

BAB IV

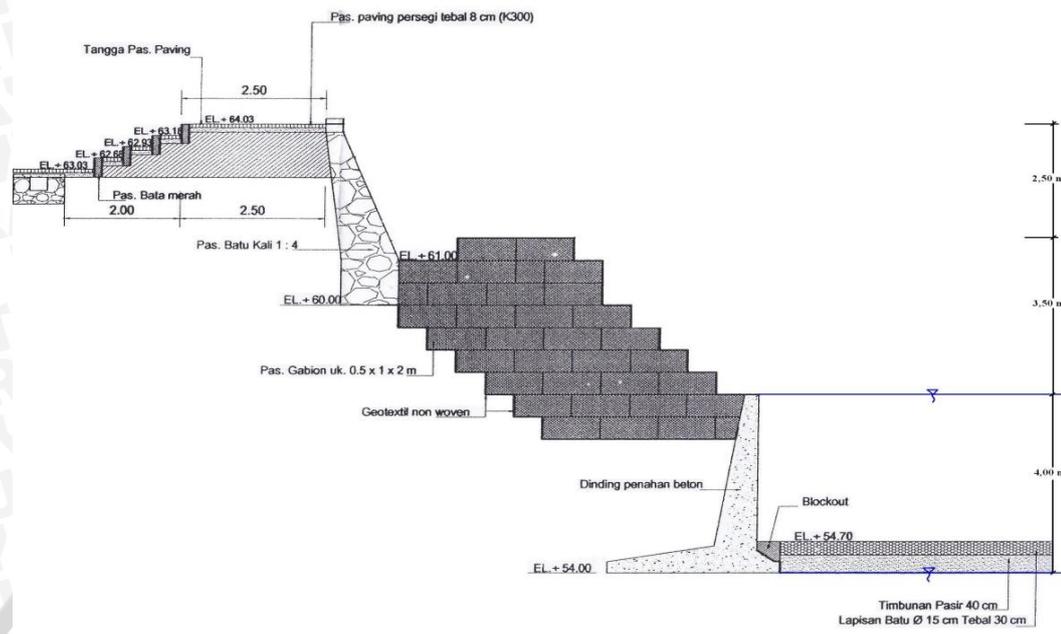
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kerusakan Dinding Penahan Tanah Eksisting

Kerusakan yang terjadi pada dinding penahan tanah eksisting pada embung di Jawa Timur ini dapat dianalisis secara langsung melalui pengamatan yang dilakukan di lapangan. Pengamatan yang dilakukan di lapangan adalah pengamatan yang didasarkan pada foto dokumentasi. Hasil dari pengamatan dapat diketahui bahwa dinding penahan tanah pada embung mengalami kerusakan yang cukup parah. Kerusakan yang terjadi adalah pada setiap sisi embung. Dinding penahan tanah pada embung tersebut mengalami longsor dan pergeseran. Dinding penahan tanah ini terdiri dari kombinasidinding penahan pasangan batu kali 1:4 dan bronjong dengan dimensi 0,5x1x2 m, serta dibagian paling bawah terdapat dinding penahan beton kantilever yang sekaligus berfungsi sebagai *facing* terhadap kondisi air.

Dinding penahan eksisting dengan tinggi 10 m ini berdiri tanpa adanya perkuatan pada bagian pondasi. Diduga tidak adanya perkuatan pada bagian pondasi yang menyebabkan struktur dinding penahan tanah pada embung tersebut mengalami kegagalan saat pembangunan sedang berlangsung. Selain itu tidak adanya pertimbangan beban tambahan berupa bronjong dan pasangan batu kali yang menyebabkan beban untuk dinding penahan kantilever menjadi semakin besar.

Kondisi yang ditinjau dalam studi kasus ini adalah kondisi pertama pada saat muka air normal yaitu saat kondisi kering, dimana embung tidak menampung air atau pada saat embung kosong, sehingga muka air tanah berada pada dasar dinding penahan tanah kantilever. Kondisi kedua adalah kondisi jenuh atau ekstrim, dimana kondisi muka air maksimum terjadi saat embung menampung air, sehingga muka air tanah berada pada elevasi 3 m dari dasar dinding penahan tanah sesuai dengan tinggi dinding penahan tanah kantilever yang berfungsi sebagai *facing*.



Gambar 4.1 Skema kondisi lereng dan struktur dinding Penahan tanah eksisting

Analisis juga dilakukan dengan bantuan perangkat lunak atau *software* untuk mengetahui secara detail penyebab dari kegagalan struktur dinding penahan tanah pada embung tersebut. Perangkat lunak atau *Software* yang digunakan adalah SLOPE/W dan Geo 5, penggunaan dua *software* tersebut adalah untuk saling mengisi kekurangan yang ada pada masing-masing *software*.

Analisis menggunakan *software* yang dilakukan pada tahap awal adalah analisis lereng eksisting secara keseluruhan tanpa mempertimbangkan adanya dinding penahan tanah. Dinding penahan tidak dipertimbangkan dalam analisis ini karena diasumsikan bahwa struktur dinding penahan tanah bersifat aman dan stabil. Analisis pada lereng eksisting menggunakan dua kondisi muka air tanah, kondisi pertama yaitu pada saat kondisi muka air normal atau kondisi kering dan kondisi kedua yaitu pada saat muka air maksimum atau kondisi jenuh. Hasil analisis menggunakan *software* SLOPE/W didapatkan bahwa angka keamanan (FS) pada saat kondisi muka air maksimum atau kondisi jenuh memberikan angka keamanan (FS) yang paling kritis yaitu sebesar 0,351. Angka tersebut menunjukkan bahwa lereng hasil galian tanah datar tersebut dalam keadaan tidak aman dan tidak stabil jika merujuk pada angka keamanan (FS) dan intensitas kelongsoran yang ditulis oleh Bowles (1989) seperti pada **tabel 4.1** berikut:

Tabel 4.1 Hubungan nilai faktor keamanan lereng dan intensitas longsor

Nilai Faktor Keamanan	Kejadian Intensitas Longsor
F kurang dari 1,07	Longsor terjadi biasa / sering (lereng stabil)
F antara 1,07 sampai 1,25	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
F di atas 1,25	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

Tahapan selanjutnya adalah melakukan analisis dinding penahan tanah eksisting dengan bantuan perangkat lunak atau *software*. Analisis pada dinding penahan tanah ini adalah mencakup analisis stabilitas terhadap geser, guling serta daya dukung. Angka keamanan minimum (FS) untuk geser dan guling untuk tanah lempung adalah sebesar 1,5, sedangkan angka keamanan minimum (FS) untuk daya dukung adalah sebesar 3. Dalam studi kasus ini bagian pada dinding penahan eksisting yang ditinjau adalah pada bagian dinding penahan beton kantilever yang berada pada bagian paling bawah.

Analisis stabilitas dinding penahan tanah digunakan *software* Geo 5, dikarenakan pada *software* SLOPE/W tidak dilengkapi fasilitas untuk menghitung stabilitas dinding penahan. Dinding penahan eksisting dianalisis dengan menggunakan dua kondisi, kondisi pertama yaitu pada saat kondisi muka air normal atau saat kondisi kering dan kondisi kedua yaitu pada saat muka air maksimum atau kondisi jenuh. Dari analisis menggunakan *software* geo5 didapatkan bahwa kondisi saat embung terisi air atau kondisi jenuh menghasilkan angka kewanan (FS) yang lebih kritis. Angka keamanan (FS) pada kondisi tersebut yaitu: geser 0,42, guling 1,38, dan daya dukung 0,23. Angka keamanan tersebut menunjukkan bahwa dinding penahan tidak stabil terhadap geser, guling dan daya dukung yang masing-masing memiliki nilai angka keamanan dibawah angka keamanan minimum. Untuk standar pada *software* geo5 sendiri, angka keamanan minimum (FS) yang digunakan untuk geser, guling dan daya dukung adalah sebesar 1,5. *Software* geo5 ini memberikan angka keamanan (FS) yang cukup rendah, mengingat tiap tahapan perhitungan pada *software* ini sudah dipertimbangkan angka keamanannya (SF). Berdasarkan analisis kondisi lereng dan dinding penahan tanah di atas dapat ditarik beberapa hipotesa sebagai berikut:

- a. Desain struktur dinding penahan tanah embung yang tidak menggunakan perkuatan pada bagian dasar pondasi dimungkinkan menjadi penyebab lemahnya stabilitas dinding penahan sehingga kelongsoran terjadi pada semua sisi embung.
- b. Penggunaan bronjong dan pasangan batu kali memberikan berat berlebih pada dinding penahan paling bawah, yaitu dinding penahan kantilever sehingga mempengaruhi tekanan tanah dibawahnya yang berakibat meningkat pula tekanan tanah lateral yang bekerja pada dinding penahan beton kantilever yang berada pada paling bawah.
- c. Hasil analisis menggunakan *software* SLOPE/W didapatkan bahwa lereng tidak aman dan tidak stabil, sehingga membuktikan bahwa stabilitas lereng secara keseluruhan, tanpa memperhitungkan lebih dahulu adanya dinding penahan tanah setinggi 10 m, lereng tidak dapat menahan beban yang bekerja yang mengakibatkan terjadi kelongsoran.
- d. Ketidakmampuan dinding penahan tanah terhadap geser, guling dan daya dukung yang mengakibatkan seluruh struktur dinding penahan tanah mengalami longsor. Kelongsoran tersebut dibuktikan dari analisis menggunakan *software* Geo 5 yang menunjukkan angka kemanan (FS) pada aspek geser, guling dan daya dukung kurang dari angka kemanan (FS) minimum.
- e. Menurut hasil analisis sementara kelongsoran lereng dan struktur dinding penahan tanah eksisting diakibatkan stabilitas lereng yang sejak awal tidak aman dan tidak stabil, sehingga mempengaruhi stabilitas dinding penahan tanah kantilever menjadi lemah.

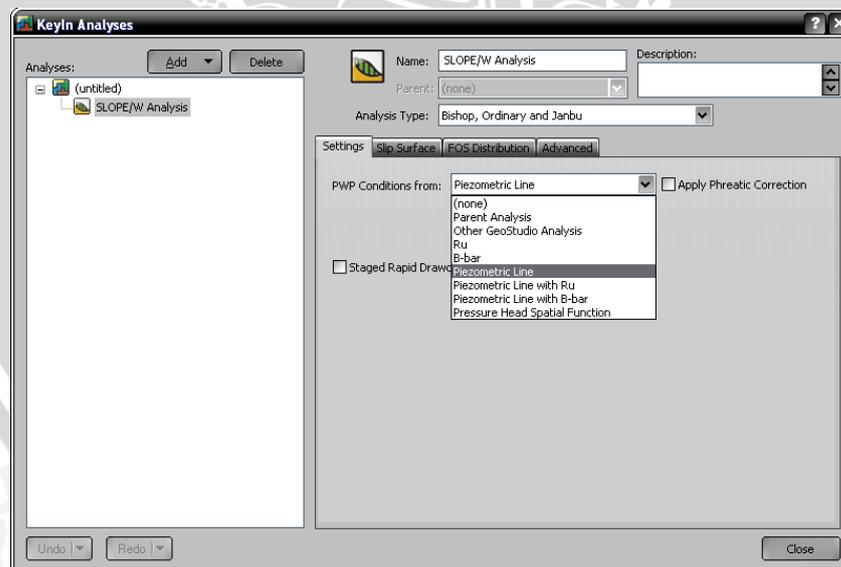
4.2 Analisis Stabilitas Lereng dan Dinding Penahan Eksisting dengan *Software*

4.2.1 Analisis Stabilitas Lereng Eksisting dengan SLOPE/W

Lereng eksisting yang ditinjau merupakan lereng hasil dari galian untuk sebuah tempat penampungan air yang disesuaikan dengan gambar rencana pekerjaan yang telah dibuat sebelumnya. Galian yang menjadi sebuah lereng tersebut memiliki tinggi sekitar 10 meter dan relatif curam, sehingga memungkinkan terjadi kelongsoran pada lereng hasil galian tersebut sebelum

nantinya diperkuat dengan struktur penahan tanah. Untuk mengetahui kemungkinan longsor tersebut terjadi pada saat sebelum dan sesudah diperkuat dengan dinding penahan tanah digunakan analisis dengan menggunakan bantuan perangkat lunak SLOPE/W. Titik yang ditinjau untuk analisis ini hanya diambil satu titik potongan di salah satu sisi dari embung yang mewakili keseluruhan struktur embung tersebut. Pada potongan tersebut telah diambil tiga sample tanah dan telah diuji di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Universitas Brawijaya seperti yang telah dibahas pada bab sebelumnya, sehingga dapat digunakan sebagai bahan untuk menganalisis stabilitas lereng yang ditinjau tersebut. Berikut ini akan dijelaskan prosedur dan hasil dari analisis menggunakan perangkat lunak SLOPE/W dengan metode ordinary.

- a. Langkah awal adalah membuka program Geostudio 2007 dan memilih sub program SLOPE/W. Selanjutnya akan muncul jendela keyin analyses yang bertujuan untuk menentukan metode apa yang akan digunakan, dalam kasus ini akan digunakan metode ordinary yang ada pada pilihan tipe analisis bishop, ordinary and janbu. Selain itu pada jendela tersebut juga berfungsi untuk menentukan kondisi tekanan air pori. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **gambar 4.2** dibawah ini.

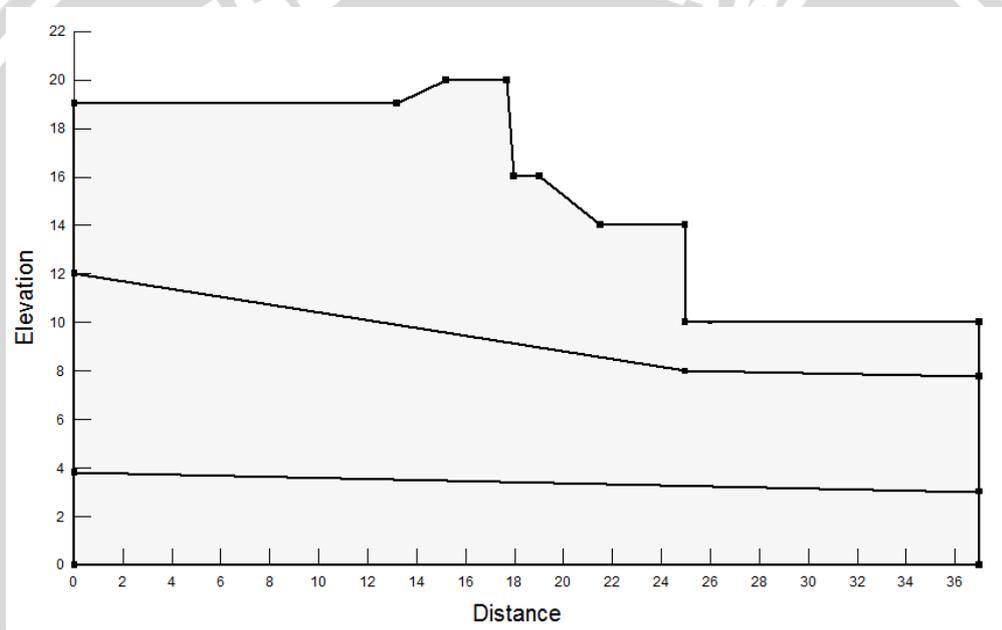


Gambar 4.2 Tampilan keyin analyses untuk metode dan tekanan air pori

- b. Setelah masuk pada halaman kerja, langkah selanjutnya adalah mengatur bidang kerja gambar dengan mengatur ukuran halaman area, mengatur skala,

mengatur grid dan menentukan *axis* untuk mempermudah penggambaran geometri lereng.

- c. Penggambaran geometri lereng dapat dilakukan langsung dengan cara memilih opsi draw region, selain itu juga dapat dilakukan dengan memasukkan gambar dari program lain dengan menggunakan format file dxf yaitu dengan cara memilih opsi file lalu pilih import region. Gambar geometri lereng yang digunakan pada kasus ini ada dua yaitu geometri lereng sebelum pemasangan dinding penahan tanah dan geometri lereng setelah pemasangan dinding penahan tanah. Tampilan yang muncul setelah geometri lereng berhasil dimasukkan adalah seperti pada **gambar 4.3** berikut ini:



Gambar 4.3 Geometri lereng yang ditinjau

- d. Terdapat tiga data mekanis tanah dari laboratorium yang mewakili tiap lapisan dari geometri lereng yang telah digambarkan. Sampel tanah tersebut diambil pada kedalaman yang berbeda seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dan dikonversikan sesuai satuan yang ditentukan dalam *software*.

Berikut adalah data sifat mekanis tanah hasil pengujian laboratorium:

Lapisan 1 $\gamma = 2,050 \text{ gr/cm}^3 = 20,50 \text{ kN/m}^3$

$\phi = 17^\circ$

$C = 0,08 \text{ kg/cm}^2 = 8 \text{ kPa}$

Lapisan 2 $\gamma = 1,8 \text{ gr/cm}^3 = 18 \text{ kN/m}^3$

$\phi = 26,5^\circ$

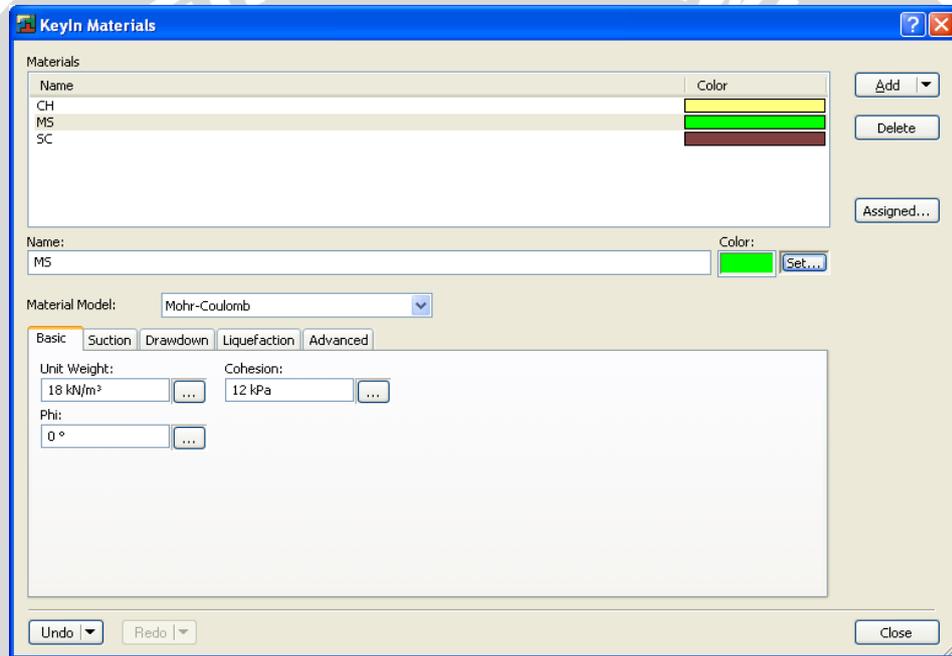
$C = 0,12 \text{ kg/cm}^2 = 12 \text{ kPa}$

Lapisan 3 $\gamma = 1,85 \text{ gr/cm}^3 = 18,5 \text{ kN/m}^3$

$\phi = 27^\circ$

$C = 0,08 \text{ kg/cm}^2 = 8 \text{ kPa}$

Data sifat mekanis tanah diatas kemudian dimasukkan kedalam program dengan cara memilih keyin lalu pilih opsi material, model material yang dipilih sesuai untuk data laboratorium yang ada adalah model Mohr-Coulomb seperti terlihat pada **gambar 4.4**.



Gambar 4.4 Input material sesuai data mekanis tanah

- e. Memasukkan beban yang bekerja dengan cara memilih opsi *draw surcharge loads*. Beban yang bekerja adalah beban merata dari berat dinding penahan pasangan batu kali, bronjong, dan dinding penahan beton kantilever. Rincian dari masing-masing beban tersebut adalah sebagai berikut:

Pasangan batu kali : tinggi diratakan = 2,95 m

$$\gamma_{bk} = 2200 \text{ kg/m}^3 = 22 \text{ kN/m}^3 \times 2,95 = 64,9 \text{ kN/m}^3$$

Bronjong miring : tinggi diratakan = 2,8 m

$$\gamma_{br} = 1463,5 \text{ kg/m}^3 = 14,63 \text{ kN/m}^3 \times 2,8 = 40,98 \text{ kN/m}^3$$



Bronjong datar : tinggi diratakan = 2,64 m

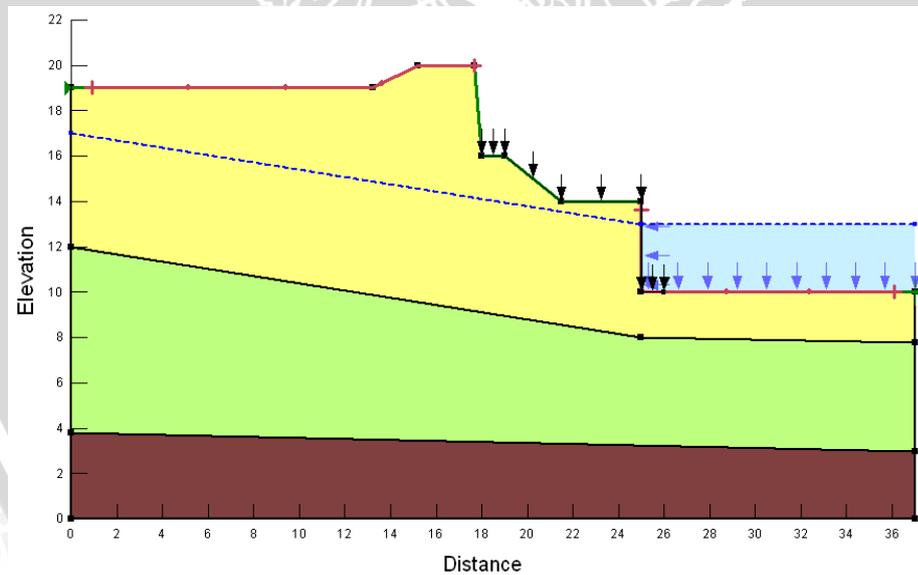
$$\gamma_{br} = 1463,5 \text{ kg/m}^3 = 14,63 \text{ kN/m}^3 \times 2,64 = 38,64 \text{ kN/m}^3$$

Dinding penahan : tinggi diratakan = 2,73 m

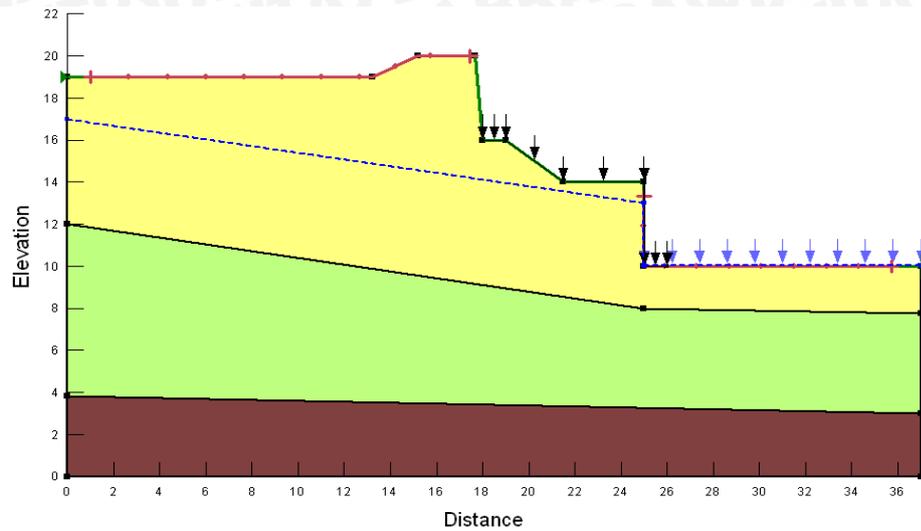
$$\gamma_{pk} = 2400 \text{ kg/m}^3 = 24 \text{ kN/m}^3 \times 2,73 = 65,52 \text{ kN/m}^3$$

Beban-belan tersebut bekerja dengan mengasumsikan bahwa dinding penahan tersebut aman dan stabil.

- f. Selanjutnya menggambar *piezometric line* untuk menentukan garis pada muka air tanah. Penggambaran muka air tanah ini disesuaikan dengan kondisi muka air tanah normal yaitu kondisi muka air berada pada elevasi dasar dinding penahan tanah kondisi ini terjadi saat embung kosong dan kondisi muka air tanah maksimum yaitu kondisi saat embung terisi air setinggi 3 meter dari dasar dinding penahan kantilever (*facing*). Penggambaran muka air tanah dapat dilihat pada **gambar 4.5** dan **gambar 4.6** dibawah ini.

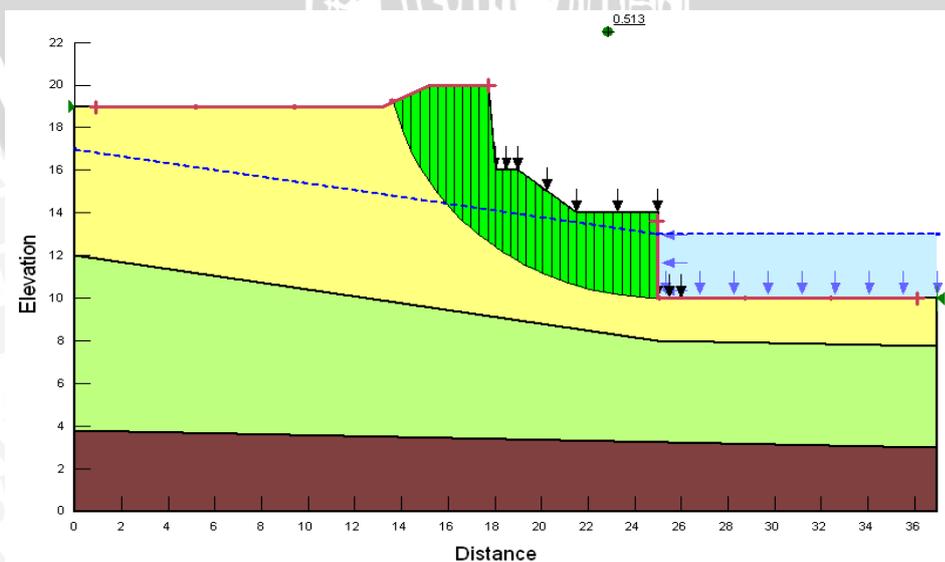


Gambar 4.5 Lereng dengan pengaruh muka air tanah maksimum dan beban dinding penahan tanah



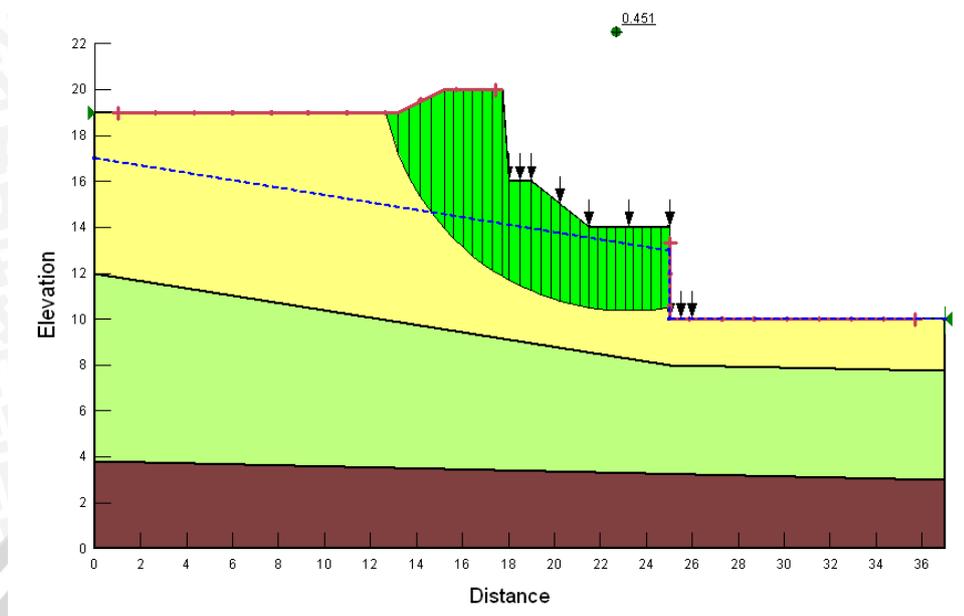
Gambar 4.6 Lereng dengan pengaruh muka air tanah normal dan beban dinding penahan tanah

- g. Menggambarlokasi *entry and exit* untuk menentukan batasan dari garis dengan cara memilih opsi *draw entry and exit slip surface*. Garis tersebut akan menunjukkan batasan kelongsoran yang mungkin terjadi pada lereng.
- h. Setelah langkah-langka diatas selesai dilaksanakan, tahap terakhir untuk menganalisis stabilitas lereng adalah dengan memilih opsi *verify*, kemudian dipilih *solve analyses*. Untuk mengetahui dan melihat bentuk dari kelongsoran dan angka keamanan dari masing-masing bentuk lereng dapat dipilih opsi *contour*. Pada **gambar 4.7** dan **gambar 4.8** merupakan gambar hasil dari analisis lereng yang ditinjau.



Gambar 4.7 Analisis lereng dengan kondisi muka air tanah maksimum





Gambar 4.8 Analisis lereng dengan kondisi muka air tanah normal

4.2.2 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Eksisting

Analisis dari beberapa kondisi lereng eksisting yang diasumsi dengan menggunakan perangkat lunak SLOPE/W telah dapat diketahui hasilnya dan pada **tabel 4.2** dapat di simpulkan bahwa lereng bentuk eksisting tidak stabil dan tidak aman.

Tabel 4.2 Rekapitulasi angka keamanan stabilitas lereng eksisting

No	Kondisi Lereng	Angka Keamanan				Status
		Ordinary	Bishop	Janbu	Morgenstern-P	
1	Muka air tanah maksimum	0,482	0,498	0,518	0,513	Tidak Aman
2	Muka air tanah normal (kosong)	0,461	0,454	0,469	0,451	Tidak Aman

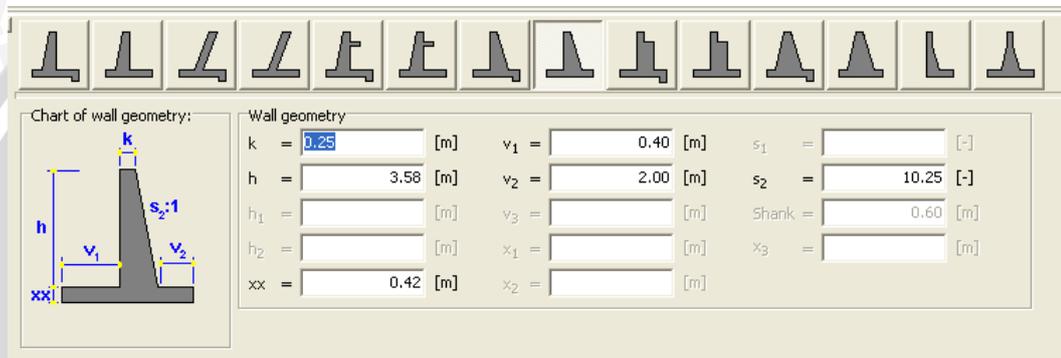
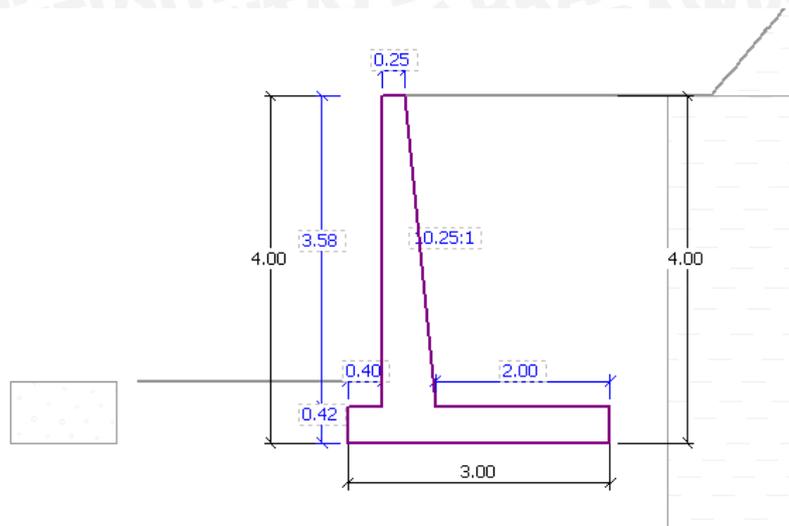
4.2.3 Analisis Stabilitas Dinding Penahan Kantilever dengan GEO5

Dalam menganalisis stabilitas dinding penahan kantilever, digunakan analisis potongan gambar kondisi eksisting, diasumsikan bahwa dinding penahan eksisting yang mengelilingi lereng adalah identik, sehingga analisis hanya dilakukan pada satu titik atau pada satu potongan saja. Gambar potongan dinding penahan tersebut dianalisis dengan menyesuaikan kondisi sifat fisik tanah yang datanya di dapatkan dari laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Berikut akan dipaparkan cara analisis serta hasil analisis menggunakan perangkat lunak GEO5 dengan menggunakan menu kantilever. Analisis Stabilitas dinding penahan kantilever yang digunakan pada software GEO5 adalah analisis terhadap geser, guling serta daya dukung.

Di dalam GEO5, bentuk dinding penahan tanah dapat dipilih sesuai dengan kondisi yang sebenarnya dan dimensi dinding penahan dimasukkan dalam satuan meter, nilai γ dimasukkan dalam satuan kN/m^3 , nilai c dimasukkan dalam satuan kPa dan nilai ϕ dimasukkan dalam derajat ($^\circ$). Sementara itu, untuk data asli yang diperoleh, nilai γ dalam satuan gr/m^3 dan nilai c dalam satuan kg/cm^2 , yang selanjutnya dilakukan konversi satuan terlebih dahulu sebelum memasukkan data pada software GEO5. Untuk berat isi beton, diasumsikan nilai γ beton adalah 24 kN/m^3 dan untuk muka air tanah, digunakan dua asumsi tinggi muka air tanah, kondisi pertama adalah muka air tanah di depan dan belakang dinding penahan tanah kantilever sejajar dengan puncak dinding penahan kantilever, sedangkan untuk kondisi kedua, muka air tanah di depan dinding penahan sejajar dengan dasar dinding penahan dan muka air tanah di belakang dinding penahan setinggi 2 meter dihitung dari puncak dinding penahan tanah.

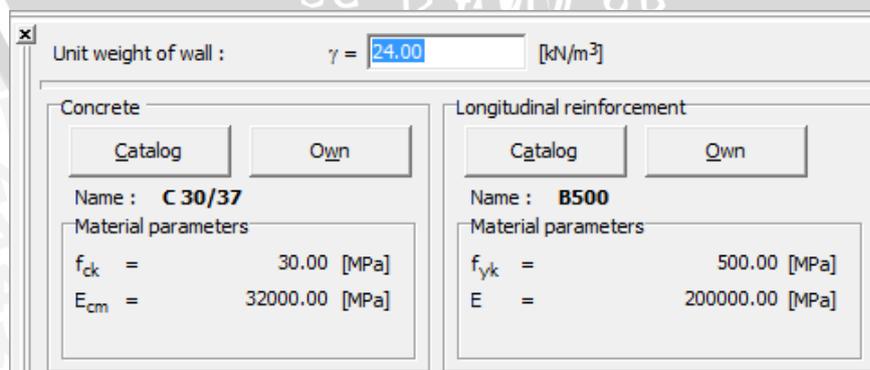
Langkah analisis dinding penahan kantilever adalah sebagai berikut :

- Menggunakan menu dinding penahan kantilever (*cantilever wall*).
- Memilih dinding penahan yang sesuai dan memasukkan dimensi dinding penahan tanah pada kotak dialog *geometry* dalam satuan meter (m) seperti pada **gambar 4.9** dibawah ini.



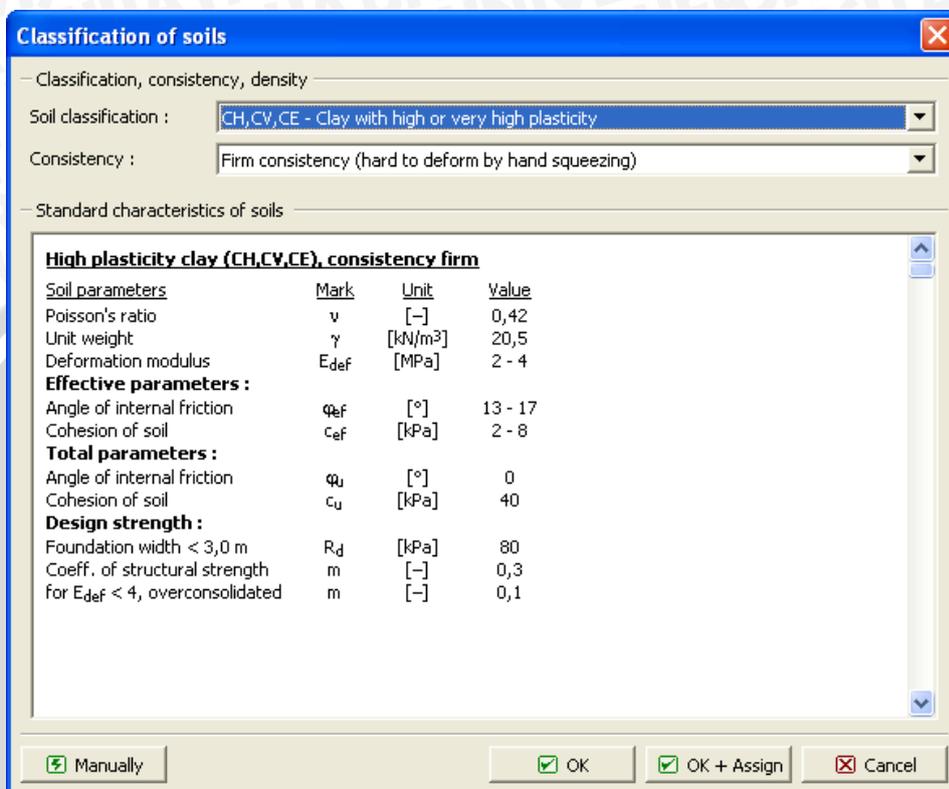
Gambar 4.9 Tampilan dialog *geometry*

- c. Memasukkan material dinding penahan tanah pada kotak dialog *material* dalam satuan kN/m^3 dengan asumsi bahwa berat isi beton sebesar 24 kN/m^3 seperti pada gambar 4.10



Gambar 4.10 Tampilan dialog *material*

- d. Memasukkan parameter tanah pada kotak dialog soils sesuai data uji sondir. Data uji sondir yang digunakan adalah data hasil klasifikasi tanah menurut USCS. Kemudian data tersebut dikonversi pada menu soils tersebut dengan memilih kotak *classify* seperti pada **gambar 4.11** berikut:



Gambar 4.11 Tampilan kotak *classify*

Kemudian memilih tombol *OK+Assign* dan akan kembali ke menu *soils* (gambar 4.12), dilanjutkan pada jenis tanah yang lain sesuai hasil dari data uji sondir. Sehingga didapat data tanah hasil konversi data uji sondir ke data mekanis tanah menurut program Geo 5 sebagai berikut:

Jenis Tanah: CH $\gamma = 2,050 \text{ gr/cm}^3 = 20,50 \text{ kN/m}^3$

$\phi = 17^\circ$

$C = 0,08 \text{ kg/cm}^2 = 8 \text{ kPa}$

Jenis Tanah: MS $\gamma = 1,8 \text{ gr/cm}^3 = 18 \text{ kN/m}^3$

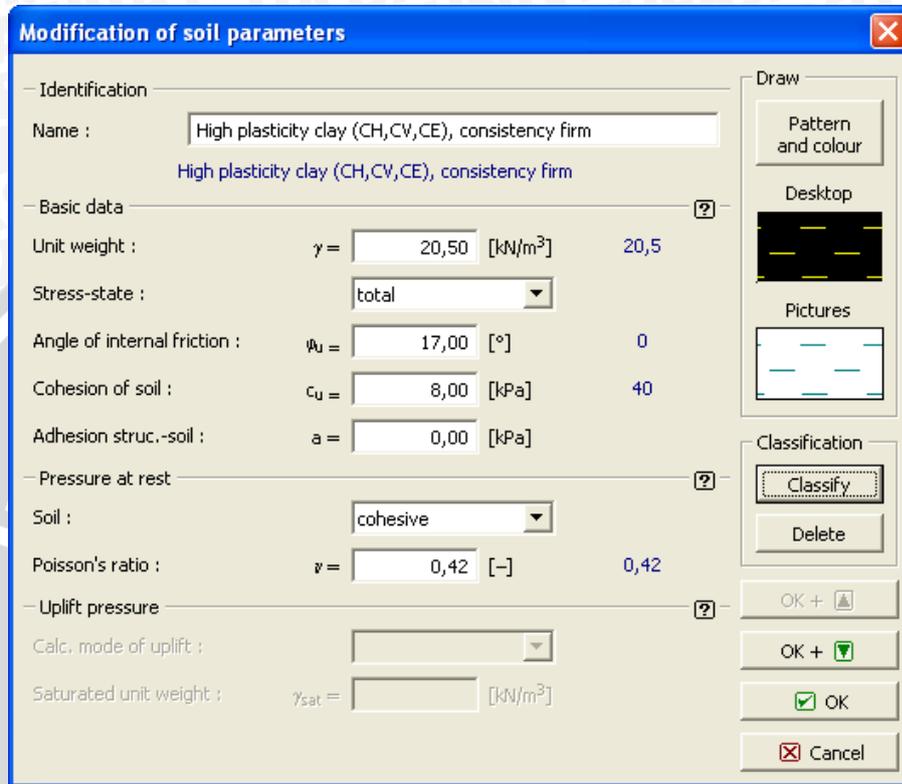
$\phi = 26,5^\circ$

$C = 0,12 \text{ kg/cm}^2 = 12 \text{ kPa}$

Jenis Tanah: SC $\gamma = 1,85 \text{ gr/cm}^3 = 18,5 \text{ kN/m}^3$

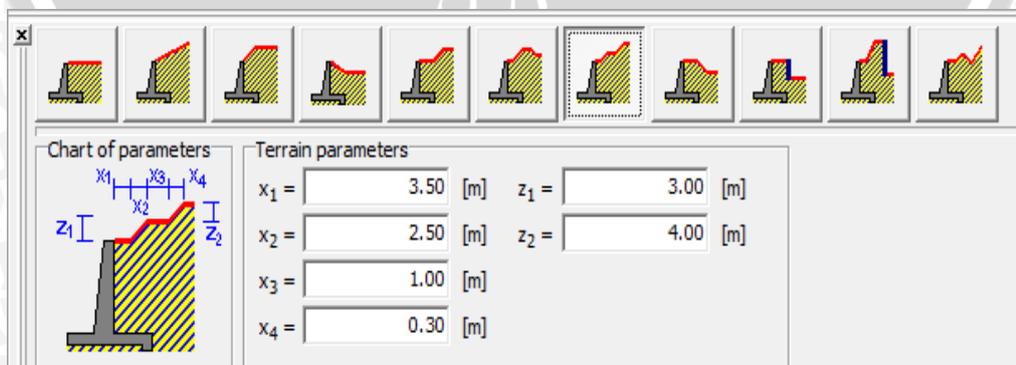
$\phi = 27^\circ$

$C = 0,08 \text{ kg/cm}^2 = 8 \text{ kPa}$
 Jenis Tanah: SF $\gamma = 1,75 \text{ gr/cm}^3 = 17,5 \text{ kN/m}^3$
 $\phi = 31,5^\circ$
 $C = 0 \text{ kPa}$



Gambar 4.12 Tampilan dialog soil

- e. Memilih kotak dialog terrain selanjutnya memilih kondisi beban yang ditumpukan pada dinding penahan kantilever, kemudian memasukkan data tinggi serta panjang beban seperti pada gambar 4.13

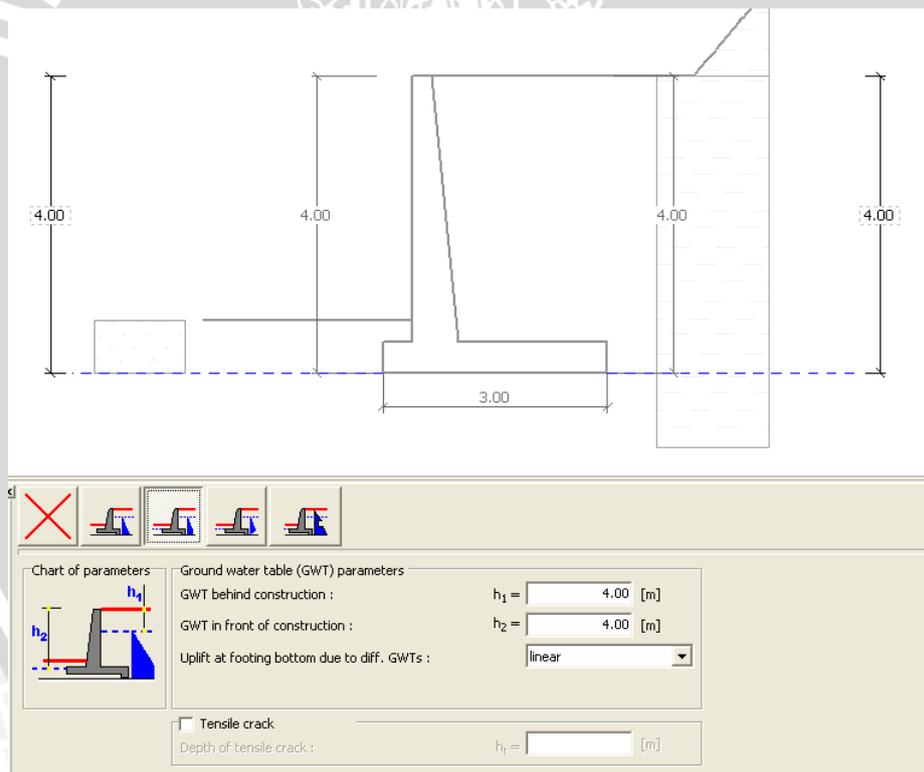


Gambar 4.13 Tampilan dialog terrain

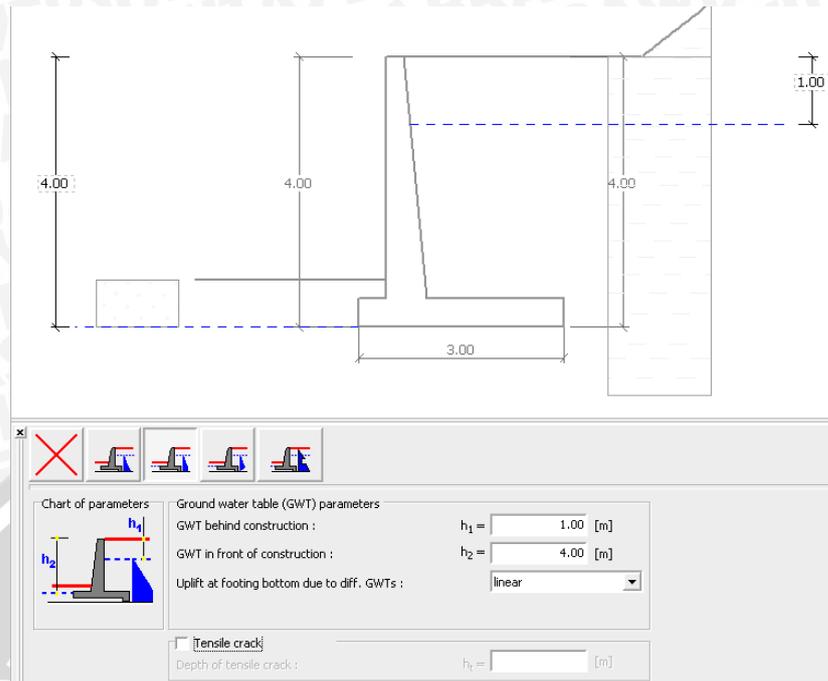
f. Memilih kotak dialog water, kemudian memasukkan tinggi muka air tanah. Pada kotak dialog ini, digunakan dua asumsi tinggi muka air tanah yaitu:

- kondisi I = kondisi muka air tanah saat embung kosong atau saat kondisi kering, muka air tanah sejajar dasar dinding penahan kantilever seperti pada **gambar 4.14**

- kondisi II= kondisi muka air tanah saat embung terisi air, yaitu kondisi muka air tanah maksimum atau kondisi jenuh, dimana muka air tanah di belakang dinding penahan setinggi 3 m dari dasar dinding penahan kantilever, dan muka air tanah di depan dinding penahan tanah sejajar dasar dinding penahan kantilever seperti pada **gambar 4.15**



Gambar 4.14 Tampilan dialog *water* kondisi I



Gambar 4.15 Tampilan dialog *water* kondisi II

- g. Memasukkan beban berupa beban bronjong seperti pada **gambar 4.17** dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Volume 1 bronjong} = 0,5\text{m} \times 1\text{m} \times 2\text{m} = 1 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Asumsi berat volume } (\gamma) \text{ 1 bronjong} &= \gamma \text{ batu pecah} + \gamma \text{ kawat} \\ &= 1450 \text{ kg/m}^3 + 13,5 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1463,5 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

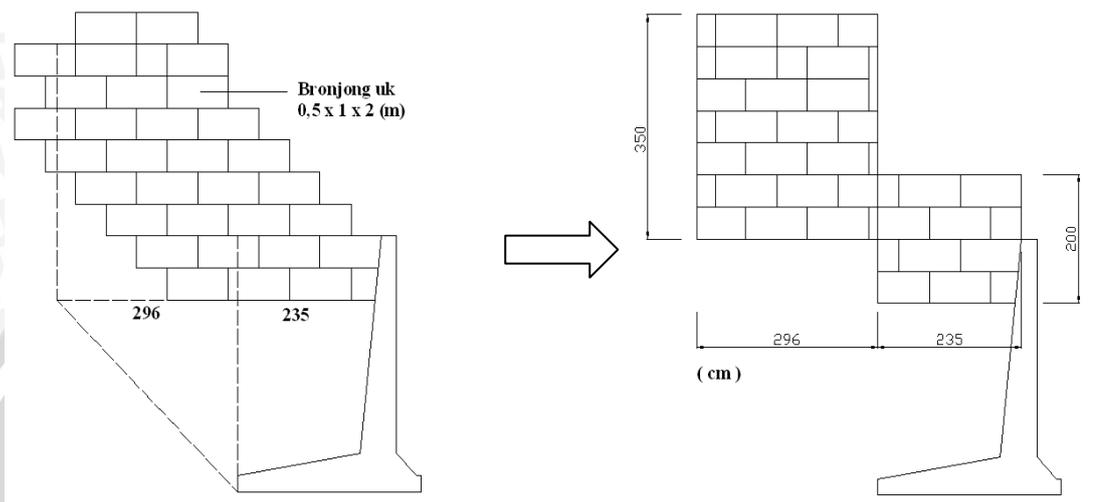
Dengan asumsi bahwa lebar beban bronjong pada software 1 m, dan tinggi beban bronjong pada software 1m, sehingga perhitungan menjadi :

$$\begin{aligned} \text{Beban bronjong} &= \gamma \text{ bronjong} / (\text{lebar bronjong} \times \text{tinggi bronjong}) \\ &= 1463,5 \text{ kg/m}^3 / (1\text{m} \cdot 1\text{m}) \\ &= 1463,5 \text{ kg/m} \\ &= 14,635 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

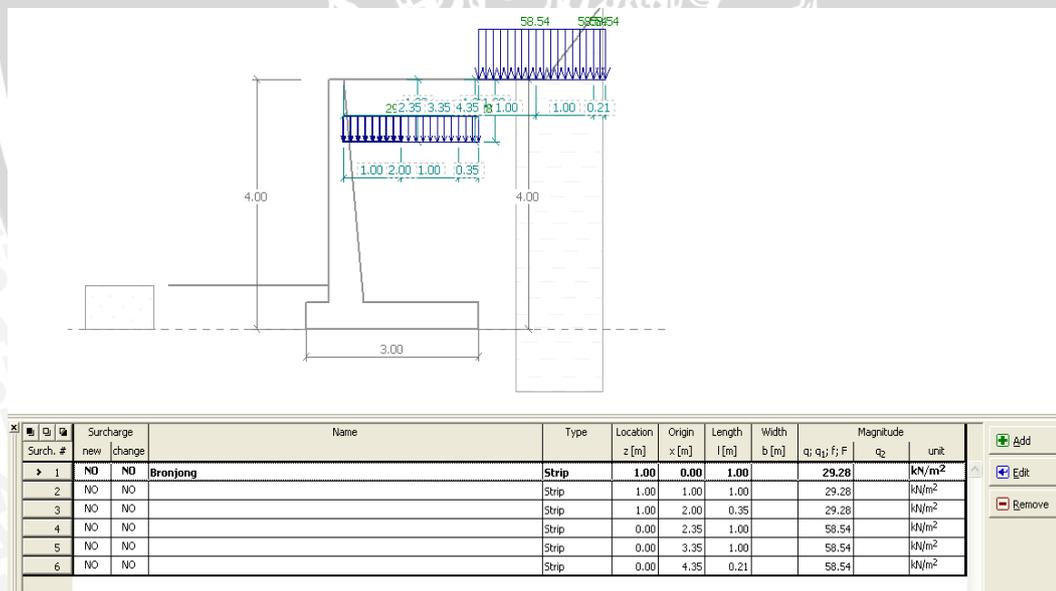
$$\begin{aligned} \text{Berat bronjong 1 dalam software} &= \text{Beban bronjong} \times \text{tinggi 2 m} \\ &= 14,635 \text{ kN/m} \times 2 \text{ m} \\ &= 29,27 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat bronjong 2 dalam software} &= \text{Beban bronjong} \times \text{tinggi 3,5 m} \\ &= 14,635 \text{ kN/m} \times 3,5 \text{ m} \\ &= 51,22 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Penentuan ekivalensi tinggi bronjong didapat dari lokasi bronjong yang berada diatas dinding penahan sepanjang 2,35 m dan bronjong yang berada pada garis pengaruh, $(h / \tan(45+\phi/2))$ yaitu sepanjang 2,96 m dari ujung dasar dinding penahan dapat dilihat pada **gambar 4.16** dibawah ini. Dimana h (tinggi dinding penahan) = 4 m dan $\phi = 17^\circ$.



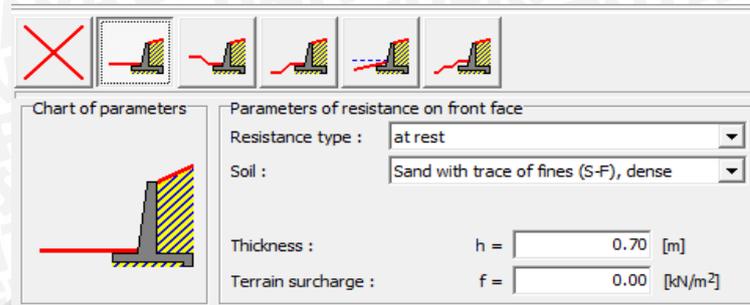
Gambar 4.16 Ekuivalensi tinggi bronjong



Gambar 4.17 Tampilan dialog surcharge

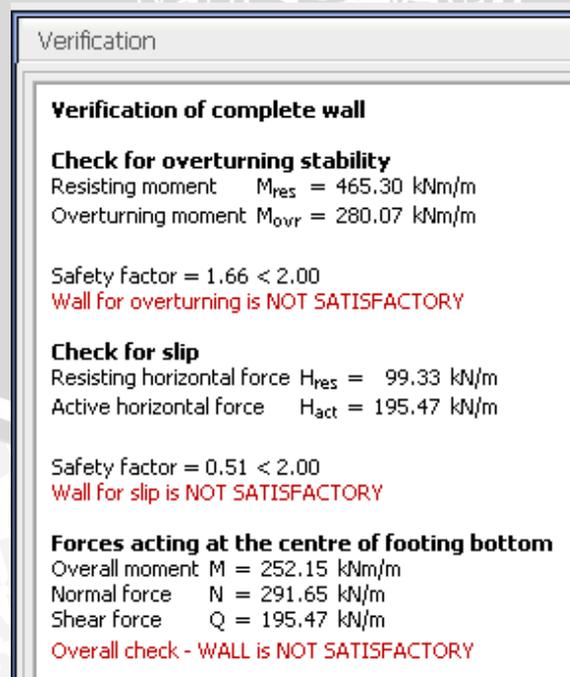
- h. Memilih jenis tanah pada kotak dialog FF Resistance seperti pada **gambar 4.18**, sebagai parameter tanah di bagian depan dinding penahan yang berfungsi sebagai beban yang melawan beban tanah yang berada pada

bagian belakang dinding penahan tanah. Kedalaman FF Resistance adalah 0,7 meter dengan material berupa tanah pasir.

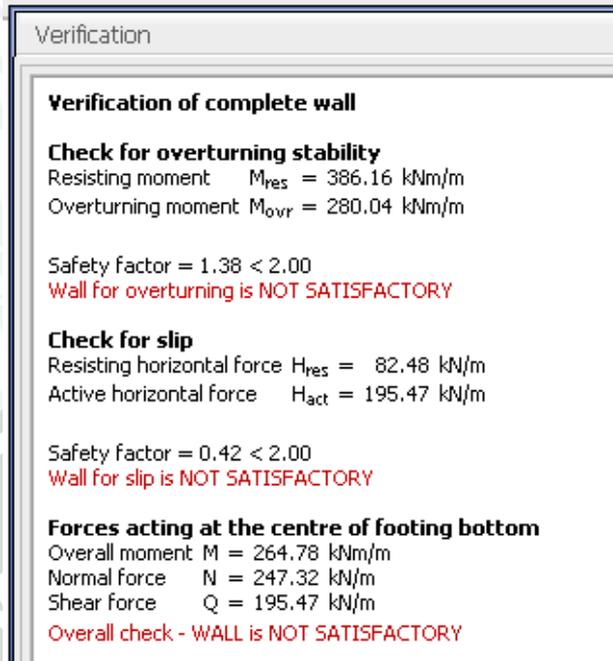


Gambar 4.18 Tampilan dialog *FF resistance*

- i. Memilih kotak dialog *verification* untuk mendapatkan hasil kontrol guling dan geser.
 - Untuk kondisi I , dengan muka air tanah sejajar dengan dasar dinding penahan tanah didapatkan hasil bahwa nilai geser tidak aman, tetapi guling dinding penahan tanah aman, seperti pada **gambar 4.19**.
 - Untuk kondisi II, dengan tinggi muka air tanah yang berbeda, didapatkan hasil bahwa nilai guling dan gesernya tidak aman, seperti terlihat pada **gambar 4.20**.

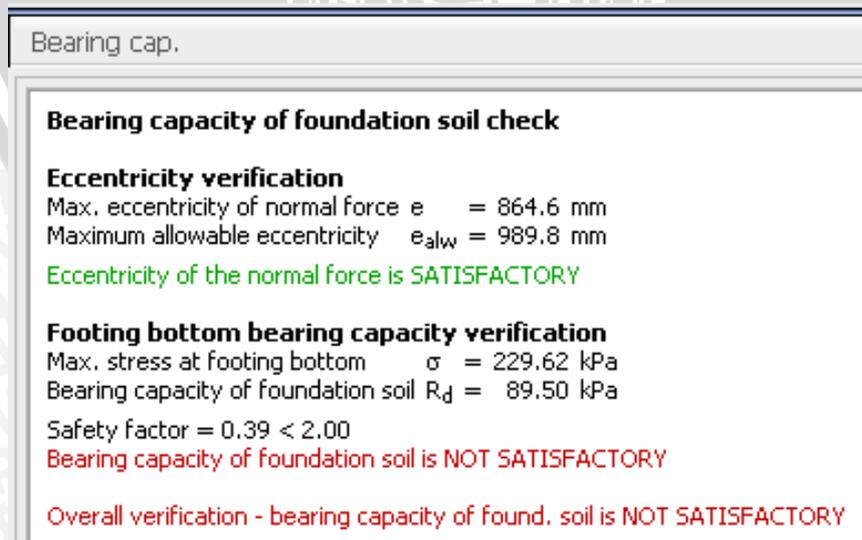


Gambar 4.19 Dialog *verification* kondisi I



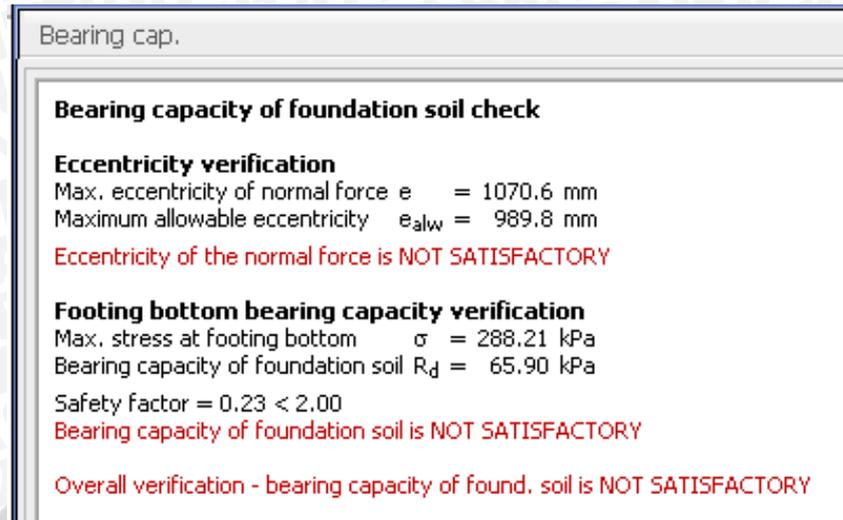
Gambar 4.20 Dialog *verification* kondisi II

- j. Memasukkan nilai *bearing capacity of found soil* pada kotak dialog bearing capacity sehingga didapatkan nilai daya dukung untuk dinding penahan.
- Kondisi I = nilai daya dukung sebesar $0,39 < \text{faktor aman sebesar } 3$ seperti pada **gambar 4.21**
 - Kondisi II = nilai daya dukung sebesar $0,23 < \text{faktor aman sebesar } 3$ seperti pada **gambar 4.22**



Gambar 4.21 Dialog *bearing capacity* kondisi I





Gambar 4.22 Dialog *bearing capacity* kondisi II

4.2.4 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Eksisting

Hasil analisis dinding penahan tanah kantilever dengan perhitungan software GEO5 dipaparkan dalam **tabel 4.3** dibawah ini.

Tabel 4.3 Rekapitulasi perhitungan stabilitas dinding penahan tanah eksisting

Keterangan	Stabilitas		
	Guling	Geser	Daya Dukung
Kondisi I	1,66	0,51	0,39
Kondisi II	1,38	0,42	0,23

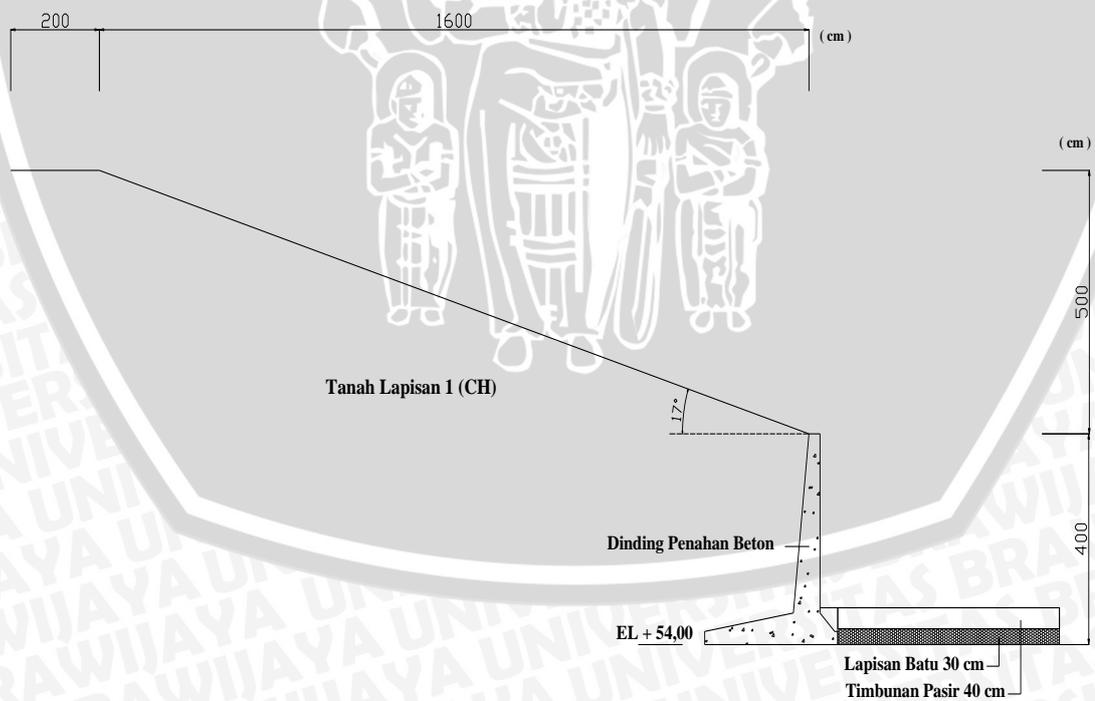
Dari **tabel 4.3** dapat disimpulkan bahwa kondisi eksisting dinding penahan kantilever tidak aman terhadap geser dan daya dukung, karena untuk kondisi kedua, angka keamanannya (FS) guling dan geser kurang dari angka keamanan minimum, yaitu sebesar 2 dan angka keamanan (FS) daya dukung kurang dari angka kermanan minimum sebesar 3. Sehingga kondisi dinding penahan kantilever eksisting ini perlu diberikan perkuatan agar mencapai angka keamanan minimum untuk stabilitas guling, geser dan daya dukungnya.

4.3 Perbaikan Stabilitas Lereng dan Dinding Penahan dengan Geotekstil

4.3.1 Perbaikan Model Geometri Lereng

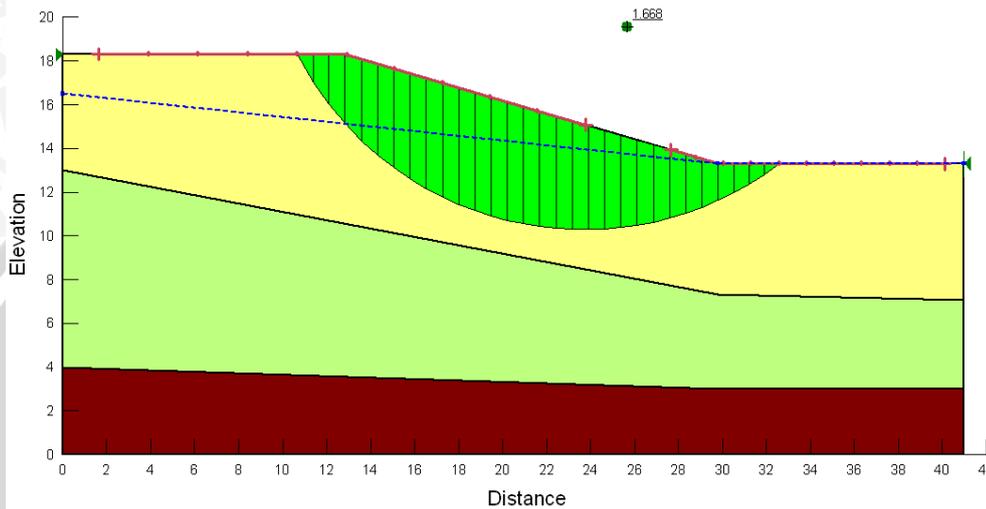
Hasil analisis stabilitas lereng dan dinding penahan eksisting didapatkan bahwa bentuk geometri lereng yang terbentuk dari penempatan struktur dinding penahan menyebabkan ketidakstabilan lereng, ditambah lagi dengan jenis tanah timbunan kohesif dengan sifat mekanis yang rendah semakin meningkatkan terjadinya bahaya longsor. Oleh karena itu, diperlu perbaikan bentuk lereng terlebih dahulu sebelum diperkuat dengan geotekstil. Perbaikan tersebut meliputi menghilangkan penggunaan bronjong dan dinding penahan pasanga batu kali yang bertujuan untuk mengurangi beban di atas tanah timbunan, serta mengurangi kecuraman lereng tersebut. Sedangkan untuk dinding penahan kantilever tetap dipertahankan supaya nantinya dapat berfungsi sebagai *facing* sekaligus dapat menghemat biaya perbaikan.

Bentuk perbaikan geometri lereng seperti pada **gambar 4.23** dan nantinya akan digunakan sebagai acuan model dalam mendesain konstruksi lereng dengan perkuatan menggunakan geotekstil.



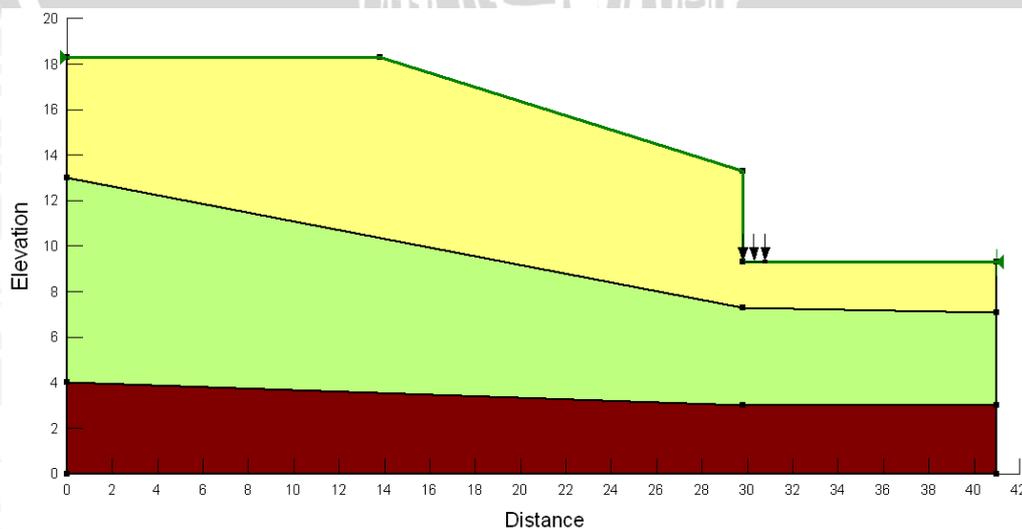
Gambar 4.23 Bentuk perbaikan geometri lereng

Konstruksi lereng akan menggunakan perkuatan *geotekstil* dengan geometri lereng dibuat lebih landai yaitu dengan kemiringan 17° di atas dinding penahan kantilever. Kemiringan tersebut dipilih dengan cara *trial and error* pada program SLOPE/W sampai didapatkan kemiringan yang sesuai sehingga angka keamanan lereng lebih besar dari batas minimum. Angka keamanan yang didapat adalah 1,668 (bishop) bisa dilihat pada **gambar 4.24** dibawah ini.



Gambar 4.24 Kemiringan lereng diatas dinding penahan yang aman

Kemiringan lereng di atas dinding penahan ini tidak memerlukan perkuatan *geotekstil* sehingga dapat mengurangi penggunaan *geotekstil* dan dapat menghemat biaya. Sehingga didapat model geometri lereng yang akan digunakan pada *software* adalah seperti **gambar 4.25**.



Gambar 4.25 Model perbaikan geometri lereng

4.3.2 Parameter yang Digunakan dalam Perencanaan

Berikut adalah perhitungan dan penentuan parameter-parameter yang digunakan dalam perencanaan konstruksi perkuatan dengan geotekstil menggunakan perangkat lunak SLOPE/W dan Geo 5.

a. Data Tanah

Parameter tanah yaitu berupa sifat mekanis tanah yang sama dengan sifat mekanis tanah eksisting dari data sondir yang dikonversi melalui *software* Geo 5. Berikut rekapitulasi data tanah tersebut:

- Jenis Tanah: CH $\gamma = 2,050 \text{ gr/cm}^3 = 20,50 \text{ kN/m}^3$
 $\phi = 17^\circ$
 $C = 0,08 \text{ kg/cm}^2 = 8 \text{ kPa}$
- Jenis Tanah: MS $\gamma = 1,8 \text{ gr/cm}^3 = 18 \text{ kN/m}^3$
 $\phi = 26,5^\circ$
 $C = 0,12 \text{ kg/cm}^2 = 12 \text{ kPa}$
- Jenis Tanah: SC $\gamma = 1,85 \text{ gr/cm}^3 = 18,5 \text{ kN/m}^3$
 $\phi = 27^\circ$
 $C = 0,08 \text{ kg/cm}^2 = 8 \text{ kPa}$

b. Data Dinding Penahan

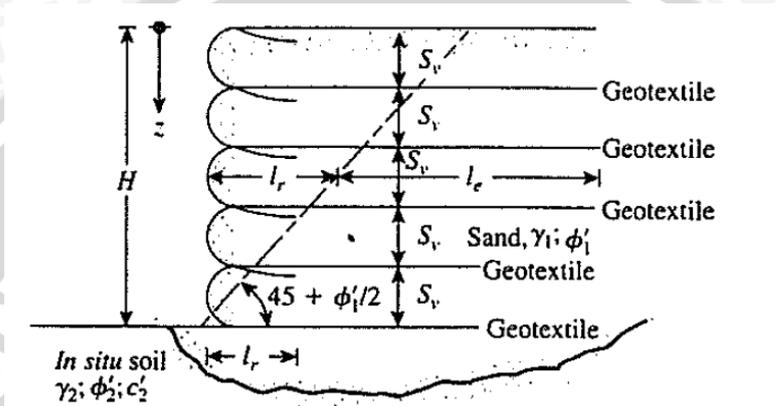
Tipe dinding penahan beton kantilever dengan berat jenis sebesar 24 kN/m^3 disesuaikan dengan satuan pada *software*. Data yang di-inputkan adalah dinding penahan dengan tinggi diratakan = 2,73 m sehingga didapat $\gamma_{pk} = 24 \text{ kN/m}^3 \times 2,73 = 65,52 \text{ kN/m}^3$

c. Data Geotekstil

- Tensile capacity = 200 kN/m
- Kontak kohesi = 3 kg/cm^2 setara dengan 3 kPa
- *Interface factor* = 2
- *Fabric safety* = 1,1 (faktor kesalahan pemasangan)
- Contact phi = 38°
- *Bond safety factor* atau faktor tahanan cabut F^* yang paling akurat melalui pengujian tarik cabut terhadap contoh material timbunan yang akan digunakan. Jika data hasil pengujian tidak tersedia, maka nilai ini $F^* = 2/3 \tan$

ϕ . Maka $F^* = 2/3 \tan(38) = 0,52$ untuk menyesuaikan dengan input slope/w maka $1/0,52 = 1.92$

- Perhitungan posisi dan panjang penyaluran geotekstil dihitung berdasarkan rumus pada sumber buku Braja M.Das *Principles of Foundation Engineering 6th Edition* dapat dilihat pada **tabel 4.4**. Secara umum perencanaan pemasangan geotekstil dapat dilihat pada **gambar 4.26** di bawah ini.



Gambar 4.26 Gambaran Umum Perencanaan Geotekstil

Tabel 4.4 Perhitungan perencanaan geotekstil

z (m)	σ_a (kN/m ²)	S_v (m)	S_v use (m)	l_r (m)	l_e (m)	l_e min (m)	L (m)	L use (m)	Llap (m)	Llap min (m)
1	11,225	8,909	1	2,960	0,927	1,00	3,960	5	0,463	1
2	22,449	4,454	1	2,220	1,384	1,38	3,604	5	0,692	1
3	33,674	2,970	1	1,480	1,657	1,66	3,137	4	0,828	1
4	44,898	2,227	1	0,740	1,837	1,84	2,577	4	0,919	1
5	56,123	1,782	1	0,000	1,966	1,97	1,966	4	0,983	1

Contoh perhitungan perencanaan geotekstil diambil pada lapisan paling atas yaitu sebagai berikut:

- Menentukan tekanan horizontal

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{17}{2}\right)$$

$$= 0,548$$

$$\sigma'_a = K_a \sigma'_o = K_a \gamma_1 z$$

$$= 0,548 \times 20,5 \times 1 = 11,225 \text{ kN/m}^2$$

- Menentukan jarak vertikal antar lapisan

$$S_v = \frac{\sigma_G}{\sigma'_a FS_{(B)}} = \frac{\sigma_G}{(\gamma_1 z K_a) [FS_{(B)}]}$$

$$= \frac{200}{11,225 \times 2} = 8,909 \text{ m} \rightarrow \text{terlalu tinggi sehingga diambil 1 m}$$

- Menentukan panjang dari setiap lapisan geotekstil

$$L = l_r + l_e$$

Dimana :

l_r adalah panjang geotekstil di depan bidang longsor

$$l_r = \frac{H - z}{\tan\left(45 + \frac{\phi'_1}{2}\right)}$$

$$= \frac{5 - 1}{\tan\left(45 + \frac{17}{2}\right)} = 2,96 \text{ m}$$

l_e adalah panjang geotekstil di belakang bidang longsor

$$l_e = \frac{S_v \times \sigma \times FS}{2 \times (c + \sigma \times \tan \phi)}$$

$$= \frac{1 \times 11,225 \times 2}{2 \times (8 + (20,5 \times 1) \tan \frac{2}{3} \times 17)} = 0,927 \text{ m} < 1 \text{ m (maka diambil 1 m)}$$

Sehingga didapat panjang minimum penyaluran sebesar

$$L = l_r + l_e$$

$$= 2,96 + 1 = 3,96 \text{ m}$$

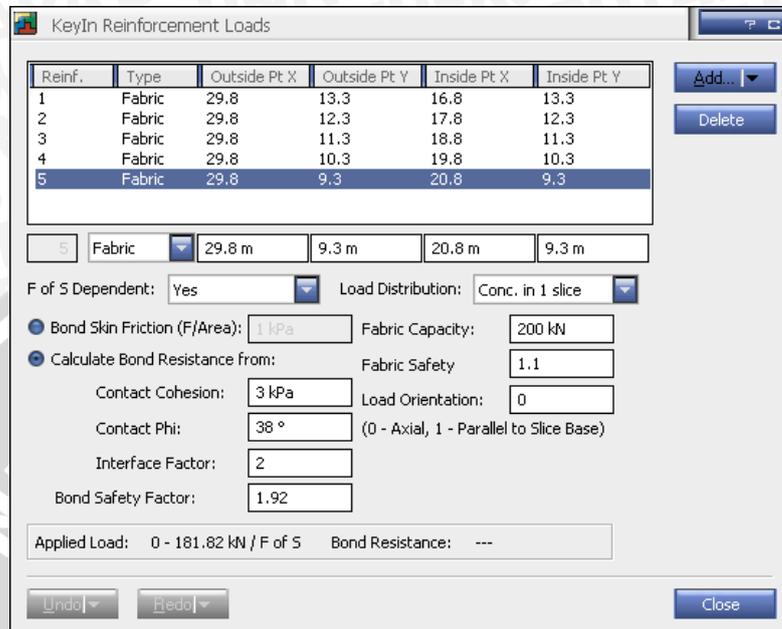
- Menentukan panjang lipatan geotekstil

$$l_l = \frac{S_v \times \sigma \times FS}{4 \times (c + \sigma \times \tan \phi)}$$

$$= \frac{1 \times 11,225 \times 2}{4 \times (8 + (20,5 \times 1) \times \tan \frac{2}{3} \times 17)} = 0,463 \text{ m} < 1 \text{ m (maka diambil 1 m)}$$

- Posisi perletakan geotekstil didapat dari perhitungan manual yang kemudian diambil jarak vertikal antar lapisan geotekstil setinggi 1 m.
- Jumlah lapisan geotekstil yang digunakan sebanyak 5 lapis.

- Pilihan “yes” pada kotak “*F of Dependent*” menunjukkan bahwa dalam perhitungan faktor keamanan, gaya dari perkuatan geotekstil akan dibagi dengan faktor keamanan global.



Gambar 4.27 Parameter input perkuatan geotekstil yang digunakan

4.3.3 Hasil Analisis Stabilitas Internal Lereng yang Diperkuat dengan Geotekstil

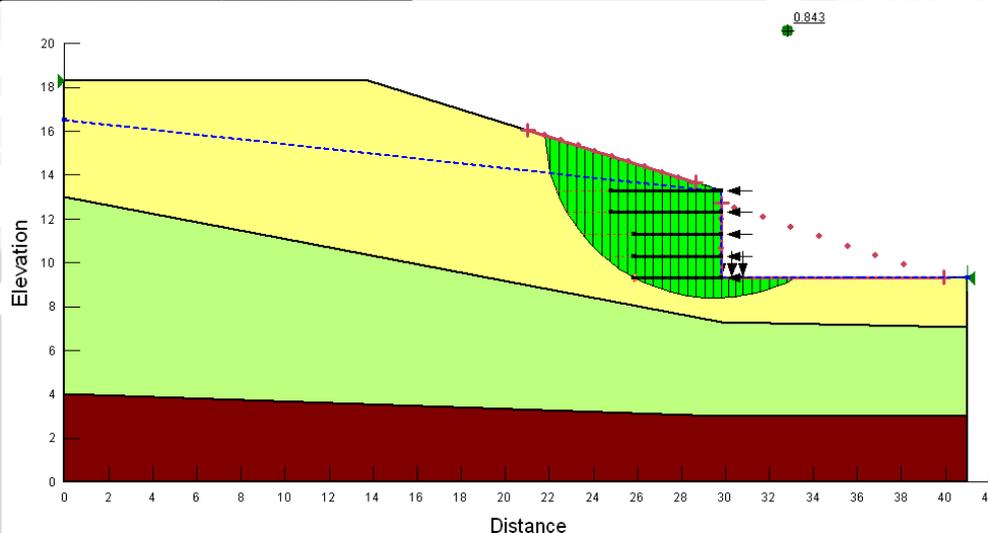
Analisis stabilitas lereng ini juga merupakan kontrol stabilitas internal. Hasil analisis kestabilan lereng yang telah diperbaiki dan diperkuat dengan geotekstil mengalami peningkatan nilai angka keamanan. Analisis menggunakan SLOPE/W sebelum diperkuat konstruksi eksisting tersebut hanya bernilai 0,454 (tabel 4.2, Bishop) pada kondisi muka air tanah normal naik menjadi 0,843 (bishop) seperti pada gambar 2.8. Angka tersebut menunjukkan lereng belum stabil, sehingga diperlukan penambahan panjang geotekstil agar didapat angka keamanan yang mencukupi.

Penentuan panjang geotekstil dilakukan dengan cara *trial and error* pada program dan didapatkan panjang penyaluran geotekstil seperti pada tabel 4.5. Hasil analisis yang diperoleh adalah angka keamanan sebesar 2,312 dimana angka tersebut menunjukkan lereng telah stabil dan aman. Seluruh hasil analisis lereng yang telah diperbaiki dan diperkuat dengan geotekstil dapat dilihat pada tabel 4.6.



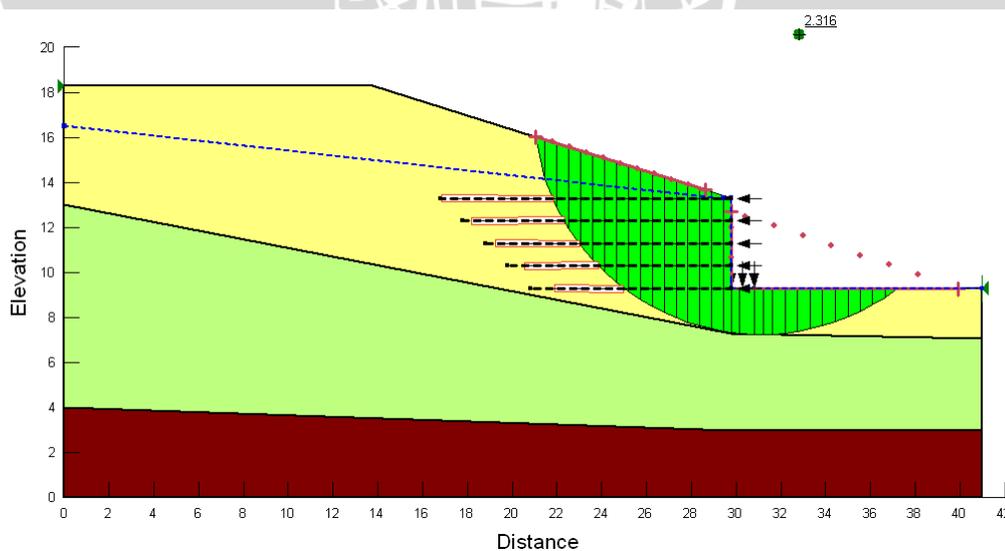
Tabel 4.5 Panjang penyaluran geotekstil

Geotekstil	Panjang (m)
Geotekstil 1	13
Geotekstil 2	12
Geotekstil 3	11
Geotekstil 4	10
Geotekstil 5	9



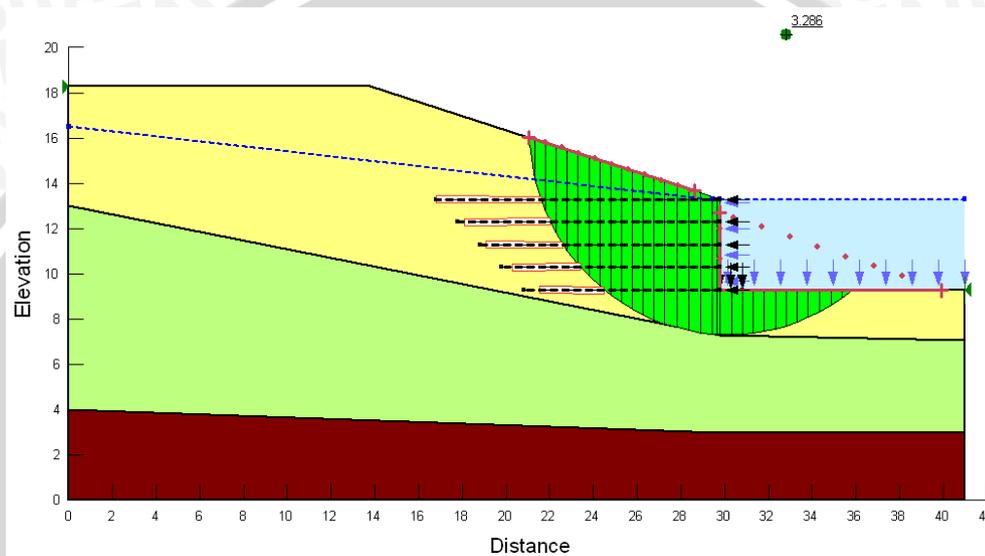
Gambar 4.28 Hasil analisis dengan panjang geotekstil sesuai perhitungan

Besaran angka keamanan dan bentuk kelongsoran lereng yang telah diperbaiki dan diperkuat dapat dilihat pada **gambar 4.29** dan **gambar 4.30**.



Gambar 4.29 Konstruksi lereng setelah diperbaiki dan diperkuat dengan geotekstil pada kondisi muka air normal

Sedangkan untuk lereng yang sudah diperkuat dengan kondisi pada muka air tanah maksimum atau embung berada pada kondisi penuh terisi air dalam permodelan tampak seperti pada **Gambar 4.30** didapatkan angka keamanan sebesar 3,286. Hal ini membuktikan bahwa adanya pengaruh dari kondisi air yang mengisi embung terhadap lereng yang sudah diperkuat dengan geotekstil. Semakin sedikit air yang mengisi dalam embung, semakin lereng kecil angka keamanan dan berpotensi longsor.



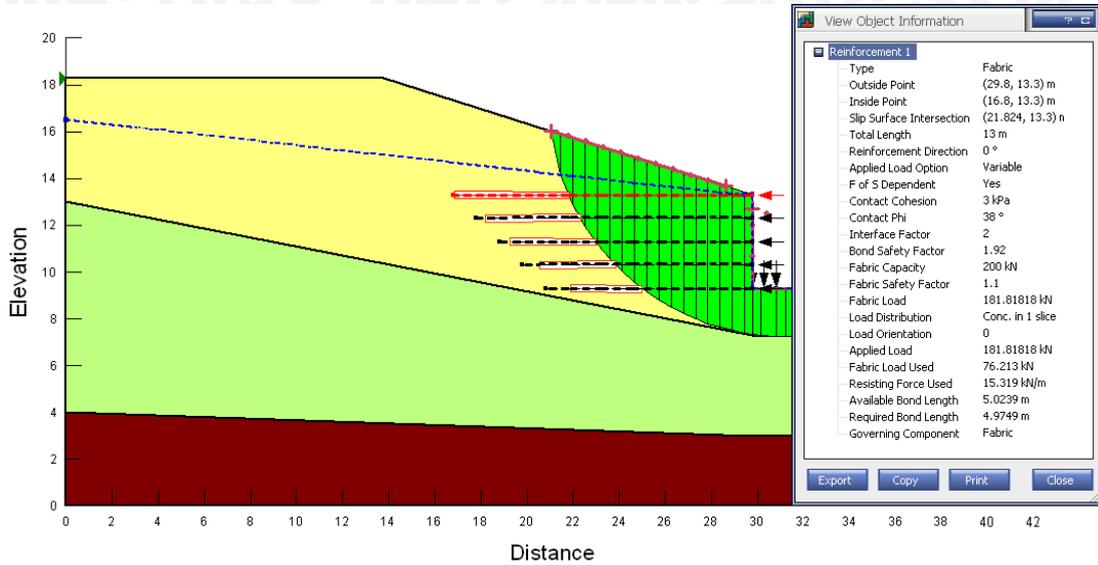
Gambar 4.30 Konstruksi lereng setelah diperbaiki dan diperkuat dengan geotekstil pada kondisi muka air maksimum

Tabel 4.6 Rekapitulasi angka keamanan stabilitas lereng setelah diperkuat dengan geotekstil

No	Kondisi Lereng	Angka Keamanan				Status
		Ordinary	Bishop	Janbu	Morgenstern-P	
1	Muka air tanah maksimum	3,655	3,286	3,343	3,321	Aman
2	Muka air tanah normal (kosong)	2,612	2,312	2,451	2,424	Aman

Perkuatan dengan geotekstil juga dapat mengalami kegagalan internal, dimana gaya tarik yang diterima geotekstil melebihi kapasitas kemampuan tariknya. Pada SLOPE/W sudah diperhitungkan kontrol stabilitas internal tersebut. Kontrol ini berguna untuk mengetahui apakah terjadi kegagalan cabut dan putus.

Pada perhitungan ini tegangan tarik maksimum geotekstil adalah 200 kN dengan faktor tahanan cabut adalah 1.1 untuk memperhitungkan kerusakan pemasangan, daya tahan dan sobekan.



Gambar 4.31 Informasi geotekstil pada lapisan paling atas

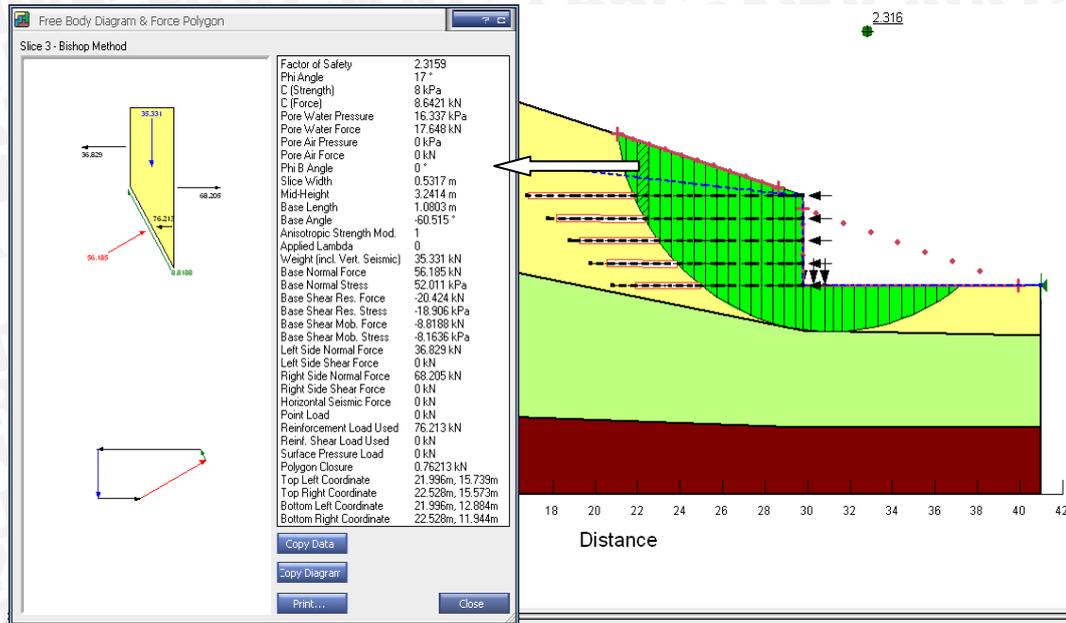
Kontrol internal dapat dilihat di **gambar 4.31** dimana geotekstil menerima gaya sebesar 76,213 kN sedangkan kemampuan maksimum geotekstil tersebut sebesar 181,818 kN maka geotekstil tersebut aman terhadap putus. Sedangkan untuk kapasitas cabutnya dapat adalah 15,319 kN/m. Sehingga dibutuhkan panjang penyaluran sebesar:

$$Le = \frac{\text{kebutuhan}}{\text{kapasitas}}$$

$$Le = \frac{76,213}{15,319} = 4,975 \text{ m}$$

Geotekstil ditanam sepanjang minimal 4,975 meter dibelakang garis kelongsoran, pada desain dipasang 5,024 meter supaya tidak mengalami cabut. Kontrol putus dapat dilihat dari nilai *applied load* 181,82 kN, sedangkan gaya tarik yang terjadi adalah 76,213 kN maka tidak terjadi putus.

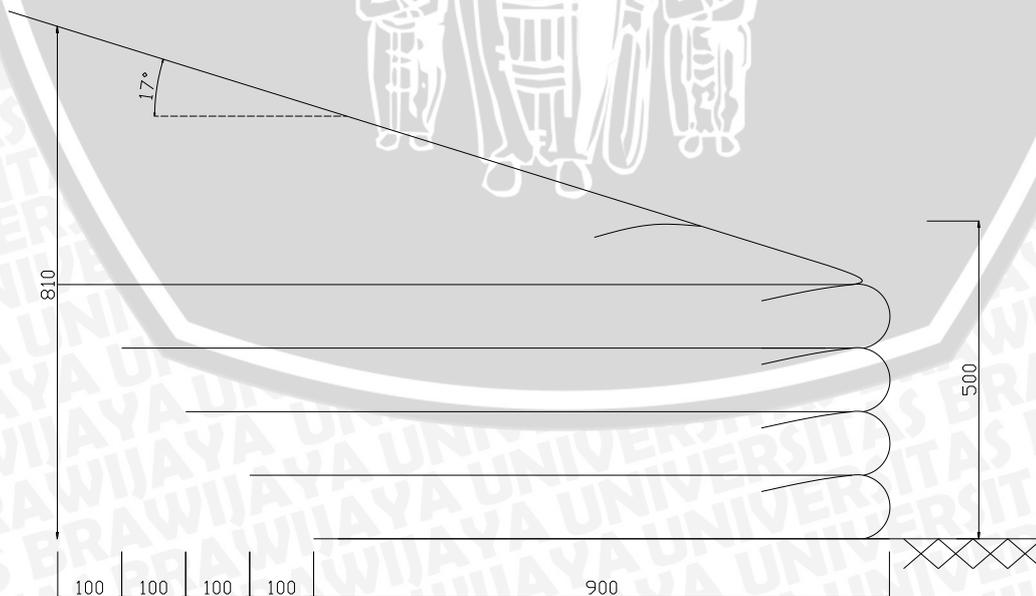
Pada **gambar 4.32** menunjukkan *free body diagram* dan *force polygon* dari slice yang dilewati geotekstil paling bawah. Terlihat jelas pengaruh geotekstil pada slice tersebut, menghasilkan gaya horisontal sebesar 76,213 kN yang dari geotekstil tersebut.



Gambar 4.32 Slice info free body diagram dan force polygon

4.3.4 Hasil Analisis Stabilitas Eksternal yang Diperkuat dengan Geotekstil

Stabilitas eksternal sangat penting dalam perencanaan stabilitas lereng karena jika stabilitas eksternalnya tidak memenuhi syarat keamanan, maka stabilitas internal tidak akan ada gunanya dan kelongsoran akan tetap terjadi. Untuk mempermudah perhitungan kondisi di lapngannya diasumsikan seperti pada gambar 4.33 dibawah ini.



Gambar 4.33 Perencanaan perkuatan lereng dengan geotekstil

Perhitungan stabilitas eksternal lereng yang telah diperbaiki dan diperkuat dengan geotekstil secara umum tidak menggunakan bantuan dari program SLOPE/W dan Geo 5 dikarenakan tidak tersedianya fasilitas analisis stabilitas guling, geser, dan daya dukung untuk konstruksi lereng yang telah diperkuat dengan geotekstil. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan secara manual untuk analisis satabilitas eksternal yang meliputi stabilitas guling, geser, dan daya dukung.

Berikut adalah perhitungan stabilitas eksternal:

$$\begin{aligned} Pa &= 0,5 \cdot y \cdot H^2 \cdot Ka \\ &= 0,5 \cdot 20,5 \cdot 8,1^2 \cdot 0,548 \\ &= 368,224 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$Pa \cos 17 = 352,134 \text{ kN/m}$$

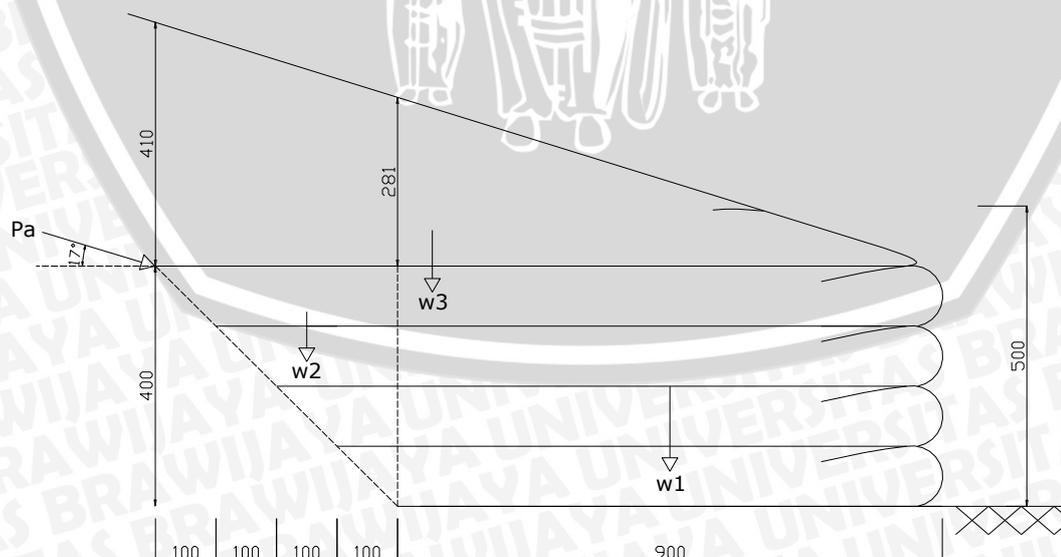
$$Pa \sin 17 = 107,658 \text{ kN/m}$$

- Stabilitas Guling

Stabilitas guling adalah perbandingan momen yang menahan guling dengan momen yang menyebabkan guling, dimana gaya – gaya yang bekerja dapat dilihat pada **gambar 4.34** dibawah ini.

Gaya yang bekerja:

- $W1 = 20,5 \times 9 \times 4 = 738 \text{ kN}$
- $W2 = 0,5 \times 20,5 \times 4 \times 4 = 164 \text{ kN}$
- $W3 = 0,5 \times 20,5 \times 4,1 \times 13 = 546,3 \text{ kN}$



Gambar 4.34 Pembagian berat lereng

$$\begin{aligned}
 FS_{OT} &= \sum \frac{\text{Momen Pena han Guling}}{\text{Momen Penybab Guling}} \\
 &= \frac{w1.x1 + w2.x2 + w3.x3 + Pa.\sin\phi.z}{Pa.\cos\phi.H/3} \\
 &= \frac{738.4.(5) + 164.(10,3) + 546,3.(8,7) + 107,66.(13)}{352,134.(\frac{8,1}{3})} \\
 &= \frac{11150}{950,8} = 11,73 > 2
 \end{aligned}$$

- Stabilitas Geser

Stabilitas geser adalah perbandingan dari gaya-gaya horizontal yang bekerja dibagian dasar lereng sepanjang peletakan geotekstil. Tinggi yang berpengaruh diambil adalah $H = 6,81$ m, dimana perletakan geotekstil sepanjang 9 m.

$$\begin{aligned}
 Pa &= 0,5.y.H^2.Ka \\
 &= 0,5.20,5.6,81^2.0,548 \\
 &= 260,277 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$Pa \cos 17 = 248,904 \text{ kN/m}$$

$$Pa \sin 17 = 76,098 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}
 FS_s &= \sum \frac{\text{Gaya Pena han Geser}}{\text{Gaya Penybab Geser}} \\
 &= \frac{\left(c + \frac{(w1 + w2 + w3 + Pa.\sin\phi)}{z} x \tan\phi \right) z + B.\frac{2}{3}c}{Pa.\cos\phi} \\
 &= \frac{\left(8 + \frac{(738.4 + 164 + 546,3 + 76,098)}{9} x \tan 17 \right) 9 + 3x\frac{2}{3}8}{248,904} \\
 &= \frac{554,1}{248,904} = 2,226 > 2
 \end{aligned}$$

- Stabilitas Daya Dukung

Pemeriksaan daya dukung lereng yang telah diperbaiki dan diperkuat dengan geotekstil ini menggunakan metode Hansen. Perhitungan daya dukung secara lengkap dapat dilihat di lampiran.

Tegangan ijin tanah (f_{ijin}) = qu

$$qu = (c \times Nc \times sc \times dc \times ic) + (0,5 \times b' \times \gamma h \times N\gamma \times s\gamma \times d\gamma \times i\gamma) +$$

$$(D \times \gamma \times Nq \times sq \times dq \times iq)$$

$$= (8 \times 12,338 \times 1 \times 1,177 \times 0,425) + (0,5 \times 9,04 \times 10,69 \times 1,799 \times 1 \times 1 \times$$

$$0,456) + (4 \times 10,69 \times 4,772 \times 1 \times 1,136 \times 0,578)$$

$$= 49,378 + 39,645 + 219,765$$

$$= 308,788 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{max} = \frac{\Sigma V}{B \times 1} \left[1 + \frac{6e}{B} \right]$$

$$= \frac{768,515}{10 \times 1} \left[1 + \frac{6 \times 0,482}{10} \right]$$

$$= 99,094 \text{ kN/m}^2$$

$$FS = \frac{qu}{f_{max}}$$

$$= \frac{308,79}{99,094}$$

$$= 3,116 > 3 \rightarrow \text{Aman}$$

Tabel 4.7 Rekapitulasi hasil perhitungan stabilitas eksternal

Stabilitas	Angka Keamanan		Status
	Batas Aman	Perhitungan	
Guling	2	11,73	Aman
Geser	2	2,226	Aman
Daya Dukung	3	3,116	Aman

Angka keamanan dari hasil perhitungan stabilitas eksternal lereng yang telah diperbaiki dan diperkuat dengan geotekstil menunjukkan nilai diatas batas persyaratan keamanan (**tabel 4.7**), sehingga dengan kata lain desain lereng embung yang baru aman dan stabil.