tidak kompresibel. Sedangkan elemen segitiga dengan 6 titik nodal merupakan elemen yang cukup akurat dan dapat memberikan hasil yang baik dalam analisis deformasi secara umum, tetapi jika digunakan elemen dalam jumlah cukup banyak.

3.7.6 Pemodelan Tanah pada Plaxis

Di Plaxis, terdapat beberapa jenis pemodelan perhitungan atau analisis yang dapat digunakan untuk menganalisis berbagai tipe tanah. Beberapa contoh pemodelan tersebut antara lain:

1. *Mohr-Coulomb Model*: Model ini merupakan pendekatan yang umum digunakan dalam analisis geoteknik. Model Mohr-Coulomb didasarkan pada teori kekuatan tanah yang menggunakan parameter geseran dalam hubungannya dengan normal stress dan sudut geser internal tanah.
2. *Jointed Rock Model*: Model ini digunakan khusus untuk pemodelan batuan yang memiliki celah atau retakan. Model ini mempertimbangkan kekuatan dalam batuan akibat adanya celah-celah yang mempengaruhi stabilitas dan deformasi.

3. *Hardening-Soil Model*: Model ini menggambarkan perilaku tanah yang mengalami pemadatan dan pengerasan dengan meningkatnya tegangan. Model ini cocok untuk analisis tanah yang mengalami perubahan kekakuan dengan waktu.
4. *Soft-Creep Model*: Model ini dirancang untuk menganalisis deformasi lambat atau perlahan dalam tanah yang mengalami perubahan deformasi seiring waktu. Model ini berguna dalam memodelkan deformasi jangka panjang pada tanah yang mengalami konsolidasi atau relaksasi bertahap.
5. *Soft Soil Model*: Model ini dikhususkan untuk analisis tanah lunak atau tanah yang memiliki sifat kohesi yang rendah. Model ini memperhatikan efek kohesi rendah pada kekuatan dan deformasi tanah.

Meskipun terdapat berbagai jenis pemodelan yang tersedia, disarankan untuk memulai dengan menggunakan Mohr-Coulomb model. Model ini dikenal karena sederhana dan cepat dalam memberikan hasil analisis dalam permasalahan geoteknik. Namun, pemilihan model yang tepat harus didasarkan pada pemahaman yang mendalam tentang karakteristik tanah yang sedang dianalisis dan tujuan analisis yang diinginkan. Pada permodelan Mohr-Coulomb dibutuhkan setidaknya 5 parameter tanah. Parameter-parameter tersebut adalah:

- Modulus Elastisitas E , yaitu suatu sifat bahan yang elastic, didefinisikan sebagai suatu konstanta kesebandingan antara tegangan dan regangan, sebagai: $\frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$ (kN/m²).
- Poisson ratio (ν) adalah sifat material yang didefinisikan sebagai: $\nu = \frac{\Delta\varepsilon_3}{\Delta\varepsilon_1}$, $\Delta\varepsilon_1$ adalah regangan yang koliner dengan tegangan yang ditinjau sedangkan $\Delta\varepsilon_3$ adalah regangan regangan orthogonal dengan tegangan yang ditinjau. Poisson ratio sering dianggap 0.2 sampai 0.4 dalam perhitungan mekanika tanah. Nilai sebesar 0.5 dipakai untuk tanah lempung dalam keadaan jenuh (undrained), dan 0.0 sering dipakai untuk tanah kering dan tanah lainnya untuk kemudahan dalam perhitungan.
- Sudut geser tanah (θ), sudut geser tanah secara umum menentukan kekuatan geser, didapatkan dari garis singgung busur lingkaran Mohr.

- Kohesi tanah c , dinyatakan dalam kN/m^2 , menunjukkan daya 55 arta antar 55 artake-partikel tanah kohesif.
- Sudut dilatasi (Ψ), terlepas dari tanah yang over-consolidated, tanah lempung cenderung tidak mempunyai dilatasi sama sekali ($\Psi = 0$).

3.8 Analisa Dengan Bantuan Program Slope/W

Geoslope adalah sebuah program yang digunakan oleh para insinyur untuk membantu menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan stabilitas lereng. Dalam analisis stabilitas lereng pada ruas jalan Bagbagan - Jampang Kulon Sukabumi STA 8+400, program yang digunakan adalah SLOPE/W. Program SLOPE/W ini memungkinkan kita untuk mencari nilai faktor keamanan lereng.

Dengan menggunakan metode kesetimbangan batas (limit equilibrium), SLOPE/W dapat mengatasi berbagai jenis tanah yang bervariasi tingginya, kompleksitas stratigrafi, serta geometri permukaan geser yang berbeda-beda. Program ini juga memperhitungkan kondisi tekanan air pori yang dapat bervariasi dan memodelkan tanah dalam skala besar. Analisis dapat ditampilkan dengan memasukkan parameter input yang ditentukan atau menggunakan pendekatan probabilitas.

Selain itu, program SLOPE/W juga dapat menghitung tegangan dengan menggunakan analisis elemen hingga (finite element stress), dan kemudian menggabungkannya dengan perhitungan kesetimbangan batas untuk semua analisis stabilitas lereng yang ada.

Dengan bantuan program SLOPE/W dalam Geoslope, para insinyur dapat melakukan analisis stabilitas lereng secara efisien dan memperoleh informasi yang penting dalam menentukan faktor keamanan yang relevan bagi keberlanjutan dan keamanan konstruksi lereng.

Dalam analisis stabilitas lereng menggunakan SLOPE/W untuk ruas jalan Bagbagan - Jampang Kulon Sukabumi STA 8+400, tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Idealisasi Bentuk Geometri Lereng: Tahap ini melibatkan pemodelan geometri lereng sesuai dengan kondisi fisik yang ada. Hal ini meliputi penentuan kemiringan lereng, tinggi lereng, serta konfigurasi dan dimensi slip surface yang akan dianalisis.
2. Penentuan nilai kohesi dan sudut geser tanah: Nilai kohesi (c) dan sudut geser tanah (ϕ) perlu ditentukan berdasarkan karakteristik tanah di lokasi lereng. Data ini dapat diperoleh melalui pengujian laboratorium atau berdasarkan studi literatur yang relevan.
3. Penentuan Besar Beban Kerja pada Lereng: Pada tahap ini, perlu ditentukan besar beban kerja yang bekerja pada lereng. Beban kerja ini dapat berasal dari berbagai faktor seperti beban kendaraan, beban struktur di atas lereng, dan faktor beban lain yang relevan.
4. Analisis dan Perhitungan Stabilitas Lereng: Setelah nilai kohesi, sudut geser tanah, dan beban kerja ditentukan, dilakukan analisis stabilitas lereng menggunakan SLOPE/W. Program ini akan menghitung faktor keamanan (factor of safety) yang merupakan rasio antara kekuatan tanah yang berperan dalam mencegah keruntuhan dengan gaya-gaya yang cenderung menyebabkan keruntuhan. Nilai FOS ini digunakan untuk mengevaluasi kestabilan lereng. Analisis juga akan memberikan informasi mengenai kondisi tegangan total dan tegangan efektif pada lereng.

Dengan menyelesaikan tahapan-tahapan tersebut, dapat diperoleh hasil akhir berupa nilai faktor keamanan (FOS) yang memberikan indikasi tentang tingkat stabilitas lereng. Dalam hal ini, hasil analisis akan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang keamanan dan stabilitas lereng pada ruas jalan Bagbagan - Jampang Kulon Sukabumi STA 8+400.

3.8.1 Idealisasi Bentuk Geometri Lereng

Bentuk geometri lereng dapat diperoleh melalui survei langsung di lapangan. Dalam survei tersebut, dilakukan pengukuran dan pemetaan terhadap kondisi fisik lereng, termasuk kemiringan, tinggi, dan konfigurasi lereng secara keseluruhan.

Data-data ini akan memberikan informasi yang akurat mengenai geometri lereng yang sedang dianalisis.

Selain itu, data tanah dapat diperoleh dari laporan faktual Kajian Lingkungan Hidup (KLH) atau Kajian Mengenai Pengaruh Lingkungan (KL), yang biasanya mencakup hasil pengeboran dan pengambilan sampel tanah menggunakan metode bor sondir. Dalam laporan tersebut, terdapat informasi mengenai karakteristik tanah di sepanjang lereng, termasuk parameter-parameter seperti tipe tanah, kandungan air, kohesi, sudut geser, dan lainnya.

Dengan menggunakan data dari survei lapangan dan laporan faktual KMP, dapat dilakukan analisis lebih lanjut mengenai stabilitas lereng. Data ini akan digunakan dalam penentuan parameter-parameter tanah yang relevan, seperti nilai kohesi dan sudut geser. Selanjutnya, dengan mengintegrasikan data geometri lereng dan karakteristik tanah, dapat dilakukan analisis stabilitas lereng menggunakan program seperti SLOPE/W untuk mendapatkan faktor keamanan yang sesuai dengan kondisi yang ada.

3.8.2 Penentuan Nilai Kohesi dan Sudut Geser Tanah

Dalam analisis stabilitas lereng pada STA 8+400 jalan Bagbagan - Jampang Kulon, parameter tanah untuk setiap lapisan diketahui melalui pengujian laboratorium menggunakan metode tes triaksial dan direct shear. Hasil uji laboratorium tersebut memberikan informasi mengenai karakteristik tanah di lereng tersebut.

Berdasarkan korelasi nilai N-SPT (Standard Penetration Test) terhadap parameter tanah, lereng STA 8+400 terdiri dari 3 lapisan tanah yaitu pasir lepas, pasir padat, dan pasir sangat padat. Nilai kohesi dan sudut geser untuk setiap lapisan

Dengan memiliki informasi ini, kita dapat menggunakan nilai kohesi dan sudut geser untuk setiap lapisan tanah dalam analisis stabilitas lereng menggunakan program seperti SLOPE/W. Hal ini memungkinkan kita untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan memperhitungkan karakteristik tanah yang spesifik di lokasi lereng STA 8+400.

3.8.3 Penentuan Besar Beban Kerja pada Lereng

Pada lokasi, beban yang bekerja pada puncak lereng berupa beban kendaraan dan tanaman pohon. Beberapa tanaman pohon diabaikan karena penulis tidak mensurvey secara langsung ke lapangan sehingga tidak mengetahui secara persis letak tanaman pada lereng.

Adapun beban yang bekerja adalah beban perkerasan sebesar 10 kN/m dan beban ekivalen sebesar kN/m.

3.8.4 Program Input

Ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan dalam analisis stabilitas lereng STA 8+400 Bagbagan menggunakan program Slope/W:

1. Pemilihan Metode Analisis: Tahap ini melibatkan pemilihan metode analisis yang akan digunakan untuk menghitung faktor keamanan lereng. Di Slope/W, tersedia dua metode analisis yaitu Limit Equilibrium (Keseimbangan Batas) dan Finite Element (Elemen Hingga). Pada tahap ini, perlu dipertimbangkan kebutuhan dan karakteristik lereng untuk memilih metode analisis yang paling sesuai.
2. Pemodelan Struktur: Setelah metode analisis dipilih, langkah selanjutnya adalah memodelkan struktur lereng secara geometris. Pada tahap ini, digambarkan pemodelan lereng yang mencerminkan kondisi fisik lereng sesuai dengan data dan informasi yang telah dikumpulkan sebelumnya. Pemodelan ini dapat meliputi dimensi, geometri, dan konfigurasi lereng.
3. Penentuan Property Tanah: Tahap selanjutnya adalah menentukan property atau karakteristik tanah yang ada di lereng. Informasi ini dapat diperoleh melalui data lapangan, laporan faktual, atau pengujian laboratorium. Parameter tanah yang perlu ditentukan meliputi nilai kohesi (c), sudut geser (ϕ), berat volume (γ), modulus elastisitas, dan parameter-parameter lain yang relevan.
4. Penentuan Beban yang Bekerja: Pada tahap ini, ditentukan beban yang bekerja pada lereng STA 8+400 Bagbagan. Beban ini dapat berasal dari berbagai faktor seperti beban kendaraan, beban struktur di atas lereng, dan

beban lainnya yang relevan. Besaran dan distribusi beban perlu ditentukan dengan mempertimbangkan kondisi yang ada.

Dengan melalui tahapan-tahapan tersebut, kita dapat melakukan analisis stabilitas lereng STA 8+400 Bagbagan dengan menggunakan program Slope/W. Hal ini memungkinkan kita untuk mendapatkan faktor keamanan dan mengevaluasi stabilitas lereng berdasarkan pemodelan, property tanah, dan beban yang bekerja.

3.8.5 Solving The Problem

Dalam proses Solving Problem pada analisis lereng, setelah memasukkan data yang relevan, perangkat lunak akan menjalankan perhitungan dan menghasilkan tabel faktor keamanan beserta nilai-nilainya sesuai dengan metode yang dipilih. Nilai faktor keamanan ini akan memberikan indikasi tentang stabilitas lereng dan apakah lereng tersebut aman atau rentan terhadap longsor.

Metode yang digunakan untuk menghitung faktor keamanan dapat bervariasi tergantung pada perangkat lunak yang digunakan dan preferensi pengguna. Beberapa metode umum yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng meliputi metode Morgenstern-Price, metode Bishop, metode Janbu, metode Spencer, dan metode lainnya.

Setelah perhitungan selesai, tabel faktor keamanan akan menunjukkan nilai faktor keamanan untuk setiap elemen atau titik dalam model lereng. Nilai faktor keamanan yang lebih besar dari 1 menunjukkan bahwa lereng tersebut relatif stabil dan memiliki margin keamanan yang cukup. Sebaliknya, jika nilai faktor keamanan kurang dari 1, lereng tersebut berpotensi tidak stabil dan rentan terhadap longsor.

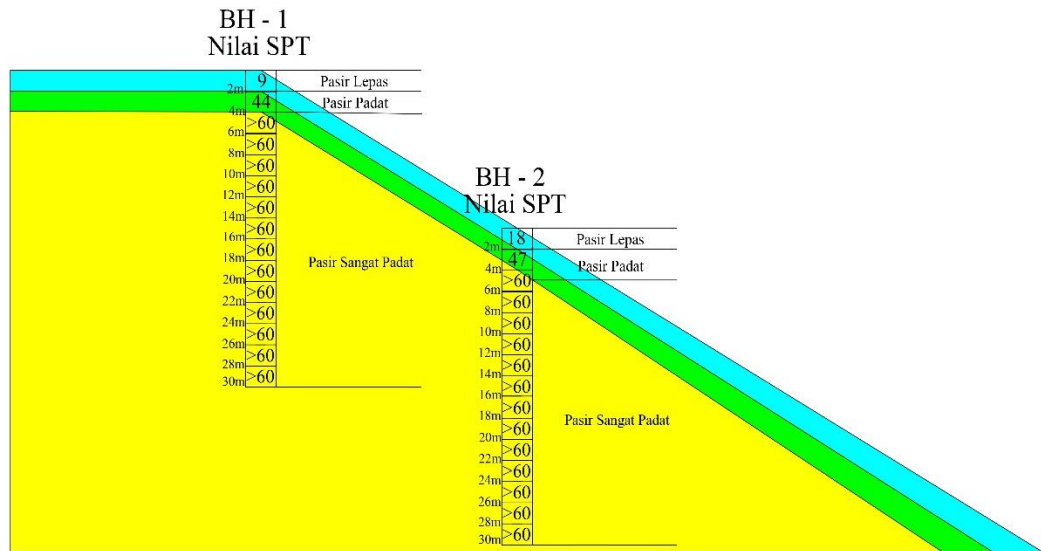
3.8.6 Viewing the Results

Setelah analisis selesai, tahap ini memungkinkan kita untuk melihat hasil analisis yang telah dilakukan, Program akan memberikan output berupa faktor keamanan dan informasi lainnya yang dapat membantu kita dalam mengevaluasi stabilitas lereng.

BAB IV

HASIL & PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Kasus



Gambar 4. 1 Titik Uji Bor

Tabel 4. 1 Stratifikasi Tanah BH 1

BM 1			
No	Depth (m)	Jenis Tanah	Parameter Tanah
1	0 – 2	Pasir Lepas	$\gamma_{unsat} = 16$, $\gamma_{sat} = 20$, $E' = 3$, $\nu = 0.3$, $\phi = 30$ $C'_{ref} = 1$.
2	2 – 6	Pasir Padat	$\gamma_{unsat} = 19$, $\gamma_{sat} = 25$, $E' = 3$, $\nu = 0.3$, $\phi = 37$ $C'_{ref} = 1$.
3	6 - 30	Pasir Sangat Padat	$\gamma_{unsat} = 21$, $\gamma_{sat} = 30$, $E' = 3$, $\nu = 0.3$, $\phi = 40$ $C'_{ref} = 1$.

Tabel 4. 2 Stratifikasi Tanah BH 2

BM 2			
No	Depth (m)	Jenis Tanah	Parameter Tanah
1	0 – 2	Pasir Lepas	$\gamma_{unsat} = 16$, $\gamma_{sat} = 20$, $E' = 3$, $\nu = 0.3$, $\phi = 30$ $C'_{ref} = 1$.
2	2 - 5	Pasir Padat	$\gamma_{unsat} = 19$, $\gamma_{sat} = 25$, $E' = 3$, $\nu = 0.3$, $\phi = 37$ $C'_{ref} = 1$.
3	5 - 30	Pasir Sangat Padat	$\gamma_{unsat} = 21$, $\gamma_{sat} = 30$, $E' = 3$, $\nu = 0.3$, $\phi = 40$ $C'_{ref} = 1$.

Tabel 4. 3 Klasifikasi Kelas Beban Jalan

Sumber; UU No 2 tahun 2009 No 19

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Ukuran Kendaraan Bermotor	MST
Kelas I	Jalan Arteri Jalan Kolektor	Lebar ≤ 2.500 mm Panjang ≤ 18.000 mm Tinggi ≤ 4.200 mm	10 Ton
Kelas II	Jalan Arteri Jalan Kolektor Jalan Lokal <i>Jalan Lingkungan</i>	Lebar ≤ 2.500 mm Panjang ≤ 12.000 mm Tinggi ≤ 4.200 mm	8 Ton
Kelas III	Jalan Arteri Jalan Kolektor Jalan Lokal <i>Jalan Lingkungan</i>	Lebar ≤ 2.100 mm Panjang ≤ 9.000 mm Tinggi ≤ 3.500 mm	8 Ton
Kelas Khusus	Jalan Arteri	Lebar > 2.500 mm Panjang > 18.000 mm Tinggi ≤ 4.200 mm	> 10 Ton

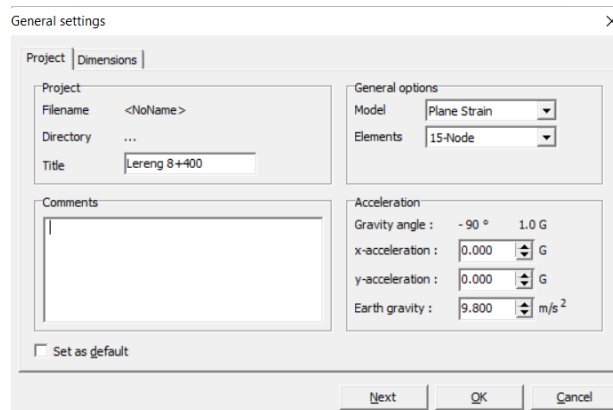
4.2 Analisis Stabilitas Lereng dengan Program Plaxis

Perhitungan dengan bantuan PLAXIS memiliki tahapan-tahapan yang harus dilalui agar perhitungan dapat berjalan dengan baik. Tahapan-tahapan yang harus dilalui dalam perhitungan stabilitas lereng kali ini adalah :

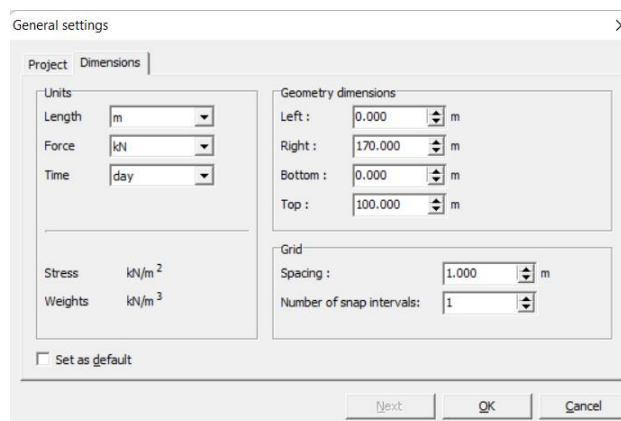
4.2.1 Input

Terdiri dari beberapa tahapan, antara lain :

- Penentuan satuan ukuran (Panjang, Gaya) yang digunakan Pemilihan model metode perhitungan elemen hingga dan tipe elemen yang digunakan, yaitu plane strain dan triangular 15 nodal dan penentuan satuan ukuran (panjang, gaya) yang digunakan yaitu m, kN.

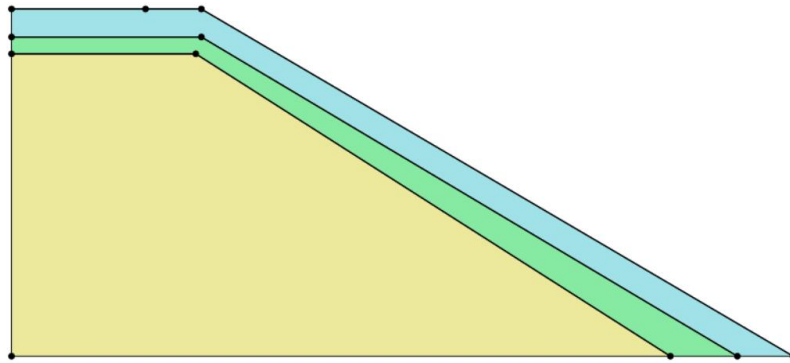


Gambar 4. 2 General Model yang Dipakai



Gambar 4. 3 Penentuan Satuan Pada Plaxis

- Pemodelan struktur dengan menggambar lereng (secara geometri)



Gambar 4. 4 Geometri Lereng

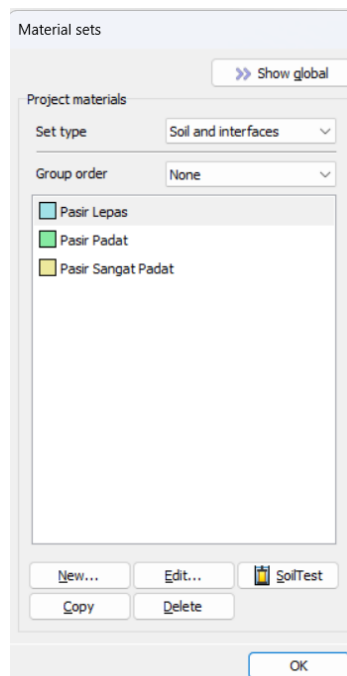
Keterangan :

Warna Biru : Pasir Lepas

Warna Hijau : Pasir Padat

Warna Kuning : Pasir Sangat Padat

- Menentukan properti material yang akan digunakan, dengan memasukan nilai parameter tanah *undrained* pada kotak *material properties* dengan tipe material *undrained*.



Gambar 4. 5 Material Sets

Pasir Lepas :

Mohr-Coulomb - Pasir Lepas

General Parameters Interfaces

Material set

Identification: Pasir Lepas

Material model: Mohr-Coulomb

Material type: UnDrained

General properties

γ_{unsat} : 16.000 kN/m³

γ_{sat} : 20.000 kN/m³

Comments

Permeability

k_x : 1.000 m/day

k_y : 1.000 m/day

Advanced...

SoilTest Next OK Cancel

Gambar 4. 6 General Pasir Lepas

Mohr-Coulomb - Pasir Lepas

General Parameters Interfaces

Stiffness

E_{ref} : 3.000 kN/m²

ν (nu): 0.300

Strength

c_{ref} : 1.000 kN/m²

ϕ (phi): 30.000 °

ψ (psi): 0.000 °

Alternatives

G_{ref} : 1.154 kN/m²

E_{oed} : 4.037 kN/m²

Velocities

V_s : 0.841 m/s

V_p : 1.572 m/s

Advanced...

SoilTest Next OK Cancel

Gambar 4. 7 Parameter Pasir Lepas

Pasir Padat :

Mohr-Coulomb - Pasir Padat

General | Parameters | Interfaces

Material set

Identification: Pasir Padat

Material model: Mohr-Coulomb

Material type: UnDrained

General properties

γ_{unsat} : 19.000 kN/m³

γ_{sat} : 25.000 kN/m³

Comments

Permeability

k_x : 1.000 m/day

k_y : 1.000 m/day

Advanced...

SoilTest

Next OK Cancel

Gambar 4. 8 General Pasir Padat

Mohr-Coulomb - Pasir Padat

General | Parameters | Interfaces

Stiffness

E_{ref} : 3.000 kN/m²

ν (nu): 0.300

Strength

c_{ref} : 1.000 kN/m²

ϕ (phi): 37.000 °

ψ (psi): 0.000 °

Alternatives

G_{ref} : 1.154 kN/m²

E_{oed} : 4.041 kN/m²

Velocities

V_s : 0.771 m/s

V_p : 1.444 m/s

Advanced...

SoilTest

Next OK Cancel

Gambar 4. 9 Parameter Pasir Padat

Pasir Sangat Padat :

The screenshot shows the 'General' tab of a dialog box titled 'Mohr-Coulomb - Pasir Sangat Padat'. It contains the following fields:

Material set	
Identification:	Pasir Sangat Padat
Material model:	Mohr-Coulomb
Material type:	UnDrained

General properties	
γ_{unsat}	21.000 kN/m ³
γ_{sat}	30.000 kN/m ³

Permeability	
k_x	1.000 m/day
k_y	1.000 m/day

Buttons at the bottom: **SoilTest**, **Next**, **OK**, **Cancel**.

Gambar 4. 10 General Pasir Sangat Padat

The screenshot shows the 'Parameters' tab of the same dialog box. It contains the following fields:

Stiffness	
E_{ref}	3.000 kN/m ²
ν (nu)	0.300

Strength	
c_{ref}	1.000 kN/m ²
ϕ (phi)	40.000 °
ψ (psi)	0.000 °

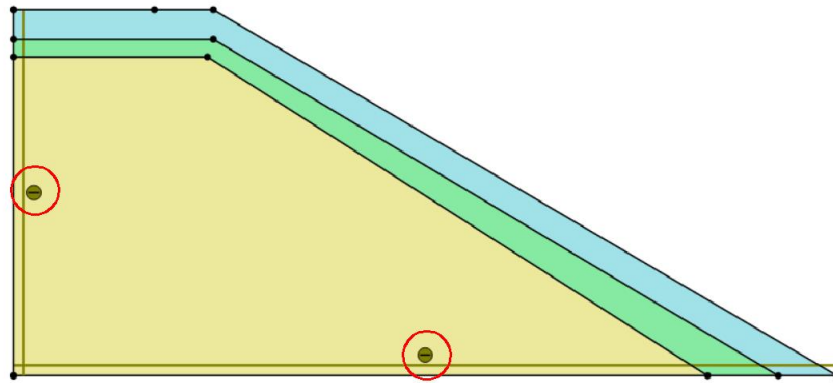
Alternatives	
G_{ref}	1.154 kN/m ²
E_{oed}	4.038 kN/m ²

Velocities	
V_s	0.734 m/s
V_p	1.373 m/s

Buttons at the bottom: **SoilTest**, **Next**, **OK**, **Cancel**.

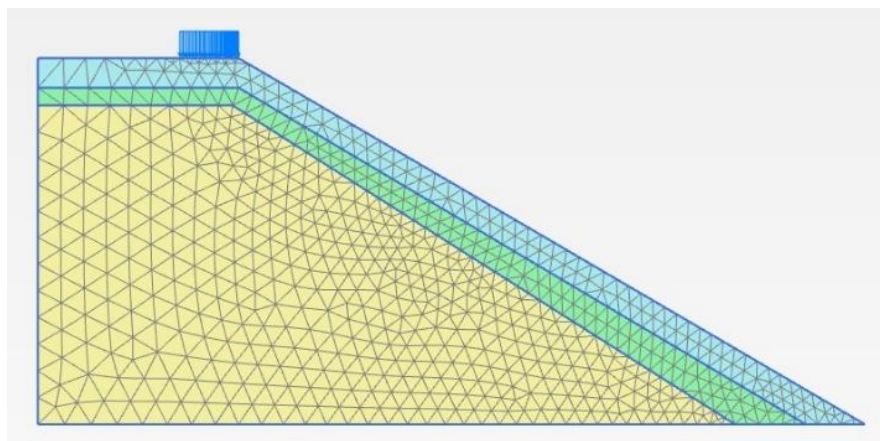
Gambar 4. 11 Parameter Pasir Sangat Padat

- Boundary Conditions (standard fixities), secara default program plaxis akan menganggap kondisi pasir sangat padat (sisi bawah) sebagai perletakan jepit horizontal ($u_x=0$) sedangkan perletakan vertikal sebagai perletakan rol



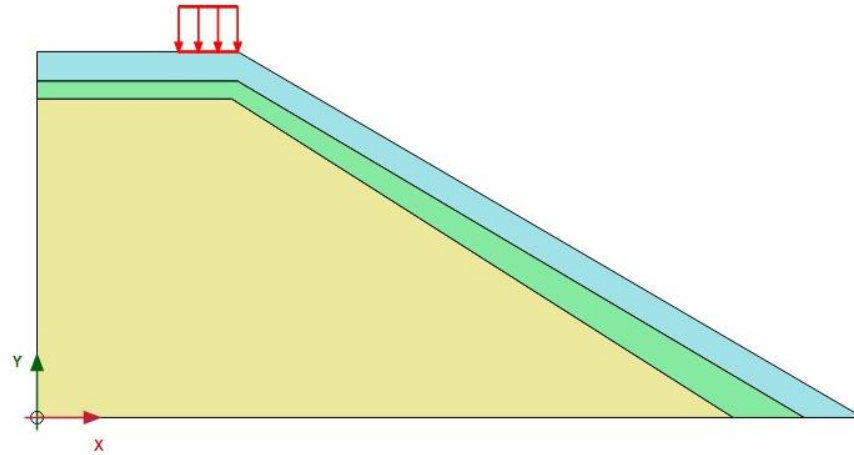
Gambar 4. 12 Boundary Conditions (Standard Fixities)

- Mesh Generation, adalah proses diskritasi permodelan struktur menjadi elemen-elemen yang lebih kecil yang dikerjakan secara otomatis oleh Plaxis dengan menekan tool bar “mesh generations”. Mesh yang digunakan adalah very fine, dengan jumlah 1293 elemen dan 10841 titik.



Gambar 4. 13 Mesh Generation

- Initial Condition, Menentukan kondisi awal pada permodelan lereng pada Plaxis, Permukaan tanah membentuk garis bidang sesuai lereng alami yang ditinjau, beserta input beban perkerasan



Gambar 4. 14 Initial Condition

- Beban Perkerasan jalan di Ruas Jalan Bagbagan – Jampang Kulon STA 8+400 termasuk pada jalan kelas I, II, Arteri, Kolektor, Lokal, Lingkungan yaitu sebesar 10 & 12,5 kN/m.



Gambar 4. 15 Input Nilai Beban Jalan Kelas II



Gambar 4. 16 Input Nilai Beban Jalan Kelas I

4.2.2 Program Calculations

Terdiri dari beberapa tahapan antara lain:

Name	Value
General	
ID	Initial phase [InitialPhase]
Calculation type	Gravity loading
Loading type	K0 procedure
ΣM_{weight}	1.000
Pore pressure calculation type	Phreatic
Time interval	0.000 day
Estimated end time	0.000 day
First step	0
Last step	9
Design approach	(None)
Special option	0

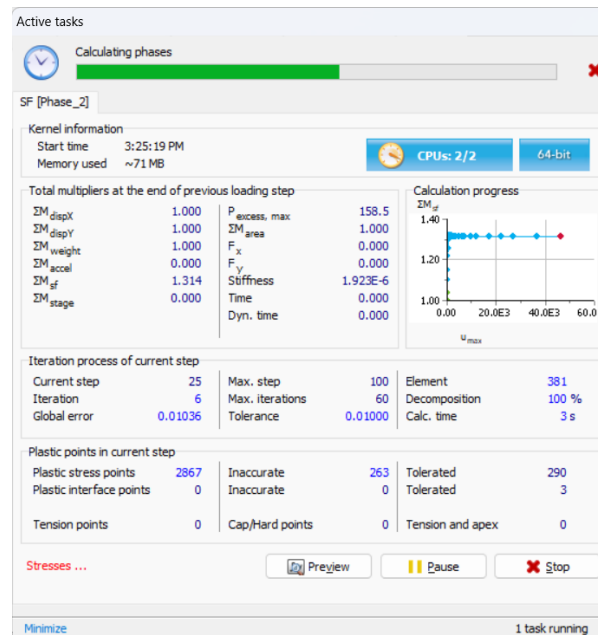
Gambar 4. 17 Calculation Type, Gravity Loading

- Penentuan phase perhitungan, pada kasus dari phase awal yaitu *Initial Phase*, pilih tipe perhitungan menjadi *safety*.

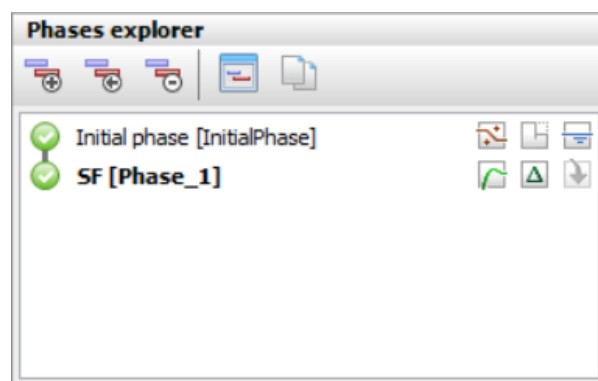
General	
ID	SF [Phase_2]
Start from phase	Initial phase
Calculation type	Safety
Loading type	Plastic
M_{sf}	Consolidation
Pore pressure calculation type	Use pressures from p
First step	10
Last step	109
Design approach	(None)
Special option	0

Gambar 4. 18 Calculation Type, Safety

- Proses perhitungan, memulai proses perhitungan dengan perhitungan setiap phase pada plaxis hingga mendapatkan hasil.



Gambar 4. 19 Tahap Perhitungan

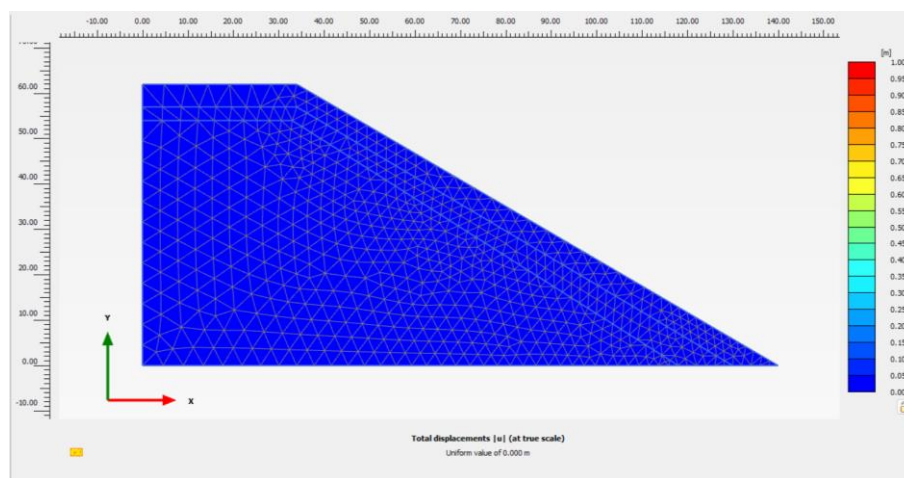


Gambar 4. 20 Hasil Calculation

4.2.3 Program Output

Hasil analisis dapat ditampilkan berupa kurva, gambar ataupun dalam bentuk tabel.

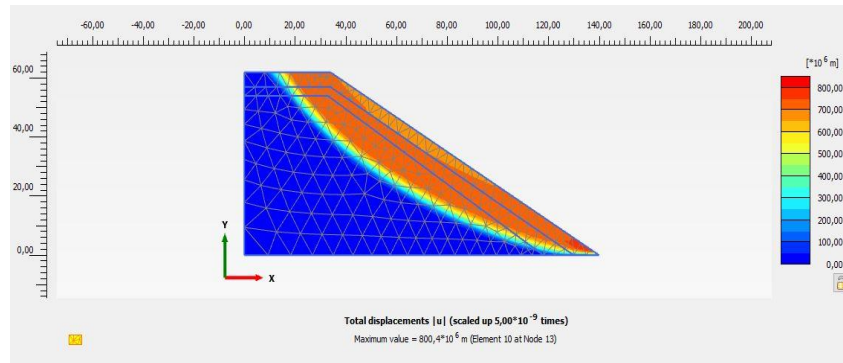
- Calculation info, untuk mendapatkan nilai faktor keamanan lereng. Setelah menetapkan phase-phase perhitungan, maka akan didapatkan nilai safety factor pada phase akhir. Safety factor untuk kondisi tegangan total dan tegangan efektif untuk tiap pemodelan dianalisa.



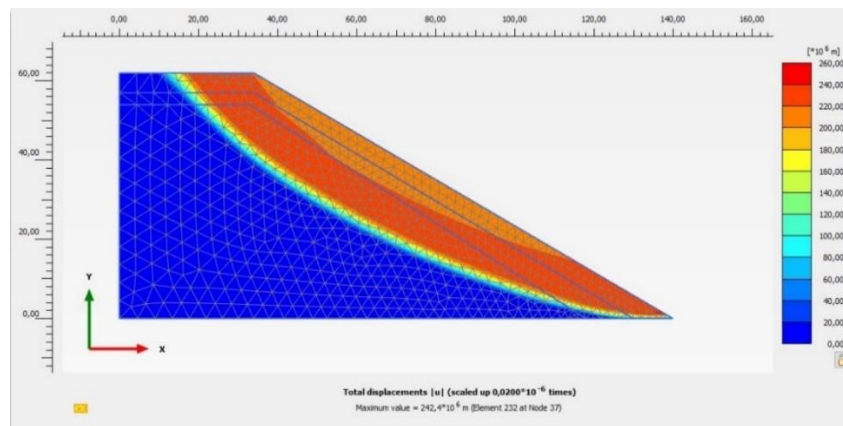
Gambar 4. 21 Deformasi Pada Tahap Initial Phase

- Faktor keamanan dan Bentuk Busur Kelongsoran

Dengan menggunakan type perhitungan *phi-c reduction*, kita dapat mengetahui faktor keamanan lereng dengan memilih *total incremental* dan melihat nilai *Msf* (nilai faktor keamanan) dan dengan tampilan *shading* untuk memperlihatkan busur kelongsoran yang terjadi. Pada Gambar 4.23 diperlihatkan bentuk kelongsoran dan nilai faktor keamanan kelongsorannya yang terjadi di lereng STA 8+400 dengan kondisi dengan beban perkerasan.



Gambar 4. 22 Bentuk Longsoran + Beban Kelas I ($FS=1.315$)



Gambar 4. 23 Bentuk Busur Longsoran + Beban Kelas II ($FS = 1.318$)

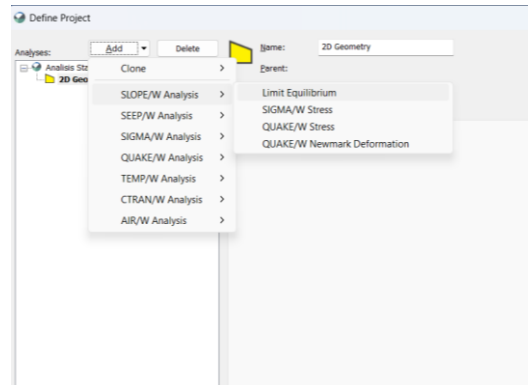
4.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan Slope/W

Perhitungan dengan bantuan Slope/W memiliki tahapan-tahapan yang harus dilalui agar perhitungan dapat berjalan dengan baik. Tahapantahapan yang harus dilalui dalam perhitungan faktor keamanan lereng kali ini adalah :

4.3.1 Input

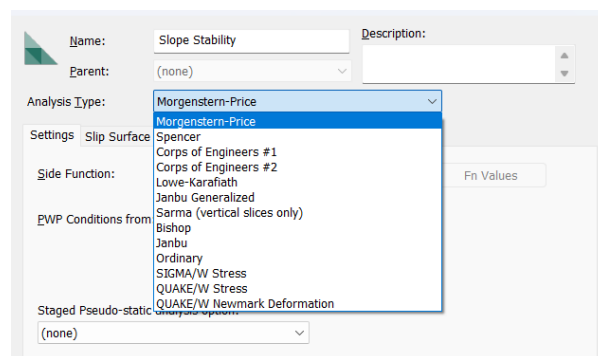
Terdiri dari beberapa tahapan antara lain :

- Pemilihan metode analisis yang digunakan untuk menghitung faktor keamanan lereng jalan Bagbagan – Jampang Kulon STA 8+400. Metode yang digunakan yaitu Limit Equilibrium.



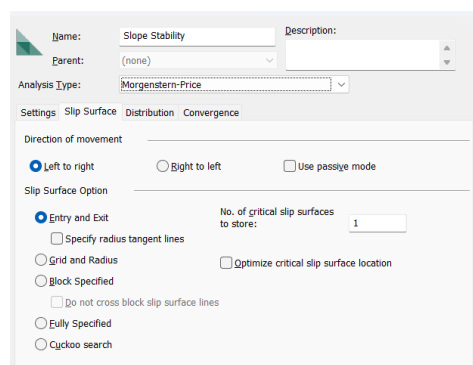
Gambar 4. 24 Metode Analisa yang Digunakan

- Pemilihan tipe analisis yang akan digunakan, penulis memilih tipe analisis Morgenstern-Price karena dalam tipe ini gaya tahan (*momen equilibrium*) dan gaya dorong (*force equilibrium*) diperhitungkan.



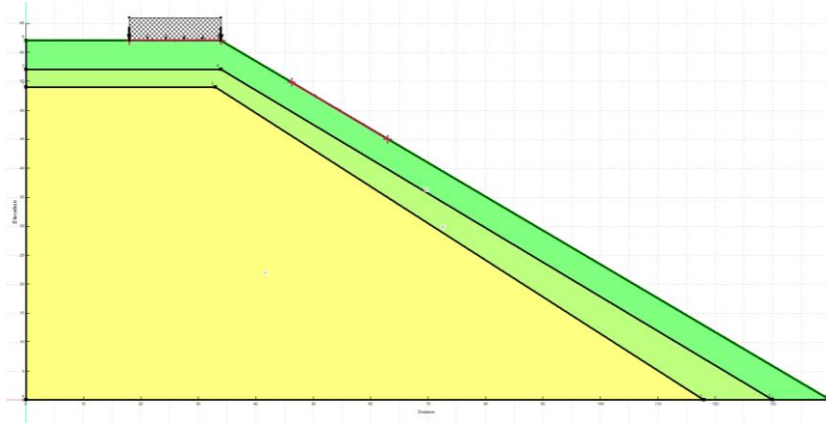
Gambar 4. 25 Tipe Analisis Morgenstern-Price

- Pemilihan tipe longsor (*slip & surface*) penulis memilih tipe *Entry & Exit* karena lebih praktis, dan longsor didefinisikan dari kanan ke kiri.



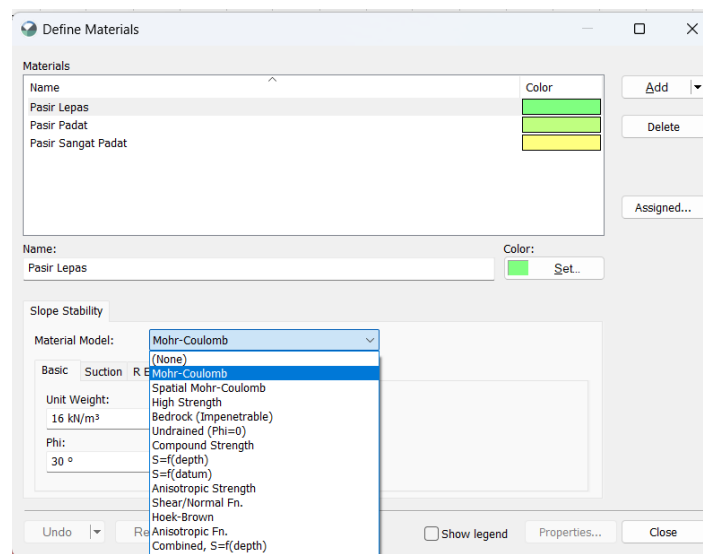
Gambar 4. 26 Tipe Slip Surface

- Pemodelan struktur dengan menggambar pemodelan lereng (secara geometri)



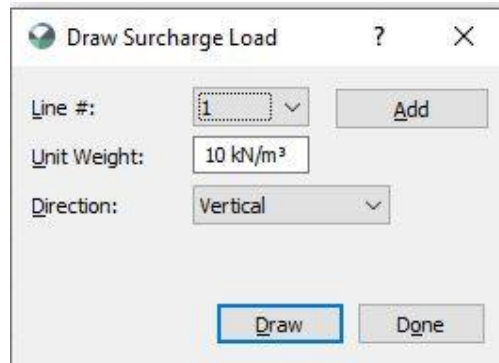
Gambar 4. 27 Geometri Lereng

- Menentukan property tanah dipilih strength model Mohr-Coulomb, untuk analisa tegangan total dan tegangan efektif dan lapisan tanah keras dipilih strength model Bedrock.

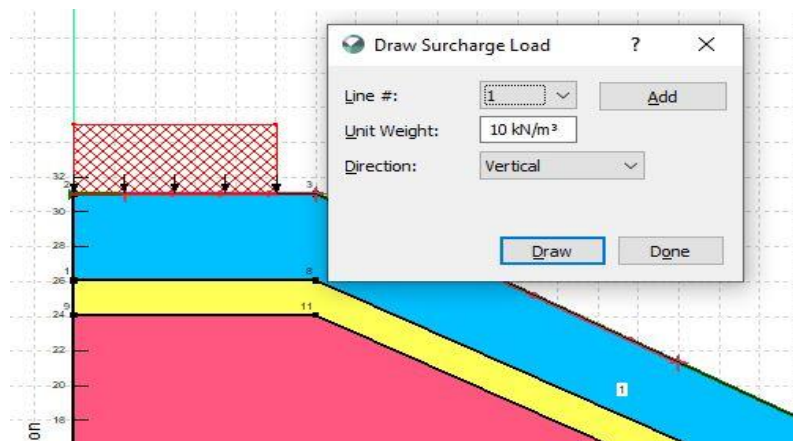


Gambar 4. 28 Soil Properties

- Menentukan beban yang bekerja, kasus pada skripsi ini menggunakan beban perkerasan yaitu jalan kelas II Arteri, Kolektor, Lokal, Lingkungan yaitu sebesar 10 kN/m.

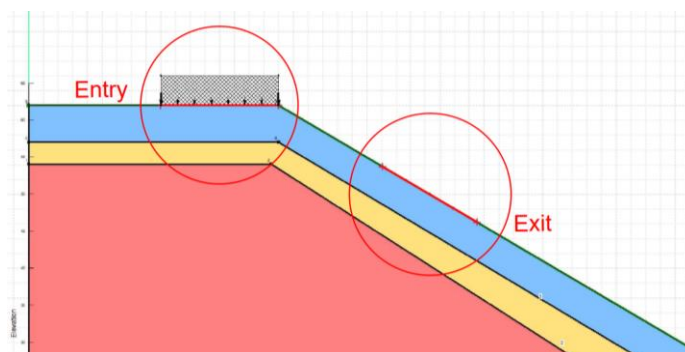


Gambar 4. 29 Input Beban Perkerasan



Gambar 4. 30 Menggambar Garis Beban Perkerasan

- Menggambar Slip surface menggunakan tipe Entry & Exit



Gambar 4. 31 Slip Surface Entry & Exit

- Menentukan titik longsor yang akan ditinjau, penulis mendefinisikan longsor entry & exit masing-masing menjadi 4 titik

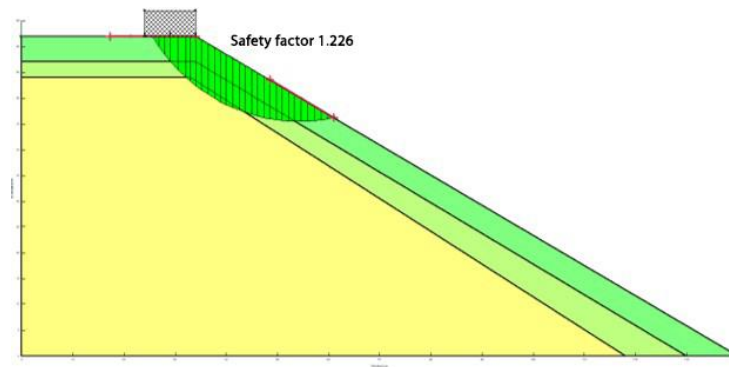
Gambar 4. 32 Jumlah Titik Increments

4.3.2 Solving The Problem

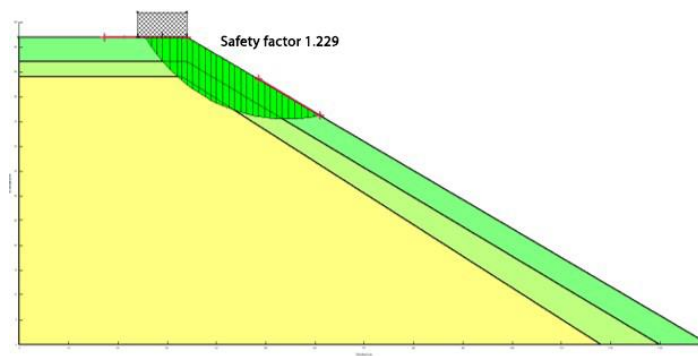
- Setelah mendefinisikan bidang longsor, selanjutnya memulai tahapan untuk menghitung analisis, klik *Start* dan hitungan pun dimulai dengan menggunakan metode Morgenstern-Price dan tipe longsor *slip-surface*

Gambar 4. 33 Solving The Problem

4.3.3 Result



Gambar 4. 34 Faktor Keamanan + Beban Jalan Kelas I = 1.226 LEM



Gambar 4. 35 Faktor Keamanan + Beban Jalan kelas II = 1.229 LEM

4.4 Hasil Analisa Plaxis dan Slope/W

- Di Plaxis 2D V20, kondisi lereng Bagbagan STA 8+400 dengan kondisi beban perkerasan kelas I menghasilkan nilai faktor keamanan 1.315 dan dengan beban perkerasan kelas II menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 1.318
- Di Slope/W, kondisi lereng Bagbagan STA 8+400 dengan kondisi beban Jalan kelas I menghasilkan nilai faktor keamanan 1.226 dan dengan beban jalan kelas II menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 1.229

Tabel 4. 4 Hasil Analisis Faktor Keamanan

Kondisi Lereng STA 8+400			
No	Metode penelitian	FS	
		Kelas I	Kelas II
1	Analisis menggunakan aplikasi Plaxis (metode FEM)	1.315	1.318
2	Analisis menggunakan aplikasi Slope/W (metode LEM)	1.226	1.229

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis perbandingan antara metode Finite Element dan Limit Equilibrium terhadap faktor keamanan suatu lereng. Penulis mencoba membandingkan hasil analisis menggunakan dua perangkat lunak, yaitu Plaxis dan Slope/W. Berikut adalah kesimpulan dari analisis lereng pada Ruas Jalan Bagbagan - Jampang Kulon STA 8+400:

- Hasil analisis menggunakan metode FEM pada aplikasi Plaxis menunjukkan nilai faktor keamanan untuk beban jalan kelas I sebesar 1.315, sedangkan untuk beban jalan kelas II adalah 1.318.
- Sementara itu, ketika menggunakan metode LEM pada aplikasi Slope/W, diperoleh nilai faktor keamanan untuk beban jalan kelas I sebesar 1.226 dan untuk beban jalan kelas II sebesar 1.229.
- Dari hasil perbandingan menggunakan kedua metode pada dua aplikasi yang berbeda, terlihat bahwa terdapat perbedaan nilai faktor keamanan sebesar 9%.

5.2 Saran

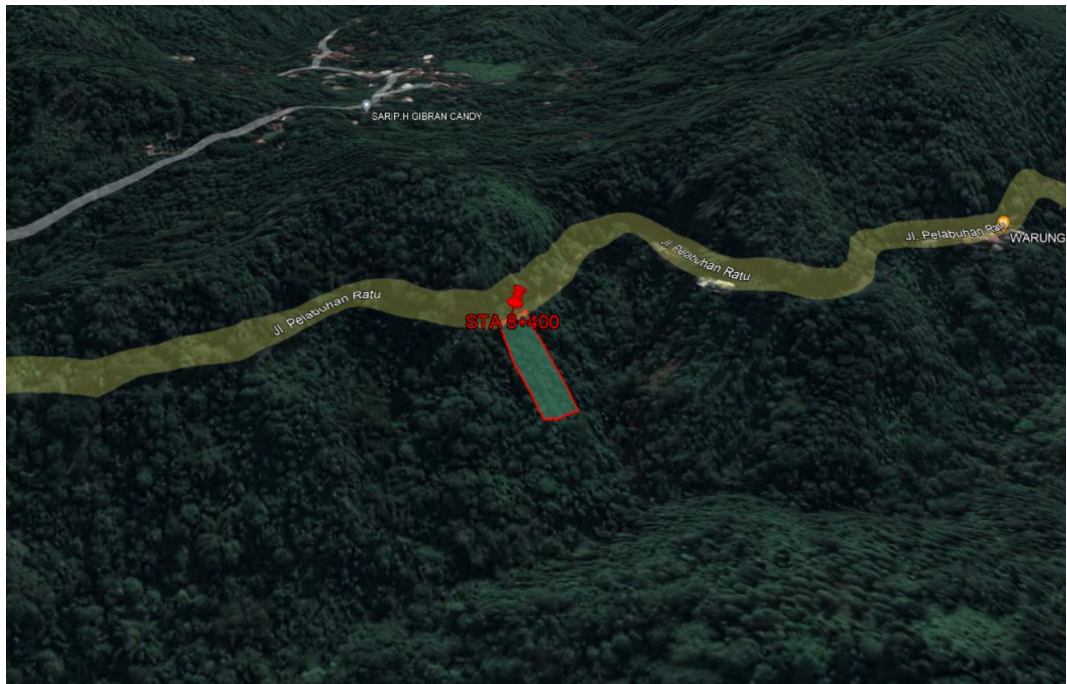
Setelah menganalisis dengan bantuan program Plaxis dan membandingkannya dengan Slope/W, penulis memberikan saran sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil faktor keamanan yang diperoleh, diperlukan perkuatan lereng untuk meningkatkan kestabilan. Oleh karena itu, disarankan agar penelitian tentang perkuatan atau penanganan lereng di Ruas Jalan Bagbagan - Jampang Kulon STA 8+400 dilakukan oleh peneliti berikutnya. Tujuan dari penelitian tersebut adalah mencapai nilai faktor keamanan yang lebih besar dari 1.5.
- Selain itu, untuk penelitian selanjutnya, direkomendasikan untuk menggunakan aplikasi Slope/W dengan menggunakan metode Finite Element Method (FEM) dalam perhitungannya. Penggunaan metode FEM akan membantu menghasilkan analisis yang lebih akurat dan terperinci terkait kestabilan lereng.

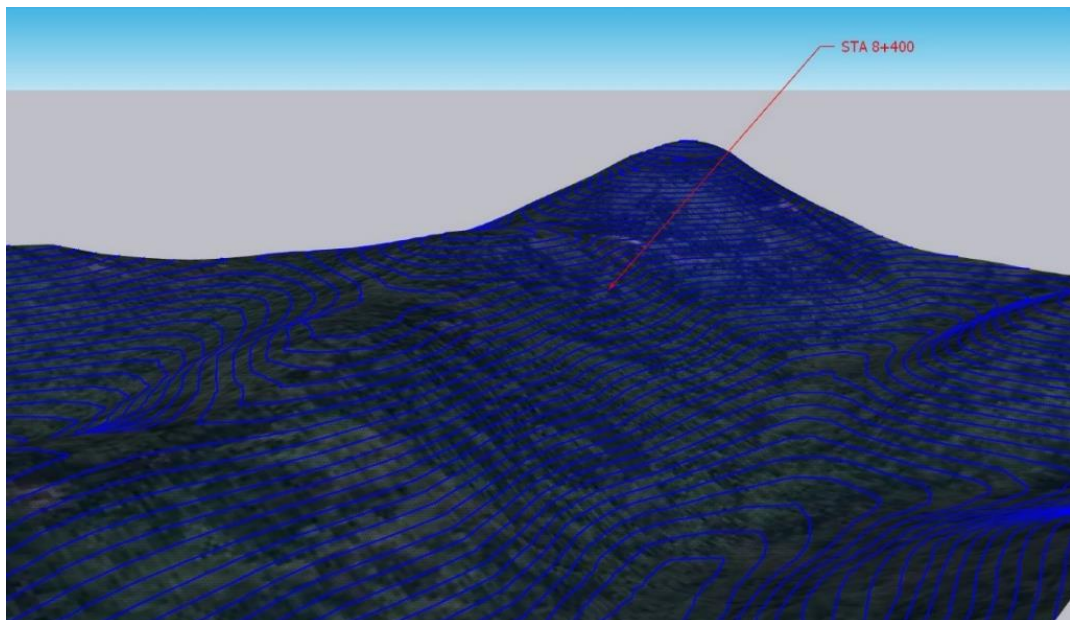
DAFTAR PUSTAKA

- Hvorslev, M. J. and Turnbull, W. J. 1967. *Special Problem in Slope Stability*. New York
- Das, Braja. M. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)* Jilid I, Jakarta: Erlangga.
- Acuan, M. (n.d.). *Versi 8*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). Sni 8460-2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik, 8460*, 2017.
- Departemen Pekerjaan umum. (2005). *Manual-Penanganan-Lereng-Jalan-Buku-1-Petunjuk-Umum.Pdf*.
- Liong, G. T., & Herman, D. J. G. (2012). Analisa Stabilitas Lereng Limit Equilibrium vs Finite Element Method. *HATTI Annual Scientific Meeting XVI, 4-5 Desember 2012*, 4–5.
- N, F. D. J., Giri, J., & Siregar, C. A. (2019). Analisis Perkuatan Tanah Menggunakan Dinding Penahan Beton Bertulang Tipe Kantilever Dan Sheet Pile Tanah Dengan Program Plaxis 2D V.8.6 Dan Metode Fellenius (Studi Kasus Proyek Perbaikan Lereng Sungai Cihideung, Desa Ranjeng, Kecamatan Cisitu, Kabupaten. *Prosiding Seminar SoBAT, ISBN : 978*, 191–203.

LAMPIRAN



Lampiran 1 Lokasi Lereng STA 8+400



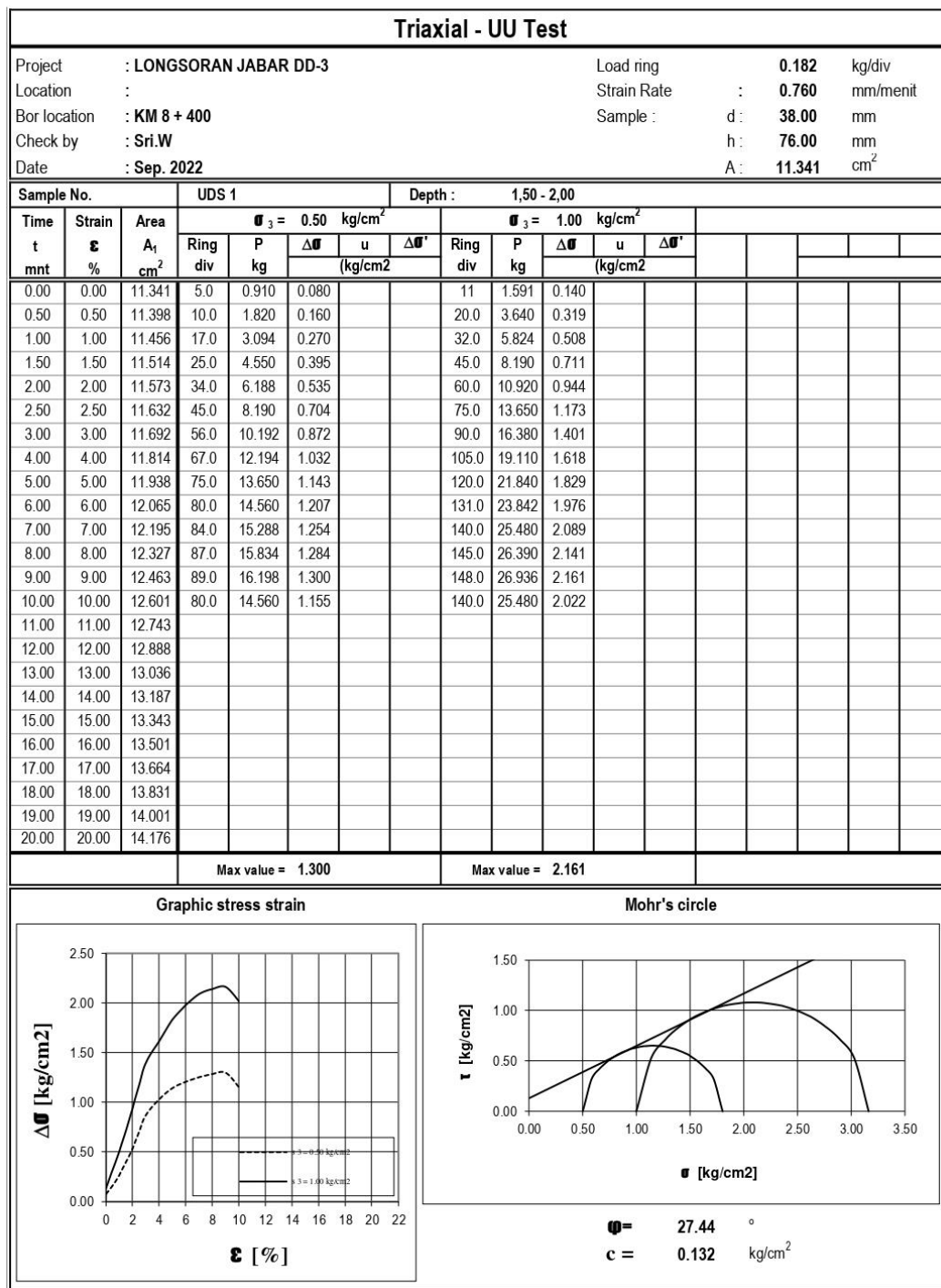
Lampiran 2 Kondisi Topografi STA 8+400

BORLOG											
<div>Project : PENYELIDIKAN TANAH</div> <div>Location : PENYELIDIKAN TANAH (KM 8+400)</div> <div>Boring No. : BH1</div> <div>Date tested : 26-29 AGUSTUS 2022</div> <div>Koordinat : X: 973288</div> <div>Y: 9220071</div> <div>Z:</div>										<div>Depth of boring : 30.00 m</div> <div>Ground Surface Level : -</div> <div>Ground Water Level : LOOSE</div> <div>Tested by : ARIF</div> <div>Checked by : MASBURUDIN</div>	
Depth	Drilling Method	Casing	Ground Water Level	Core recovery	RQD	Classification	SPT - N	GRAPH OF SPT - N	Sample type	Soil / Rock Description	Sampling Type : Piston (Ps), Spt, boring, Open Tube
(meter)	(meter)			%				0 10 20 30 40 50 60			Remarks
0	0.00										
0	0.50									Pasir kerikil an berkeakal, Abu-abu, Lepas	
0	1.00									Pasir lanauan berlempung, Abu-abu, Lepas	
0	1.50										
0	2.00								UD5		
0	2.50						9		SPT		N1=3/15, N2=4/15, N3=5/15
0	3.00										
0	3.50									Pasir lanauan berlempung, Abu-abu, Padat	
0	4.00								DS		
0	4.50						44		SPT		N1=16/15, N2=18/15, N3=26/15
5	5.00									Pasir tufaan, Abu-abu kuning, Padat	
5	5.50									Pasir, Abu-abu coklat, Sangat Padat	
5	6.00						> 60		SPT		N1=35/15, N2=30/2, N3>60
5	6.50										
5	7.00						> 60		SPT		N1>60
5	7.50										
5	8.00						> 60		SPT		N1>60
5	8.50										
5	9.00										
5	9.50										
10	10.00						> 60		SPT		N1>60
10	10.50										
10	11.00										
10	11.50										
10	12.00						> 60		SPT		N1>60
10	12.50										
10	13.00										
10	13.50										
10	14.00						> 60		SPT	Pasir, Abu-abu tua, Sangat Padat	N1>60
10	14.50										
15	15.00										
15	15.50										
15	16.00						> 60		SPT		N1>60
15	16.50										
15	17.00										
15	17.50						> 60		SPT		N1>60
15	18.00										
15	18.50						> 60		SPT		N1>60
15	19.00										
15	19.50										
20	20.00						> 60		SPT		N1>60
20	20.50										
20	21.00										
20	21.50										
20	22.00						> 60		SPT		N1>60
20	22.50									Kerakal kerikilan berlanau, Abu-abu coklat, Sangat Padat	N1>60
20	23.00										
20	23.50										
20	24.00						> 60		SPT	Pasir halus, Abu-abu kecoklatan, Sangat Padat	N1>60
20	24.50										
25	25.00										
25	25.50										
25	26.00						> 60				N1>60
25	26.50										
25	27.00										
25	27.50										
25	28.00						> 60			Pasir kerikilan, Abu-abu, Sangat Padat	N1>60
25	28.50										
25	29.00										
25	29.50										
30	30.00										
30	30.50						> 60				N1>60

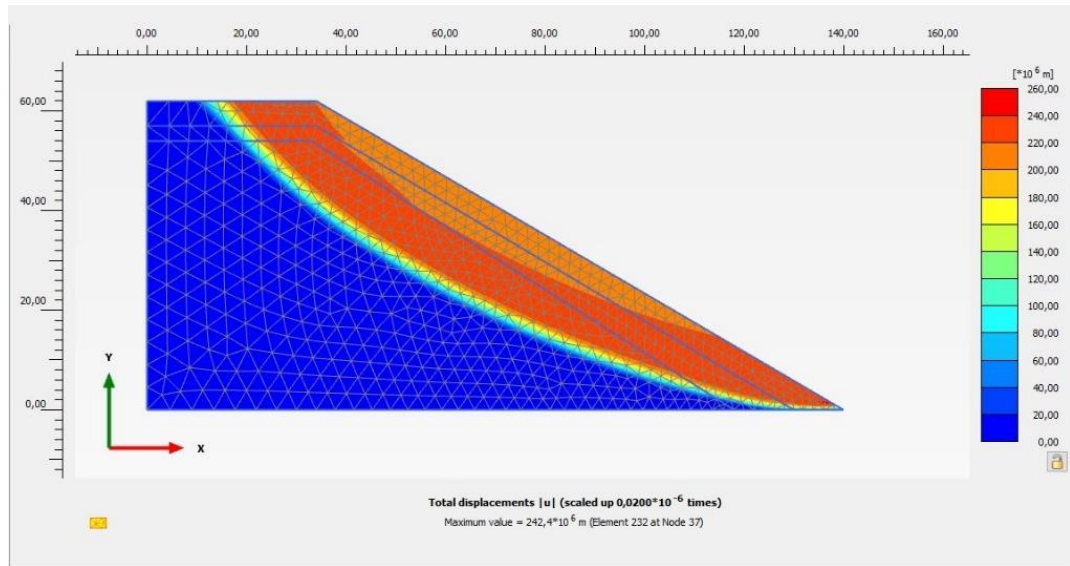
Lampiran 3 Borlog BH-1

BORLOG											
<div>Project : PENYELIDIKAN TANAH</div> <div>Location : PENYELIDIKAN TANAH (KM 8+400)</div> <div>Boring No. : BH2</div> <div>Date tested : 30 AGUSTUS - 1 SEPTEMBER 2022</div> <div>Koordinat : X: 673285</div> <div>Y: 9220082</div> <div>Z:</div>										<div>Depth of boring : 30.00 m</div> <div>Ground Surface Level : -</div> <div>Ground Water Level : LOOSE</div> <div>Tested by : ARIF</div> <div>Checked by : MASBURUDIN</div>	
Depth	Drilling Method	Casing	Ground Water Level	Core recovery	RQD	Classification	SPT - N	GRAPH OF SPT - N	Sample type	Soil / Rock Description	Sampling Type : Piston (Ps), Spt, boring, Open Tube
(meter)	(meter)			%			0 10 20 30 40 50 60				Remarks
0	0.00										
0.50										kerikil kerakalan berpasir, Abu-abu, Sedang	
1.00											
1.50											
2.00							18		DS	Lanau pasiran berlempung, Coklat abu-abu, Sangat Kenyal	N1=6/15, N2=8/15, N3=10/15
2.50											
3.00											
3.50											
4.00							47		DS	Pasir lanauan berlempung, Abu-abu coklat, Padat	N1=12/15, N2=17/15, N3=30/15
4.50											
5	5.00									Pasir kerikilan, coklat abu-abu, Padat	
5.50											
6.00							> 60		SPT	Pasir kerikilan, Abu-abu, Sangat Padat	N1=30/5, N2>60
6.50											
7.00										Pasir sisipan batu pasir lapuk, Abu-abu, Sangat Padat	
7.50											
8.00							> 60		SPT		N1>60
8.50											
9.00											
9.50											
10	10.00						> 60		SPT		N1>60
10.50											
11.00											
11.50											
12.00							> 60		SPT		N1>60
12.50											
13.00											
13.50											
14.00							> 60		SPT		N1>60
14.50											
15	15.00										
15.50											
16.00							> 60		SPT	Pasir, Abu-abu, Sangat Padat	N1>60
16.50											
17.00											
17.50											
18.00							> 60		SPT		N1>60
18.50											
19.00											
19.50											
20	20.00						> 60		SPT		N1>60
20.50											
21.00											
21.50											
22.00							> 60		SPT		N1>60
22.50											
23.00											
23.50											
24.00							> 60		SPT		N1>60
24.50											
25	25.00										
25.50											
26.00							> 60			Pasir kerikilan, Abu-abu, Sangat Padat	N1>60
26.50											
27.00											
27.50											
28.00							> 60				N1>60
28.50											
29.00											
29.50											
30	30.00						> 60				N1>60
30.50											

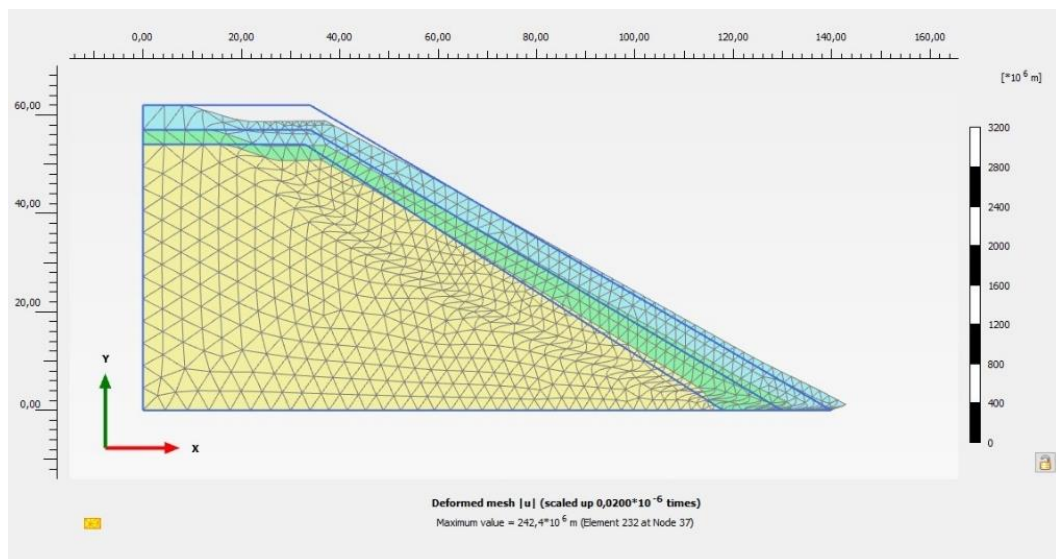
Lampiran 4 Borlog BH-2



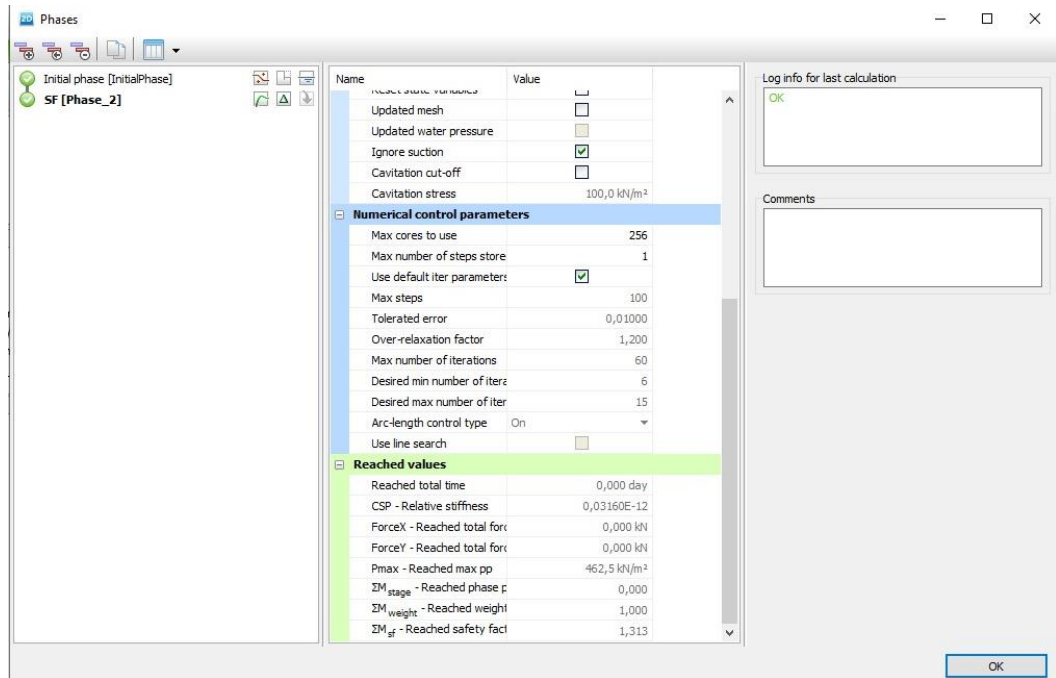
Lampiran 6 Uji Triaxial STA 8+400



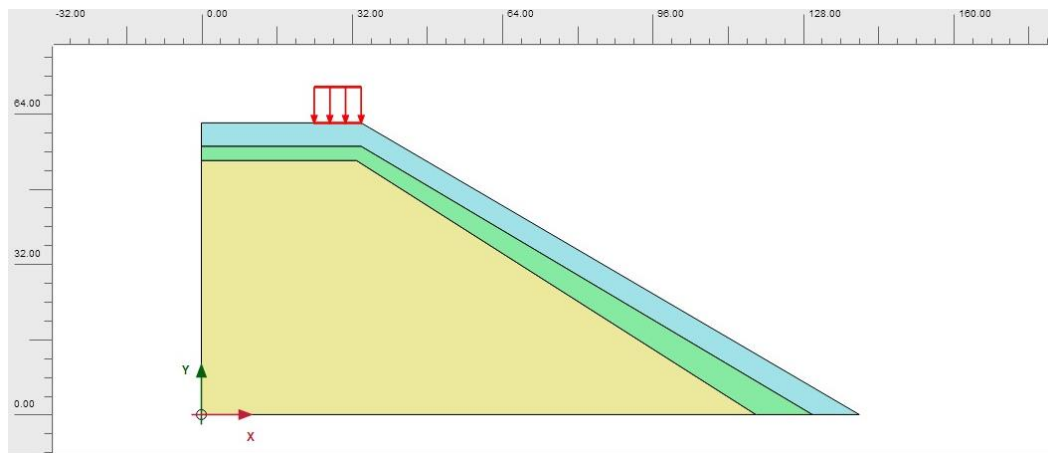
Lampiran 7 Total Displacement Pada Bidang Longsoran



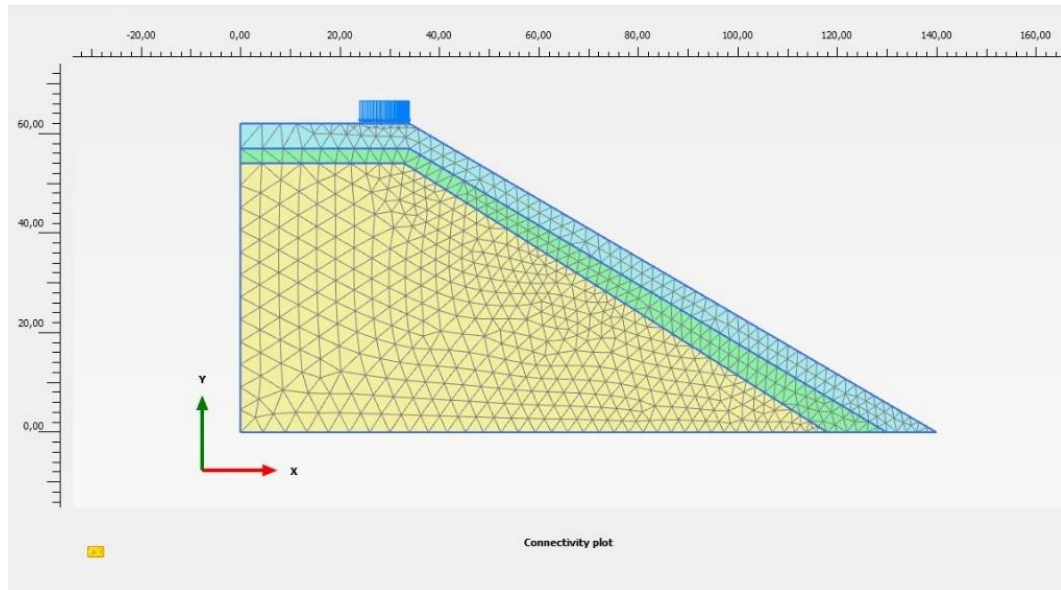
Lampiran 8 Deformasi Bidang Gelincir



Lampiran 9 Tahap Perhitungan Pada Plaxis



Lampiran 10 Penambahan Beban Jalan Pada Lereng



Lampiran 11 Tahap Initial Phase Pada Lereng