

ANALISIS PERKUATAN TANAH DENGAN METODE SOIL NAILING PADA TANAH LERENG

(Analysis of Soil Strength Using Soil Nailing Methods on Slope Soil)

Imam Prabowo¹, Bambang Jatmika², Paikun³

¹ PT. SCG Semen, Jawa

^{2,3} Universitas Nusa Putra Sukabumi

Korespondensi Penulis: Lingkungan Kertosari RT03/RW01 Kel.Kertosari
Kec/Kab.Temanggung Jawa Tengah
E-mail: ari.apriyana@gmail.com

ABSTRACT

Structure on the slope has to monitor for the soil strength stabilization. If the slope not stabile, it needs for repairing for the slope to support structure on the top of land slope. PT. Semen Jawa use belt conveyor as the material transportation for production process. Conveyor A1J22 is the most dangerous structure, because the location for this structure already land slide before and structure failure. Then, the structure repairing has to do as soon as possible at that time. As the consultant of this company, EPS give recommendation to do soil nailing. Before this soil nailing job start, need to know the characteristic of soil at area conveyor A1J22, so will do soil investigation first. After that the slope have to cut by excavator to make it smooth and clear from backfill soil, then soil nailing can start. Based on the safety factor, the strength can be analyzed by calculation. It will be comparing before and after we finished with soil nail work. The result after soil nailling applied for this slope, safety factor is more than slope before applied by soil nailling and it's mean the slope is safed.

Keywords: Slope Stabilization, Soil Investigation, Soil Characteristic, Soil Nailing

PENDAHULUAN

Kondisi tanah di area limestone conveyor PT. Semen Jawa (area dumpweed) cenderung tidak stabil. Hal ini dibuktikan dengan adanya penurunan tanah, sehingga mengakibatkan kegagalan struktur bawah conveyor. Akibat dari rusaknya struktur conveyor tersebut, berdampak pada berhentinya proses produksi PT. Semen Jawa. Hal ini menjadi perhatian khusus untuk struktur conveyor yang terletak di area tanah dengan kemiringan lereng yang landai.

Dalam kasus stabilisasi atau konstruksi untuk pekerjaan tanah dengan kemiringan yang landai, perlu adanya konstruksi tertentu. Perbaikan stabilitas lereng, diharap dapat menjadi solusi untuk mengurangi resiko terjadinya kelongsoran yang mungkin terjadi (Sinarta 2017 dan Vitriana 2012). Permasalahan yang timbul dalam pemilihan metode penanganan kasus ini adalah mengenai ketepatan metode, biaya konstruksi, efektivitas dan durasi pekerjaan. Salah satu metode untuk perkuatan lereng yang dapat diterapkan adalah *soil nailing*. Metode ini sudah banyak digunakan pada beberapa kasus perbaikan stabilitas lereng.

Soil Nailing adalah metode yang efektif dan ekonomis dalam perkuatan tanah lereng untuk mendukung berbagai kegiatan proyek (Fogler 1999, Chohey 199, Brownell *et al.* 1959). Sebagai contoh dalam kegiatan *excavation*, perataan tanah tebing, perkuatan jembatan dan banyak digunakan dalam pembangunan Jalan Raya sebagai alternatif untuk menahan longsor tanah tebing.

Jadi untuk menghindari longsor yang kemungkinan terjadi yang dapat menghambat proses produksi pabrik, maka berdasarkan pertimbangan konsultan metode yang paling tepat dilakukan untuk perbaikan lereng di area limestone conveyor PT. Semen Jawa (area dumpweed) adalah metode *soil nailing*, dikarenakan kondisi tanah yang landai dan berdekatan dengan struktur conveyor, serta pertimbangan efektivitas dan durasi pekerjaan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Analisa faktor keamanan lereng ini meninjau tentang tanah lereng area jalur conveyor A1J22 sebagai objek penelitian yang berlokasi di Pabrik Semen PT. Semen Jawa, yang terletak di Jalan Pelabuhan II KM11, Desa Sirnaresmi Kecamatan Gunung Guruh Kabupaten Sukabumi-Jawa Barat. Dalam melakukan studi analisis ini, dilakukan beberapa tahapan-tahapan penunjang, yaitu investigasi tanah dan kegiatan *Soil Nailing* yang dilaksanakan pada 20 Februari – 20 April 2018. Kemudian dilanjutkan pengolahan data pada bulan April 2018 – Agustus 2018 untuk dapat menganalisis faktor keamanan lereng.

Pengumpulan dan Analisis Data

Sebelum menganalisis faktor keamanan lereng conveyor A1J22, ada beberapa tahapan yang dilakukan untuk mendapatkan data pengolahan sebagai bahan perhitungan. Mulai dari perataan tanah, pembuatan slope tanah atau lereng, *investigasi* tanah di lapangan dan di laboratorium, kemudian mulai diperkuat dengan *soil nailing* dan diuji dengan test tarik (Fauzi 2012 dan Natalia *et al.* 2016). Berikut adalah langkah kerja/alur pelaksanaan penelitian ini.

Dalam perhitungan analisis, penulis membutuhkan data parameter tanah hasil uji laboratorium antara lain berat isi tanah, kohesi dan sudut geseknya. Selanjutnya, penulis menggunakan perhitungan stabilitas lereng dengan metode *Fellinius* (Pangemanan *et al.* 2014 dan Pratama *et al.* 2014). *Fellinius* dengan menganggap gaya yang bekerja disisi kiri kanan sembarang irisan mempunyai resultan nol arah tegak lurus bidang longsor, keseimbangan arah vertikal adalah:

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i$$

Atau,

$$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i = W_i \cos \theta_i - \mu_i a_i$$

Faktor aman didefinisikan :

$$F = \frac{\text{Jumlah momen tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen berat massa tanah yang longsor}} = \frac{\sum M_r}{\sum M_d}$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$, maka momen dari massa tanah yang akan longsor adalah;

$$\sum M_d = R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i$$

Dengan,

R = jari-jari lingkaran bidang longsor

n = jumlah irisan

W_i = berat massa tanah irisan ke-i

Θ_i = sudut antara jari-jari lingkaran dengan garis kerja massa tanah

Momen penahan longsor adalah;

$$\sum M_r = R \sum_{i=1}^{i=n} (ca_i + N_i \tan \varphi)$$

Sehingga persamaan menjadi;

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca_i + N_i \tan \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

Bila terdapat air pada lereng, akibat pengaruh tekanan air pori persamaan menjadi

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca_i + (W_i \cos \theta_i - \mu_i a_i) \tan \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

Dengan ;

F = faktor aman

c = kohesi (kN/m²)

θ = sudut gesek dalam tanah (o)

a = lengkungan irisan ke-i (m)

W_i = berat irisan tanah ke-i (kN)

μ_i = tekanan air pori ke-i (kN)

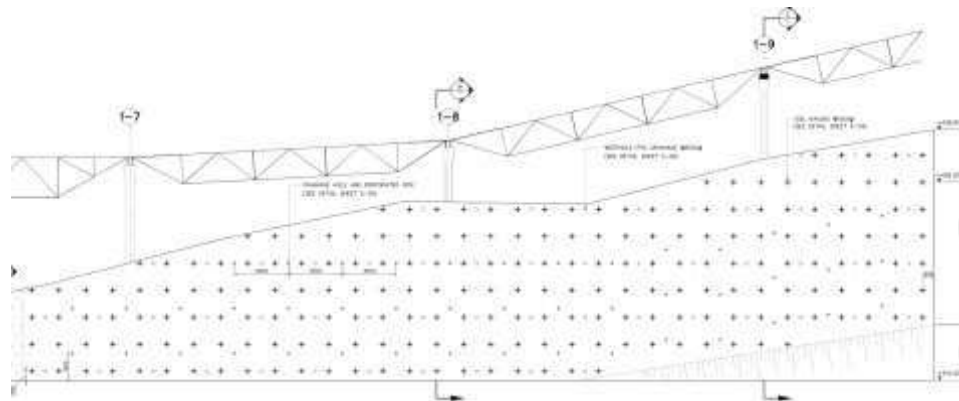
Θ_i = sudut antara jari-jari lengkung dengan garis kerja massa tanah

Jika terdapat beban lain selain tanah, misalnya bangunan, maka momen akibat beban ini diperhitungkan sebagai M_d.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Stabilitas Tanah Lereng

Tinjauan perhitungan dibagi menjadi 2 titik pada tanah existing, yaitu sebelum digunakannya perkuatan *soil nail*. Terdapat 2 potongan tinjauan yaitu potongan A dan potongan B (Gambar 1).



Gambar 1. Potongan Memanjang dengan Perkuatan Soil Nail

Data yang didapat dari kondisi aktual di lapangan, rencana perkuatan dan hasil uji analisis tanah baik di lapangan maupun di laboratorium adalah sebagai berikut:

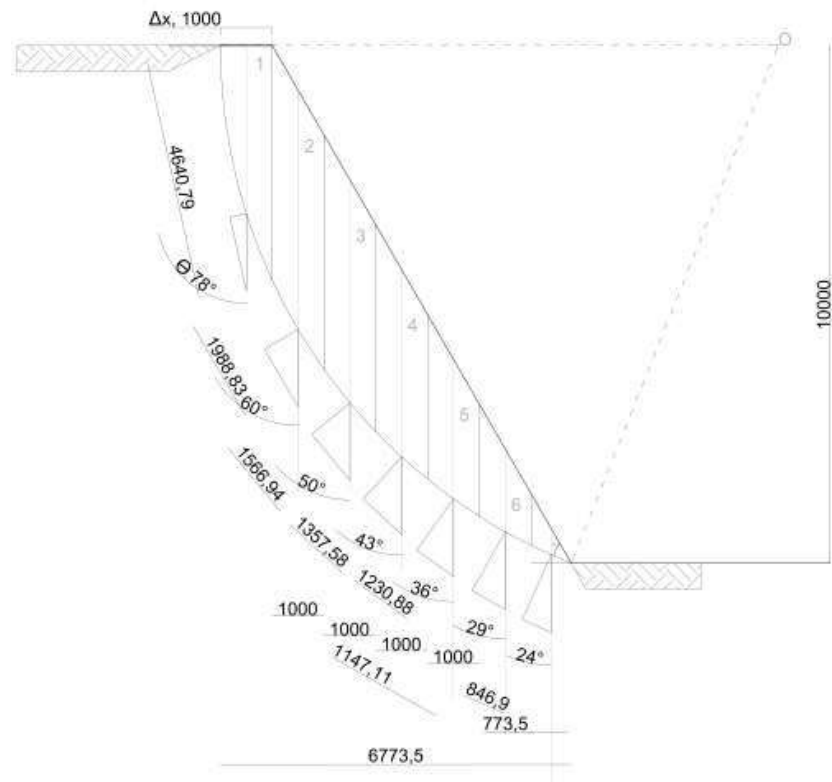
- Sudut Kemiringan Lereng (β) = 60°
- Kemiringan *nail* (i) = 15°

Tabel 1. Parameter Tanah Hasil Laboratorium

No.	Jenis Pemeriksaan	Nilai
1	Berat isi γ (kN/m^3)	16.11
2	Kohesi c (kN/m^2)	25
3	Sudut geser ϕ ($^\circ$)	6.3

Analisa Stabilitas Tanah Lereng Pada Potongan A

Dengan menggunakan metode irisan, lereng tinjauan pembahasan yaitu lereng di area conveyor A1J22, dapat digambarkan potongan seperti Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Irisan Potongan A Lereng pada Jalur Conveyor A1J22

Menurut Riogilang *et al.* (2014) gaya normal suatu titik dilingkaran bidang longsor, dipengaruhi oleh berat tanah diatas titik tersebut, pada metode ini tanah yang akan longsor dipecah-pecah menjadi beberapa irisan yang vertikal, kemudian keseimbangan tiap irisan diperhatikan.

Berdasarkan persamaan *Fellinius* dalam mencari *safety factor*, maka hasil perhitungan dari data-data yang tersedia dapat di tabelkan pada tabel berikut:

Tabel 2. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Potongan A dengan *Fellinius*

No. Irisan	Δx (m)	$c \cdot \Delta x$	A (m ²)	W (kN)	Θ_i (°)	$\cos \Theta_i$	$4x6$	$\sin \Theta_i$	$4x8$	a_1 (m)	U_i	7-11	$c \times a_1$ (kN)	12 x σ
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1.00	0.250	3.000	48	78	0.208	10.05	0.978	47.29	4.64	323.181	-313.13	116	-34.444
2	1.00	0.250	4.570	74	60	0.500	36.82	0.866	63.78	1.988	138.466	-101.64	49.7	-11.181
3	1.00	0.250	4.280	69	50	0.643	44.33	0.766	52.84	1.567	109.143	-64.81	39.175	-7.129
4	1.00	0.250	3.600	58	43	0.731	42.43	0.682	39.57	1.357	94.5164	-52.09	33.925	-5.730
5	1.00	0.250	2.680	43	36	0.809	34.94	0.588	25.39	1.231	85.7404	-50.80	30.775	-5.588
6	1.00	0.250	1.590	26	29	0.875	22.41	0.485	12.42	1.147	79.8897	-57.48	28.675	-6.323
7	0.77	0.193	0.390	6	24	0.914	5.74	0.407	2.56	0.773	53.8402	-48.10	19.325	-5.291
beban atas				27.73	0	1.000	27.73	0.000	0.00	0	0	-27.73	0	3.051
Σ	6.77	1.69	20.11	351.81	320.00	5.68	224.46	4.77	243.83	12.70	884.78	-660.31	317.58	-72.63

Dari tabel perhitungan diatas diperoleh beberapa nilai dalam menghitung *safety factor*, yaitu tahanan terhadap longsor yang dikerahkan oleh komponen kohesi:

$$\Sigma c_i a_i = 317.58 \text{ kN}$$

Tahanan terhadap longsor yang dikerahkan oleh komponen gesekan;

$$(W \cdot \cos \theta_i - U_i) \tan \sigma = -72.63 \text{ kN}$$

Jadi Faktor aman lereng pada jalur *conveyor* A1J22 adalah:

$$\frac{\Sigma c_i a_i + \Sigma (W \cdot \cos \theta_i - U_i) \tan \sigma}{\Sigma W \cdot \sin \theta_i} = \frac{317.58 + (-72.63)}{243.83}$$

$$F = 0.9 \dots \dots \dots < 1.25 \text{ (Tidak Aman)}$$

Analisa Stabilitas Tanah Lereng Pada Potongan B

Dengan menggunakan metode irisan yang sama dengan potongan A, maka potongan B dapat di analisis menggunakan metode fellinius dengan hasil perhitungan pada Tabel 3.

Tabel 4.3. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Potongan B dengan *Fellinius*

No. Irisan	Δx (m)	$c \cdot \Delta x$	A (m ²)	W (kN)	θ_i (°)	$\cos \theta_i$	$W \cdot \cos \theta_i$	$\sin \theta_i$	$W \cdot \sin \theta_i$	a_i (m)	U_i	$W \cdot \sin \theta_i - U_i$	$c \cdot a_i$ (kN)	$(W \cdot \cos \theta_i - U_i) \tan \sigma$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1.00	0.250	1.780	29	72	0.309	8.86	0.951	27.28	3.168	220.65	-211.79	79.2	-23.297
2	1.00	0.250	2.940	47	57	0.545	25.80	0.839	39.73	1.814	126.35	-100.54	45.35	-11.060
3	1.00	0.250	2.500	40	47	0.682	27.48	0.731	29.46	1.458	101.55	-74.08	36.45	-8.148
4	1.00	0.250	1.670	27	38	0.788	21.21	0.616	16.57	1.277	88.944	-67.74	31.925	-7.451
5	1.00	0.250	0.630	10	31	0.857	8.70	0.515	5.23	1.214	84.556	-75.85	30.35	-8.344
beban atas				27.73	0	1.000	27.73	0.000	27.73	0	0	27.73	0	-3.051
Σ	5.00	1.250	9.520	181	245	4.181	119.79	3.652	146.01	8.931	622.05	-502.26	223.28	-55.249

Dari tabel diatas diperoleh beberapa nilai dalam menghitung *safety factor*, yaitu Tahanan terhadap longsor yang dikerahkan oleh komponen kohesi;

$$\Sigma c_i a_i = 223.28 \text{ kN}$$

Tahanan terhadap longsor yang dikerahkan oleh komponen gesekan;

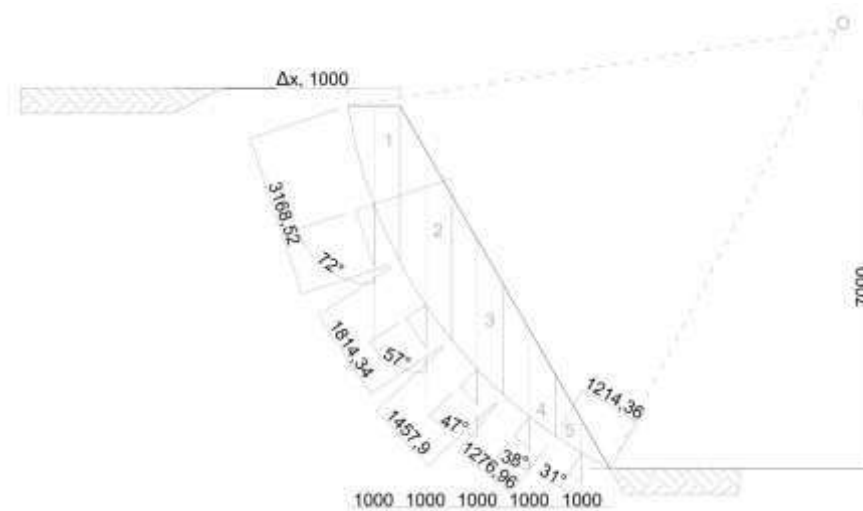
$$(W \cdot \cos \theta_i - U_i) \tan \sigma = -55.249 \text{ kN}$$

Jadi Faktor aman lereng pada jalur *conveyor* A1J22 adalah;

$$\frac{\Sigma c_i a_i + \Sigma (W \cdot \cos \theta_i - U_i) \tan \sigma}{\Sigma W \cdot \sin \theta_i} = \frac{223.28 + (-55.249)}{146.01}$$

$$F = 0.967 \dots \dots \dots < 1.25 \text{ (Tidak Aman)}$$

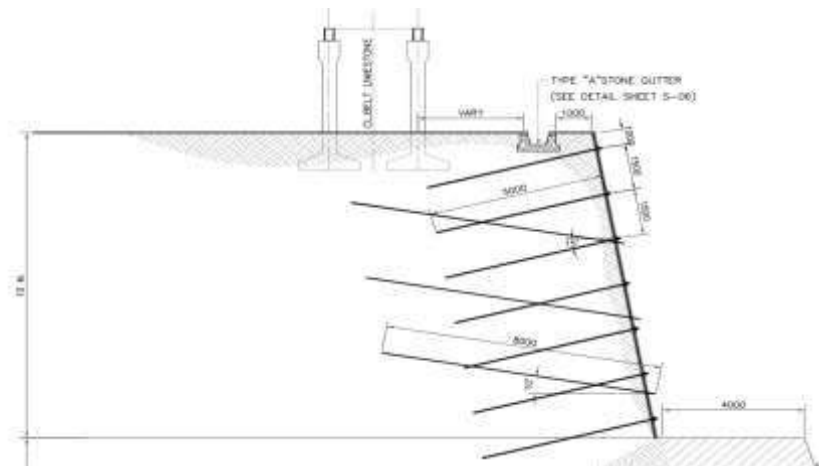
Menurut gaya normal suatu titik di lingkaran bidang longsor, dipengaruhi oleh berat tanah diatas titik tersebut, pada metode ini tanah yang akan longsor dipecah-pecah menjadi beberapa irisan yang vertikal, kemudian keseimbangan tiap irisan diperhatikan.



Gambar 3. Irisan Potongan B Lereng pada Jalur Conveyor A1J22

Analisa Perkuatan Soil Nail

Berdasarkan gambar rencana untuk perkuatan *soil nailing* pada *conveyor* maka terlihat potongan Gambar 4 dibawah ini:



Gambar 4. Potongan Lereng dengan Perkuatan Soil Nail

Untuk mengetahui kekuatan soil nail pada lereng conveyor A1J22, maka akan dilakukan perhitungan pada 2 titik dan perkiraan 4 sudut gelincir di sepanjang lereng berdasar nail terencana 5m.

Analisa Pada Potongan A, A = 45°

Berikut adalah analisa perhitungan sampel pada *nail bar 1*.

W adalah berat massa tanah yang berada dalam bidang gelincir ditambah beban di atas permukaan bidang atas dengan Tinggi lereng (H) = 10m,

$$W_{\text{tanah}} = V \times A = 16.11 \times 21,1352$$

$$= 340.55 \text{ kN}$$

$$W_{\text{beban}} = 27.735 \text{ kN}$$

$$W_{\text{total}} = 368.285 \text{ kN}$$

L_f = Panjang bidang gelincir, berdasarkan gambar potongan maka dapat diketahui,

$$\frac{H}{10} = \frac{L_f}{0.707} = \frac{L_f}{1}$$

$$L_f = 14.14 \text{ m}$$

Cek terhadap gaya tarik dan gaya geser

- Hitung daya dukung tarik tulangan

$$\begin{aligned} R_n &= F_y \times A_s \text{ Tulangan} \\ &= 410 \text{ N/mm}^2 \times \pi \times r^2 \\ &= 410 \times \pi \times 14^2 \\ &= 252.56 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_c &= 0.5 R_n \\ &= 126.28 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Gaya Geser Ijin Tulangan

$$\begin{aligned} V &= \frac{R_n}{2\sqrt{1 + 4\tan^2(90 - (\alpha + i))}} \\ &= 82.69 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Gaya tarik ijin tulangan

$$\begin{aligned} T &= 4 \times V \times \tan(90 - (\alpha + i)) \\ &= 190.867 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Gaya geser ijin dari tanah

$$\begin{aligned} P_u &= (c_1 \cdot 2/3H + c_2 \cdot D) \cdot \gamma \cdot 2/3H \\ &= (0.8 \times 2/3 \cdot 10 + 1.6 \times 28) \cdot 16.11 \times 2/3 \times 10 \\ &= 577.79 \text{ kN} \\ P_u &= (c_3 D \gamma \cdot Z) \\ &= 0.4 \times 0.028 \times 10.085 \times 2/3 \times 10 \\ &= 1.2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diambil P_u terkecil

$$\begin{aligned} P_u \text{ max} &= \frac{u}{2} \\ &= 1.2/2 \\ &= 0.6 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$L_o = \sqrt[4]{\frac{4Q}{\gamma}}$$

$$L_o = 0.455 \text{ m}$$

$$V = P_{\max} (D/2) L_o$$

$$= 0.0038 \text{ kN} \dots \dots \dots < V = 82.69 \text{ kN}$$

Karena $V_s < V_n$, maka gaya geser izin global ($V_{\max}$) yang digunakan adalah sebesar 0.0038 kN. Adanya pembatasan gaya geser izin, maka gaya tarik izin dari *nail bar* harus dikoreksi menjadi:

$$\frac{\frac{2^2}{R^2} + \frac{T^2}{2}}{+}$$

$$\frac{0.94^2}{3^2} + \frac{\frac{T^2}{2}}{6^2}$$

$$T_{\max} = 252.56 \text{ kN}$$

Asumsi faktor keamanan sebesar (F_s) = 2

$F_{\max}$, diambil dari hasil pengujian *Pull Out Test* pada titik nomer 107 layer 1, di lapangan, dengan data pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pull Out titik nomer 107 layer 1

No.	No. Nail	Tahanan Tarik Ultimate (dial reading)		Dial Indicator Base plate (mm)	Dial Indicator Nail Tertarik (mm)
		kN/m ²	Ton		
1	Test 1 no.107 Layer 1	195	6.08	1.95	1.16
2	Test 2 no.35 Layer 2	195	6.08	0.22	0.11
3	Test 3 no.25 Layer 3	195	6.08	0.50	0.23
4	Test 4 no.88 Layer 4	195	6.08	1.26	1.12

Analisis Pull Out dilakukan sesuai metode Das *et al.* (1985). Dari hasil pengujian Layer 1 menunjukkan hasil tes *Dial Indicator Base Plate* dan *Dial Indicator Nail Tertarik* dengan nilai terbesar.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa tanah di area lereng *conveyor* A1J22 merupakan tanah lempung pasir berdebu (clay sand silty) dengan parameter berat isi (γ) 16,11 kN/m³, kohesi (c) 25 kN/m², dan sudut geser ϕ sebesar 6,3°. Lereng eksisting, yaitu sebelum digunakannya perkuatan *soil nailing* memiliki faktor kermanan kurang dari 1 ($FK < 1$) yang menyatakan bahwa lereng tersebut tidak aman.

DAFTAR PUSTAKA

Brownell LE and Young EH. 1959. *Soil Nailing Methode*. Jilid 1. John Wiley and Sons Inc, New York.

- Chohey NP. 1994. *Handbook of Soil Engineering Calculations*. Jilid 2. McGraw-Hill Inc, United States of America.
- Das, Braja M, Endah, Noor, Mochtar, Indrasurya B. 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid 1. Erlangga, Jakarta.
- Fauzi AN. 2012. *Analisis Tegangan-Perpindahan dan Faktor Keamanan (SF) Pada Lereng Miring Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Plaxis 8.2 Stress-Deformation and Safety Factor (SF) Analysis on Slope With Soil Nailing Reinforcement Using Plaxis 8.2*. Skripsi. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Fogler HS. 1999. *Element of Soil Engineering*. Jilid 3. Prentice Hall, New Jersey.
- Natalia Y, Balamba S, & Sarajar AN. 2016. *Analisis Transfer Beban Pada Soil Nailing (Studi Kasus: Kawasan Citra Land*. Jurnal Sipil Statik. 4 (8).
- Pangemanan VGM, Turangan, AE, & Sompie OB. 2014. *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius (Studi Kasus: Kawasan Citraland)*. Jurnal Sipil Statik. 2(1).
- Pratama RB, Muhibbi, IM, Atmanto ID, & Hardiyati S. 2014. *Analisis Stabilitas Lereng Dan Alternatif Penanganannya (Studi Kasus Longsoran Jalan Alternatif Tawangmangu Sta 3+ 150–Sta 3+ 200, Karanganyar)*. Jurnal Karya Teknik Sipil. 3(3): 573-585.
- Riogilang H, Pontororing C, & Mekel A. 2014. *Soil Nailing dan Anchor sebagai Solusi Aplikatif Penahan Tanah untuk Potensi Longsor di Sta 7+ 250 Ruas Jalan Manado-Tomohon*. Jurnal Ilmiah Media Engineering. 4 (2).
- Sinarta N. 2017. *Metode Penanganan Tanah Longsor Dengan Pemakuan Tanah (Soil Nailing)*. PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa. 3(2):1-16.
- Vittriana K. 2012. *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Geoslope*. Skripsi. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.