

ANALISIS STABILITAS LERENG EMBUNG DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI DINDING PENAHAN KANTILEVER DAN TIANG (*PILE*) DENGAN BANTUAN PERANGKAT LUNAK

Cendana Putri Nugroho, Eko Andi Suryo, Yulvi Zaika
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang
Jalan MT Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
Email: cendana_putri@rocketmail.com

ABSTRAK

Embung atau cekungan penampung merupakan suatu cekungan yang digunakan untuk mengatur dan menampung suplai aliran air hujan serta meningkatkan kualitas air. Embung terdiri dari struktur dinding penahan kantilever dibagian paling bawah, bronjong dibagian tengah dan paling atas adalah pasangan batu kali. Saat pelaksanaan sedang berlangsung, dinding penahan pada embung mengalami longsor. Awal mula kelongsoran hanya terjadi di satu sisi, namun kemudian longsoran dinding penahan terjadi di seluruh sisi embung. Melalui data yang diperoleh, struktur dinding penahan tanah perlu dilakukan analisis dan perhitungan ulang dengan menggunakan perkuatan dengan bantuan perangkat lunak SLOPE/W dan Geo5, sehingga struktur dinding penahan tersebut dapat meminimalisir terjadinya kelongsoran pada embung akibat kegagalan struktur dinding penahan. Dari hasil analisis, diketahui bahwa kelongsoran yang terjadi pada dinding penahan tanah disebabkan karena angka keamanan yang tidak memenuhi untuk stabilitas geser, guling, daya dukung serta stabilitas lereng, dengan angka keamanan guling sebelum perkuatan 1,38, geser 0,42, daya dukung 0,42 untuk analisis Geo5 dan angka keamanan lereng 0,451 untuk analisis SLOPE/W. Perkuatan yang digunakan dengan menggunakan *pile* diameter 35 cm, jarak antar *pile* yaitu 105 cm (3d), panjang *pile* 3,3 m serta menghilangkan beban bronjong yang ditumpukan pada dinding penahan kantilever. Dari hasil analisis menggunakan Geo5, didapatkan angka keamanan guling 9,02, geser 2,61, daya dukung 5,68 dan lereng 1,55. Sehingga desain perkuatan tersebut aman terhadap kelongsoran yang terjadi.

Kata kunci: Analisis stabilitas lereng, Dinding Penahan Kantilever, *Pile*, SLOPE/W, Geo5.

PENDAHULUAN

Embung atau cekungan penampung merupakan suatu cekungan yang digunakan untuk mengatur dan menampung suplai aliran air hujan serta untuk meningkatkan kualitas air. Pembangunan embung di kota X dibangun di lahan seluas 2 hektar. Daya tampung embung sekitar 150.000 meter kubik. Pembangunan embung menggunakan struktur dinding penahan dibagian bawahnya, kemudian lapisan atasnya adalah bronjong dan pasangan batu kali. Saat pelaksanaan pembangunan embung, dinding

penahan embung mengalami longsor. Awal mula kelongsoran yang terjadi hanya pada satu sisi saja, namun kemudian longsoran dinding penahan pada embung ini terjadi di seluruh sisi embung, sehingga perlu adanya perkuatan pada struktur dinding penahan embung. Struktur perkuatan yang digunakan adalah *pile*, serta analisis dan perhitungan ulang pada dinding penahan tanah eksisting menggunakan bantuan perangkat lunak (*software*) Geo5 dan SLOPE/W.

TUJUAN

Tujuan penyusunan adalah mengetahui penyebab keruntuhan yang terjadi, mengetahui stabilitas dinding penahan kantilever dan lereng eksisting serta merencanakan perkuatan dengan menggunakan *pile*.

TINJAUAN PUSTAKA

Analisis Stabilitas Dinding Penahan Stabilitas Guling

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

$\sum M_w$ = $W b_1$

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

$\sum M_w$ = momen yang melawan guling

$\sum M_{gl}$ = momen pengguling

W = berat sendiri dinding + tanah

B = lebar kaki dinding penahan

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

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

Stabilitas Geser

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

$\sum R_h$ = tahanan terhadap geser

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

Stabilitas Daya Dukung

$$q_u = c N_c + D_f \gamma N_q + 0,5 B \gamma N_\gamma$$

c = kohesi tanah

D_f = kedalaman pondasi

γ = berat volume tanah

B = lebar kaki dinding penahan

N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas dukung Terzaghi

Pile

Pile digunakan untuk memikul bangunan apabila tanah dasar tidak mempunyai daya dukung yang cukup, tanah keras yang letaknya sangat dalam serta sebagai perkuatan pada dinding penahan untuk meningkatkan stabilitas pada dinding penahan.

Analisis perhitungan *pile*:

Kapasitas dukung ultimit tiang tunggal

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p$$

W_p = berat sendiri tiang

Q_u = kapasitas dukung ultimit neto

Q_b = tahanan ujung bawah ultimit

Q_s = tahanan gesek ultimit

Kapasitas dukung ultimit kelompok tiang

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_a$$

E_g = efisiensi kelompok tiang

n = jumlah tiang

Q_a = beban maksimum tiang tunggal

W = berat dinding penahan

Beban Aksial Tiang

$$Q_v = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{y^2}$$

Q_v = beban vertikal tiang

n = jumlah tiang

x, y = jarak tiang terhadap sumbu y dan x

V = beban vertikal kelompok tiang

e_x, e_y = eksentrisitas sumbu x dan y

M_x, M_y = momen sumbu x dan y

Tahanan Beban Lateral

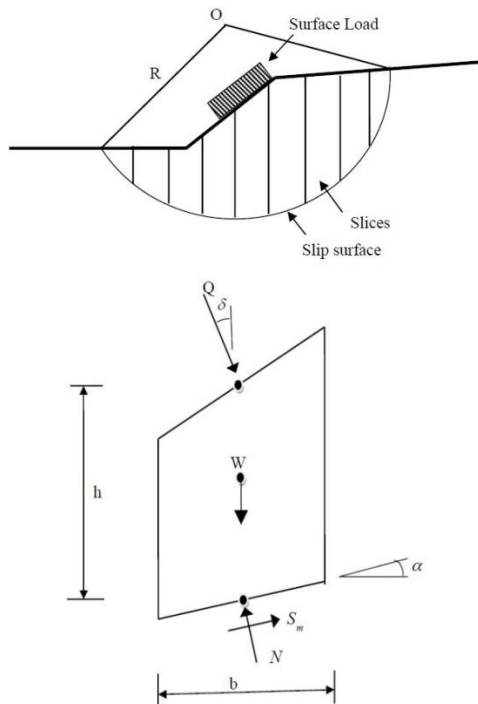
$$F_s = \frac{H_u}{H} \geq 1,5$$

H_u = beban lateral ultimit tiang

H = beban lateral per tiang

Analisis Stabilitas Lereng Sebelum Diperkuat *Pile* (Metode Bishop)

Bishop memperhitungkan keseimbangan momen terhadap pusat lingkaran serta keseimbangan gaya vertikal pada potongan.



Gambar 1 Metode Bishop (Sumber: Amit Prashant et al. 2010. *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks*)

- α = Kemiringan pada dasar potongan
 δ = Sudut antara garis lurus vertikal dengan beban permukaan lereng
 b = Lebar potongan
 h = Tinggi rata-rata dari potongan
 S_m = Kekuatan geser tanah
 Q = Beban akibat gaya luar
 N = Gaya normal yang bekerja
 W = Beban akibat tanah

Angka keamanan Bishop adalah :

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

FS_b = Faktor keamanan lereng Bishop

FS_b' = Faktor keamanan lereng Bishop cara coba-coba

c' = Kohesi tanah

ϕ' = Sudut gesek tanah

b' = Lebar potongan ke-i

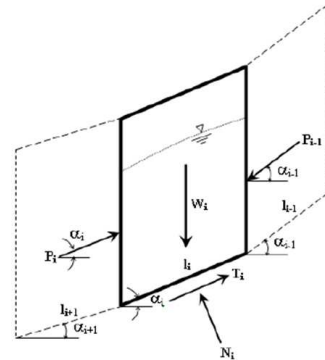
W_i = Berat potongan tanah ke-i

α_i = Sudut dalam **Gambar 1**

u_i = Tekanan akibat air pori potongan ke-i

ru = Rasio tekanan akibat air pori

Analisis Stabilitas Lereng Setelah Diperkuat *Pile* (Metode Bishop)



Gambar 2 Gaya yang bekerja pada potongan (Sumber: Mehmet Rifat Kahyaoglu et al. 2009. *Determination of Lateral Loads on Slope Stabilizing Pile*)

- W_i = Beban terpusat potongan ke-i
 T_i = Gaya geser dasar potongan ke-i
 N_i = Gaya normal dasar potongan ke-i
 A_i = Sudut yang bekerja terhadap gaya P_i
 P_i = Gaya lateral persatuan panjang

Angka keamanan Bishop setelah diberikan perkuatan pile adalah :

$$FS_{bT} = \frac{\text{Gaya penahan} + P_m}{\text{Gaya pendorong}}$$

FS_{Bt} = Faktor keamanan lereng Bishop setelah diperkuat *pile*

P_m = P_p / c_o

P_p = Skala FOS sebelum diperkuat *pile*

C_o = FOS setelah diperkuat *pile*

Geo5

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 menggunakan metode analisis dan metode *finite element* (FEM).

Geostudio (SLOPE/W)

Geostudio merupakan suatu perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk menghitung faktor keamanan dari lereng. Menu yang digunakan adalah SLOPE/W dengan metode Bishop. Metode analisis yang digunakan adalah metode *Limit Equilibrium* atau kesetimbangan batas.

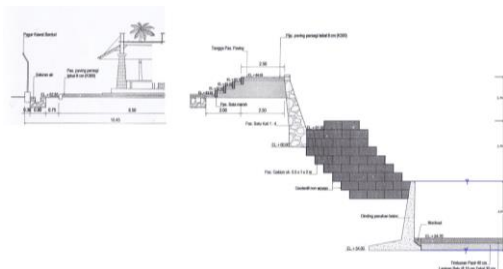
METODE PENELITIAN

Lokasi Embung

Dinding penahan yang ditinjau adalah pada proyek embung yang berada di Kota X.

Dinding Penahan dan Lereng Eksisting Embung

Dinding penahan merupakan kombinasi pasangan batu kali 1:1 dengan pasangan *gabion* ukuran 0,5 x 1 x 2 m, dan dibawah pasangan *gabion* terdapat dinding penahan beton, dirinci pada gambar berikut :



Gambar 3 Potongan Dinding Penahan pada Embung

Tabel 1 Hasil Pengujian Laboratorium (Sifat Fisis) Sampel Tanah

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

Tabel 2 Hasil Pengujian Sifat Mekanis Tanah untuk Sampel Tanah

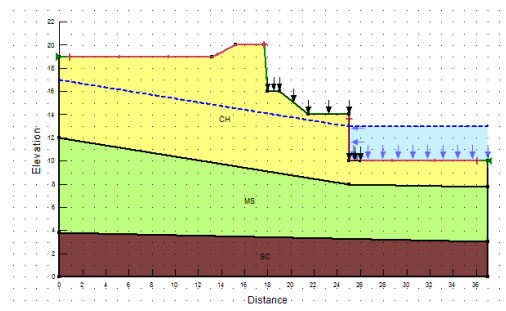
No. Site	Kedalaman (m)	Direct shear		Consolidation Cc
		σ_o	c kg/cm ²	
S3	3	31,906	0,2603	
S1	2	26,349	0,1396	
	3	40,331	0,215	

Data Input Software

Input *software* geo5 dan geoslope digunakan data dari hasil konversi sondir sebagai berikut :

Tabel 3 Input Data Software

Lapisan	Jenis tanah	Kedalaman (m)	γ kN/m ³	c kN/m ²	ϕ °
1	CH	0 - 6	20,5	8	17
2	MS	6 - 10,3	18	12	26,5
3	SC	10,3	18,5	8	27



Gambar 4 Input Data Software

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kerusakan Dinding Penahan dan Lereng Eksisting Embung

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. Hasil analisis dua kondisi muka air dengan menggunakan *software* SLOPE/W didapatkan bahwa angka keamanan (FS) pada saat kondisi muka air di depan dinding normal dan dibelakang dinding setinggi 3m dari dasar memberikan angka kermanan (FS) yang paling kritis yaitu angka keamanan (FS) sebesar 0,451. Angka tersebut menunjukan bahwa lereng hasil galian tanah datar tersebut tidak stabil jika merujuk pada angka keamanan (FS) dan intensitas kelongsoran yang ditulis oleh Bowles (1989) seperti pada **tabel 4** berikut:

Tabel 4 Hubungan 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)

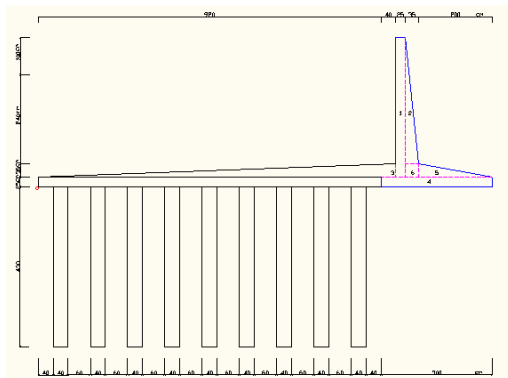
Hasil analisis dinding penahan tanah kantilever dengan perhitungan software Geo5 menunjukkan bahwa kedua kondisi tersebut semua angka keamanannya adalah kurang dari angka keamanan minimum yang dipaparkan dalam **tabel 5** :

Tabel 5 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Dinding Penahan Tanah eksisting

Keterangan	Stabilitas		
	Guling	Geser	Daya Dukung
Kondisi I	1,38	0,42	0,42
Kondisi II	1,66	0,51	0,53

Perkuatan Menggunakan *Pile*

Perkuatan dengan pile didesain menggunakan 2 tipe. Perkuatan pile tipe 1 adalah seperti pada **gambar 5**



Gambar 5 Dimensi Dinding Penahan Kantilever dengan Perkuatan Pile 1

$D_{pile} = 0,4 \text{ m}$

Jarak antar *pile* = $2,5D = 1 \text{ m}$

Jarak *pile* dan ujung *pilecap* = $0,6 \text{ m}$

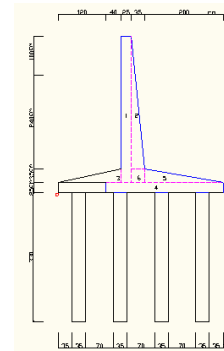
Panjang *pile* = $4,3 \text{ m}$

Jumlah *pile* = 9

Hasil analisis dinding penahan tanah dan lereng setelah diperkuat dengan menggunakan pile memberikan angka kewan yang lebih besar dari

angka keamanan minimum, yaitu untuk angka keamanan geser 7,1 , guling 10,81 , daya dukung 11,18 serta analisis stabilitas lereng didapatkan angka keamanan sebesar 1,41

Perkuatan *pile* tipe 2 adalah seperti pada **gambar 6**



Gambar 6 Dimensi Dinding Penahan Kantilever dengan Perkuatan Pile 2

$D_{pile} = 0,35 \text{ m}$

Jarak antar *pile* = $3D = 1,05 \text{ m}$

Jarak *pile* dan ujung *pilecap* = $0,525 \text{ m}$

Panjang *pile* = $3,3 \text{ m}$

Jumlah *pile* = 4

Hasil analisis dinding penahan tanah dan lereng setelah diperkuat dengan menggunakan *pile* tipe 2 memberikan angka kewan yang lebih besar dari angka keamanan minimum, yaitu untuk angka keamanan geser 2,61 , guling 9,02 , daya dukung 5,68 serta analisis stabilitas lereng didapatkan angka keamanan sebesar 1,55 yang dirinci dalam **tabel 6**, **7**, **8** dan **tabel 9**

Tabel 6 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Dinding Penahan Tanah Setelah Diperkuat *Pile* Terhadap Guling

Keterangan	Stabilitas Dinding Penahan		
	Guling	FS minimum	Keterangan
Perkuatan pile tipe 1	10.81	2	Aman
Perkuatan pile tipe 2	9.02	2	Aman

Tabel 7 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Dinding Penahan Tanah Setelah Diperkuat *Pile* Terhadap Geser

Keterangan	Stabilitas Dinding Penahan		
	Geser	FS minimum	Keterangan
Perkuatan pile tipe 1	7.1	2	Aman
Perkuatan pile tipe 2	2.61	2	Aman

Tabel 8 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Dinding Penahan Tanah Setelah Diperkuat *Pile* Terhadap Daya Dukung

Keterangan	Stabilitas Dinding Penahan		
	Daya dukung	FS minimum	Keterangan
Perkuatan pile tipe 1	11.18	2	Aman
Perkuatan pile tipe 2	5.68	2	Aman

Tabel 9 Rekapitulasi Stabilitas Lereng Setelah Diperkuat *Pile*

Keterangan	Stabilitas Lereng		
	Lereng	FS minimum	Keterangan
Perkuatan pile tipe 1	1.41	1.25	Aman
Perkuatan pile tipe 2	1.55	1.25	Aman

Desain yang dipilih dan digunakan adalah tipe 2, karena pertimbangan efisiensi yaitu dengan jumlah *pile* yang paling sedikit sebanyak 4 *pile*.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan perhitungan yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Keruntuhan yang terjadi pada dinding penahan tanah disebabkan karena angka keamanan (FS) geser, guling daya dukung serta lereng tidak memenuhi angka keamanan minimum.
2. Kondisi dinding penahan eksisting tidak stabil karena dari hasil analisis dengan *software* Geo5 diperoleh angka keamanan guling 1,38 , geser 0,42 , daya dukung 0,42 , sedangkan untuk lereng eksisting dengan *software* SLOPE/W diperoleh angka

keamanan 0,451 dimana semua nilai tersebut masih kurang dari nilai angka aman yang ditetapkan, sehingga perlu adanya perbaikan pada struktur dinding penahan tanah.

3. Dari hasil analisis didapatkan bahwa dari dua desain perkuatan, digunakan desain perkuatan *pile* tipe 2 yang letak *pile* adalah tepat dibawah dinding penahan kantilever eksisting, dengan angka keamanan guling sebesar 9,02 , geser 2,61 , daya dukung 5,68 , dimana nilai tersebut lebih dari nilai angka aman yang telah ditetapkan.
4. Dari hasil analisis didapatkan bahwa desain perkuatan *pile* tipe 2 memberikan angka keamanan yang lebih tinggi pada stabilitas lereng, dimana didapatkan angka keamanan sebesar 1,55 , angka tersebut lebih besar dari angka aman yang telah ditetapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, Diah. 2009. *Pengkajian Kapasitas Daya Dukung Tanah Gambut di daerah Pengembangan Irigasi di Kalimantan Tengah*. Puslitang SDA DPU Bandung.
- Firat, Seyhan. 2009. *Stability Analysis of Pile-Slope System*. Scientific Research and Essay. 4 (9), 842-852.
- GEO-SLOPE International Ltd. 2008. *Stability Modeling with SLOPE/W 2007 Version*. Third Edition. Canada.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. *Mekanika Tanah II*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. *Teknik Pondasi I*. Edisi Kedua. Yogyakarta : Beta Offset.

- Hardiyatmo, Hary Christady. 2003. *Mekanika Tanah II*. Edisi Ketiga. Yogyakarta : Gajah Mada University Press
- Hermawan, Ridwan. 2014. *Analisis Perkuatan Tanah Dasar pada Tanggul Sungai Gajah Putih Surakarta dengan Cerucuk Kayu*. E-Jurnal Matriks Teknik Sipil. Volume 2 No 1.
- Indrawahjuni, Herlien. 2011. *Mekanika Tanah II*. Malang : Bargie Media.
- Kahyaoglu, M.R., Imancli, G., and Ozden, G. 2009. *Determination of Lateral Loads on Slope Stabilizing Piles*. Dokuz Eylul University. 194-202.
- Liong, G.J., and Herman, D.J.G. *Analisa Stabilitas Lereng Limit Equilibrium vs Finite Element Method*. Universitas Bina Nusantara.
- Nurmanza, Edwindhi. 2015. *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Tiang (Pile) dengan Bantuan Perangkat Lunak (Studi Kasus pada Sungai Parit Raya)*. Tugas akhir Program Studi Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Prashant, Amit and Mousumi Mukerjee. 2010. *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks*. Indian Institute of Technology Kanpur.
- Salih, Asmaa S. 2014. *The Effective Contribution of Software Applications in Various Disciplines of Civil Engineering*. Sulaimani Polytechnic University. IJCIET Volume 5, Issue 12.
- Sosrodarsono, Suyono. 1983. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Fine Company. *Engineering Manual for GEO5 program part I*. <http://www.finesoftware.eu>. Diakses 22 Maret 2015.