

**ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN
PERKUATAN TIANG (*PILE*) DENGAN BANTUAN PERANGKAT LUNAK
(STUDI KASUS PADA SUNGAI PARIT RAYA)**

**Edwindhi Nurmanza, Widodo Suyadi, Suroso
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: edwin_edwindhi@yahoo.com**

ABSTRAK

Indonesia mempunyai kondisi struktur geologi dan geografi yang beraneka ragam. Dari kondisi yang beraneka ragam tersebut salah satunya adalah seperti daerah lereng. Daerah lereng Indonesia rata-rata memiliki tanah yang kurang stabil. Sehingga, secara tidak langsung memberikan potensi bahaya terhadap terjadinya longsor. Kendatipun begitu, daerah seperti itu masih banyak digunakan sebagai daerah pemukiman warga. Maka tidak heran saat terjadi longsor, banyak kerugian yang didapat baik berupa nyawa maupun harta benda. Oleh karena itu, harus ada cara alternatif di dalam pencegahan mengurangi bahaya longsor. Perkuatan lereng merupakan salah satu cara alternatif yang sesuai untuk menstabilkan kondisi lereng yang rawan terjadi longsor. Studi kasus yang digunakan adalah pada Sungai Parit Raya yang berlokasi di Desa Ngadirejo, Kecamatan Pogalan, sebelah Utara Kota Trenggalek. Untungnya, pemukiman warga berjarak cukup jauh dari lereng Sungai Parit Raya, sehingga tidak mengakibatkan adanya korban jiwa saat terjadi longsor. Mulanya, pemerintah di Trenggalek sudah membangun suatu dinding penahan di lereng sungai tersebut, tetapi masih belum bisa untuk menahan kelongsoran tanah di daerah tersebut. Dari data yang ada, kelongsoran terjadi sepanjang 90 m dari total panjang dinding penahan yaitu 375 m. Dinding penahan tersebut memiliki ketinggian sekitar 8 sampai 8,5 m. Pada perbaikan lereng diperoleh desain perkuatan *pile* dengan bronjong sebagai *facing*. Jarak antar *pile* arah memanjang yaitu 0,8 m dan dalam arah melintang 1,2 m. Diameter *pile* yang dipakai yaitu 40 cm dengan panjang *pile* sebesar 2 kali dari tinggi pias sebelum diperkuat *pile*. Dari hasil desain analisis dengan SLOPE/W didapatkan angka keamanan sebesar 1,554 yang awalnya 0,306 sebelum diperkuat. Selain itu, untuk membandingkan hasil angka keamanan dengan *software*, maka dicoba dengan memakai analisis manual dengan metode irisan, diperoleh angka keamanan 1,476 setelah diperkuat yang mulanya 0,333 sebelum diperkuat. Hasil dari desain tersebut diperoleh rencana anggaran biaya sebesar: Rp 3.448.883.000,00 (Tiga Miliar Empat Ratus Empat Puluh Delapan Juta Delapan Ratus Delapan Puluh Tiga Ribu Rupiah).

Kata kunci: SLOPE/W, Stabilitas lereng, *Pile*.

PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai kondisi struktur geologi dan geografi yang beraneka ragam. Kondisi struktur yang beraneka ragam tersebut misalnya seperti daerah lereng. Daerah lereng

banyak digunakan sebagai tempat tinggal atau pemukiman warga meskipun daerah tersebut memiliki kondisi tanah yang kurang stabil. Karena kondisi tanah kurang stabil, maka berpotensi untuk terjadi

kelongsoran. Oleh karena itu, harus ada cara atau alternatif solusi di dalam pencegahan mengurangi bahaya longsor. Perkuatan lereng merupakan salah satu cara yang sesuai untuk menstabilkan kondisi lereng yang rawan terjadi longsor.

Studi kasus yang digunakan adalah pada sungai Parit Raya yang berlokasi di Desa Ngadirejo, Kecamatan Pogalan, sebelah Utara Kota Trenggalek. Mulanya, pemerintah di Trenggalek sudah membangun suatu dinding penahan di tepi lereng sungai tersebut, tetapi masih belum bisa untuk menahan kelongsoran tanah di daerah tersebut. Dari data yang ada, diketahui dinding penahan sepanjang 375 m memiliki ketinggian sekitar 8 sampai dengan 8,5 m, kemudian mengalami kerusakan sepanjang 90 m.

TUJUAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penyebab kerusakan dinding penahan tanah eksisting melalui pengamatan di lapangan, mengetahui kondisi stabilitas lereng eksisting dan stabilitas lereng dengan perkuatan lereng yang baru memakai perangkat lunak atau *software* SLOPE/W serta menghitung rencana anggaran biaya dan menyusun tahapan metode pelaksanaan untuk pekerjaan di lokasi tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Pile

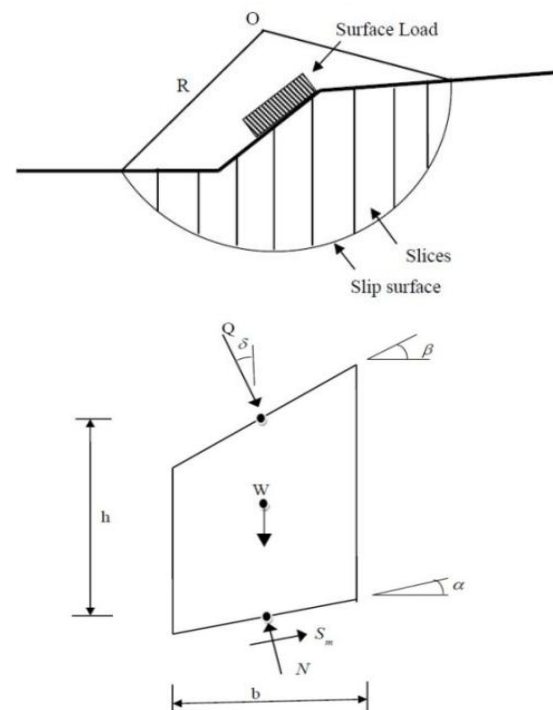
Pile digunakan untuk menstabilkan kelongsoran tanah aktif. *Pile* yang digunakan pada stabilitas lereng umumnya dibebani oleh gaya lateral perpindahan horizontal tanah di sekelilingnya dan karena itulah *pile* tersebut dinamakan sebagai *pile* pasif.

Saat ini, ada beberapa metode untuk menganalisis besar tekanan tanah yang bekerja pada lereng yang diperkuat oleh *pile*. Salah satu metode berbasis teoritik yang diperkenalkan

oleh Ito dan Matsui (1975) dan De Beer dan Carpentier (1977). Metode empirik dari hasil uji pembebanan secara lateral pada kondisi batas oleh Broms (1964). Tekanan tanah dalam kondisi batas menggunakan metode elemen hingga tiga dimensi oleh Pan et al (2002) dan W.B. Wei (2009). Metode elemen hingga dua dimensi oleh Eng Chew Ang (2005). Zeng dan Liang (2002) mengemukakan kesetimbangan gaya pada irisan untuk memprediksi faktor keamanan untuk lereng yang diperkuat dengan *pile*. Dikenal sebagai metode keseimbangan batas.

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

Metode ini dibuat oleh Bishop (1955) Perhitungan hanya didasarkan pada keseimbangan momen terhadap titik pusat lingkaran longsor dan keseimbangan gaya vertikal yang bekerja pada potongan (Herlien, 2011: 125).



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

Keterangan gambar :

- α = Sudut kemiringan dasar irisan
- β = Sudut kemiringan permukaan irisan
- δ = Sudut tegak lurus beban permukaan lereng terhadap garis lurus vertikal
- b = Lebar irisan
- h = Tinggi rata-rata dari irisan
- S_m = Kekuatan geser tanah
- Q = Beban luar
- N = Gaya normal
- W = Beban tanah

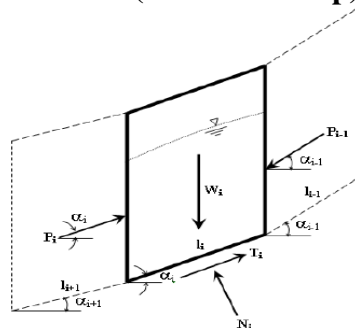
Maka *safety factor* yang diberikan untuk gaya-gaya pada irisan metode Bishop ialah :

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

Dimana :

- 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)

Analisis Stabilitas Lereng Setelah Diperkuat Pile (Metode Bishop)



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

Keterangan gambar :

- W_i = Beban terpusat dari irisan ke-i
- T_i = Gaya geser pada dasar irisan ke-i
- N_i = Gaya normal pada dasar irisan ke-i
- α_i = Sudut terhadap gaya P_i yang bekerja
- P_i = Gaya lateral tiap satuan panjang

Persamaan untuk mencari nilai nilai P_i :

$$P_i = W_i \sin \alpha_i - \left[\frac{c_i l_i}{F} + (W_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \frac{\tan \phi_i}{F} \right] + k_i R P_{i-1}$$

dimana :

- W_i = Beban terpusat dari irisan (kN)
- c_i = Kohesi tanah efektif (kN/m^2)
- F = Angka keamanan dari hasil software sebelum diperkuat *pile*
- u_i = Tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m^2)
- l_i = panjang dasar irisan ke-i (m)
- k_i = nilai koefisien

Nilai koefisien diperoleh dari persamaan yaitu :

$$k_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \frac{\tan \phi_i}{F}$$

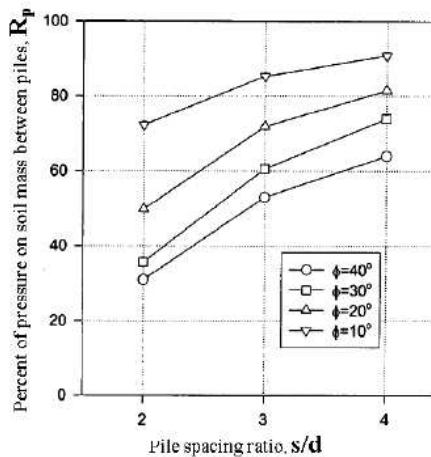
R = faktor reduksi diperoleh dari persamaan,

$$R = \frac{1}{s/d} + \left(1 - \frac{1}{s/d}\right) R_p$$

Dimana: s/d = rasio jarak antar *pile*

R_p = presentase tekanan tanah antar *pile* (%).

Pengaruh variasi sudut geser menurut Zeng dan Liang. Di gambarkan dalam bentuk grafik hubungan s/d (rasio jarak antar *pile* dengan R_p (presentase tekanan tanah antar *pile*). Berikut pada **gambar 3** akan dipaparkan grafiknya.



Gambar 3. Pengaruh variasi sudut geser (Sumber: Mehmet Rifat Kahyaoglu et al. 2009. Determination of Lateral Loads on Slope Stabilizing Pile)

Maka, karena gaya penahan tambahan, yaitu P_p oleh *pile*. Kemudian hasil P_i dibagi dengan jarak antar pusat *pile* D_1 , sehingga menjadi :

$$P_p = P_i/D_1$$

Gaya P_p ditambahkan ke dalam FOS perhitungan. Namun demikian, terlalu tinggi gaya P_p dapat menyebabkan hasil tidak aman dalam desain lereng. Maka, Hassiotis et al. (1997) menyarankan penggunaan dimobilisasi dengan gaya lateral sehingga :

$$P_m = P_p/co$$

Dimana : co = faktor reduksi geser lebih besar dari 1,0

Maka FOS yang terjadi setelah diperkuat *pile* dengan bishop menjadi :

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

Geostudio (SLOPE/W)

Geostudio merupakan perangkat lunak di bidang geoteknik untuk menganalisis stabilitas lereng. *Software* ini menggunakan metode keseimbangan batas.

Metode ini adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya, dikenal juga sebagai metode irisan karena bidang kelongsoran dari lereng tersebut dibagi menjadi beberapa pias. Dalam Metode ini,

terdapat dua asumsi bidang kelongsoran yaitu *circular non-circular*. Pada metode kesetimbangan batas digunakan asumsi bidang kelongsoran *circular*.

SLOPE/W Sebelum Diperkuat *Pile* (Metode Bishop Disederhanakan)

Pada metode Bishop yang disederhanakan, software SLOPE/W terlebih dahulu menggunakan rumus Ordinary atau metode Fellinius.

$$FS_f = \frac{\sum [c' \cdot b_i + N \tan \phi']}{\sum [W \sin \alpha_i]}$$

Dimana :

- FS_f = Faktor aman lereng Fellinius
- 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 2** (derajat)

Metode ini bertujuan untuk mencari atau membantu menemukan pendekatan nilai $FS_{b'}$ pada Bishop sehingga mempermudah proses coba-coba (*trial error*). Nilai FS_f pada Fellinius akan dipakai untuk nilai pendekatan awal pada nilai $FS_{b'}$ di metode Bishop sehingga akan didapat nilai yang konvergen antara FS_b dan $FS_{b'}$.

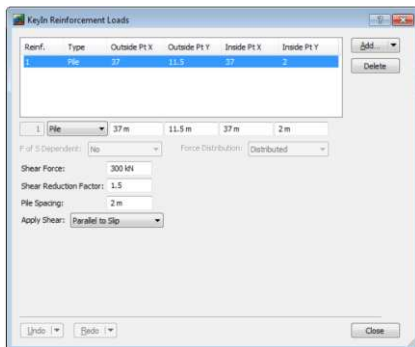
Berikut ini adalah langkah-langkah analisis stabilitas lereng dengan menggunakan SLOPE/W.

1. Membuka GeoStudio SLOPE/W untuk analisis stabilitas lereng.
2. Memilih *Toolbars* yang tersedia untuk digunakan.
3. Mengatur area gambar.
4. Mengatur ukuran halaman area gambar.
5. Mengatur skala.
6. Mengatur jarak pada *Grid*.
7. Mengatur dan menampilkan *Grid*.
8. Menyimpan data ke *File*.
9. Menentukan *Axes* untuk mempermudah pembacaan jarak dan lebar dan tinggi.
10. Penggambaran geometri lereng.

11. Menentukan metode analisis.
12. Menentukan opsi yang digunakan dalam analisis.
13. Menentukan sifat-sifat material tanah.
14. Menggambar *Piezometric Line* untuk menentukan garis pada muka air tanah.
15. Menggambar lokasi *Entry and Exit* untuk menentukan batasan dari garis.
16. Menyimpan hasil analisis..

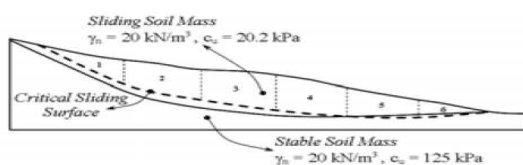
SLOPE/W Setelah Diperkuat *Pile* (Metode Bishop Disederhanakan)

Pada metode bishop yang disederhanakan yang telah diperkuat *pile*, perangkat lunak SLOPE/W memerlukan parameter-parameter yang akan digunakan untuk menginput data pada perkuatan *pile* yang akan ditampilkan pada gambar 4.



Gambar 4. Tampilan *Input* data perkuatan dengan *Pile* (Sumber: *Reinforcement with Pile. 2007. SLOPE/W*)

- *Shear force* menurut studi kasus Zeng dan Liang. Memodelkan keruntuhan lereng seperti gambar 5.



Gambar 5. Potongan irisan lereng (Sumber: Mehmet Rifat Kahyaoglu et al. 2009. Determination of Lateral Loads on Slope Stabilizing Pile)

Tabel 1. Beban-beban yang bekerja pada setiap irisan pada lereng tanpa perkuatan

Slice No	W_i (kN/m)	α_i (°)	L_i (m)	k_i	Global Factor of Safety (F=1.023)
					Force acting on Slice (P_i) (kN/m)
1	517.36	29.6	11.51	0.869	28.27
2	1261.82	21.6	10.76	0.990	280.04
3	1686.35	14	10.31	0.991	481.97
4	1664.41	6.7	10.07	0.992	473.41
5	1403.41	-0.6	10.00	0.992	257.42
6	520.07	-7.8	9.36	0.992	-0.02

(Sumber: Mehmet Rifat Kahyaoglu et al. 2009. Determination of Lateral Loads on Slope Stabilizing Pile)

Di dalam menaruh *pile*, Zeng dan Liang memilih irisan ke-3. Dimana gaya yang bekerja pada irisan ke-3 yaitu sebesar 481,97 kN/m, kemudian di *input* di dalam SLOPE/W.

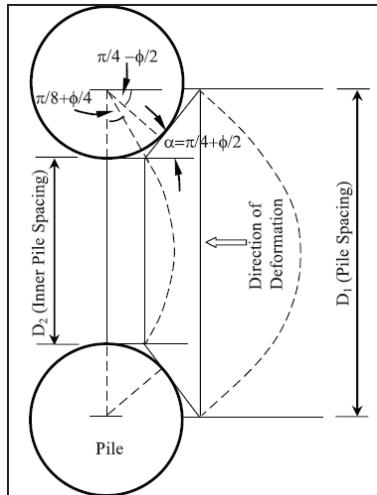
Sehingga nanti akan didapatkan nilai FOS naik dari 1,023 menjadi 1,164, seperti ditunjukkan dalam tabel 2.

Tabel 2. Beban-beban yang bekerja pada setiap irisan pada lereng memakai perkuatan

Slice No	k_i	Global Factor of Safety (F=1.164)		
		P_i (kN/m)	Force acting on a Pile (kN/m)	Pressure acting on a Pile (kN/m ²)
		0		
1	0.870	55.77		
2	0.990	332.97		
3	0.991	410.54	149.84	18.73
4	0.992	426.62		
5	0.992	234.90		
6	0.992	0.00		

(Sumber: Mehmet Rifat Kahyaoglu et al. 2009. Determination of Lateral Loads on Slope Stabilizing Pile)

- *Shear Reduction Factor* ditetapkan 1,5. Kemudian dimasukkan pada parameter yang ada di $SLOPE/W$.
- *Pile Spacing* yang dipakai adalah jarak antar *pile* dari pusat ke pusat *pile* (D_1). Pada **gambar 6**.



Gambar 6. Jarak antar *pile*
(Sumber: Mehmet Rifat Kahyaoglu et al. 2009. Determination of Lateral Loads on Slope Stabilizing Pile)

Rencana Anggaran Biaya

Tujuan menghitung rencana anggaran biaya adalah untuk mengetahui estimasi biaya yang dikeluarkan untuk membangun suatu bangunan proyek yang telah direncanakan. Dibutuhkan gambar rencana untuk menghitung volume dari masing-masing pekerjaan. Selanjutnya akan dihitung analisis anggaran biaya dan akan didapatkan rencana anggaran biaya. Tentu seorang estimator mendesain bangunan dengan sehemat mungkin tetapi kuat dan kokohnya bangunan tidak boleh dikesampingkan.

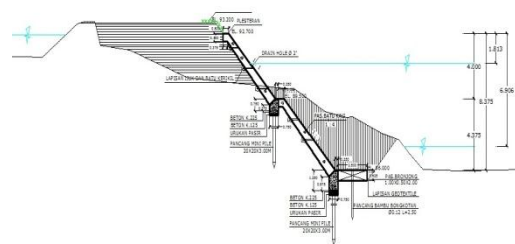
METODE PENELITIAN

Lokasi Proyek

Lokasi proyek dinding penahan tanah yang ditinjau terletak di Tebing Sungai Parit Raya, Desa Ngadirejo, Kecamatan Pogalan, Kabupaten Trenggalek.

Kondisi Lereng dan Dimensi Dinding Penahan Tanah Eksisting

Dinding penahan tanah merupakan kombinasi dinding penahan pasangan batu kali 1:4 dengan pasangan bronjong yang dipasang dibawah pondasi pasangan batu kali dengan dimensi 1x0,5x2 m. Dinding penahan eksisting ini memiliki tinggi sekitar 8 m menggunakan pondasi pancang jenis *mini pile* diameter 20x20 cm dengan kedalaman 3 m. Dinding penahan tanah eksisting ini memiliki panjang keseluruhan 375 m dan mengalami kerusakan sepanjang 90 m. Diketahui elevasi muka air sungai maksimum yaitu 5,525 m sedangkan muka air normal adalah 1,45 m terhadap dasar permukaan struktur dinding penahan serta terdapat genangan di belakang lereng yang akan timbul saat musim hujan datang.



Gambar 7. Kondisi lereng dan konstruksi dinding penahan tanah eksisting

Kondisi Pada Lokasi Proyek

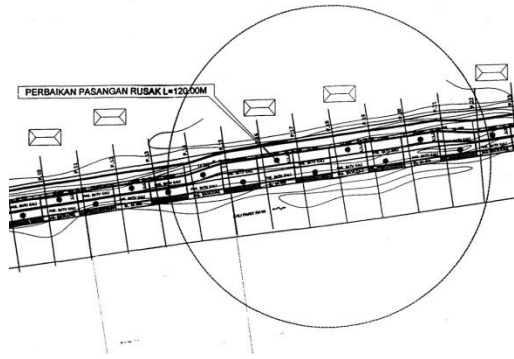
Dari hasil peninjauan di lapangan yang dilakukan diketahui telah terjadi kelongsoran ke arah muka sungai dengan tembok penahan (eksisting) rusak sepanjang 90 m dari panjang keseluruhan 375 m.



Gambar 8. Kondisi dinding penahan eksisting melalui peninjauan lapangan

Data Pengujian Boring

Data pengujian boring yang digunakan terletak pada titik B1 hingga B6 karena titik ini lebih dekat atau berada langsung pada konstruksi rencana dinding penahan tanah yang akan dibangun nantinya.



Gambar 9. Titik lokasi pengujian boring

Hasil pengujian boring pada titik B1 hingga B6 diuji oleh Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, berikut adalah rekapitulasi hasil pengujian boring pada titik B-01 hingga B-06.

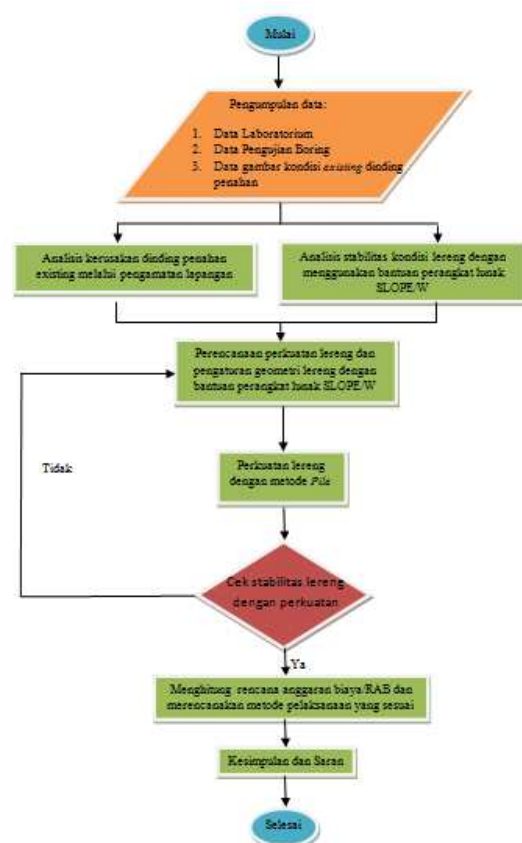
Tabel 3. Rekapitulasi hasil-hasil pengujian sifat mekanis tanah untuk sampel tanah

No. Sampel	Direct Shear		Y gr/cm ³
	c kg/cm ²	φ °	
B1-200	0,1411	13,711	1,922
B1-400	0,1494	12,107	1,725
B1-600	0,141	10,458	1,622
B2-200	0,0913	12,105	1,733
B2-400	0,0913	13,711	1,734
B2-600	0,155	10,458	1,666
B3-200	0,128	15,273	1,909
B3-400	0,085	13,711	1,755
B3-600	0,062	10,458	1,647
B4-200	0,24	15,508	1,871
B4-400	0,033	13,927	1,801

B4-600	0,014	10,628	1,707
B5-200	0,045	12,105	1,77
B5-400	0,018	13,711	1,605
B5-600	0,0477	10,458	1,671
B6-200	0,0892	13,71	1,73
B6-400	0,128	12,105	1,75
B6-600	0,041	10,458	1,75

Flowchart Tahapan Perhitungan

Analisis perhitungan dapat dilihat pada diagram alir yang disajikan dalam flowchart tahapan perhitungan berikut :



Gambar 10. Flowchart tahapan perhitungan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Penyebab Kerusakan Penahan Tanah Eksisting

Melalui pengamatan di lokasi, diketahui telah terjadi kelongsoran ke arah muka sungai sepanjang 90 m dari total panjang 375 m. Diketahui elevasi muka air sungai maksimum 5,525 m sedangkan muka air normal 1,45 m terhadap dasar permukaan struktur dinding penahan. Terdapat pula genangan air ± 15 cm di belakang lereng yang akan timbul saat musim hujan datang.

Melalui analisis kelongsoran juga ditemukan bahwa tinggi garis kelongsoran cukup tinggi sehingga kedalaman tiang pancang tidak sesuai untuk menahan permukaan garis kelongsoran yang terjadi. Angka keamanan yang diperoleh dari analisis kelongsoran tersebut dengan program SLOPE/W adalah 0,685 sehingga angka tersebut menunjukkan bahwa lereng tersebut tidak aman jika ditinjau dari faktor keamanan (F) yang dihubungkan dengan intensitas kelongsorannya (Bowles, 1989).

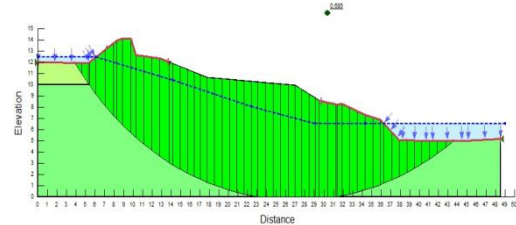
Tabel 4. Hubungan nilai faktor keamanan lereng dan intensitas longsor

NILAI FAKTOR KEAMANAN	KEJADIAN INTENSITAS LONGSOR
F kurang dari 1,07	Longsor <i>terjadi</i> biasa/sering (lereng labil)
F antara 1,07 sampai 1,25	Longsor <i>pernah</i> terjadi (lereng kritis)
F diatas 1,25	Longsor <i>jarang</i> terjadi (lereng relatif stabil)

Analisis Stabilitas Lereng Eksisting dengan SLOPE/W

Dalam analisis kondisi lereng eksisting, kelongsoran melalui 7 potongan gambar kondisi eksisting dimulai dari P15 sampai P21. Keseluruhan potongan tersebut dianalisis satu persatu dengan

menyesuaikan kondisi sifat fisik material tanah lewat denah keenam titik Borlog yang terdekat dari potongan yang diambil. Berikut adalah hasil analisis keseluruhan potongan yang telah dianalisis kestabilan lereng eksistingnya dengan perangkat lunak SLOPE/W.



Gambar 11. Gambar kontur hasil dari analisis kestabilan lereng eksisting geometri P18 (metode bishop)

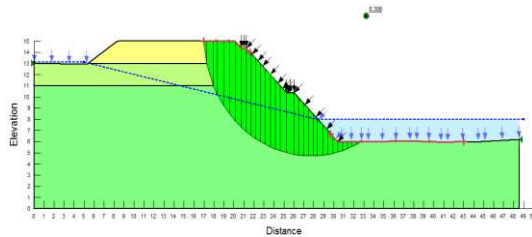
Dari analisis kondisi eksisting, diambil potongan 18 karena yang paling kritis dilihat dari nilai angka keamanan. Oleh karena itu, potongan 18 digunakan sebagai desain untuk memakai perkuatan. Dipaparkan dalam **tabel 5**.

Tabel 5. Rekapitulasi angka keamanan kestabilan lereng eksisting

No.	Nama Potongan	Nilai Angka Keamanan		Radius (cm)
		Ordinary	Bishop	
1	P15	1,328	1,466	25,887
2	P16	1,241	1,371	25,126
3	P17	0,747	0,888	28,551
4	P18	0,535	0,685	28,242
5	P19	0,556	0,704	28,05
6	P20	0,706	0,843	26,671
7	P21	0,730	0,820	26,066

Perbaikan Konstruksi Penahan Lereng dengan Pile

Dari kondisi lereng potongan 18, diperbaiki kembali dengan tanah urugan dan timbunan. Kemudian akan dipakai sebagai kondisi perkuatan dengan memakai konstruksi *pile*. Pada **gambar 12** terlihat bahwa angka keamanan yaitu 0,306.



Gambar 12. Potongan 18 setelah diperbaiki

Konstruksi penahan akan menggunakan perkuatan *pile* dengan geometri lereng mengikuti konstruksi yang sudah ada yaitu dengan kemiringan 1:1 (45°) *facing* yang digunakan adalah bronjong dengan ukuran 1x0,5x2 m. Berikut adalah perhitungan dan penentuan parameter-parameter yang digunakan dalam perencanaan konstruksi perkuatan dengan *pile* menggunakan perangkat lunak SLOPE/W

- Parameter tanah

Sifat mekanis tanah yang digunakan ialah titik T4 dikarenakan titik terdekat dengan potongan gambar P18 dengan kedalaman tiap lapisan ialah 2 m, berikut rekapitulasi data tanah pada titik T4:

Lapisan 1, $\gamma = 1,871 \text{ gr/cm}^3$
 $c = 0,24 \text{ kg/cm}^2$
 $\phi = 15,508^\circ$

Lapisan 2, $\gamma = 1,801 \text{ gr/cm}^3$
 $c = 0,033 \text{ kg/cm}^2$
 $\phi = 13,927^\circ$

Lapisan 3, $\gamma = 1,707 \text{ gr/cm}^3$
 $c = 0,014 \text{ kg/cm}^2$
 $\phi = 10,628^\circ$

- Berat *facing* dari bronjong

Berat jenis dari *facing* bronjong adalah 1600 kg/m^2 sehingga dengan menggunakan tebal 0,5 m maka berat satuan per meter ialah:

$$1600 \text{ kg/m}^2 \times 0,5 \text{ m} = 800 \text{ kg/m}^2$$

$$800 \text{ kg/m}^2 \times \cos 45^\circ = 565,685 \text{ kg/m}^2$$

$$565,685 \text{ kg/m}^2 = 56,5685 \text{ kN/m}^2$$

- Data konstruksi *pile*

- Diameter *pile* (D) = 40cm = 0,4 m
- Faktor reduksi geser (c_0) = 1,5

- Jarak antar *pile* memanjang (S) = $2D = 2 \times 40 = 80 \text{ cm} = 0,8 \text{ m}$
- Jarak antar *pile* melintang = 1,2 m
- Panjang *pile* ditetapkan (L) = 2x dari tinggi kelongsoran pada pias sebelum diperkuat oleh *pile* (hpias),

Tabel 6. Rekapitulasi panjang *pile*

Pile ke-	h pias sebelum diperkuat (m)	2 kali hpias (m)
1	5,2612	10,5224
2	6,8245	13,649
3	7,2959	14,5918
4	7,2959	14,5918
5	6,6097	13,2194
6	5,9918	11,9836
7	5,594	11,188

Kemudian menyesuaikan dengan batas koordinat x yang ada di *software* SLOPE/W.

- Input nilai *shear force* mengacu pada hasil perhitungan lereng memakai SLOPE/W sebelum diperkuat *pile* (**Tabel 7**).

Tabel 7. Rekapitulasi nilai *shear force*

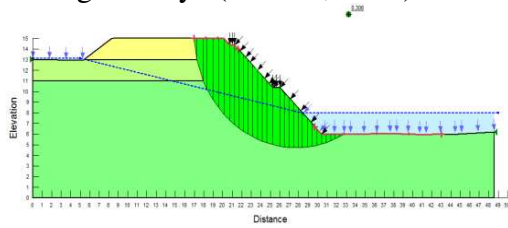
Pile ke-	Pias ke-	Nilai Shear Force (kN)
1	4	81,339
2	6	48,988
3	8	25,435
4	10	51,186
5	13	66,513
6	15	71,184
7	16	67,722

Data nilai *shear force* tersebut diperoleh dari data *free body diagram* yang ada pada irisan sebelum diperkuat *pile*.

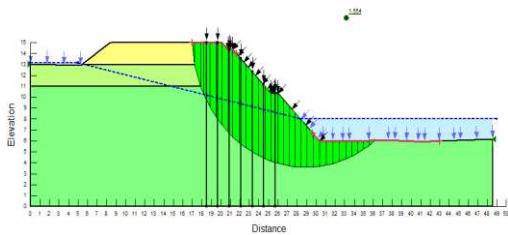
Hasil analisis dari kestabilan lereng yang diperkuat

Dari hasil analisis kestabilan lereng pada potongan gambar P18 yang telah diperkuat dengan *pile*, diperoleh nilai angka keamanan naik menjadi 1,554 yang sebelum diperkuat konstruksi eksisting tersebut sebelumnya hanya senilai 0,306 dengan analisis menggunakan metode Bishop. Angka tersebut menunjukkan lereng telah stabil dengan ditinjau dari faktor keamanan (F) yang

dihubungkan dari intensitas kelongsorannya (Bowles, 1989).



Gambar 13. Gambar kontur kontruksi eksisting sebelum diperkuat *pile*



Gambar 14. Gambar kontur lereng setelah diperkuat *pile*

Kemudian dicoba dengan mengecek menggunakan perhitungan manual konsep metode irisan. Sehingga bisa membandingkan nilai SF manual dan SF *software*. Dipaparkan dalam **tabel 8**.

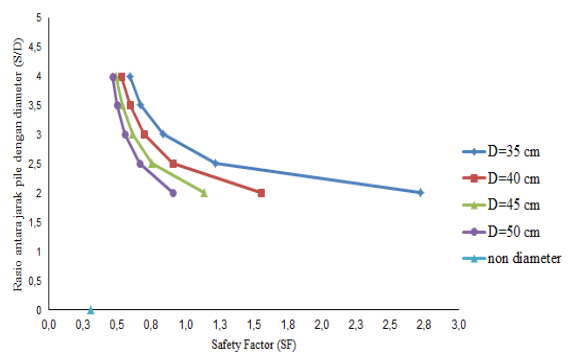
Tabel 8. Rekapitulasi angka keamanan kestabilan lereng setelah diperkuat

	Nilai SF	
	Perhitungan Manual	Perhitungan Software
Tanpa Pile	0,333	0,306
Dengan Pile	1,476	1,554

Selain itu, juga dilihat hubungan rasio jarak antar *pile* dan diameter dengan SF. Dibuat variasi diameter dan jarak antar *pile*. Diameter dibuat 4 macam variasi yaitu 35 cm, 40 cm, 45 cm, dan 50 cm. Kemudian jarak antar *pile* dibuat 5 macam variasi pada masing-masing ukuran diameter. Hasilnya akan dipaparkan dalam **tabel 9** dan **gambar 15**.

Tabel 9. Hubungan S/D dengan SF

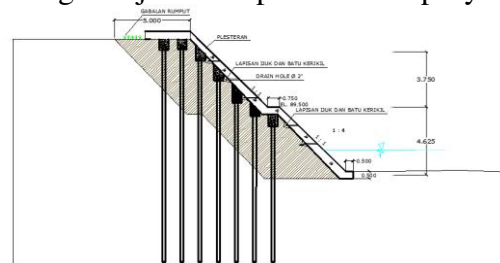
No.	S/D	D (cm)	S (cm)	SF
1	0	0	0	0,306
2	2	35	70	2,719
3	2,5	35	87,5	1,221
4	3	35	105	0,836
5	3,5	35	122,5	0,667
6	4	35	140	0,591
7	0	0	0	0,306
8	2	40	80	1,554
9	2,5	40	100	0,909
10	3	40	120	0,694
11	3,5	40	140	0,591
12	4	40	160	0,531
13	0	0	0	0,306
14	2	45	90	1,136
15	2,5	45	112,5	0,754
16	3	45	135	0,613
17	3,5	45	157,5	0,537
18	4	45	180	0,492
19	0	0	0	0,306
20	2	50	100	0,909
21	2,5	50	125	0,662
22	3	50	150	0,557
23	3,5	50	175	0,500
24	4	50	200	0,464



Gambar 15. Hubungan S/D dengan SF

Analisis Rencana Anggaran Biaya

Dalam perhitungan volume pekerjaan suatu proyek dibutuhkan gambar rencana pekerjaan. Hasil volume pekerjaan ini digunakan untuk menghitung rencana anggaran biaya, perhitungan keperluan bahan dan tenaga kerja dalam pelaksanaan proyek.



Gambar 16. Gambar rencana perkuatan lereng dengan *pile*

Perhitungan analisis harga satuan pekerjaan ini mengacu pada SNI 2008 tentang Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Untuk Konstruksi

Bangunan Gedung dan Perumahan. Serta mengacu pada AHSP Bidang Bina Marga Bagian 3 yang menetapkan koefisien atau indeks bahan bangunan dan indeks tenaga kerja untuk setiap satuan pekerjaan serta indeks untuk koefisien alat berat. Selain itu, harga satuan menggunakan Harga Satuan Bahan dan Upah tahun 2014 wilayah Trenggalek. Rencana anggaran biaya yang didapatkan dari hasil perhitungan adalah sebesar: Rp 3.448.883.000,00 (Tiga Miliar Empat Ratus Empat Puluh Delapan Juta Delapan Ratus Delapan Puluh Tiga Ribu Rupiah).

Metode Pelaksanaan

Persiapan pekerjaan harus maksimal sebelum pemasangan *pile* dilaksanakan pada lereng rencana. Untuk mempersiapkan rencana dengan baik dan semaksimal mungkin, maka perlu dilakukan peninjauan ke lokasi atau lapangan yang berguna untuk mengetahui kondisi yang ada di lokasi atau lapangan. Tahapan pelaksanaan sebagai berikut:

1. Peninjauan ke lokasi kerja atau lapangan
2. Persiapan pekerjaan
3. Pekerjaan pembongkaran
4. Pengaturan saluran air (drainase)
5. Pemasangan *pile*
 - a. Pekerjaan perapihan kondisi lereng.
 - b. Menentukan jumlah titik pancang.
 - c. Pengangkutan *pile* ke lokasi.
 - d. Pemancangan
 - e. Penyambungan *pile*.
6. Pemasangan bronjong sebagai *facing*.

KESIMPULAN

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

1. Melalui pengamatan di lapangan diketahui terdapat genangan air \pm 15 cm di belakang lereng atau konstruksi yang muncul saat musim hujan datang sehingga mempengaruhi stabilitas lereng karena menambah beban keruntuhan dari lereng tersebut serta kondisi tanah yang kurang baik di sekitar lokasi konstruksi membuat kondisi lereng menjadi tidak stabil dan rentan mengalami kelongsoran.
2. Kondisi stabilitas lereng eksisting kurang stabil karena dari hasil analisis dengan SLOPE/W diperoleh nilai angka keamanan 0,685.
3. Dari hasil analisis didapatkan desain perkuatan dengan *pile* sebagai berikut:
 - Diameter *pile* (D) = 40 cm = 0,4 m
 - Faktor reduksi geser (c_o) = 1,5
 - Jarak antar *pile* memanjang (S) = $2D = 2 \times 40 = 80$ cm = 0,8 m
 - Jarak antar *pile* melintang = 1,2 m
 - Panjang *pile* ditetapkan (L) = 2x dari tinggi kelongsoran pada pias sebelum diperkuat oleh *pile* (hpias).

Dari hasil analisis dengan menggunakan SLOPE/W diperoleh desain tersebut mampu menahan kelongsoran dengan angka keamanan yang mulanya hanya 0,306 (sebelum diperkuat), kemudian naik menjadi 1,554 (setelah diperkuat).

Selain itu, dari hasil analisis manual diperoleh nilai angka keamanan 0,333 (sebelum diperkuat), kemudian naik menjadi 1,476 (setelah diperkuat). Sehingga, dari hasil perhitungan manual dan *software* terlihat bahwa hasilnya mendekati.

Dari hasil analisis juga dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai rasio jarak antar *pile*, maka semakin kecil nilai angka keamanannya (SF), dan sebaliknya, semakin kecil nilai rasio jarak antar *pile*, maka semakin besar nilai angka keamanannya (SF).

4. Rencana anggaran biaya yang didapatkan sebesar : Rp 3.448.883.000,00 (Tiga Miliar Empat Ratus Empat Puluh Delapan Juta Delapan Ratus Delapan Puluh Tiga Ribu Rupiah).
5. Metode pelaksanaan yang dilakukan terdiri dari beberapa tahapan yaitu, peninjauan lokasi, persiapan pekerjaan, pembongkaran, pengaturan drainase, dan pemasangan *pile* dengan cara dipancang serta pemasangan bronjong sebagai *facing*.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2008. *Analisis Biaya Konstruksi (ABK) Bangunan Gedung dan Perumahan*. SNI 2008. Bandung: Panitia Teknis Standarisasi Bidang Konstruksi Bangunan.
- 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.
- Indrawahjuni, Herlien. 2011. *Mekanika Tanah II*. Malang: Penerbit Bargie Media.
- Kahyaoglu, M.R., Imancli, G., and Ozden, G. 2009. *Determination of Lateral Loads on Slope Stabilizing Piles*. Dokuz Eylul University. 194-202.
- Prashant, Amit and Mousumi Mukerjee. 2010. *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks*. Indian Institute of Technology Kanpur.