

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seringnya terjadi kelongsoran lereng pada geografis di Indonesia membuat ancaman bagi keselamatan orang banyak. Ketika musim penghujan tiba berita tentang musibah longsor sering terdengar dan tak jarang memakan korban jiwa. Badan Pusat Statistik Sumatera Utara mengeluarkan data sudah terjadi 8 titik lokasi bencana kelongsoran di daerah Sumatera Utara sepanjang tahun 2020. Untuk mengantisipasi kelongsoran lereng diperlukan adanya pembuatan dinding penahan tanah atau tembok penahan pada lereng tanah yang rentan terjadi longsor.

Tembok penahan tanah adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk mencegah terjadinya keruntuhan tanah pada suatu lereng yang dibangun di tempat yang kemantapan lereng tersebut diragukan yang dipengaruhi oleh kondisi gambaran topografi. Tembok penahan dibangun untuk melindungi kemiringan tanah dan melengkapi kemiringan dengan pondasi yang kokoh (Sosrodarsono & Nakazawa, 2000).

Rembesan yang terjadi pada suatu lereng dapat mengakibatkan dinding penahan tanah mengalami terguling atau piping, maka perlu untuk mengetahui adanya rembesan dan kemampuan tanah dirembesi air agar dapat dijadikan referensi dalam mendesain suatu dinding penahan tanah agar diperoleh konstruksi dinding penahan tanah yang tepat.

Permasalahan yang menjadi fokus bahasan penelitian adalah sifat fisik dan mekanik tanah pada daerah penelitian yang mempengaruhi rembesan dan potensi bahaya piping yang terjadi pada dinding penahan tanah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasar dari latar belakang, maka dapat di ambil rumusan masalah yaitu, “sifat fisik dan mekanik tanah pada daerah penelitian yang mempengaruhi debit rembesan dan potensi bahaya piping yang terjadi pada pondasi dinding penahan tanah”.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dapat lebih terarah, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

- a. Menentukan data sondir yang relevan terhadap topik penelitian.
- b. Dilakukan interpretasi data CPT (*Cone Penetration Test*).
- c. Membuat hasil korelasi tahanan konus (q_c) terhadap koefisien rembesan (k).
- d. Data yang di dapat kemudian di aplikasikan pada program Slope.
- e. Kesimpulan korelasi nilai hambatan konus (q_c) terhadap koefisien rembesan (k).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui korelasi nilai hambatan konus (q_c) terhadap parameter geoteknik yaitu parameter permeabilitas (koefisien rembesan, k)”.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat merupakan beberapa pengaruh secara langsung atau pun tidak langsung memberikan perubahan atau penambahan terhadap suatu topik penelitian. Diharapkan penelitian ini dapat menambah wawasan pengetahuan di dalam bidang ilmu mekanika tanah khusus nya pada korelasi tahanan konus (q_c) dengan koefisien rembesan (k) serta sebagai sarana pengembangan ilmu pengetahuan yang secara teoritis dipelajari saat dibangku perkuliahan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika merupakan sebuah metode atau urutan dalam menyelesaikan sebuah riset, penelitian, maupun karya ilmiah. Berikut sistematika penulisan dalam penelitian ini.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian pendahuluan penulis menguraikan tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan dan menguraikan tentang teori-teori dasar dari beberapa referensi yang relevan dengan topik penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian metode penelitian dijelaskan tentang metode pengumpulan data, metode analisis data, lokasi data penelitian, langkah-langkah penelitian dan diagram alir penelitian.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bagian analisis dan pembahasan berisi tentang hasil analisa beserta pembahasannya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab V berisi kesimpulan dari hasil analisis juga saran yang penulis berikan berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

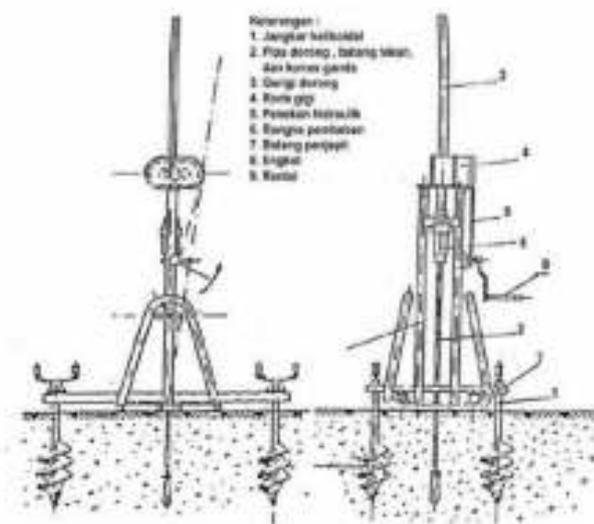
LAMPIRAN

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Teori

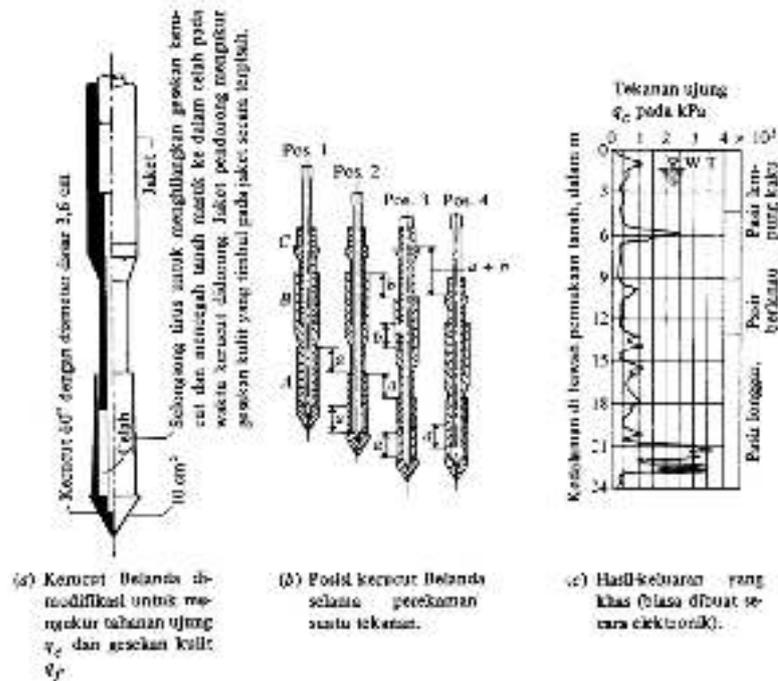
2.1.1 Pengujian Sondir (CPT)

Cone Penetration Test (CPT) merupakan salah satu alat yang digunakan dalam pengujian tanah sederhana yang digunakan di lapangan. Pengujian sondir hanya dilakukan pada tanah lempung lunak dan pasir halus sampai pasir setengah kasar dan tidak diterapkan pada tanah berkerikil dan lempung kaku/keras. Pengujian ini dilakukan dengan cara mendorong kerucut baku ke dalam tanah dengan kecepatan 10 sampai 20 mm/detik. Pada pengujian ini dapat dihentikan secara periodis untuk memasang batang 1 meteran guna menambah kedalaman, akan tetapi membutuhkan batang-batang dengan panjang ekstra untuk dorongan yang hamper tak terputus. Data yang dikumpulkan pada saat pengujian sondir adalah tahanan ujung (q_c) dan tahanan gesek selongsong (q_s). Data kerucut dapat dipakai langsung untuk keperluan merancang, biasanya parameter yang paling penting ialah perkalian terhadap nilai tahanan konus (q_c) (Bowles, Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1, 1997).



Gambar 2.1 Rangkaian Alat Sondir

(Sumber : SNI 2827:2008)



Gambar 2.2 Kerucut mekanis (Kerucut Belanda), urutan pengoperasian dan data tahanan ujung.

(Sumber : Bowles, 1997)

Di dalam penelitian ini membutuhkan data hasil pengujian sondir yang berasal dari daerah yang terdampak longsor untuk mengetahui parameter tanah yang menunjukkan rembesan yang merupakan penyebab terjadinya longsor pada lereng tanah. Kabupaten Tapanuli Utara menjadi salah satu daerah yang terdampak bencana longsor, maka diperlukan data pengujian sondir dari lokasi untuk kemudian diketahui nilai parameter rembesannya (koefisien rembesan, k).

2.1.2 Stabilitas Lereng

Gaya-gaya gravitasi dan rembesan (*Seepage*) cenderung menyebabkan ketidakstabilan (*instability*) pada lereng alami (natural slope), pada lereng yang dibentuk dengan cara penggalian dan pada lereng tanggul serta bendungan tanah (*earth dams*) (Craig, 1989).

Tanah yang tidak rata dan memiliki beda tinggi akan menyebabkan adanya gaya gravitasi dari berat sendiri material tanah sehingga memiliki kecenderungan

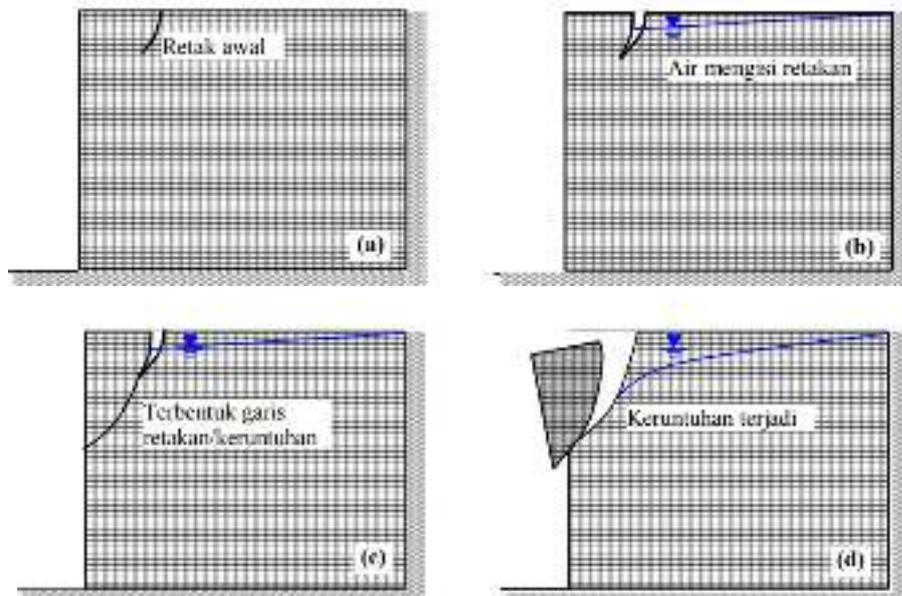
untuk menggerakkan masa tanah dari elevasi lebih tinggi ke elevasi yang lebih rendah. Pada tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggiannya, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak kearah bawah. Disamping gaya yang mendorong ke bawah terdapat pula gaya-gaya dalam tanah yang bekerja menahan/melawan sehingga kedudukan tanah dapat tetap stabil. Gaya pendorong berupa gaya berat dan gaya tiris/muatan, gaya-gaya ini yang mampu menyebabkan terjadinya longsor. Gaya-gaya penahan berupa gaya gesekan/geseran, lekatan (kohesi) dan kekuatan geser tanah. Jika gaya-gaya pendorong lebih besar dari gaya-gaya penahan, maka tanah mulai akan runtuh dan akhirnya terjadi keruntuhan tanah sepanjang bidang yang menerus dan masa tanah diatas bidang yang menerus ini akan longsor. Peristiwa ini disebut keruntuhan lereng (longsor) dan bidang yang menerus ini disebut bidang gelincir.

Beban yang meningkat pada permukaan tanah akan meningkatkan tegangan geser dalam tanah termasuk meningkatnya tekanan air pori, naiknya tekanan air pori mampu menurunkan stabilitas lereng. Kadar air pada tanah yang berubah diakibatkan oleh air hujan atau pun resapan air yang terjadi di dalam tanah mampu meningkatkan kadar air pada butir tanah dan menurunkan kekuatan geser dalam lapisan tanah. Air akan menyebabkan bidang kontak antar butir melemah yang diakibatkan karena air dapat menurunkan tingkat kelekatan butir, sehingga air yang mengisi retakan akan mendorong tanah ke arah lateral atau dapat menyebabkan kenaikan tekanan lateral. Air atau rembesan ini sangat berperan di dalam faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng. Faktor-faktor yang mampu mengurangi kuat geser antara lain adalah:

1. Meningkatnya tekanan air pori karena infiltrasi ke dalam lereng, debit air yang tidak terkontrol pada saluran drainase, atau gempa bumi yang mengakibatkan naiknya tekanan air pori.
2. Tanah pada lereng mengandung mineral lempung yang mengembang sehingga mudah menyerap air tetapi dapat menghilangkan lekatan tanah.
3. Pelapukan dan degradasi fisika-kimia karena pertukaran ion, proses hidrolisis, penggaraman.

4. Keruntuhan yang bertahap karena penguatan regangan geser (*shear strain softening*).

Tahap rembesan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.3 Tahapan Keruntuhan Lereng Akibat Infiltrasi Air

(Sumber : Muntohar, 2006)

Pada Gambar 2.1 dijelaskan keruntuhan lereng akibat terjadinya infiltrasi pada permukaan tanah yang memiliki 4 tahap, antara lain adalah:

- a) Tahap I Retak awal

Terjadi keretakan pada permukaan tanah.

- b) Tahap II Air mengisi retakan

Menyebabkan adanya rembesan air dalam tanah dan menyebabkan terbentuknya aliran air pada bagian lereng.

- c) Tahap III Retak merambat

Genangan air yang terjadi pada permukaan akan menimbulkan erosi di permukaan tanah. Selanjutnya keretakan itu semakin lama akan semakin memanjang di sepanjang permukaan tanah dan membuat garis keruntuhan pada lereng.

- d) Tahap IV Keruntuhan

Terjadi keruntuhan secara tiba-tiba dan membentuk blok runtuh sendiri.

2.1.3 Koefisien Permeabilitas dan Rembesan

Tanah merupakan susunan butiran padat dan pori-pori yang saling berhubungan satu sama lain sehingga air dapat mengalir dari satu titik yang mempunyai energi yang lebih tinggi ke titik yang mempunyai energi yang lebih rendah. Studi mengenai aliran air melalui pori-pori tanah diperlukan dalam mekanika tanah karena hal ini sangat berguna dalam memperkirakan jumlah rembesan air dalam tanah, menyelidiki permasalahan-permasalahan yang menyangkut pemompaan air untuk konstruksi di bawah tanah, dan menganalisis kestabilan dari suatu bendungan tanah dan konstruksi dinding penahan tanah yang terkena gaya rembesan (Das, Mekanika Tanah , 2020).

Koefisien permeabilitas tergantung pada ukuran rata-rata pori yang dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel, bentuk partikel dan struktur tanah. Secara garis besar makin kecil ukuran partikel maka makin kecil pula ukuran pori dan makin rendah koefisien permeabilitasnya. Tanah berlapis-lapis permeabilitas untuk aliran sejajar lapisan lebih besar daripada permeabilitas untuk aliran tegak lurus lapisan . Permeabilitas lempung yang bercelah lebih besar daripada lempung yang tidak bercelah (Craig, 1989).

Koefisien permeabilitas dapat diperoleh dengan melakukan serangkaian pengujian di lapangan juga diperlukan pengujian di laboratorium untuk memperoleh koefisien rembesan sesuai dengan kondisi tanah asli. Pada penelitian ini koefisien rembesan diperoleh berdasarkan hasil klasifikasi jenis tanah yang diperoleh dari pengujian sondir.

2.1.4 Klasifikasi Jenis Tanah

Di dalam dunia konstruksi teknik sipil tanah merupakan hal yang sangat penting sebagai pertimbangan untuk membangun sebuah konstruksi di atasnya. Penyelidikan tanah diperlukan agar dapat menjadi referensi mendesain suatu konstruksi yang aman dan ekonomis juga dapat menghindari kesulitan-kesulitan saat masa konstruksi berlangsung (Craig, 1989).

Melalui uji *Cone Penetration Test* (CPT) dapat ditentukan lapisan dan jenis-jenis tanah yang di uji. Jenis-jenis tanah dapat diperoleh berdasarkan grafik

Robertson dan Campanella dalam menentukan jenis tanah data yang digunakan adalah nilai tahanan konus (q_c) dan *friction ratio* ($Fr\%$). Untuk menentukan nilai *friction ratio* dapat menggunakan rumus empiris sebagai berikut:

$$(Fr = (fs/qc) \times 100\%) \quad (1)$$

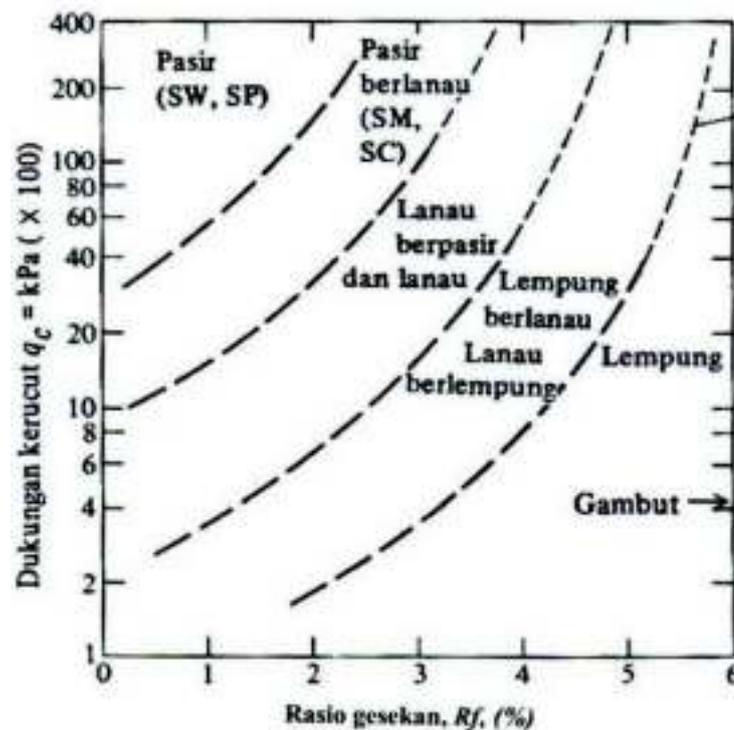
Keterangan:

Fr = *Friction Ratio* (%)

q_c = *Cone Penetration* (kg/cm^2)

fs = *Skin Friction* (kg/cm^2)

Berdasarkan nilai tahanan konus (q_c) dan *friction ratio* ($Fr\%$) yang diperoleh, maka dapat digunakan pada korelasi Robertson dan Campanella (1983) seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.4 Grafik Robertson dan Campanella (1983)

(Sumber : Bowles, 1997)

Korelasi *Robertson dan Campanella* menghasilkan 6 klasifikasi jenis tanah seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Jenis-jenis Tanah Pada Grafik *Robertson dan Campanella*

No.	Jenis Tanah
1	Gambut
2	Lempung
3	Lempung Berlanau/Lanau Berlempung
4	Lanau Berpasir dan Lanau
5	Pasir Berlanau (SM, SC)
6	Pasir (SW, SP)

(Sumber : Bowles, 1997)

Berdasarkan jenis tanah yang diperoleh, dari Tabel 2.1, maka dapat digunakan dalam menentukan koefisien permeabilitas tanah (k) dengan cara empiris dari tabel hubungan antara jenis tanah dengan koefisien permeabilitas, dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Harga-harga Koefisien Rembesan (k) pada beberapa Tipe Tanah

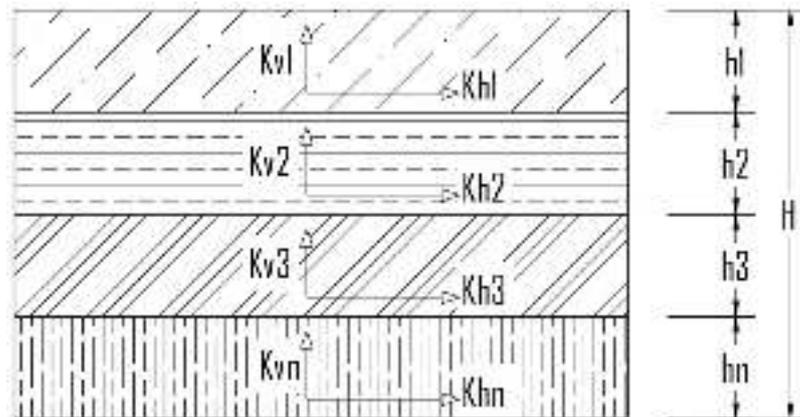
Jenis Tanah	k (cm/det)
Kerikil bersih	> 1.0
Pasir bersih dengan campuran kerikil	$1.0 - 10^{-3}$
Pasir, lanau dan campuran tanah pasir, lanau dan lempung	$10^{-3} - 10^{-5}$
Lempung yang terbuka, lanau dan lempung kelanauan	$10^{-5} - 10^{-7}$
Lempung	$< 10^{-7}$

(Sumber: Das, 2020)

Harga koefisien rembesan (k) yang digunakan pada penelitian ini merupakan nilai terkecil.

2.1.5 Permeabilitas Ekuivalen

Koefisien permeabilitas tidak selalu homogen, hal ini dikarenakan kondisi tanah yang berlapis-lapis dengan arah lapisan horizontal maupun vertikal. Koefisien rembesan dihitung dengan persamaan 2 dan persamaan 3.



Gambar 2.5 Lapisan Tanah

Perhitungan koefisien rembesan arah horizontal (k_H)

$$k_{Heq} = \frac{1}{H}(k_1 \cdot h_1 + k_2 \cdot h_2 + k_3 \cdot h_3 + \dots + k_n \cdot h_n) \quad (2)$$

Keterangan:

- k_{Heq} = Koefisien Ekuivalen Horizontal (cm/detik)
- h = Tebal lapisan tanah (cm)
- H = Kedalaman Tanah (cm)
- k = koefisien rembesan (cm/detik)

Perhitungan koefisien rembesan arah vertikal (k_v)

$$k_{veq} = \frac{H}{\frac{h_1}{k_1} + \frac{h_2}{k_2} + \frac{h_3}{k_3} + \dots + \frac{h_n}{k_n}} \quad (3)$$

Keterangan:

- k_{veq} = Koefisien Ekuivalen Vertikal (cm/detik)
- h = Tebal lapisan tanah (cm)

- H = Kedalaman Tanah (cm)
- k = koefisien rembesan (cm/detik)

Maka k ekuivalen dapat dihitung dengan persamaan 4:

$$k_{eq} = \sqrt{k_{11} \cdot k_{22} \cdot k_{33} \cdot k_{44}} \quad (4)$$

Keterangan:

- k_{eq} = Koefisien Ekuivalen (cm/detik)

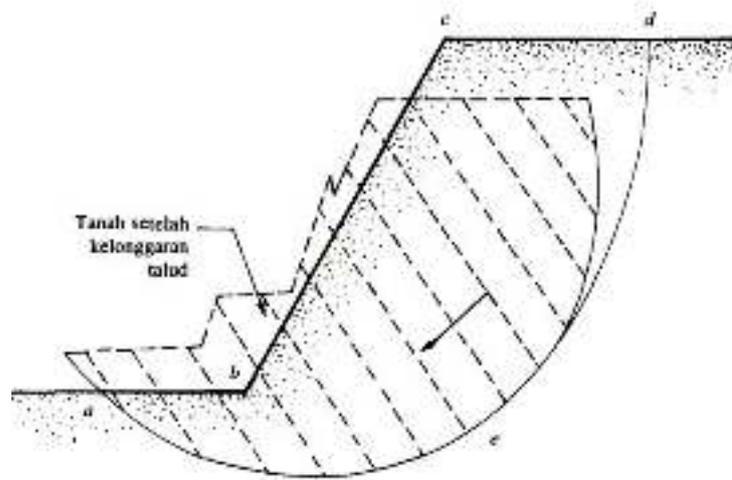
2.1.6 Faktor keamanan Lereng

Dalam Analisa stabilitas lereng dikenal istilah nilai factor keamanan (*Safety Factor*) yang merupakan perbandingan antara gaya-gaya yang menahan, terhadap gaya-gaya yang menggerakkan tanah,

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (5)$$

Dengan,

- F_s = angka keamanan terhadap kekuatan tanah
- τ_f = kekuatan geser rata-rata dari tanah
- τ_d = tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor



Gambar 2.6 Kelonggaran Talud

(Sumber : Das, 2020)

Nilai faktor keamanan lereng dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Nilai Faktor Keamanan (FK)

Nilai Faktor Keamanan (FK)	Kejadian/Intensitas Longsor
< 1,2	Tinggi : Gerakan Tanah Sering Terjadi
1,2 < SF ≤ 1,7	Menengah : Gerakan Tanah Dapat Terjadi
1,7 < SF ≤ 2,0	Rendah : Gerakan Tanah Jarang Terjadi
> 2,0	Sangat Rendah : Gerakan Tanah Sangat Jarang Terjadi

(Sumber: Ward. R, 1987 dalam SNI 13-7124-2005,2005)

2.2 Geo-Studio

Geo-Studio merupakan piranti lunak yang digunakan oleh para insinyur geoteknik dalam pemodelan berbagai simulasi tentang masalah-masalah yang berkaitan dengan sifat fisik dan mekanik tanah. *Geo-Studio* berasal dari Kanada, Amerika Utara yang dikembangkan oleh perusahaan swasta (Krisdianto. F, 2021). Di dalam aplikasi ini terdapat berbagai macam fitur program yang dapat digunakan untuk mendukung di dalam bidang rekayasa geofisika dan lainnya yang berkaitan dengan ilmu bumi. Berikut berbagai program di dalamnya:

1. *SLOPE/W*

Merupakan program yang digunakan untuk menganalisa angka factor keamanan dan stabilitas lereng.

2. *SEEP/W*

Program ini digunakan untuk meneliti rembesan pada tanah atau dapat dikombinasikan bersamaan dengan *SLOPE/W*.

3. *SIGMA/W*

Program ini digunakan untuk menganalisa tekanan geoteknik dan masalah deformasi.

4. *QUAKE/W*

Program ini digunakan untuk menganalisa gempa bumi yang berpengaruh terhadap perilaku tanggul, lahan dan kemiringan lereng.

5. *TEMP/W*

Program ini digunakan untuk menganalisa masalah geothermal.

6. *CTRAN/W*

Pada program dikombinasikan dengan *SEEP/W* untuk memodelkan pengangkutan zat-zat pencemar.

7. *AIR/W*

Merupakan program yang digunakan untuk memodelkan transfer udara dalam limbah tambang dan media berpori lainnya.

8. *VADOSE/W*

Pada program ini dapat dilakukan pemodelan dan perhitungan besaran energy perputaran aliran air berdasarkan data iklim.

2.2.1 SLOPE/W

Slope/W merupakan salah satu program dari software induk yakni *Geo-Studio*. Pada program ini dapat dilakukan analisa stabilitas lereng dan dapat menghasilkan angka keamanan (*safety factor*). Terdapat 8 metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium*) di dalam program ini yang dapat digunakan untuk menganalisis masalah stabilitas sederhana juga kompleks. Pada penelitian ini program *Slope/W* dikombinasikan dengan *Seep/W* untuk mengetahui angka keamanan (*Safety factor*) pada suatu lereng dengan pengaruh rembesan.

2.2.2 SEEP/W

Seep/W juga program pada *Geo-Studio* yang digunakan untuk menganalisa rembesan air dalam tanah dan tekanan air rembesan. Pada penelitian ini *Seep/W* digunakan sebagai analisis pendukung untuk mengetahui pengaruh rembesan terhadap angka keamanan lereng (*safety factor*).

2.3 Metode Stabilitas Lereng

Di dalam praktek metode keseimbangan batas (*limiting equilibrium method*) digunakan dalam menganalisis stabilitas lereng. Dianggap bahwa keruntuhan terjadi pada titik di sepanjang permukaan runtuh yang di asumsikan maupun yang

diketahui. Kekuatan geser dengan dibutuhkan untuk mempertahankan kondisi keseimbangan batas dibandingkan dengan kekuatan geser yang ada pada tanah, dan akan memberikan factor keamanan rata-rata di sepanjang permukaan runtuh (Craig, 1989).

Dengan demikian untuk keperluan analisa stabilitas lereng (*Slope stability*) pada Geo-Studio menggunakan metode limit equilibrium dengan menggunakan metode analisis *Ordinary*, *Bishop* dan *Janbu*.

2.3.1 Ordinary

Metode *ordinary* menganggap gaya yang bekerja pada pias arah vertikal diabaikan meskipun asumsi secara statis kurang memuaskan, pada semua irisan berat (W_i) yang diberikan dapat ditetapkan sebagai hasil yang melintasi tiap bagian dari gaya berat serta lebar irisan (John N Cernina dalam Hendra Usnaini, 2007). Lalu untuk gaya berat diasumsikan melewati titik pusat tiap irisan. Untuk menentukan nilai faktor keamanan *Ordinary* menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^n [c + (W_i \cos \alpha_i - \Delta l_i) \tan \phi]}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i} \quad (6)$$

Keterangan :

- SF = Faktor aman
- c = Kohesi tanah efektif (kN/m²)
- W_i = Gaya berat
- Φ = Sudut gesek internal tanah (°)
- Δl_i = Lebar irisan ke-i
- α_i = Sudut irisan ke-i (°)

2.3.2 Bishop Disederhanakan (*Simplified Bishop Method*)

Pada metode ini menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan mempunyai resultan nol arah vertikal. Metode ini merupakan metode yang hasilnya mendekati dengan pengamatan lapangan, sehingga lebih sering

digunakan (H.C. Hardyatmo dalam Hendra Usnaini, 2007). Pada metode *Bishop* untuk mendapatkan angka keamanan menggunakan persamaan seperti berikut,

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^n \left[c + W_i + (W_i - W_i \sin \theta_i) \tan \Phi \left(\frac{1}{1 + W_i \sin \theta_i / c} \right) \right]}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i} \quad (7)$$

Keterangan :

- SF = Faktor Aman
- c = Kohesi tanah efektif (kN/m²)
- W_i = Gaya berat pias ke-I (kN)
- Φ = Sudut gesek internal tanah (°)
- θ_i = Sudut yang didefinisikan (°)
- b_i = Lebar bagian lingkaran pada pias-I (m)
- u_i = Tekanan air pori ke-i

2.3.3 Janbu

Pada metode *Janbu* menganggap gaya geser yang terjadi pada setiap pias diabaikan tetapi gaya geser secara keseluruhan pada bidang longsor diperhitungkan. Dengan mengandalkan keseimbangan gaya-gaya vertikal setiap pias dan gaya horisontal secara keseluruhan sedangkan keseimbangan momen tidak ditinjau (H.C. Hardyatmo dalam Hendra Usnaini, 2007). Cara *Janbu* menghitung factor keamanan dengan persamaan berikut,

$$SF = \frac{\sum (c \cdot \Delta x_i + [(W_i \cdot \Delta x_i) \tan \Phi - W_i \sin \theta_i] \frac{1}{1 + W_i \sin \theta_i / c}}{\sum (W_i + \Delta x_i) \sin \theta_i} \quad (8)$$

Keterangan :

- SF = Faktor aman
- c = Kohesi tanah efektif (kN/m²)
- W_i = Gaya berat pias ke-I (kN)
- Φ = Sudut gesek internal tanah (°)
- Δx_i = Lebar irisan ke-i
- Φ = Sudut gesek dalam tanah efektif (°)
- θ_i = Sudut irisan ke-i
- Δs = Resultan gaya-gaya yang bekerja pada sisi irisan arah vertikal

2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu diperlukan pada penelitian ini sebagai rujukan dan perbandingan hasil analisis yang terkait pada topik penelitian. Juga agar menghindari dugaan kesamaan dengan penelitian ini. Hasil Penelitian Pulung Arya Pranantya, Emi Sukiyah, Edi Prasetyo Utomo dan Hendarmawan. (2018) pada Jurnal Sumber Daya Air Vol. 14 No.2, Desember 2018: 73 – 86). Penelitian ini berjudul “*Korelasi Nilai Sondir Terhadap Parameter Geoteknik dan Rembesan Pada Pondasi Tanggul Fase E, Kalibaru, Jakarta Utara*”. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui korelasi nilai sondir terhadap parameter tanah dan rembesan pada Pondasi Tanggul Fase E, kalibaru.

Pada penelitian ini dalam mendapatkan nilai koefisien rembesan menggunakan data sekunder data hasil penyelidikan sondir (CPT) dan *hand auger* yang dilakukan pada 3 titik pengujian. Berikut ini merupakan hasil koefisien rembesan pada daerah penelitian:

Lapisan 1 H1 : 2.4518 m k: 3.24E-09 m/s

Lapisan 2 H2 : 3.9958 m k: 1.72E-06 m/s

Lapisan 3 H3 : 2.6659 m k: 1.89E-07 m/s

Lapisan 4 H4 : 0.9732 m k: 1.96E-06 m/s

Lapisan 5 H5 : 9.9143 m k: 1.13E-05 m/s

Dengan jenis tanah per lapisan berturut-turut adalah *Silty Clay*, *Silty Sand*, *Sandy Silt*, *Silty Sand* dan *Clean Sand*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Pengumpulan Data

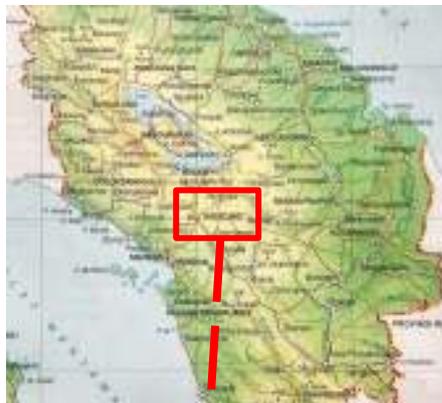
Pada penelitian ini pengumpulan data dilakukan dengan mengambil hasil pengujian tanah melalui pihak perusahaan yang terkait dalam pekerjaan penyelidikan tanah. Data yang diperoleh berasal dari hasil pengujian tanah pada proyek Pekerjaan Jalan Longsor di kota Tarutung, kabupaten Tapanuli Utara. Dalam penelitian ini digunakan data hasil pengujian CPT (Cone Penetration Test) berupa nilai tahanan konus (q_c) yang kemudian akan di korelasikan dengan parameter tanah.

3.2 Metode Analisis Data

Metode analisis data adalah metode analisis hubungan. Data hasil uji sondir akan diinterpretasikan kemudian dihubungkan pada data empiris sehingga didapat korelasi tahanan konus (q_c) terhadap parameter tanah dan rembesan.

3.3 Lokasi Data Penelitian

Lokasi hasil pengujian sondir yang didapat berasal dari proyek Pekerjaan Perbaikan Jalan Longsor, Kota Tarutung, Kabupaten Tapanuli Utara, Sumatera Utara. Pada lokasi ini terdapat 5 titik pengujian diantaranya adalah STA. 11+115, STA. 17+100, STA. 32+110, STA. 46+950 dan STA 49+670.



Gambar 3.1. Peta Sumatera Utara
(Sumber: www.google.com)



Gambar 3.2. Kabupaten Tapanuli Utara

(Sumber: www.google.com)

3.4 Data Penelitian

Pada proses penelitian yang digunakan adalah data sekunder berupa nilai hambatan konus (qc) hasil penyelidikan tanah CPT (*Cone Penetration Test*) yang dilakukan oleh suatu perusahaan yang bergerak di bidang penyelidikan tanah.

3.5 Langkah-langkah Penelitian

Ada beberapa langkah-langkah penelitian yang dilakukan seperti di uraikan berikut,

1. Mengumpulkan literatur yang relevan dengan topik penelitian
2. Mempelajari literatur yang sudah di peroleh
3. Mengumpulkan beberapa referensi sebagai pendukung penelitian
4. Merumuskan maksud dan tujuan penelitian
5. Menentukan data apa saja yang diperlukan kemudian dikumpulkan untuk keperluan penelitian
6. Melakukan analisa data yang sudah di kumpulkan

7. Membahas hasil analisis yang sudah diperoleh
8. Membuat kesimpulan dan saran

3.6 Pemodelan Pada *Geo-Studio*

3.6.1 Propertis Tanah

Pada penelitian ini pemodelan dilakukan berdasarkan dari parameter tanah lokasi pengujian, yaitu STA 32+110, STA 46+950 dan STA 49+670. Dengan data muka air tanah (MAT) pada kedalaman -1.00 meter. Untuk propertis yang digunakan dalam pengaplikasian diuraikan sebagai berikut,

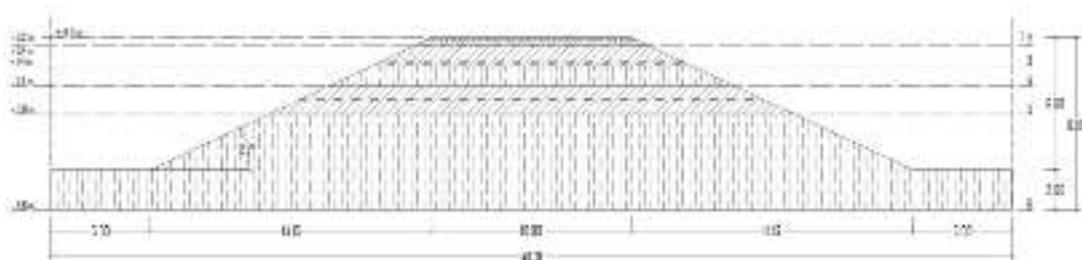
1. Propertis Tanah pada STA 32+110

Untuk mengetahui pengaruh rembesan, maka dilakukan simulasi analisa dengan propertis tanah pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Material Tanah (STA 32+110)

Lapisan	Jenis Tanah	γ kN/m ³	ϕ	c (kPa)	k (m/detik)
1	Lempung	11,77	25	2	1.E-10
2	Lempung Berlanau	11,28	30	2	1.E-09
3	Pasir Berlanau	13,73	30	3	1.E-07
4	Pasir	15,20	35	5	1.E-05
5	Pasir Berlanau	13,73	30	3	1.E-07
6	Pasir	15,20	35	5	1.E-05

Dengan geometri lereng dengan sudut kemiringan 25° seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Geometri Lereng STA 32+110

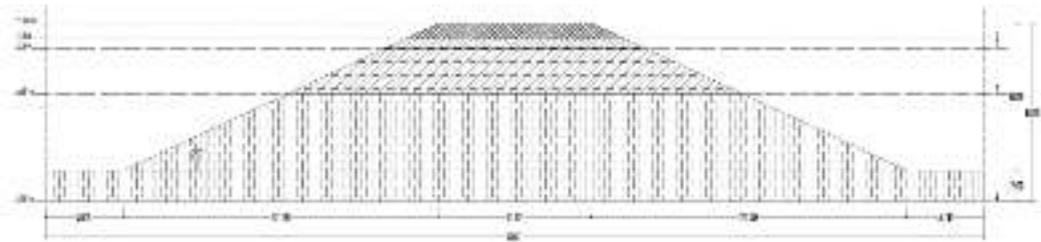
2. Propertis Tanah pada STA 46+950

Untuk mengetahui pengaruh rembesan, maka dilakukan simulasi analisa dengan propertis tanah pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Material Tanah (STA 46+950)

Lapisan	Jenis Tanah	kN/m^3	γ	c (kPa)	k (m/detik)
1	Lempung	11,77	25	2	1.E-10
2	Lempung Berlanau	11,28	30	2	1.E-09
3	Pasir Berlanau	13,73	30	3	1.E-07
4	Pasir	15,20	35	5	1.E-05

Dengan geometri lereng dengan sudut kemiringan 25° seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.4. Geometri Lereng STA 46+950

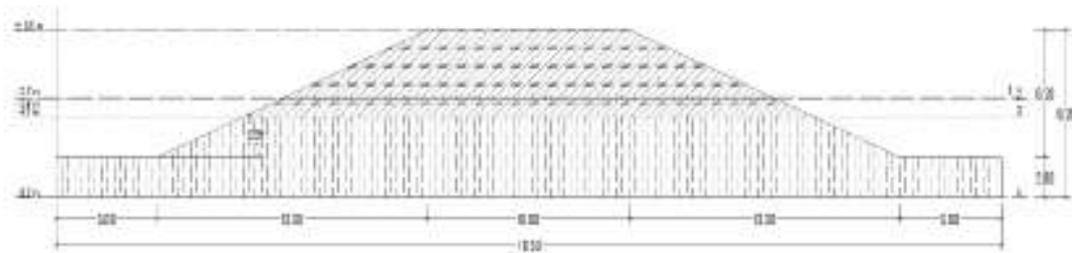
3. Propertis Tanah pada STA 49+670

Untuk mengetahui pengaruh rembesan, maka dilakukan simulasi analisa dengan propertis tanah pada Tabel 3.2.

Tabel 3.3 Data Material Tanah (STA 49+670)

Lapisan	Jenis Tanah	kN/m^3	γ	c (kPa)	k (m/detik)
1	Pasir Berlanau	13,73	30	3	1.E-07
2	Pasir	15,20	35	5	1.E-05
3	Pasir Berlanau	13,73	30	3	1.E-07
4	Pasir	15,20	35	5	1.E-05

Dengan geometri lereng dengan sudut kemiringan 25° seperti pada Gambar 3.3.



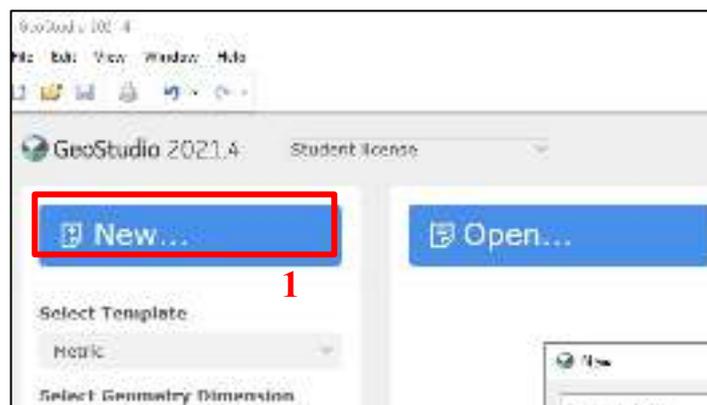
Gambar 3.5. Geometri Lereng STA 49+670

3.6.2 Langkah-langkah pengoperasian Program *Geo-Studio*

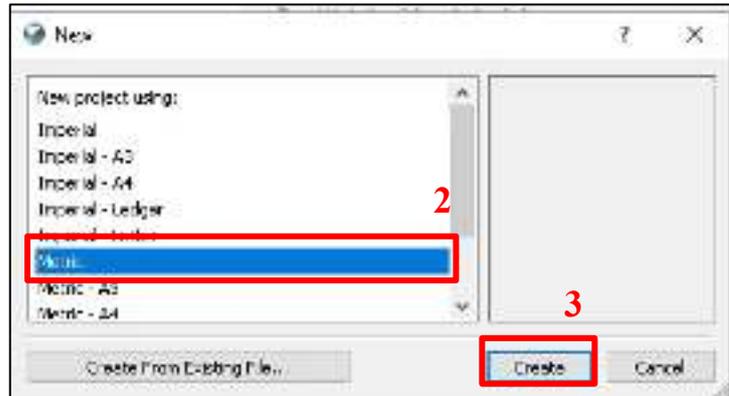
Simulasi dilakukan dengan kombinasi antara *SLOPE/W* dan *SEEP/W*. *SEEP/W* akan berperan memberikan pengaruh rembesan terhadap angka keamanan pada lereng. Sedangkan *SLOPE/W* untuk menghasilkan angka keamanan (*Safety Factor*). Didalam program *Slope/W* metode yang digunakan adalah *Ordinary*, *Bishop* dan *Janbu*. Sedangkan untuk *Seep/W* menggunakan metode *steady state*. Berikut merupakan langkah-langkah pengoperasian kedua program tersebut,

1. Memulai Project

Jalankan Aplikasi *Geo-Studio* – Buat Lembar *Project* baru.



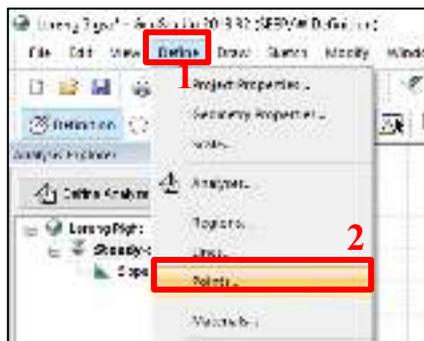
Gambar 3.6 Membuat Project Baru



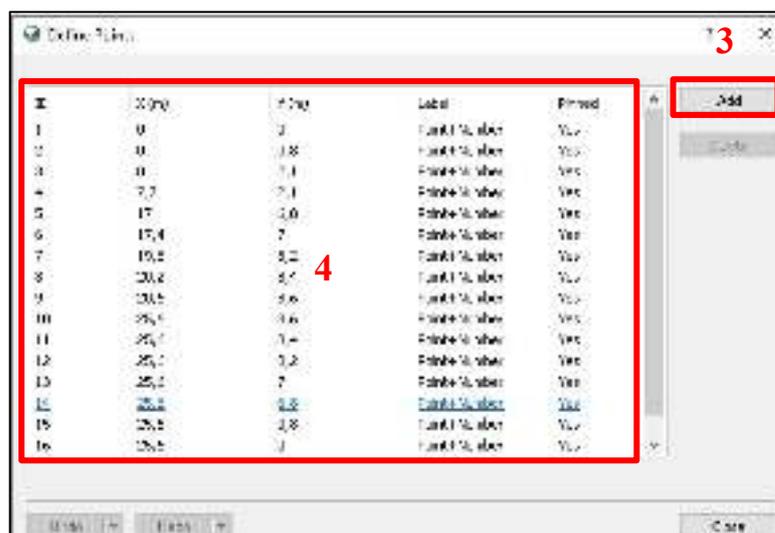
Gambar 3.7 Mengatur Lembar Kerja

2. Membuat koordinat geometri lereng

Define – Points – Add: Masukkan koordinat geometri lereng yang dibentuk



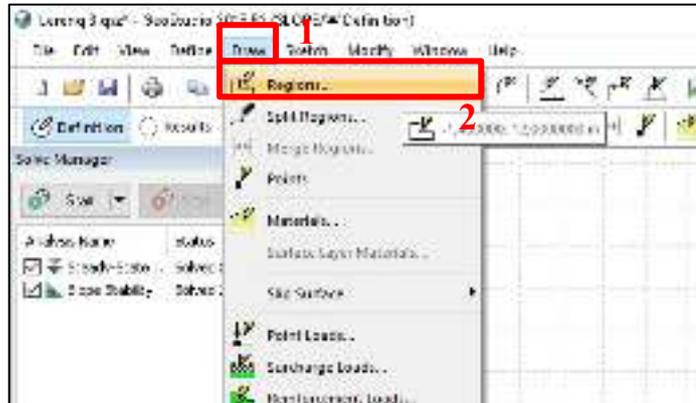
Gambar 3.8 Setting Define Points



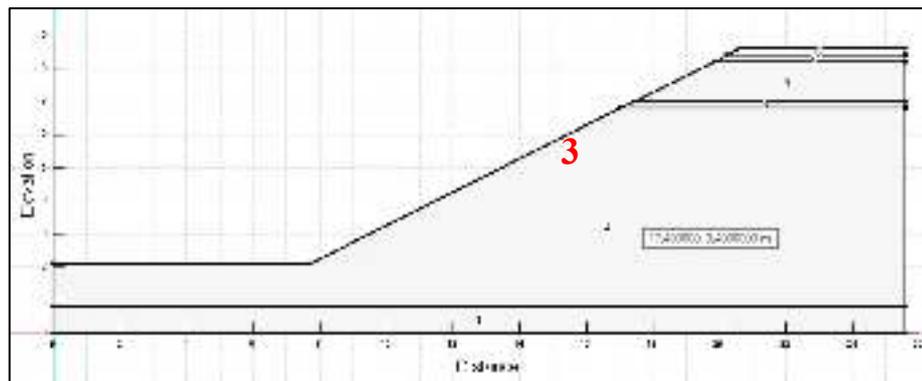
Gambar 3.9 Input Koordinat Geometri

3. Menggambar geometri lereng

Draw – Regions: Hubungkan setiap titik koordinat hingga membentuk sebuah area/badan lereng.



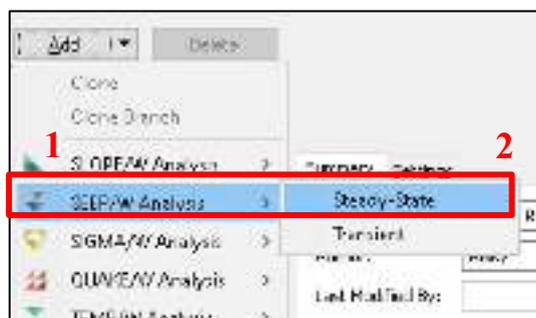
Gambar 3.10 Draw Regions



Gambar 3.11 Geometri Lereng

4. Mengatur analisa rembesan pada SEEP/W

Define – Analysis – Add – SEEP/W Analysis: Steady-State



Gambar 3.12 SEEP/W Analysis

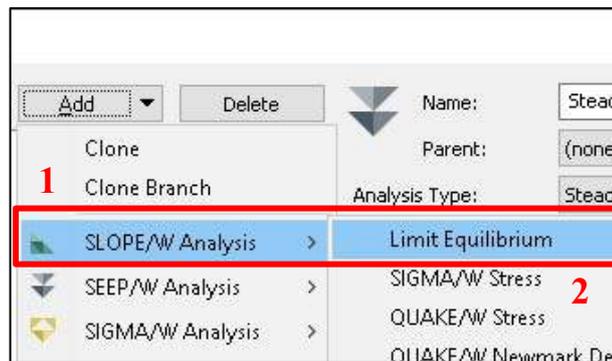
5. Mengatur analisa stabilitas lereng pada *SLOPE/W*

Define – Analysis – Add – SLOPE/W Analysis: Limit Equilibrium.

Parent: Steady-State Seepage – Analysis Type: Bishop.

Settings - PWP Condition from: Parent Analysis.

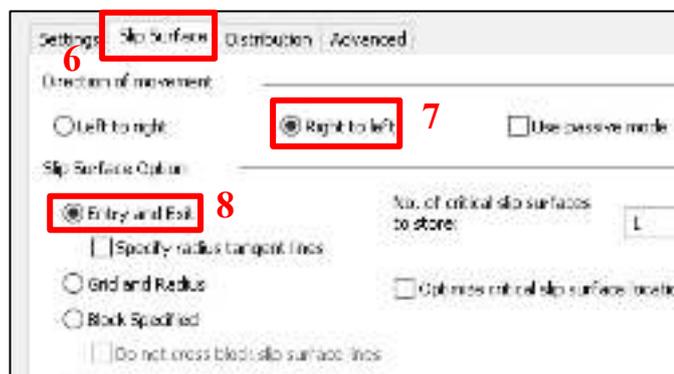
Slip Surface – Direction of Movement: Right to Left – Slip Surface Option: Entry and Exit.



Gambar 3.13 *SLOPE/W Analysis*



Gambar 3.14 *Setting Metode Analisa*



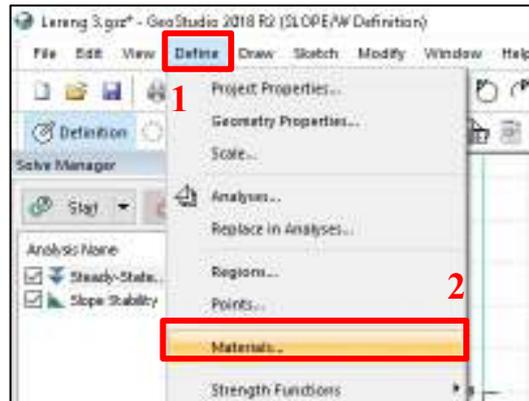
Gambar 3.15 *Setting Slip Surface*

6. Input parameter material tanah untuk Analisa *SEEP/W*

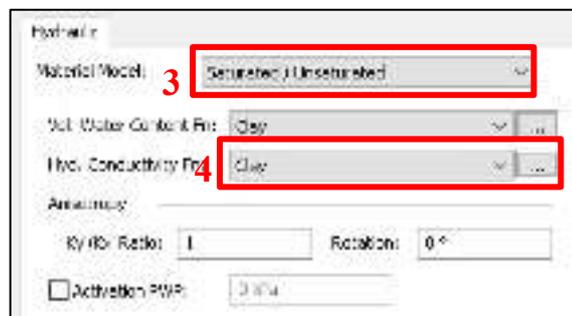
Define – Materials – Add.

Hydraulic – Material Model: Saturated/Unsaturated.

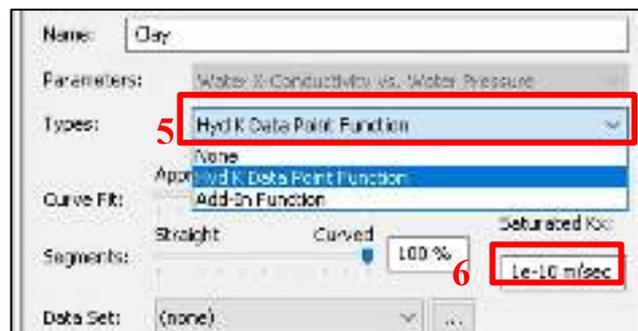
Masukkan parameter tanah sesuai dengan nilai koefisien rembesannya sesuai data pada Tabel 3.1.



Gambar 3.16 *Define Materials*



Gambar 3.17 *Setting Parameter Rembesan*



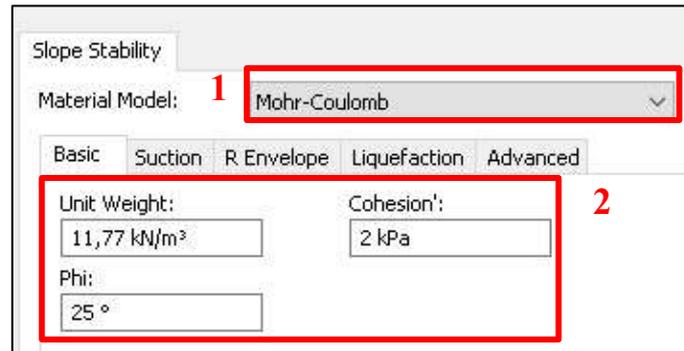
Gambar 3.18 *Input Nilai Koefisien Rembesan, k*

7. Input parameter material tanah untuk Analisa *SLOPE/W*

Define – Materials – Add.

Slope Stability – Material Model: Mohr-Coulomb.

Parameter tanah (γ , c , dan ϕ) yang digunakan sesuai dengan data pada Tabel 3.1.



Gambar 3.19 Input Parameter Tanah

8. Menggambar material tanah pada geometri lereng.

Draw – Material: Gambar material sesuai dengan data lapisan tanah pada tabel.



Gambar 3.20 Draw Materials pada lereng

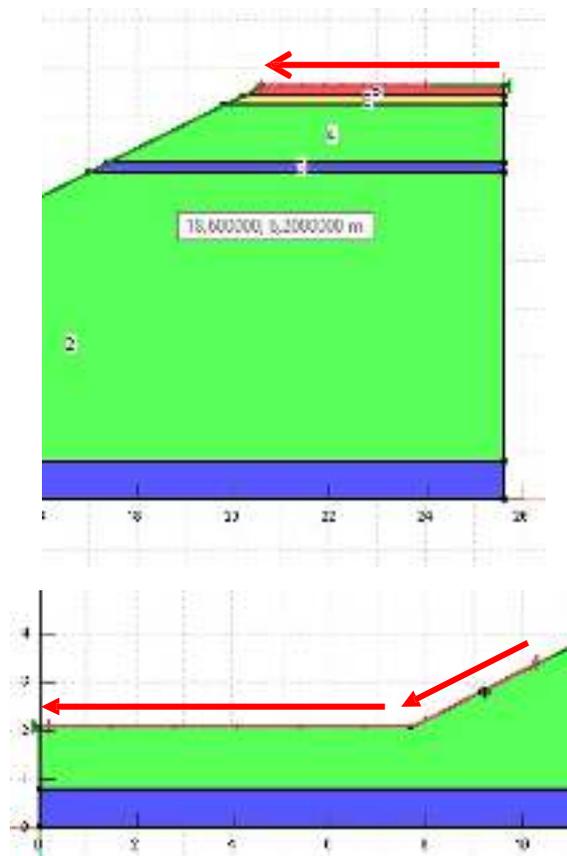
9. Menentukan garis *Enter and Exit*.

Define – Slip Surface – Entry and Exit.

Tarik garis pada bagian atas dan bawah permukaan lereng sebagai arah longsoran (*Right to Left*)



Gambar 3.21 Draw Slip Surface

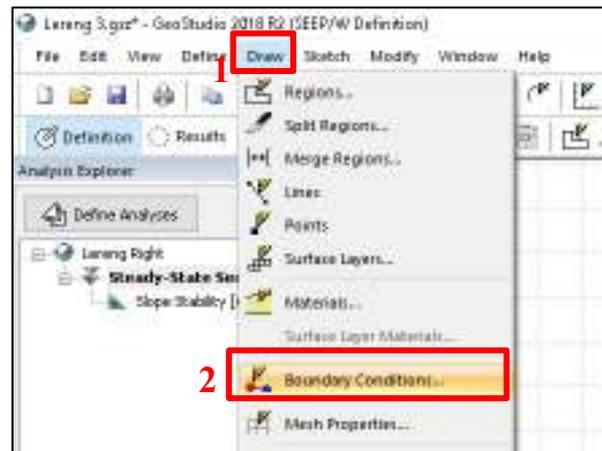


Gambar 3.22 Arah Slip Surface (Right to Left)

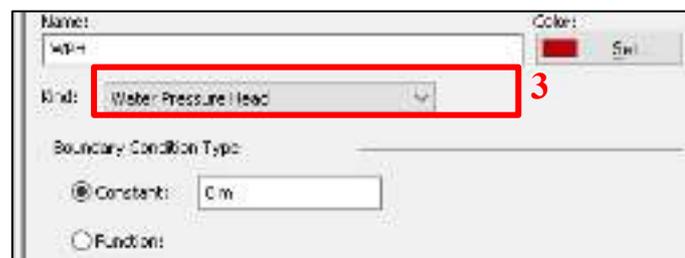
10. Menentukan garis *Water Pressure Head*

Draw – Boundary Conditions – Add.

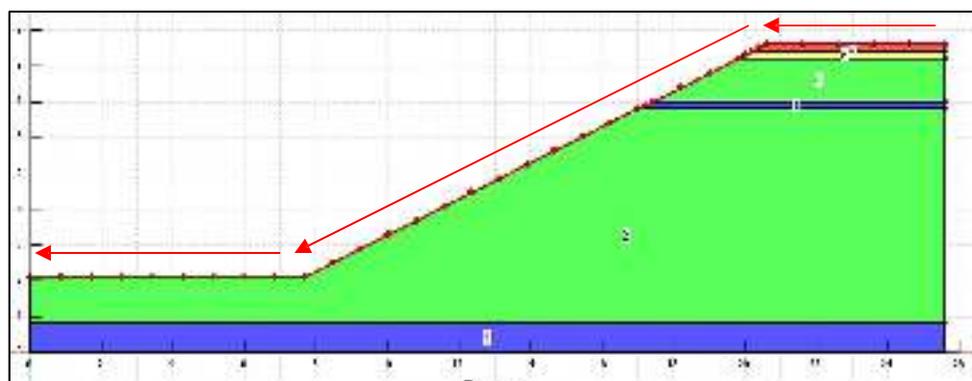
Gambar garis WPH pada permukaan lereng dari arah kanan ke kiri.



Gambar 3.23 Draw Boundary Conditions



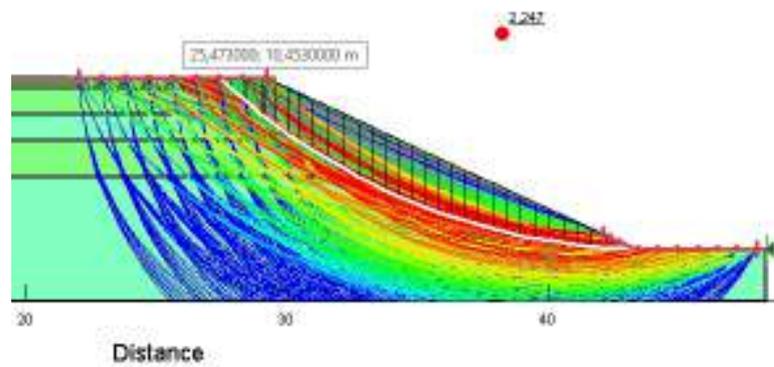
Gambar 3.24 Setting Water Pressure Head



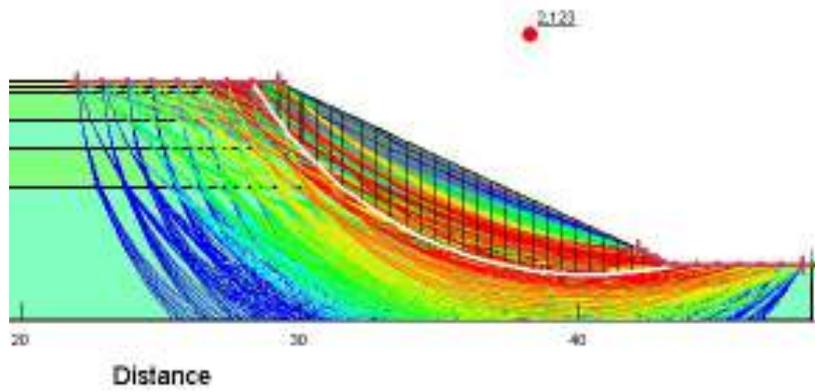
Gambar 3.25 Assign Define Water Pressure Head

11. Hasil Run Analisis

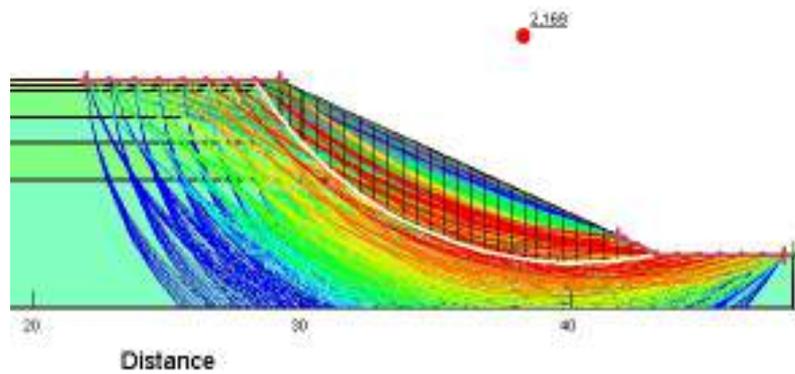
Analisa stabilitas lereng pada program menghasilkan angka keamanan untuk geometri lereng yang tidak dipengaruhi oleh adanya rembesan air sebagai berikut, Hasil *Safety Factor* pada geometri STA 32+110:



Gambar 3.26 *Safety Factor Bishop* pada Geometri STA 32+110

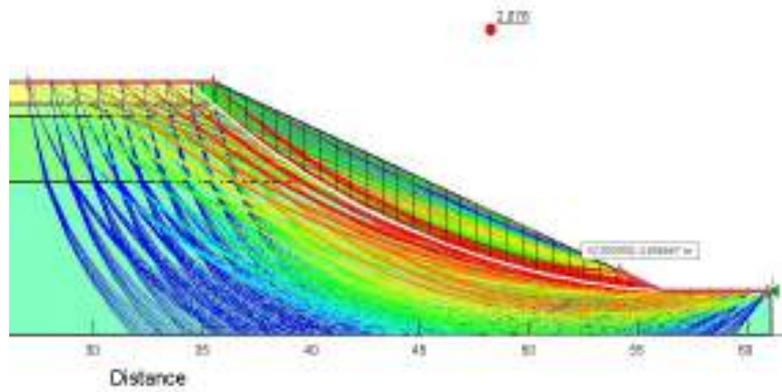


Gambar 3.27 *Safety Factor Janbu* pada Geometri STA 32+110

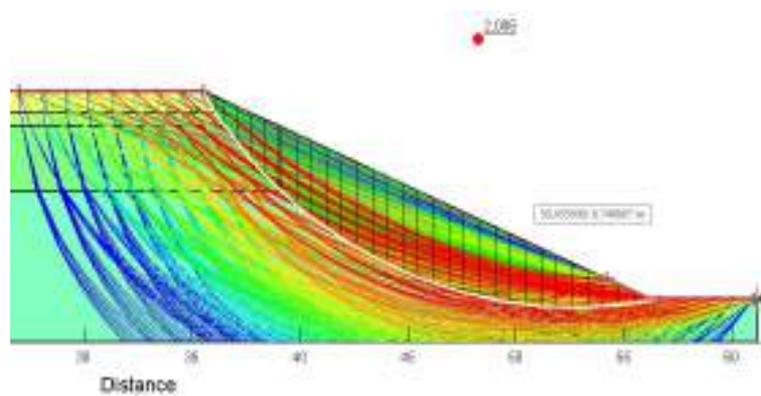


Gambar 3.28 *Safety Factor Ordinary* pada Geometri STA 32+110

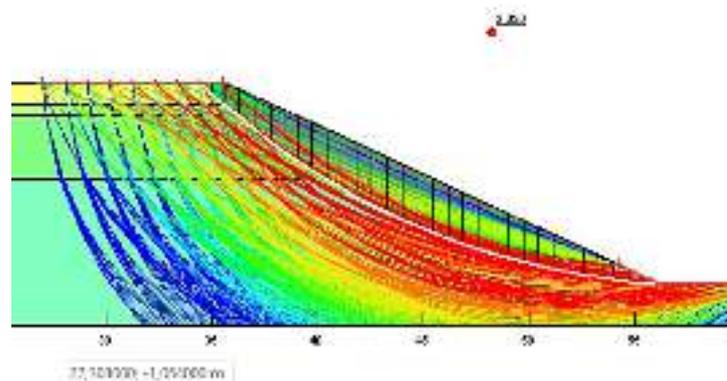
Hasil *Safety Factor* pada geometri STA 46+950:



Gambar 3.29 *Safety Factor Bishop* pada Geometri STA 46+950

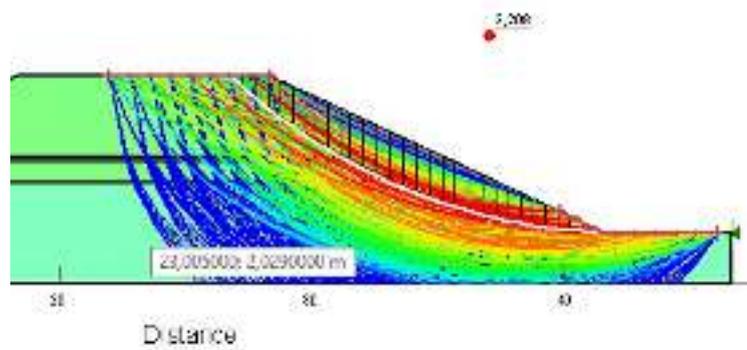


Gambar 3.30 *Safety Factor Janbu* pada Geometri STA 46+950

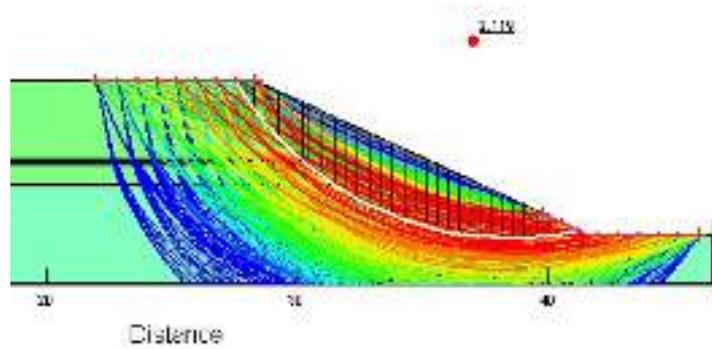


Gambar 3.31 *Safety Factor Ordinary* pada Geometri STA 46+950

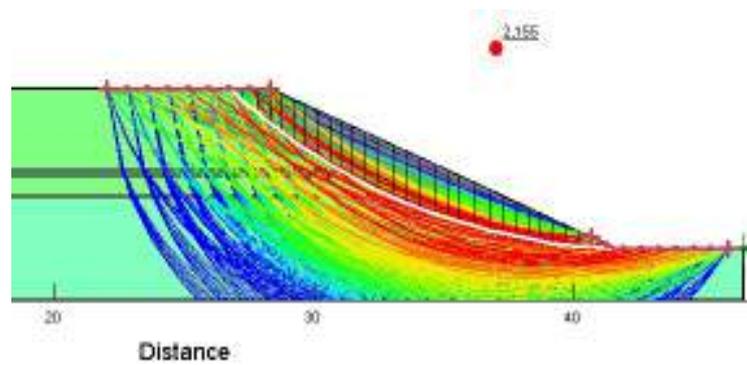
Hasil *Safety Factor* pada geometri STA 49+670:



Gambar 3.32 *Safety Factor Bishop* pada Geometri STA 49+670



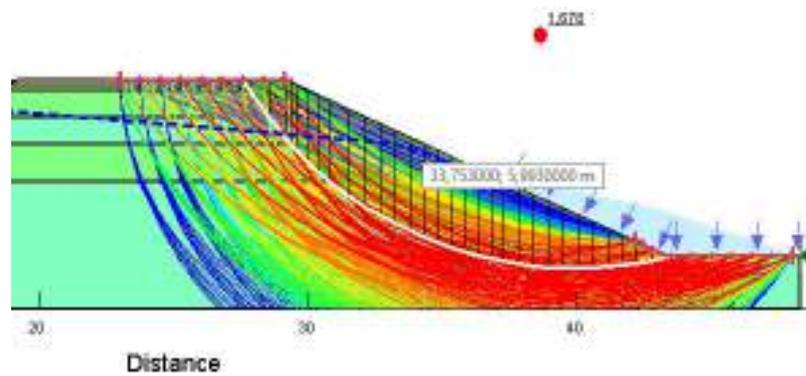
Gambar 3.33 *Safety Factor Janbu* pada Geometri STA 49+670



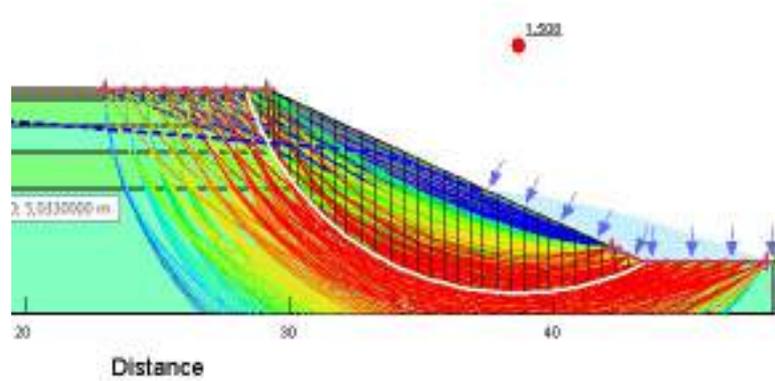
Gambar 3.34 *Safety Factor Ordinary* pada Geometri STA 49+670

Untuk Analisa stabilitas lereng dengan pengaruh rembesan yang di simulasikan pada setiap geometri menghasilkan angka *Safety Factor* sebagai berikut,

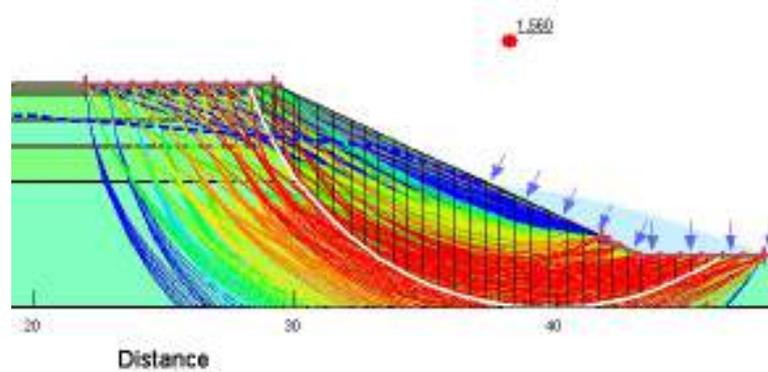
Hasil *Safety Factor* pada geometri STA 32+110:



Gambar 3.35 *Safety Factor Bishop* pada Geometri STA 32+110

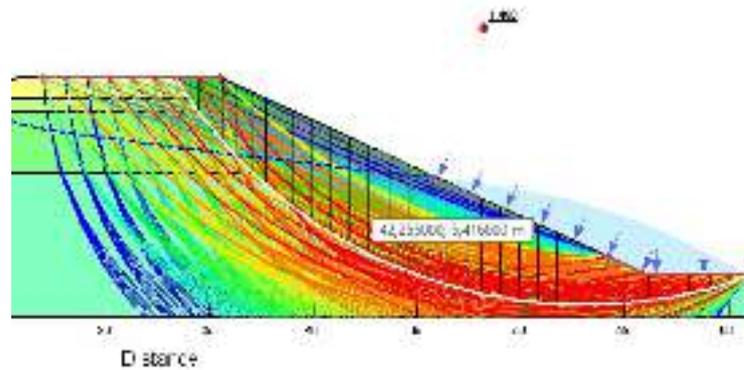


Gambar 3.36 *Safety Factor Janbu* pada Geometri STA 32+110

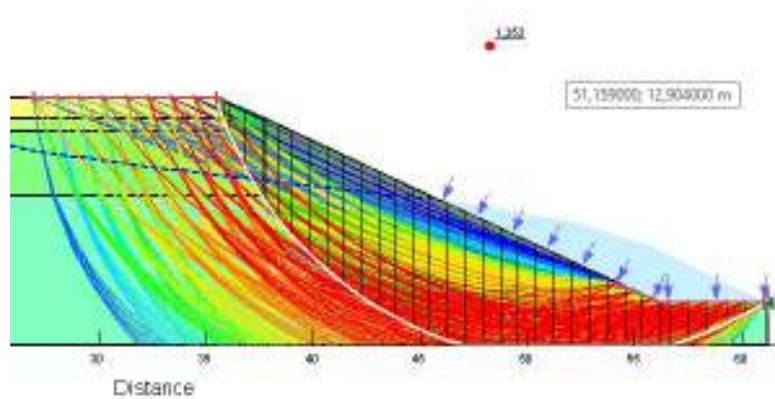


Gambar 3.37 *Safety Factor Ordinary* pada Geometri STA 32+110

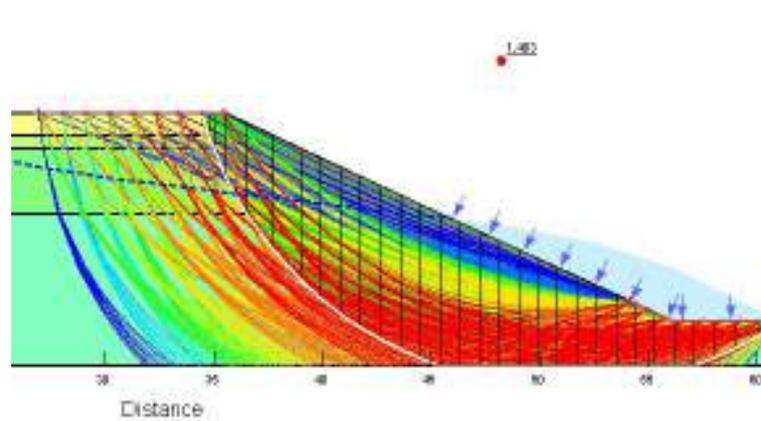
Hasil *Safety Factor* pada geometri STA 46+950:



Gambar 3.38 *Safety Factor Bishop* pada Geometri STA 46+950

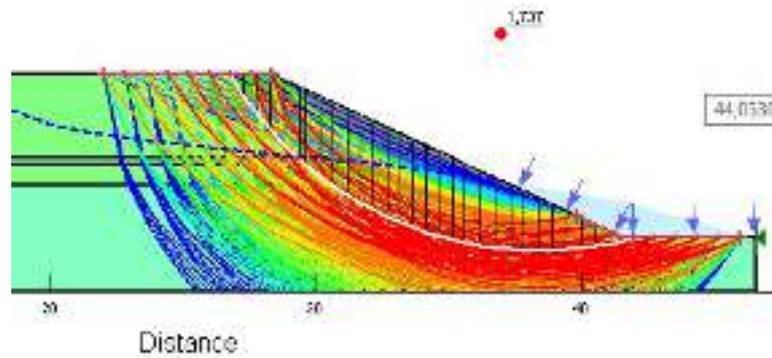


Gambar 3.39 *Safety Factor Janbu* pada Geometri STA 46+950

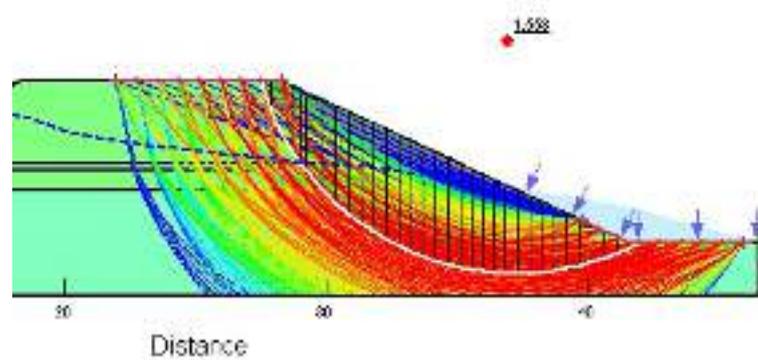


Gambar 3.40 *Safety Factor Ordinary* pada Geometri STA 46+950

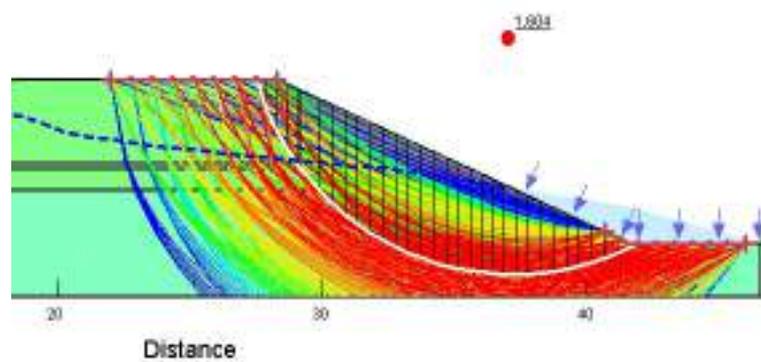
Hasil *Safety Factor* pada geometri STA 49+670:



Gambar 3.41 *Safety Factor Bishop* pada Geometri STA 49+670



Gambar 3.42 *Safety Factor Janbu* pada Geometri STA 49+670



Gambar 3.43 *Safety Factor Ordinary* pada Geometri STA 49+670

3.7 Diagram Alir Penelitian

