

ANALISIS STABILITAS LERENG EMBUNG DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI DINDING PENAHAN KANTILEVER DAN GEOTEKSTIL DENGAN BANTUAN PERANGKAT LUNAK

M. Nuhkhalid Zain, Eko Andi Suryo, As'ad Munawir
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang
Jalan MT Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
Email: Nuhkhalid21@gmail.com

ABSTRAK

Lereng yang terbentuk dari pembangunan embung atau waduk dapat berpotensi terjadinya kelongsoran dan dapat mengakibatkan bukan hanya kerugian materil, tetapi juga nyawa. Dinding penahan menjadi salah satu solusi untuk mengatasi kelongsoran. Dinding penahan yang dibangun tersusun dari tiga bagian yaitu dinding penahan batu kali, bronjong dan dinding penahan kantilever. Namun dinding penahan tersebut mengalami ambles sehingga lereng yang ditahannya pun mengalami longsor. Dinding penahan yang memiliki tinggi 10 tersebut mengalami kegagalan struktur karena kondisi tanah yang tergolong jelek dan beban berlebih dengan menggunakan konstruksi bronjong dan pasangan batu kali, sehingga diperlukan analisis ulang pada kondisi dinding penahan tanah yang lama dan diganti dengan yang baru perkuatan dan perbaikan dengan bantuan perangkat lunak SLOPE/W dan Geo 5. Analisis stabilitas lereng eksisting dengan program SLOPE/W pada kondisi paling kritis diperoleh nilai angka keamanan 0,454. Sedangkan analisis stabilitas dinding penahan tanah eksisting dengan program Geo 5 didapatkan angka keamanan stabilitas guling sebesar 1,38, stabilitas geser 0,42 dan daya dukung sebesar 0,23. Hasil tersebut membuktikan struktur lereng dan dinding penahan tidak aman, maka dilakukanlah desain ulang menggunakan perkuatan geotekstil *woven* dengan jumlah 5 lapis, kapasitas tarik 200 kN/m, kohesi 3 kPa dan sudut geser terhadap tanah 38° , jarak vertikal 1 m. Perbaikan pada geometri lereng dibuat lebih landai dengan kemiringan sebesar 17° . Hasil analisis stabilitas lereng yang diperkuat dengan geotekstil menggunakan SLOPE/W diperoleh nilai angka keamanan 2,312. Untuk analisis stabilitas dinding penahan dengan perkuatan geotekstil didapatkan angka keamanan stabilitas guling 11,73, stabilitas geser 2,226 dan daya dukung 3,856.

Kata kunci: Stabilitas lereng, Stabilitas dinding penahan, Geotekstil, SLOPE/W, Geo 5.

PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai dua musim yang memiliki potensi musibah sendiri-sendiri. Pada musim kemarau musibah yang sering terjadi adalah kekeringan terutama pada sektor pertanian, sedangkan musibah pada musim hujan yang juga sering terjadi adalah banjir pada daerah pemukiman. Melihat dari ancaman musibah yang dikhawatirkan terus terjadi pada tahun ke tahun, salah satu pemerintah kota di Provinsi Jawa Timur berinisiatif untuk membangun waduk penampungan air atau biasa disebut embung. Bentuk cekungan yang terbentuk secara alami maupun buatan dengan cara penggalian akan membentuk lereng yang mengelilingi pada bagian tepi embung. Lereng yang terbentuk

tersebut dapat berpotensi terjadinya kelongsoran dan dapat mengakibatkan bukan hanya kerugian materil, tetapi juga nyawa yang terancam saat pemukiman sekitar berada di lereng yang rawan terjadi longsor.

Solusi yang menjadi alternatif untuk menjadikan lereng tersebut aman dari bahaya longsor adalah dengan membangun konstruksi dinding penahan tanah. Dinding penahan tersebut tersusun dari tiga bagian yaitu dinding penahan batu kali, bronjong dan dinding penahan kantilever. Namun dinding penahan yang telah dibangun tersebut mengalami ambles sehingga lereng yang ditahannya pun mengalami longsor. Dinding penahan yang memiliki tinggi 10 tersebut mengalami kegagalan struktur karena

kondisi tanah yang tergolong memiliki sifat mekanis tanah yang rendah dan beban berlebih dengan menggunakan konstruksi bronjong dan pasangan batu kali, sehingga diperlukan analisis dan perhitungan ulang pada kondisi dinding penahan tanah yang lama dan diganti dengan perkuatan lereng yang baru dengan bantuan perangkat lunak SLOPE/W dan Geo 5 yang direncanakan dengan baik, supaya mampu menahan kelongsoran tanah.

TUJUAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penyebab keruntuhan dinding penahan tanah eksisting, mengetahui stabilitas lereng dan dinding penahan tanah, dan merencanakan desain perkuatan penahan yang baru, serta mengetahui stabilitas lereng dan penahan tanah yang baru setelah diperkuat geotekstil.

TINJAUAN PUSTAKA

Stabilitas Lereng

Pada permukaan tanah yang miring, gaya gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika gaya gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini disebut analisis stabilitas lereng.

Tekanan Tanah Aktif

Tekanan tanah aktif adalah tekanan yang terjadi pada dinding penahan yang mengalami keluluhan atau bergerak ke arah luar dari tanah urugan di belakangnya, sehingga menyebabkan tanah urug akan bergerak longsor ke bawah dan menekan dinding penahannya dan didefinisikan sebagai koefisien tekanan tanah aktif atau K_a .

Perhitungan gaya aktif yang bekerja pada tanah tak kohesif:

$$P_a = K_a \gamma z$$

Sedangkan untuk tanah kohesif:

$$P_a = \gamma z K_a - 2c \sqrt{K_a}$$

Harga K_a untuk tanah datar

$$K_a = \frac{1 - \sin \emptyset}{1 + \sin \emptyset} = \tan^2 \left(45 - \frac{\emptyset}{2} \right)$$

Harga K_a untuk tanah miring

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \emptyset}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \emptyset}}$$

dimana:

P_a = Tekanan tanah aktif (kN/m)

K_a = Koefisien aktif

γ = Berat volume tanah (kN/m³)

z = Kedalaman tanah (m)

c = Kohesi (kN/m²)

\emptyset = sudut gesek tanah (°)

β = kemiringan permukaan tanah (°)

Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah pasif adalah tekanan tanah yang terjadi saat gaya mendorong dinding penahan tanah ke arah tanah urugannya dan didefinisikan sebagai koefisien tekanan tanah pasif atau K_p .

Perhitungan gaya pasif yang bekerja pada tanah tak kohesif:

$$P_p = K_p \gamma z$$

Sedangkan untuk tanah kohesif:

$$P_p = \gamma z K_p - 2c \sqrt{K_p}$$

Harga K_p untuk tanah datar

$$K_p = \frac{1 + \sin \emptyset}{1 - \sin \emptyset} = \tan^2 \left(45 + \frac{\emptyset}{2} \right)$$

Harga K_p untuk tanah miring

$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \emptyset}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \emptyset}}$$

dimana:

P_p = Tekanan tanah aktif (kN/m)

K_p = Koefisien aktif

γ = Berat volume tanah (kN/m³)

z = Kedalaman tanah (m)

c = Kohesi (kN/m²)

\emptyset = sudut gesek tanah (°)

β = kemiringan permukaan tanah (°)

Stabilitas Dinding Penahan

Kestabilan dinding penahan tanah yang harus diperhitungkan antara

lain kestabilan tanah terhadap bahaya guling, bahaya geser, serta kapasitas daya dukung.

a. *Stabilitas Guling*

Stabilitas terhadap guling merupakan stabilitas yang ditinjau berdasarkan kondisi tanah yang terguling yang diakibatkan oleh tekanan tanah lateral dari tanah urug di belakang dinding penahan tanah.

Faktor keamanan terhadap bahaya penggulingan (F_{gl}) didefinisikan sebagai berikut

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}}$$

$$\sum M_w = W b_1$$

$$\sum M_{gl} = \sum P_{ah} h_1 + \sum P_{av} B$$

dimana:

$\sum M_w$ = momen melawan guling (kNm)

$\sum M_{gl}$ = momen mengakibatkan guling (kNm)

W = berat tanah + berat sendiri dinding penahan (kN)

B = lebar kaki dinding penahan (m)

$\sum P_{ah}$ = jumlah gaya horizontal (kN)

$\sum P_{av}$ = jumlah gaya-gaya vertikal (kN)

b. *Stabilitas Geser*

Stabilitas terhadap geser yaitu perbandingan gaya - gaya yang menahan dan mendorong dinding penahan tanah.

Faktor keamanan terhadap bahaya penggeseran (F_{gs}) didefinisikan sebagai berikut

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_{ah}}$$

Untuk tanah granular ($c = 0$)

$$\sum R_h = W f$$

$$= W \text{tg } \delta_h \text{ dengan } \delta_h \leq \emptyset$$

Untuk tanah kohesif ($\emptyset = 0$)

$$\sum R_h = c_a B$$

Untuk tanah $c = \emptyset$ ($\emptyset > 0$ dan $c = 0$)

$$\sum R_h = c_a B + W \text{tg } \delta_h$$

dimana:

$\sum R_h$ = tahanan dinding penahan tanah terhadap geser

W = berat total dinding penahan dan tanah di atas pelat pondasi

δ_h = sudut gesek antara tanah dan dasar pondasi, diambil $1/3 - (2/3)\emptyset$

$c_a = a_d \times c$ = adhesi antara tanah dan dasar dinding

c = kohesi tanah dasar

a_d = faktor adhesi

B = lebar kaki dinding penahan (m)

$\sum P_{ah}$ = jumlah gaya horizontal

f = $\text{tg } \delta_b$ = koefisien gesek antara tanah dasar dan dasar pondasi

c. *Stabilitas Daya Dukung*

Persamaan kapasitas daya dukung untuk menghitung stabilitas dinding penahan tanah antara lain adalah menggunakan persamaan Hansen dan Vesic yang digunakan untuk menghitung beban miring dan eksentris. Persamaan Hansen dan Vesic didefinisikan sebagai berikut :

$$q_u = d_c i_c c N_c + d_q i_q D_f \gamma N_q + d_\gamma i_\gamma 0,5 B \gamma N_\gamma$$

dimana:

d_c, d_q, d_γ = faktor kedalaman

i_c, i_q, i_γ = faktor kemiringan beban

B = lebar kaki dinding penahan (m)

e = eksentrisitas beban (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

N_c, N_q dan N_γ = faktor-faktor kapasitas dukung Hansen dan Vesic

Faktor keamanan minimum untuk keruntuhan kapasitas daya dukung didefinisikan sebagai berikut :

$$F = \frac{q_u}{q}$$

dimana:

q = tekanan akibat beban struktur

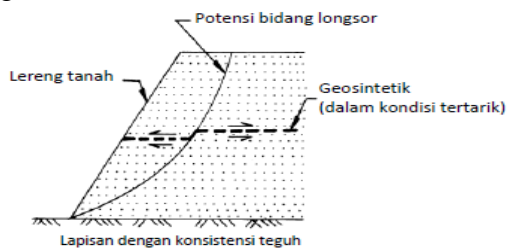
q_u = tekanan tanah ultimit

Geotekstil

Geotekstil merupakan salah satu jenis geosintetik yang berfungsi untuk memperbaiki kinerja tanah. Pada proses pembuatan geotekstil, elemen tekstil berupa untaian serat yang dikombinasikan menjadi struktur tekstil lembaran.

Geotekstil mempunyai lima fungsi primer saat bekerja pada tanah yaitu sebagai lapisan perkuatan pemisah, penyaring, proteksi, dan pelindung. Ketika tanah dan geotekstil digabungkan, maka material tanah yang diperkuat (komposit) tersebut

menghasilkan kekuatan tekan dan tarik tinggi sehingga dapat menahan gaya yang bekerja dan deformasi. Pada kondisi tersebut, geotekstil berlaku sebagai tahanan tarik gesekan (*adhesi*), saling mengikat (*interlocking*) atau pengurungan (*confinement*) langsung pada tanah dan menjaga stabilitas massa tanah seperti yang terlihat pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1 Dasar mekanisme kekuatan lereng tanah dengan geosintetik.

Perhitungan Panjang Geotekstile

Besarnya panjang penyaluran geotekstil harus mampu menahan gaya geotekstil yang bekerja.

$$L = L_e + L_r$$

dengan:

$$L_e = \frac{Sv\sigma_h(Fs)}{2(c + \gamma z \tan \delta)} = \frac{Sv\sigma_h(Fs)}{2E(c + \gamma z \tan \phi)}$$

$$L_r = (H - z) \times \left(\tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \right)$$

Untuk perhitungan panjang lipatan:

$$L_o = \frac{Sv\sigma_h(Fs)}{4(c + \gamma z \tan \delta)} = \frac{Sv\sigma_h(Fs)}{4E(c + \gamma z \tan \phi)}$$

dimana:

L_e = Panjang penyaluran geotekstil di belakang bidang longsor

L_r = Panjang penyaluran geotekstil di depan bidang longsor

L_o = Panjang lipatan geotekstil

Sv = Jarak vertikal antar geotekstil

σ_h = Tegangan tanah

Fs = Faktor keamanan

c = kohesi tanah

γ = Berat jenis tanah timbunan

z = Tinggi timbunan hingga geotekstile yang ditinjau

H = Tinggi timbunan

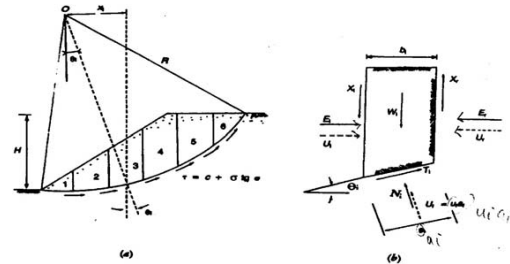
δ = Sudut friksi pada tanah dengan geotekstil

ϕ = Sudut friksi tanah

E = efisiensi geotekstil (0.8 – 1.2)

Metode Irisan

Metode irisan adalah metode perhitungan gaya normal yang bekerja pada suatu titik di lingkaran bidang longsor, dan dipecah-pecah menjadi beberapa irisan vertikal dengan memperhatikan keseimbangan dari tiap-tiap irisan.



Gambar 2 (a) Model pembagian irisan, (b) gaya-gaya yang bekerja pada irisan

Analisa Stabilitas Lereng (Metode Ordinary)

Metode ini juga biasa disebut metode Fellinius (1927) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Dengan anggapan ini, keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori.

$$FS = \frac{\Sigma c.L + \Sigma(W \cos \alpha - u.L) \tan \phi}{\Sigma W \sin \alpha}$$

dimana:

FS = Faktor keamanan

c = Kohesi tanah (kN/m^2)

ϕ = Sudut geser dalam tanah (derajat)

α = Sudut dari tengah irisan ke titik pusat (derajat)

L = Panjang lengkung lingkaran pada irisan (m)

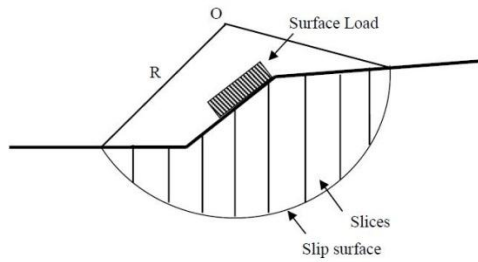
W = Berat irisan tanah (kN)

u = Tekanan air pori pada irisan (kN/m^2)

Analisa Stabilitas Lereng (Metode Bishop)

Metode ini dibuat oleh Bishop pada tahun 1955. Perhitungan hanya

didasarkan pada keseimbangan momen terhadap titik pusat lingkaran longsor dan keseimbangan gaya vertikal yang bekerja pada potongan.



Gambar 3 Metode Bishop (Sumber: Amit Prashant et al. 2010)

Maka *safety factor* yang diberikan untuk gaya-gaya pada irisan metode Bishop ialah :

$$FS_b = \frac{\sum [c'.bi + W_i(1-ru)tg \phi'] \left(\frac{1}{\cos \alpha_i(1+tg \alpha_i tg \phi' / FS_b)} \right)}{\sum [W \sin \alpha_i]}$$

dengan :

FS_b = Faktor aman lereng Bishop

FS_b' = Faktor aman lereng Bishop untuk cara coba-coba

c' = Kohesi tanah efektif (kN/m^2)

ϕ' = Sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)

b' = Lebar irisan ke-i (m)

W_i = Berat irisan tanah ke-i (kN)

α_i = Sudut yang didefinisikan dalam **Gambar 1** (derajat)

u_i = Tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m^2)

ru = Rasio tekanan air pori (kN/m^2)

Analisa stabilitas lereng setelah diperkuat geotekstil

Tahanan geotekstil dan bahan terkait adalah properti sangat penting karena hampir semua aplikasi bergantung pada baik sebagai fungsi primer atau sekunder. Tes ini berguna untuk pengendalian kualitas dan juga dapat digunakan untuk keperluan desain. Persamaan yang mewakili perkuatan geotekstil adalah:

$$\sum_{I=1}^M T_I$$

Dimana Nilai tahanan cabut (T) dapat ditentukan berdasarkan:

$$T = F^* \cdot \alpha \cdot \sigma_v \cdot L_e \cdot C$$

Dimana:

F^* = Faktor tahanan cabut

α = Faktor koreksi skala

σ_v = Tegangan vertikal efektif pada antarmuka (batas) tanah dan geosintetik

L_e = Panjang tertanam pada zona di belakang bidang keruntuhan (m)

C = Keliling efektif perkuatan, untuk geogrid dan geotekstil nilai $C=2$

Untuk faktor tahanan cabut (F^*) dan koreksi skala (α) didapat dari tabel 1.

Tabel 1 Faktor Tahanan Cabut

Tipe Perkuatan	Nilai F^*	Nilai α
Geogrid	$2/3 \tan \phi$	0.8
Geotekstil	$2/3 \tan \phi$	0.6

Untuk aplikasi perhitungannya pada metode Ordinary adalah sebagai berikut:

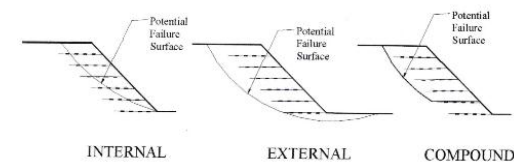
$$FS = \frac{\sum c.L + \sum (W \cos \alpha - u.L) \tan \phi + \sum T}{\sum W \sin \alpha}$$

dengan:

T = Tegangan tarik geotekstil

Model Kegagalan dari Perkuatan Geotekstil

Dalam analisis perkuatan lereng dengan geotekstil, perlu diketahui bahwa terdapat beberapa model kegagalan yang harus diperhatikan agar perencanaan geotekstil tepat dan efektif.



Gambar 4 Beberapa jenis kegagalan yang terdapat pada sistem geotekstil.

a. Model Kegagalan Eksternal

Model kegagalan eksternal berkaitan dengan kemampuan massa tanah yang telah diperkuat untuk menahan tekanan tanah aktif yang bekerja disekitar lereng dan tambahan beban luar atau *surchage*.

b. Model Kegagalan Internal

Model kegagalan internal berkaitan dengan kegagalan pada

sistem geotekstil dalam mekanisme beban yang dipikul antara tanah dan geotekstil.

- *Pullout Failure*, adalah kegagalan geotekstil yang dikarenakan ikatan antara geotekstil terhadap tanah kurang berfungsi dengan baik, dan juga dikarenakan panjang yang kurang dari geotekstil.
- *Tensile Failure*, adalah kegagalan dikarenakan mutu geotekstil yang kurang baik untuk menahan beban penggerak tanah.

Geostudio (SLOPE/W)

Geostudio merupakan perangkat lunak dalam bidang desain geoteknik yang berasal dari Kanada. Fasilitas geostudio yang dapat digunakan untuk analisis stabilitas lereng adalah pada menu SLOPE/W. Prinsip analisis yang digunakan di dalam program ini adalah *Limit Equilibrium*. Analisis tersebut menggunakan prinsip kesetimbangan gaya dan juga dikenal dengan metode irisan karena bidang kelongsoran dari lereng tersebut dibagi menjadi beberapa bagian.

Pada prinsip analisis *Limit Equilibrium* (kesetimbangan batas) menggunakan asumsi bahwa bidang kelongsoran berbentuk *circular*. Ada beberapa metode yang digunakan yaitu Ordinary (Fellini), Bishop, Janbu, dan Morgenstern-Price.

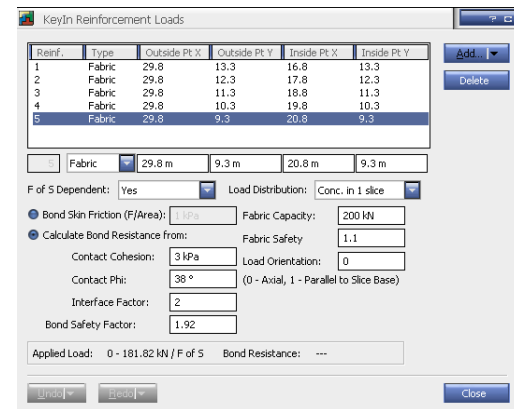
Input Data pada SLOPE/W untuk Lereng dengan Perkuatan Geotekstil

Pada SLOPE/W parameter yang ditentukan geotekstil adalah:

- Gesekan permukaan per satuan luas
- Faktor keamanan ikatan
- Kapasitas ultimate geotekstil
- Faktor keamanan geotekstil
- Orientasi Beban

Data yang dibutuhkan dalam melakukan input perkuatan tanah geotekstil pada software SLOPE/W dapat dilihat pada gambar 3. Nilai *Pullout Resistance* (tahanan cabut)

dapat langsung ditentukan manual atau dengan input parameter – parameter *Pullout Resistance*. Pada SLOPE/W parameter yang ditentukan geotekstil adalah:



Gambar 5 Tampilan input data geotekstil pada SLOPE/W

- *Bond safety factor* merupakan faktor tahanan cabut. Nilai paling akurat didapat melalui pengujian laboratorium, namun Jika data hasil pengujian tidak tersedia, maka dapat ditentukan nilai pada **Tabel 1**.
- *Fabric safety* adalah faktor reduksi untuk memperhitungkan kerusakan pada saat instalasi geotekstil, *creep*, dan daya tahan.
- *Interface faktor* adalah keliling efektif perkuatan geogrid atau geotekstil dengan nilai $C=2$.
- *Fabric capacity* merupakan nilai kuat tarik geotekstil yang didapat dari uji laboratorium

Geo 5 (Cantilever Wall)

Geo5 merupakan salah satu perangkat lunak (software) yang digunakan untuk bidang geoteknik dan lingkungan sebagai penerapan prinsip ilmu bumi untuk memecahkan masalah lingkungan yang berhubungan dengan tanah. Geo5 mencakup hal-hal antara lain penyelidikan tentang tanah. Geo5 merupakan perangkat lunak (software) yang dapat memberikan hasil perhitungan dan analisis dengan mudah dan cepat kasus kompleks yang berhubungan dengan geoteknik.

Geo5 menggunakan metode analisis *finite element* (FEM). Analisis yang dapat digunakan dalam perangkat lunak geo5 antara lain adalah tentang desain penggalian, analisis stabilitas, desain dinding penahan tanah, desain pondasi, analisis penurunan pada tanah, permodelan tanah dalam bentuk digital, serta analisis FEM. (Salih,2014)

Dinding penahan kantilever dianalisis terhadap stabilitas geser, guling dan daya dukung menggunakan perangkat lunak geo5. Langkah untuk menganalisis dinding penahan menggunakan geo5 adalah :

- Memilih analisis setting.
- Memilih bentuk dinding penahan serta memasukkan dimensi.
- Memasukkan karakteristik material.
- Menentukan parameter tanah dengan memilih jenis tanah.
- Memilih bentuk terrain.
- Menentukan tinggi muka air tanah.
- Menentukan beban luar yang bekerja (*surchage*).
- Menentukan parameter perlawanan di depan dinding penahan tanah.
- Memilih jenis situasi desain tekanan yang bekerja pada dinding penahan
- Melakukan analisis hasil stabilitas geser dan guling pada kolom verifikasi.
- Melakukan analisis daya dukung desain pada kolom bearing capacity.
- Membuka kotak dialog stabilitas dan menganalisis stabilitas keseluruhan dinding.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Proyek

Lokasi proyek dinding penahan tanah yang ditinjau terletak di provinsi Jawa Timur. Lokasi dibangunnya dinding penahan tersebut digunakan sebagai struktur bangunan embung yang berfungsi sebagai tempat penampungan air.

Dinding Penahan Tanah Eksisting

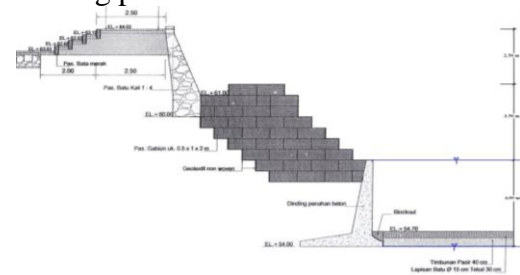
Dinding penahan tanah yang ditinjau merupakan kombinasi pasangan batu kali 1:4 pada bagian atas dengan pasangan bronjong yang dipasang dibawah pasangan batu kali dengan dimensi 1x0,5x2 dan diperkuat dengan dinding penahan beton kantilever pada bagian dasar. Dinding penahan tanah eksisting ini memiliki total tinggi 10 m dengan luas sekitar lebih dari satu hektar. Kelongsoran ambles terjadi pada bagian sisi-sisi dinding penahan embung.



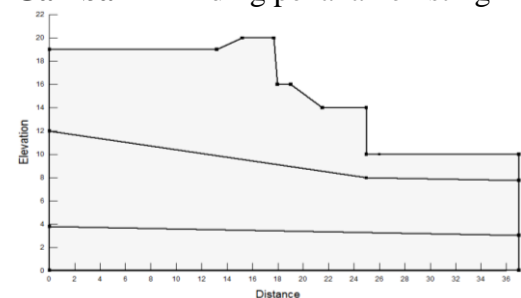
Gambar 6 Kondisi dinding penahan eksisting di lapangan.

Pemodelan Dinding Penahan

Untuk melakukan analisis stabilitas lereng pada *software* diperlukan pemodelan bentuk geometri lereng eksisting. Geometri lereng disesuaikan dengan bentuk kemiringan tanah dengan menghilangkan struktur dinding penahan.



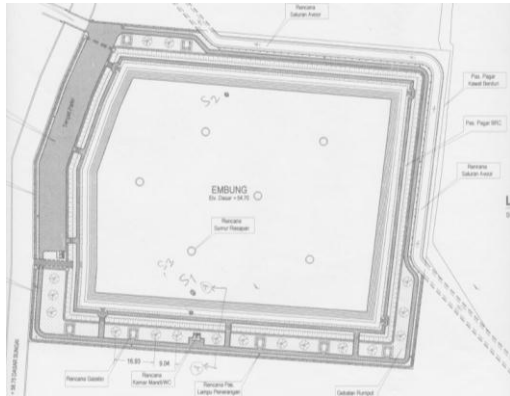
Gambar 7 Dinding penahan eksisting



Gambar 8 Pemodelan lereng eksisting

Data Pengujian Laboratorium

Pengujian di laboratorium menggunakan 3 sampel tanah dari lokasi runtuhnya dinding penahan tanah, 3 sampel diambil pada lokasi yang diberi label S1 pada kedalaman 2 dan 3 meter, S3 pada kedalaman 3 meter.



Gambar 9 Lokasi pengambilan sampel tanah untuk uji laboratorium

Hasil pengujian oleh Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya dapat dilihat pada **tabel 2** dan **tabel 3**

Tabel 2 Hasil pengujian laboratorium sampel tanah

No. Site	Kedalaman (m)	Klasifikasi USCS	GS	WC	Density	LL	PL	PI
				%	gr/cm ³	%	%	%
S3	3	OH	2,535	58,38	1,599	81,35	50,2	31,15
	2	OH	2,521	35,6	1,717	79,07	43,77	35,31
S1	3	SC	2,899	22,64	1,781	34,08	25,1	8,98

Tabel 3 Hasil pengujian sifat mekanis tanah untuk sampel tanah

No. Site	Kedalaman (m)	Direct shear		Consolidation
		ϕ	c	
		o	kg/cm ²	Cc
S3	3	31,906	0,2603	
S1	2	26,349	0,1396	
	3	40,331	0,215	

Data Pengujian Sondir

Pengujian sondir dilakukan pada 3 titik, yaitu yang diberi label S1, S2 dan S3. Hasil dari pengujian sondir dilapangan adalah berupa tiga grafik yaitu grafik hubungan kedalaman dengan tahanan konus, grafik hubungan kedalaman dengan jumlah hambatan pelekat, dan grafik

hubungan friksi rasio. Grafik-grafik tersebut dianalisis untuk mendapatkan jenis tanah sesuai dengan klasifikasi USCS.

Pada analisis menggunakan *software* diperlukan data mekanis tanah berupa: *density* (γ), kohesi (c), sudut gesek dalam tanah (ϕ). Sehingga untuk mendapatkan sifat mekanis tanah tersebut dari data sondir dilakukan konversi data dengan menggunakan bantuan *software* Geo 5 yang hasilnya dapat dilihat pada **tabel 4**, **tabel 5**, dan **tabel 6**.

Tabel 4 Konversi data sondir dari *software* geo 5 (lokasi S1)

Lapisan	Jenis Tanah	Kedalaman (m)	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ
1	CH	2	20,5	8	17
2	MS	6,3	18	12	26,5
3	SC	7,8	18,5	8	27

Tabel 5 Konversi data sondir dari *software* geo 5 (lokasi S2)

Lapisan	Jenis Tanah	Kedalaman (m)	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ
1	CH	3,3	20,5	8	17
2	MS	6,3	18	12	26,5
3	SC	8,8	18,5	8	27

Tabel 6 Konversi data sondir dari *software* geo 5 (lokasi S3)

Lapisan	Jenis Tanah	Kedalaman (m)	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ
1	CH	2,8	20,5	8	17
2	MS	7,3	18	12	26,5
3	SC	10,8	18,5	8	27

Metode Analisis

Pemilihan data tanah dilakukan dengan cara pengamatan dan analisis untuk mendapatkan data tanah yang memiliki sifat mekanis tanah paling rendah. Sehingga pada perencanaan dinding penahan tanah embung ini digunakan data tanah sondir.

Setelah data yang diperlukan diperoleh secara keseluruhan, selanjutnya diolah dan dianalisis dengan menggunakan formula yang ada pada landasan teori dan dianalisis untuk mencari alternatif perbaikan yang tepat dengan menggunakan bantuan program komputer yaitu Geostudio (Slope W) dan Geo 5.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kerusakan Dinding Penahan Tanah Eksisting

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, dimana kondisi muka air maksimum terjadi saat embung menampung air, sehingga muka air tanah berada pada elevasi 3 m dari dasar dinding penahan tanah.

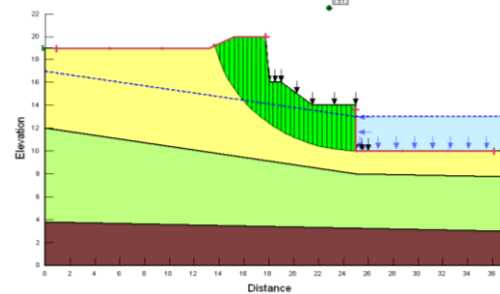
Berdasarkan analisis kondisi lereng dan dinding penahan tanah di atas dapat ditarik beberapa hipotesa sebagai berikut:

- 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.
- 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.
- 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.

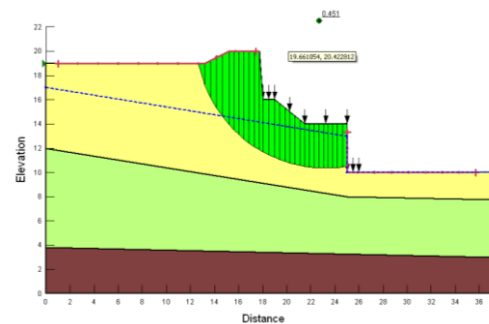
Analisis Stabilitas Lereng Eksisting dengan SLOPE/W

Galian yang menjadi sebuah lereng dari pembangunan embung memiliki tinggi sekitar 10 meter dan

relatif curam, sehingga memungkinkan terjadi kelongsoran. Titik yang ditinjau untuk analisis ini hanya diambil satu titik potongan di salah satu sisi dari embung yang mewakili keseluruhan struktur embung tersebut.



Gambar 10 Analisis lereng dengan kondisi muka air tanah maksimum



Gambar 11 Analisis lereng dengan kondisi muka air tanah normal

Analisis dari beberapa kondisi lereng eksisting dengan menggunakan perangkat lunak SLOPE/W telah dapat diketahui hasilnya pada **gambar 10** dan **gambar 11** dan pada **tabel 7**, sehingga dapat di simpulkan bahwa lereng bentuk eksisting tidak stabil dan tidak aman.

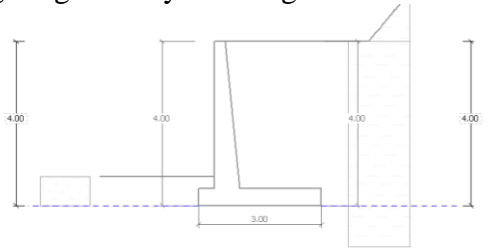
Tabel 7 Rekapitulasi angka keamanan stabilitas lereng eksisting

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

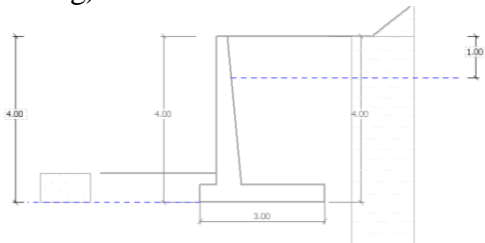
Analisis Stabilitas Dinding Penahan Kantilever dengan GEO5

Dalam menganalisis stabilitas dinding penahan kantilever, digunakan analisis potongan gambar kondisi eksisting dengan melihat bahwa dinding penahan eksisting yang

mengelilingi lereng adalah identik, sehingga analisis hanya dilakukan pada satu titik atau pada satu potongan saja. Analisis menggunakan fasilitas menu *Cantilever Wall* pada perangkat lunak GEO5. Analisis yang digunakan tersebut adalah analisis terhadap geser, guling dan daya dukung.



Gambar 12 Tampilan dialog *water* kondisi I (muka air tanah saat embung kosong).



Gambar 13 Tampilan dialog *water* kondisi II (kondisi jenuh, muka air tanah di belakang dinding penahan setinggi 3 m dari dasar).

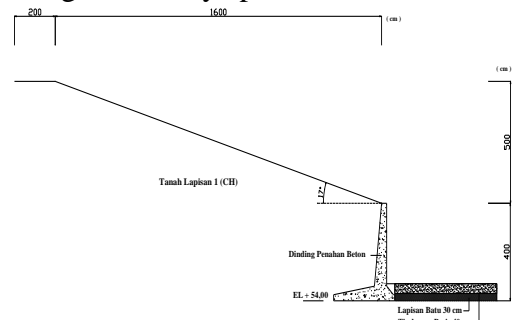
Hasil analisis dinding penahan tanah kantilever dengan perhitungan software GEO5 dipaparkan pada **gambar 12** dan **gambar 13**. Pada **tabel 8** dapat diambil kesimpulan bahwa kondisi dinding penahan kantilever eksisting tidak aman karena angka keamanannya (FS) guling dan geser kurang dari angka keamanan minimum, yaitu sebesar 2 dan FS daya dukung kurang dari angka kewanaman minimum sebesar 3.

Tabel 8 Rekapitulasi perhitungan stabilitas dinding penahan eksisting

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

Perbaikan Stabilitas Lereng dan Dinding Penahan dengan Geotekstil

Perbaikan stabilitas lereng meliputi menghilangkan penggunaan bronjong dan dinding penahan pasanga batu kali yang bertujuan untuk mengurangi beban di atas tanah timbunan, serta mengurangi kecuraman lereng tersebut menjadi 17 derajat kemiringan seperti pada **gambar 14**. Sedangkan untuk dinding penahan kantilever tetap dipertahankan supaya nantinya dapat berfungsi sebagai *facing* sekaligus dapat menghemat biaya perbaikan.



Gambar 14 Bentuk perbaikan geometri lereng

Parameter tanah yang digunakan adalah data mekanis tanah eksisting dari data sondir yang dikonversi melalui Geo 5 sebagai berikut:

Jenis Tanah CH $\gamma = 20,50 \text{ kN/m}^3$

$\phi = 17^\circ$

$C = 8 \text{ kPa}$

Jenis Tanah MS $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

$\phi = 26,5^\circ$

$C = 12 \text{ kPa}$

Jenis Tanah SC $\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$

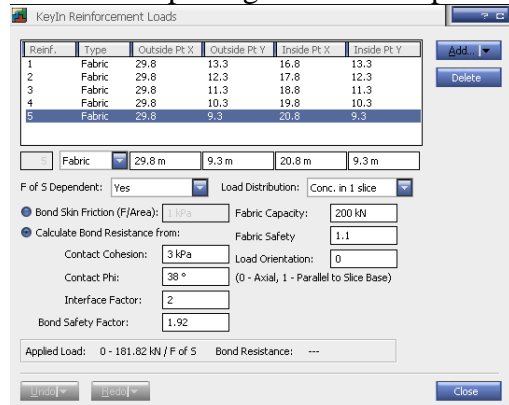
$\phi = 27^\circ$

$C = 8 \text{ kPa}$

Data Geotekstil yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Tensile capacity = 200 kN/m
- Kontak kohesi = 3 kPa
- *Interface factor* = 2
- *Fabric safety* = 1,1
- Contact phi = 38°
- *Bond safety factor* (F^*) = $2/3 \tan(38) = 0,52$ disesuaikan dengan input SLOPE/W jadi $1/0,52 = 1.92$
- Jarak vertikal antar lapisan geotekstil setinggi 1 m.

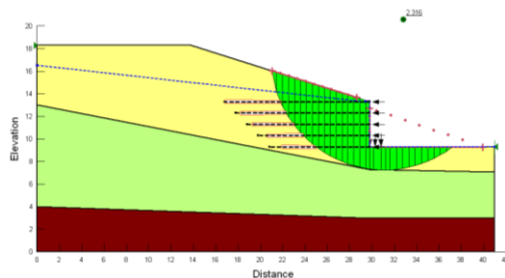
- Jumlah lapisan geotekstil 5 lapis.



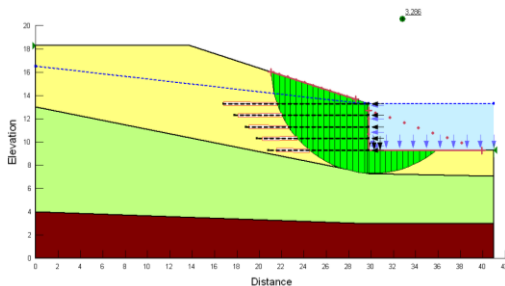
Gambar 15 Parameter input perkuatan geotekstil yang digunakan

Analisis Stabilitas Internal Lereng yang Diperkuat dengan Geotekstil

Hasil analisis kestabilan lereng yang telah diperbaiki dan diperkuat dengan geotekstil mengalami peningkatan nilai angka keamanan dari nilai sebelum diperkuat seperti pada **tabel 9**. Hasil analisis yang diperoleh adalah angka keamanan lebih besar dari 2 dimana angka tersebut menunjukkan lereng telah stabil dan aman.



Gambar 16 Konstruksi lereng setelah diperbaiki dan diperkuat dengan geotekstil pada kondisi muka air normal



Gambar 17 Konstruksi lereng setelah diperbaiki dan diperkuat dengan geotekstil pada kondisi muka air maksimum

Tabel 9 Rekapitulasi angka keamanan stabilitas lereng setelah diperkuat dengan geotekstil

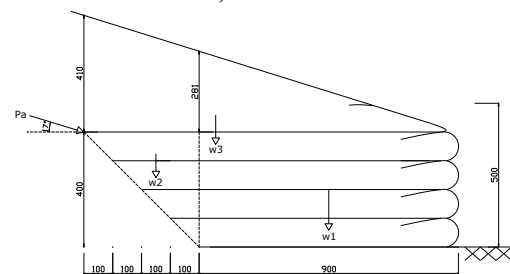
No	Kondisi Lereng	Angka Keamanan				Status
		Ordinary	Bishop	Janbu	Morgenstern-P	
1	Muka air tanah maksimum	3,655	3,286	3,343	3,321	Aman
2	Muka air tanah normal (kosong)	2,612	2,312	2,451	2,424	Aman

Analisis Stabilitas Eksternal yang Diperkuat dengan Geotekstil

Perhitungan stabilitas eksternal lereng yang telah diperbaiki dan diperkuat dengan geotekstil 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 (**gambar 18**). Hasil analisis dapat dilihat pada **tabel 10**.

Berikut adalah perhitungan stabilitas eksternal:

$$\begin{aligned}
 Pa &= 0,5 \cdot y \cdot H^2 \cdot Ka = 0,5 \cdot 20,5 \cdot 5,8 \cdot 1^2 \cdot 0,548 \\
 &= 368,224 \text{ kN/m} \\
 Pa \cos 17 &= 352,134 \text{ kN/m} \\
 Pa \sin 17 &= 107,658 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$



Gambar 18 Pembagian berat lereng

• Stabilitas Guling

Gaya yang bekerja:

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

$$\begin{aligned}
 FS_{OT} &= \frac{\sum \text{Momen Penahan Guling}}{\sum \text{Momen Penybab Guling}} \\
 &= \frac{w1 \cdot x1 + w2 \cdot x2 + w3 \cdot x3 + Pa \cdot \sin \theta \cdot z}{Pa \cdot \cos \theta \cdot H/3} \\
 &= \frac{738 \cdot 4 + 164 \cdot (10,3) + 546,3 \cdot (8,7) + 107,66 \cdot (13)}{352,134 \cdot (\frac{8,1}{3})} \\
 &= \frac{11150}{950,8} = 11,73 > 2
 \end{aligned}$$

• Stabilitas Geser

$$Pa = 0,5 \cdot y \cdot H^2 \cdot Ka = 0,5 \cdot 20,5 \cdot 6,8^2 \cdot 0,548$$

$$= 260,277 \text{ kN/m}$$

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

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

$$FS_S = \frac{\sum \frac{\text{Gaya Penahan Geser}}{\text{Gaya Penybab Geser}}}{\left(c + \frac{(w_1 + w_2 + w_3 + Pa \cdot \sin \theta)}{z} \cdot \tan \theta \right) z + B \cdot \frac{2}{3} c}$$

$$= \frac{\frac{Pa \cdot \cos \theta}{\left(8 + \frac{(738,4 + 164 + 546,3 + 76,098)}{9} \cdot \tan 17 \right) 9 + 3 \cdot \frac{2}{3} \cdot 8}}{248,904}$$

$$= \frac{554,1}{248,904} = 2,226 > 2$$

• Stabilitas Daya Dukung

Hasil perhitungan manual daya dukung dengan metode Hansen didapatkan nilai daya dukung ultimet (q_u) sebesar 308,788 kN/m² dan daya dukung yang bekerja (q_{maks}) sebesar 99,094 kN/m², sehingga didapatkan nilai faktor keamanan sebagai berikut:

$$FS = \frac{q_u}{q_{maks}}$$

$$= \frac{308,79}{99,094} = 3,116 > 3$$

Tabel 10 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

KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan perhitungan diatas dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur dinding penahan tanah eksisting mengalami kegagalan struktur karena kondisi tanah yang tergolong memiliki sifat mekanis tanah yang rendah dan pengauh beban berlebih dengan menggunakan konstruksi bronjong dan pasangan batu kali.
2. Hasil analisis stabilitas lereng eksisting dengan program SLOPE/W menunjukkan kondisi tidak stabil karena dari hasil analisa diperoleh nilai angka keamanan 0,498 untuk kondisi 1 (air berada pada dasar embung atau kosong)

dan 0,454 untuk kondisi 2 (muka air berada pada 3 m diatas dasar), sehingga diperlukan adanya perbaikan pada struktur dinding penahan eksisting tersebut.

3. Hasil analisis stabilitas dinding penahan tanah eksisting dengan program Geo 5 menunjukkan hasil tidak stabil dengan angka keamanan untuk kondisi 2 adalah sebagai berikut: stabilitas guling sebesar 1,38, stabilitas geser 0,42 dan daya dukung sebesar 0,23.
4. Desain perkuatan dengan geotekstil adalah sebagai berikut:
 - Tipe Geotekstil = Woven
 - *Tensile capacity* = 200 kN
 - *Contact Cohesion* = 3 kPa
 - *Contact Phi* = 38°
 - *Fabric safety* = 1,1
 - Jumlah lapisan geotekstil yang dipakai = 5 layer
 - Jarak vertikal antar lapisan = 1 m
Perbaikan struktur dinding penahan tanah juga dilakukan dengan mengurangi kemiringan lereng di atas dinding penahan dari yang sebelumnya lebih dari 45° diubah menjadi 17°, sehingga lereng menjadi lebih landai.
5. Hasil analisis stabilitas lereng yang diperkuat dengan geotekstil menggunakan SLOPE/W diperoleh nilai angka keamanan yang mengalami kenaikan sebesar 3,286 untuk kondisi 1 dan 2,312 untuk kondisi 2, sehingga desain perkuatan tersebut aman dan mampu menahan kelongsoran.
6. Analisis stabilitas dinding penahan dengan perkuatan geotekstil didapatkan hasil sebagai berikut: stabilitas guling sebesar 11,73, stabilitas geser 2,226 dan daya dukung sebesar 3,856. Sehingga dinding penahan tanah kantilever yang telah diperkuat dengan geotekstil dalam kondisi aman dan mampu menahan kelongsoran.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M. 2007. *Principles of Foundation Engineering - 6th Edition*. Toronto, Ontario, Canada: Nelson, A Division of Thomson Canada Limited
- Dinas PU. 2009. *Pedoman Kontruksi Bangunan: Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan tanah dengan Geosintetik No. 003/BM/2009*.
- Dinas PU. 2009. Modul Pelatihan Geosintetik Volume 1. Klasifikasi Fingsi Geosintetik
- Famungkas F. 2014. *Analisis Stabilitas Lereng Memakai Perkuatan Geotekstil dengan Bantuan Perangkat Lunak (Studi Kasus Pada Sungai Parit Raya)*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang
- Fine Company. *Engineering Manual for Geo 5 Program Part 1*. <http://www.finesoftware.eu>. Diakses pada 22 Maret 2015.
- GEO-SLOPE International Ltd. 2008. *Stability Modeling with SLOPE/W 2007 Version*. Third Edition. Canada.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. *Teknik Pondasi I. Edisi Kedua*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2003. *Mekanika Tanah II. Edisi Ketiga*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Mekanika Tanah II. Edisi Kelima*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Indrawahjuni, Herlien. 2011. *Mekanika Tanah II*. Malang: Penerbit Bargie Media.
- Koerner, Robert M. 1998. *Designing With Geosynthetics 4th*. United Kingdom. Published by Prantice Hall
- Prashant, Amit and Mousumi Mukerjee. 2010. *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks*. Indian Institute of Technology Kanpur.
- Santoso, Budi, Suprpto H., Suryadi HS. 1998. *Mekanika Tanah Lanjut*. Jakarta: Gunadarma
- Sosrodarsono, Suryono, Nakazawa, Kazuto. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: PT Pradnya Paramita
- Suryolelono, K. B, & Dip, H. E, 1994, "teknik pondasi bagian I (pondasi telapak dan dinding penahan tanah)", Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Terzaghi, Karl dan Ralph B. Peck. 1967. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Edisi Kedua Jilid 1. Jakarta: Penerbit Erlangga.