

ANALISIS STABILITAS LERENG MEMAKAI PERKUATAN *SOIL NAILING* DENGAN BANTUAN PERANGKAT LUNAK SLOPE/W (STUDI KASUS PADA SUNGAI PARIT RAYA)

Tatag Yufitra Rus, Widodo Suyadi, As'ad Munawir
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang
Jalan MT Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
Email: tatagyufitrus@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia memiliki kondisi geologis dan geografis yang beragam. Kondisi yang beragam tersebut membuat daerah berbukit dan lereng banyak digunakan sebagai tempat tinggal. Banyak kondisi tanah dan lereng yang tidak stabil. Sehingga berpotensi terjadi longsor. Oleh karena itu, harus ada perkuatan pada kondisi tanah seperti itu sebagai cara untuk mengatasi masalah tersebut. Pada awalnya, pemerintah sudah membangun dinding penahan tanah di tepi lereng tersebut, tetapi masih belum memadai dan belum mampu menahan kelongsoran tanah di daerah tersebut. Melalui analisis data yang diperoleh, diketahui dinding penahan tanah dengan panjang 375 m dengan ketinggian antara 8 m sampai dengan 8,5 m mengalami kerusakan pada bagian struktur sepanjang 90 m dikarenakan pergeseran tanah pada daerah tersebut. Pada perbaikan diperoleh desain perkuatan *soil nailing* dengan diameter baja ulir 0,032 m, diameter injeksi semen 0,3 m, jumlah tulangan vertikal yang dipakai 8 m, spasi jarak tulangan baja vertikal 1 m dan horisontal 2 m, panjang tulangan baja ulir yang digunakan ialah 3 batang ulir dari puncak lereng 10 m dan 5 batang ulir dari dasar lereng 12 m. Dari hasil analisa dengan menggunakan SLOPE/W diperoleh desain tersebut mampu menahan kelongsoran dengan angka keamanan yang didapatkan ialah 1,575. Selain itu hasil dari desain tersebut diperoleh anggaran biaya senilai: Rp 1.993.665.000,00 (Satu Milyar Sembilan Ratus Sembilan Puluh Tiga Enam Ratus Enam Puluh Lima Ribu Rupiah).

Kata kunci: Analisa stabilitas lereng, *Soil Nailing*, SLOPE/W.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki kondisi geologis dan geografis yang beragam. Kondisi yang beragam tersebut membuat daerah berbukit dan lereng banyak digunakan sebagai tempat tinggal. Banyak kondisi tanah dan lereng yang tidak stabil. Sehingga berpotensi terjadi longsor. Oleh karena itu, harus ada perkuatan pada kondisi lereng tersebut sebagai cara untuk mengatasi masalah longsor yang timbul. Pemerintah sudah membangun dinding penahan tanah di tepi lereng tersebut, tetapi masih belum memadai dan belum mampu menahan kelongsoran tanah di daerah tersebut. Melalui analisis data yang diperoleh, diketahui dinding penahan tanah dengan panjang 375 m dengan ketinggian antara 8 m sampai dengan 8,5 m mengalami kerusakan pada bagian struktur sepanjang 90 m

dikarenakan pergeseran tanah pada daerah tersebut.

TUJUAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penyebab kerusakan penahan tanah eksisting, mengetahui kondisi stabilitas lereng dan merencanakan perkuatan penahan yang baru serta menghitung anggaran biaya dan merencanakan metode pelaksanaan untuk pekerjaan di lokasi tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Soil Nailing

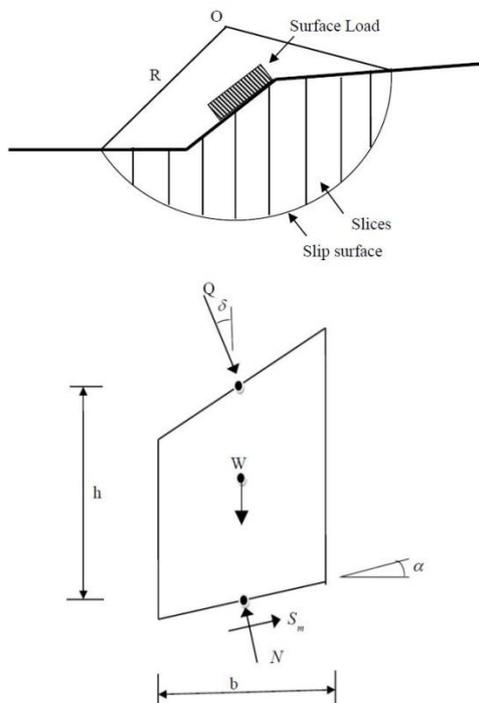
Soil nailing adalah teknik konstruksi yang dapat digunakan sebagai salah satu metode untuk memperkuat kondisi lereng tanah yang tidak stabil atau sebagai teknik konstruksi yang digunakan untuk menambah keamanan bagi lereng

eksisting yang telah stabil. Soil nailing pertama kali diaplikasikan sebagai perkuatan untuk sebuah dinding penahan tanah di perancis (1961). Kemudian dikembangkan oleh Rebcewicz (1964, 1965), untuk digunakan dalam galian terowongan yang dikenal dengan “*The New Austrian Tunneling Method*” (NATM). Secara umum elemen-elemen yang diperhatikan dalam penggunaan metode perkuatan dengan *soil nailing* adalah:

1. *Nail Bars*
2. *Nail Head*
3. *Grouting* (Cor beton)
4. *Centralizers*

Analisa Stabilitas Lereng Sebelum Diperkuat (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: Amit Prashant et al. 2010. *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks*)

keterangan gambar :

- α = Sudut kemiringan dasar 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

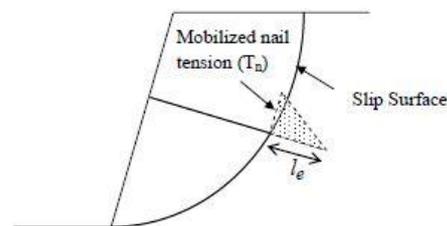
Maka *safety factor* yang diberikan untuk gaya-gaya pada irisan metode Bishop ialah :

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

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 Soil Nailing (Metode Bishop)



Gambar 2 Perilaku Kuat Tarik Dari Soil Nailing (Sumber: Amit Prashant et al. 2010. *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks*)

$$T_n = q_u \cdot \pi \cdot d \cdot l_e / FS_T$$

Dimana :

T_n = Tahanan cabut dari *nailing* (kN)

l_e = Panjang *nailing* dibelakang pola kelongsoran (m)

q_u = Bond strength dari *soil nailing* terhadap tanah (kN/m²), lihat **Tabel 2.3**

FS_T = *Safety factor* dari kuat tarik *nailing* 1,8.

Maka *safety factor* yang terjadi setelah diperkuat soil nailing dengan metode Bishop ialah :

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

Dimana :

FS_b = Faktor aman lereng Bishop

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

c' = Kohesi tanah efektif (kN/m²)

ϕ' = Sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)

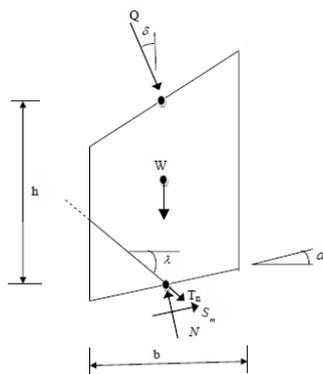
b' = Lebar irisan ke-i (m)

W_i = Berat irisan tanah ke-i (kN)

α_i = Sudut yang didefinisikan dalam **Gambar 3** (derajat)

T_n = Tahanan cabut dari *nailing* (kN)

λ = Sudut pemasangan *nailing* (derajat)



Gambar 3 Metode Bishop Setelah Diperkuat *Soil Nailing* (Sumber: Amit Prashant. et al. 2010. *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks*)

Geostudio (SLOPE/W)

Geostudio merupakan perangkat lunak di bidang geoteknik yang dikembangkan dari Kanada. Dalam penelitian ini program ini dipakai untuk menganalisa stabilitas lereng. Dalam menganalisa stabilitas lereng pada perangkat lunak tersebut kita menggunakan menu SLOPE/W, adapun metode yang digunakan di dalam program ini adalah Metode *Limit Equilibrium*.

Metode *Limit Equilibrium* adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya, metode ini juga dikenal dengan metode irisan karena bidang kelongsoran dari lereng tersebut dibagi menjadi beberapa bagian. Dalam Metode *Limit Equilibrium* terdapat dua asumsi bidang kelongsoran yaitu bidang kelongsorannya yang diasumsikan berbentuk *circular* dan bidang kelongsoran yang diasumsikan berbentuk *non-circular*. Pada metode kesetimbangan batas dengan asumsi bidang kelongsoran berbentuk *circular*.

SLOPE/W Sebelum Diperkuat *Soil Nailing* (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/m²)

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 3** (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

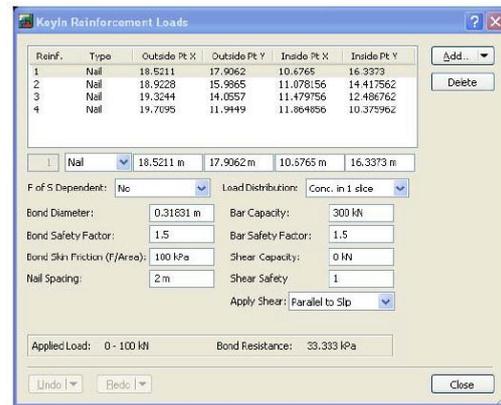
Fellinius akan dipakai untuk nilai pendekatan awal pada nilai FS_b' di metode Bishop sehingga akan didapat nilai yang konvergen antara FS_b dan FS_b' .

Berikut ini adalah langkah-langkah analisa stabilitas lereng dengan menggunakan perangkat lunak SLOPE/W.

1. Buka GeoStudio SLOPE/W untuk analisa stabilitas lereng.
2. Memilih *Toolbars* yang tersedia untuk digunakan.
3. Mengatur area gambar.
4. Mengatur ukuran halaman area gambar.
5. Mengatur skala.
6. Atur 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. Gambarlah *Piezometric Line* untuk menentukan garis pada muka air tanah.
15. Menggambar lokasi *Entry and Exit* untuk menentukan batasan dari garis.
16. Simpan analisa.
17. Melihat hasil analisa.

SLOPE/W Setelah Diperkuat *Soil Nailing* (Metode Bishop Disederhanakan)

Untuk Pada metode bishop yang disederhanakan yang telah diperkuat *soil nailing*, perangkat lunak SLOPE/W memerlukan parameter-parameter yang akan digunakan untuk menginput data pada perkuatan *soil nailing* yang akan ditampilkan pada **Gambar 4**



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

- *Bond safety factor/pullout strength safety factor* dan *bar safety factor/nail-tensile strength safety factor* ialah nilai angka keamanan yang diatur dalam riset Amit Prashant et al. mengenai *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks*.
- *Bond diameter* ialah besaran nilai diameter dari baja tulangan ulir yang digunakan untuk perkuatan, Amit Prashant et al. dalam risetnya mengenai *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks* menggunakan baja tulangan ulir dengan diameter 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 28, dan 32 mm.
- *Bar capacity* merupakan nilai dari kapasitas kuat tarik *nailing*

$$R_T = \frac{\pi d^2 f_y}{4}$$

Dimana :

d = Diameter dari *nailing*

f_y = Tegangan leleh ijin dari *nailing* (415 Mpa atau 520 Mpa)

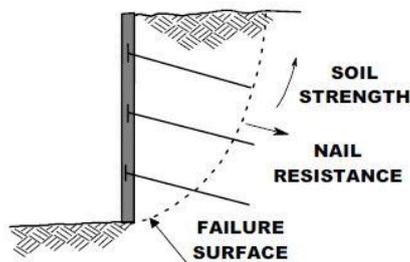
- *Bond skin friction/pullout resistance*
Menurut Amit Prashant et al. dalam risetnya mengenai *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks* nilai q_u (bond strength) telah dihitung atau diestimasi.

Model Kegagalan dari Perkuatan Soil Nailing

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

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 *surcharge*. Salah satu model kegagalan eksternal yang harus diperhitungkan ialah stabilitas lereng, merupakan analisa yang diperlukan dalam menentukan faktor aman dari bidang longsor dari suatu sistem lereng yang telah direncanakan. Ada beberapa metode analisa stabilitas lereng yang dapat digunakan diantara lain; metode Fellinius, Bishop, Janbu dan Morgenstern-Price.



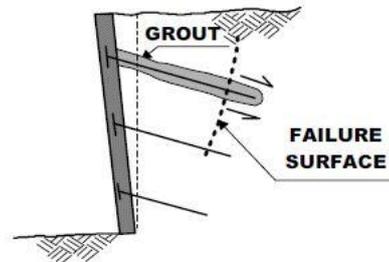
Gambar 5 Kegagalan stabilitas lereng (Sumber: FHWA0-IF-03-017)

Model Kegagalan Internal

Model kegagalan internal berkaitan dengan kegagalan sistem nailing dalam mekanisme beban yang dipikul antara tanah, nailing, dan grouting. Ada beberapa macam model kegagalan internal yang dapat terjadi diantaranya ialah:

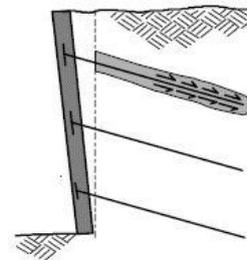
1. *Nail-Soil Pullout Failure*, adalah kegagalan disepanjang permukaan tanah *grouting* terhadap tanah karena ikatan antara *grouting* terhadap tanah kurang berfungsi dengan baik dan juga dikarenakan

panjang yang kurang dari *nailing*, oleh sebab itu maka diperlukan mutu *grouting* yang tinggi agar mampu mengikat dengan baik yaitu minimal mutu yang digunakan 25 MPa dalam mix desain dari sistem *grouting*.



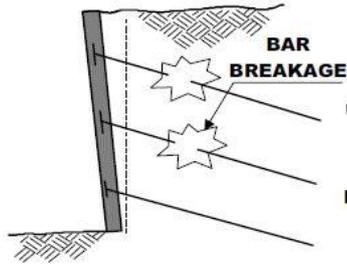
Gambar 6 Kegagalan *Nail-Soil Pullout Failure* (Sumber: FHWA0-IF-03-017)

2. *Bar-Grout Pullout Failure*, adalah jenis kegagalan yang terjadi antara batang baja terhadap *grouting*. Kegagalan ini terjadi karena *grouting* tidak mampu mengikat dengan baik permukaan dari batang baja. Penggunaan baja dengan permukaan ulir dapat mengatasi permasalahan dari kegagalan ini.



Gambar 6 Kegagalan *Bar-Grout Pullout Failure* (Sumber: FHWA0-IF-03-017)

3. *Nail Tensile Failure*, adalah jenis kegagalan dikarenakan mutu baja yang kurang baik untuk menahan beban penggerak tanah sehingga baja yang digunakan tidak efektif dan dapat berakibat putus atau patah dalam sistem *soil nailing* yang direncanakan.



Gambar 7 Kegagalan *Nail Tensile Failure* (Sumber: FHWA0-IF-03-017)

Rencana Anggaran Biaya

Menurut Ervianto (2002:129), Kegiatan estimasi adalah salah satu proses utama dalam proyek konstruksi. Sebagai dasar untuk membuat sistem pembiayaan dalam sebuah perusahaan, kegiatan estimasi juga digunakan untuk merencanakan jadwal pelaksanaan konstruksi. Estimasi dapat diartikan peramalan kejadian pada masa datang. Dalam proyek konstruksi, khususnya pada tahap pelaksanaan, kontraktor hanya dapat memperkirakan urutan kegiatan, aspek pembiayaan, aspek kualitas dan aspek waktu dan kemudian memberi nilai pada masing-masing kejadian tersebut.

Kegiatan estimasi pada umumnya dilakukan dengan terlebih dahulu mempelajari gambar rencana dan spesifikasi. Berdasarkan gambar rencana, dapat diketahui kebutuhan material yang nantinya akan digunakan, sedangkan berdasarkan spesifikasi dapat diketahui kualitas bangunannya. Penghitungan kebutuhan material dilakukan secara teliti dan konsisten kemudian ditentukan harganya. Dalam melakukan kegiatan estimasi, seorang estimator harus memahami proses konstruksi secara menyeluruh, termasuk jenis dan kebutuhan alat, karena faktor tersebut dapat memengaruhi biaya konstruksi.

METODE PENELITIAN

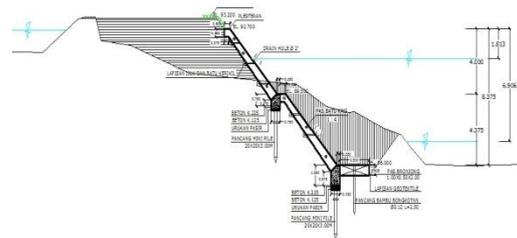
Lokasi Proyek

Lokasi proyek dinding penahan tanah yang ditinjau terletak di Tebing

Kali Parit Raya, Desa Ngadirejo, Kecamatan Pogalan, Kabupaten Trenggalek. Lokasi dibangunnya dinding penahan tersebut berada pada tebing sungai Kali Parit Raya untuk perkuatan tebing dari muka air sungai terhadap tebing sungai.

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. Dari konsultan perencana diketahui elevasi muka air sungai maksimum sedalam 5,525 m sedangkan muka air normal sedalam 1,45 m terhadap dasar permukaan struktur dinding penahan serta terdapat genangan dibelakang lereng yang akan timbul saat musim hujan datang.



Gambar 8 Kondisi lereng dan konstruksi dinding penahan tanah eksisting

Kondisi Pada Lokasi Proyek

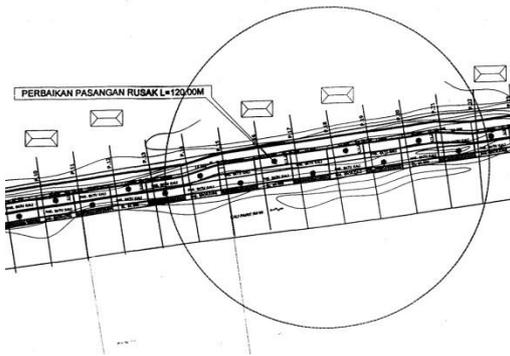
Dari Hasil peninjauan atau observasi di lapangan yang dilakukan diketahui telah terjadi kelongsoran kearah muka sungai dengan tembok penahan (eksisting) rusak sepanjang 90 m dari panjang keseluruhan 375 m.



Gambar 9 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 10 Titik lokasi pengujian boring

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

Tabel 1 Rekapitulasi hasil-hasil pengujian sifat mekanis tanah untuk sampel tanah

No. Sampel	Direct Shear		γ
	c	φ	
	kg/cm ²	°	gr/cm ³
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

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Penyebab Kerusakan Penahan Tanah Eksisting

Melalui pengamatan di lokasi, diketahui telah terjadi kelongsoran kearah muka sungai dengan tembok penahan (eksisting) rusak sepanjang 90 m dari panjang keseluruhan 375 m. Dari konsultan perencana diketahui elevasi muka air sungai maksimum sedalam 5,525 m sedangkan muka air normal sedalam 1,45 m terhadap dasar permukaan struktur dinding penahan. Terdapat pula genangan air ± 15 cm dibelakang lereng yang akan timbul saat musim hujan datang.

Melalui analisa 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 analisa kelongsoran tersebut dengan program SLOPE/W ialah 0,667 sehingga angka

tersebut menunjukkan bahwa lereng tersebut tidak aman jika ditinjau dari faktor keamanan (F) yang dihubungkan dengan intensitas kelongsorannya (Bowles, 1989).

Tabel 2 Hubungan nilai faktor keamanan lereng dan intensitas longsor

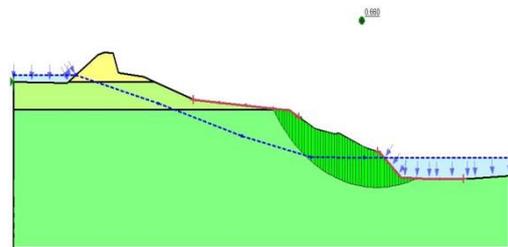
NILAI FAKTOR KEAMANAN	KEJADIAN INTENSITAS LONGSOR
F kurang dari 1,07	Longsor <i>terjadi</i> biasa/sering (lereng labil)
F antara 1,07 sampai 1,25	Longsor <i>pernah</i> terjadi (lereng kritis)
F diatas 1,25	Longsor <i>jarang</i> terjadi (lereng relatif stabil)

Berdasarkan analisa tentang kondisi lereng tersebut maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Terdapat genangan air pada musim hujan dibelakang lereng yang menyebabkan air masuk kedalam lapisan lereng dan membuat muka air tanah turun namun kondisi permukaan air di muka lereng masih normal dikarenakan air yang masuk kedalam lapisan lereng terhalang oleh lapisan kedap air dari struktur dinding penahan tanah yang membuat berat dari tekanan pasif atau gaya pendorong dari lereng menjadi lebih besar dari gaya penahan
2. Besarnya gaya kelongsoran yang telah dianalisa tidak mampu ditahan oleh perkuatan pile yang didesain sehingga struktur penahan menjadi kurang stabil untuk menahan kelongsoran yang terjadi.
3. Struktur material fisik tanah yang diperoleh dari Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya menunjukkan bahwa kondisi tanah pada lereng tersebut kurang baik sehingga membuat kondisi lereng tersebut menjadi kurang stabil

Analisa Stabilitas Lereng Eksisting dengan SLOPE/W

Dalam analisa kondisi lereng eksisting, kelongsoran melalui 7 potongan gambar kondisi eksisting dimulai dari P15 hingga P21. Keseluruhan potongan tersebut dianalisa satu persatu dengan menyesuaikan kondisi sifat fisik material tanah lewat denah keenam titik Borlog yang terdekat dari potongan yang diambil. Berikut adalah hasil analisa keseluruhan potongan yang telah dianalisa kestabilan lereng eksistingnya dengan perangkat lunak SLOPE/W.



Gambar 11 Gambar kontur hasil dari analisa kestabilan lereng eksisting geometri P18

Tabel 3 Rekapitulasi angka keamanan kestabilan lereng eksisting

Nama Potongan	Nilai Angka Keamanan			
	Ordinary	Bishop	Janbu	M-Price
P15	2,021	2,143	1,985	2,142
P16	1,653	1,865	1,67	1,865
P17	0,973	1,076	0,991	1,076
P18	0,598	0,660	0,607	0,660
P19	0,597	0,662	0,604	0,662
P20	0,824	0,916	0,833	0,915
P21	0,713	0,760	0,717	0,759

Perbaikan Konstruksi Penahan Lereng dengan Soil Nailing

Konstruksi penahan akan menggunakan perkuatan *soil nailing* dengan geometri lereng mengikuti konstruksi yang sudah ada yaitu dengan kemiringan 1:1 (45°) *facing* yang digunakan juga mengikuti *facing* yang ada dengan pasangan batu setebal 0,05 m. Berikut adalah perhitungan dan penentuan parameter-parameter

yang digunakan dalam perencanaan konstruksi perkuatan dengan *soil nailing* 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, $\gamma = 18,71 \text{ Kg/cm}^3$

$C = 24 \text{ Kg/cm}^2$

$\phi = 15,508^\circ$

Lapisan 2, $\gamma = 18,01 \text{ Kg/cm}^3$

$C = 3,30 \text{ Kg/cm}^2$

$\phi = 13,927^\circ$

Lapisan 3, $\gamma = 17,07 \text{ Kg/cm}^3$

$C = 1,40 \text{ Kg/cm}^2$

$\phi = 10,628^\circ$

- Berat *facing* dari pasangan batu

Berat jenis dari *facing* pasangan batu ialah 220 kN/m^2 sehingga dengan menggunakan tebal 0,5 m maka berat satuan per meter ialah:

$$220 \text{ kN/m}^2 \times 0,5 \text{ m} = 110 \text{ kN/m}^2$$

$$110 \text{ kN/m}^2 \times \cos 45^\circ = 77,8 \text{ kN/m}^2$$

- Data konstruksi soil nailing

Diameter baja ulir 0,032 m, diameter injeksi semen 0,3 m, jumlah tulangan vertikal yang dipakai 8 m, spasi jarak tulangan baja vertikal 1 m dan horisontal 2 m, panjang tulangan baja ulir yang digunakan ialah 3 batang ulir dari puncak lereng 10 m dan 5 batang ulir dari dasar lereng 12 m.

- *Bar capacity*

$$R_T = \frac{\pi d^2 f_y}{4}$$

$$= \frac{3,14 \cdot 32^2 \cdot 520 \cdot 0,001}{4}$$

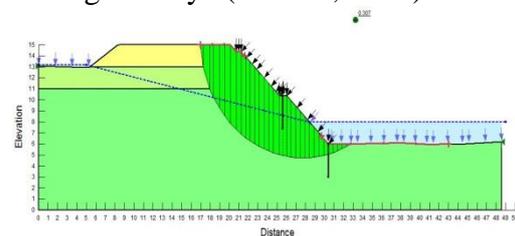
$$= 418 \text{ kN}$$

- *Bond skin friction*

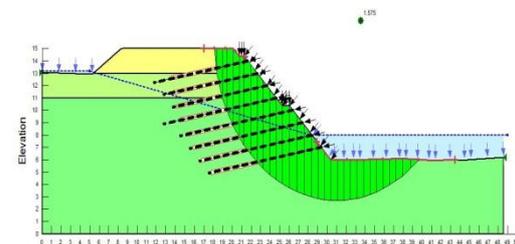
Kondisi tanah yang merupakan *Silty Clay* maka nilai dari “*Bond Skin Friction*” menurut Amit Prashant et al. dalam risetnya mengenai *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks* yang digunakan ialah 100 kPa.

Hasil analisa dari kestabilan lereng yang diperkuat

Dari hasil analisa kestabilan lereng pada potongan gambar P18 yang telah diperkuat dengan *soil nailing*, diperoleh nilai angka keamanan naik menjadi 1,575 yang sebelum diperkuat konstruksi eksisting tersebut sebelumnya hanya senilai 0,307 dengan analisa menggunakan metode Bishop. Angka tersebut menunjukkan lereng telah stabil dengan ditinjau dari faktor keamanan (F) yang dihubungkan dari intensitas kelongsorannya (Bowles, 1989).



Gambar 12 Gambar kontur kontruksi eksisting sebelum diperkuat *soil nailing*



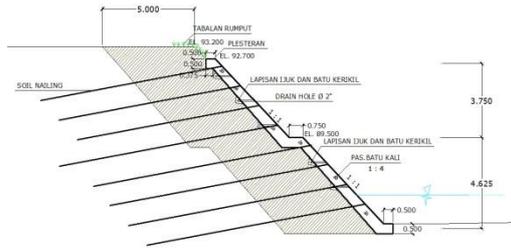
Gambar 13 Gambar kontur lereng setelah diperkuat *soil nailing*

Tabel 4 Rekapitulasi angka keamanan kestabilan lereng setelah diperkuat

Nama Potongan	Nilai Angka Keamanan			
	Ordinary	Bishop	Janbu	M-Price
P18	1,724	1,575	1,666	1,563

Analisa Rencana Anggaran Biaya

Dalam perhiungan 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 14 Gambar rencana perkuatan lereng dengan *soil nailing*

Perhitungan analisa harga satuan pekerjaan ini mengacu pada Standart Nasional Indonesia SNI 2008 tentang Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan. Standar serta mengacu pada Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Bina Marga Bagian 3 ini menetapkan koefisien atau indeks bahan bangunan dan indeks tenaga kerja untuk setiap satuan pekerjaan serta indeks untuk koefisien alat berat. Selain itu harga satuan dasar dalam perhitungan ini menggunakan Harga Satuan Bahan dan Upah tahun 2014 wilayah Trenggalek. Maka rencana anggaran biaya yang didapatkan dari hasil perhitungan ialah senilai: Rp 1.993.665.000,00 (Satu Milyar Sembilan Ratus Sembilan Puluh Tiga Enam Ratus Enam Puluh Lima Ribu Rupiah)

Metode Pelaksanaan

Sebelum pemasangan *soil nailing* dilaksanakan pada lereng rencana. Persiapan pekerjaan harus matang. Untuk mempersiapkan rencana dengan baik. Dilakukan peninjauan ke lokasi yang berguna untuk mengetahui kondisi lingkungan kerja. Secara detail tahapan pelaksanaan akan diuraikan sebagai berikut:

1. Peninjauan ke lokasi
2. Persiapan pekerjaan
3. Pengaturan drainase

4. Pemasangan soil nailing
 - a. Pekerjaan perapihan kondisi lereng
 - b. Penentuan lubang bor
 - c. Pemboran dengan menggunakan drilling machine
 - d. Grouting
 - e. Membangun facing

KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan perhitungan yang dilakukan, maka dapat ditarik sebuah kesimpulan, yaitu:

1. Melalui pengamatan dilapangan diketahui bahwa terdapat genangan air dibelakang konstruksi yang timbul saat musim hujan datang sehingga mempengaruhi kestabilan 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 analisa dengan SLOPE/W diperoleh nilai angka keamanan 0,660, sehingga perlu adanya perbaikan konstruksi.
3. Dari hasil analisa didapatkan desain perkuatan dengan *soil nailing* ialah diameter baja ulir 0,032 m, diameter injeksi semen 0,3 m, jumlah tulangan vertikal yang dipakai 8 m, spasi jarak tulangan baja vertikal 1 m dan horisontal 2 m, panjang tulangan baja ulir yang digunakan ialah 3 batang ulir dari puncak lereng 10 m dan 5 batang ulir dari dasar lereng 12 m.
Dari hasil analisa dengan menggunakan SLOPE/W diperoleh desain tersebut mampu menahan kelongsoran dengan angka keamanan yang didapatkan ialah 1,575.
4. Rencana anggaran biaya yang didapatkan dari hasil perhitungan ialah senilai: Rp 1.993.665.000,00 (Satu Milyar Sembilan Ratus

Sembilan Puluh Tiga Enam Ratus Enam Puluh Lima Ribu Rupiah) Perencanaan metode pelaksanaan pekerjaan *soil nailing* mengacu pada Spesifikasi Khusus Interim-1 tentang pekerjaan *soil nailing* yang mengadopsi dari standar rujukan *Federal Highway Administration FHWA0-IF-03-017 "Soil Nail Walls"*.

DAFTAR PUSTAKA

- Carlos A. Lazarte, Ph.D., P.E. et al. 2003. *GEOTECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR NO. 7 (Soil Nail Walls)*. FHWA0-IF-03-017. Maryland: GeoSyntec Consultants.
- Das, Braja M., 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Dave Juven George Herman. et al. 2012. *Analisa Stabilitas Lereng dengan Limit Equilibrium dan Finite Element method*. HATTI-PIT-XVI. Jakarta.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2008. *Analisa Biaya Konstruksi (ABK) Bangunan Gedung dan Perumahan*. SNI 2008. Bandung: Panitia Teknis Standarisasi Bidang Konstruksi Bangunan
- Dr. Amit Prashant. et al. 2010. *Soil Nailing For Stabilization Of Steep Slopes Near Railway Tracks*. Final Report. Indian Institute of Technology Kanpur.
- Ervianto, Wulfram I. 2002. *Manajemen Proyek Konstruksi*. Edisi Revisi. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Analisis dan Perancangan Fondasi*. Bagian I. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Mekanika Tanah 2*. Edisi Kelima. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Indrawahjuni, Herlien. 2011. *Mekanika Tanah II*. Malang: Penerbit Bargie Media.
- John Kharn. 2004. *Stability Modeling with SLOPE/W*. First Edition. Canada: GEO-SLOPE International Ltd.
- SLOPE/W Example File. *Reinforcement with Nail*. 2007. Canada: GEO-SLOPE International Ltd.
- Spesifikasi Khusus Interim-1. *Soil Nailing*.
- Sunggono. 1984. *Mekanika Tanah*. Bandung: Penerbit Nova.
- Suparman, M.E, dkk. 2008. *SABO, Untuk Penanggulangan Bencana Akibat Aliran Sedimentasi*. Yayasan Air Adhi Eka.
- Terzaghi, Karl dan Ralph B. Peck. 1967. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Edisi Kedua Jilid 1. Jakarta: Penerbit Erlangga.