

## Korelasi Nilai Hambatan Konus Terhadap Parameter Rembesan Dalam Aplikasinya Pada Dinding Penahan Tanah

Yetty Saragi<sup>1,2</sup>, Ros Anita Sidabutar<sup>1</sup>, Riski Bernandus<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas HKBP Nommensen, Medan

<sup>2</sup>Email: yettyrissaragi@yahoo.com

### Abstract

Retaining walls are one of the constructions that are often found as slope safety walls which function to withstand lateral forces from the soil behind them. Retaining walls must be able to withstand shear, overturn, bearing capacity and meet the provisions of SNI 8460 2017 Geotechnical Design Requirements. The retaining wall must also be able to withstand water seepage into the soil behind it so it is necessary to know the amount of the seepage coefficient (k). The value of the seepage coefficient (k) can be determined from the Constant Head and Falling Head laboratory tests as well as by using the correlation from the results of the CPT Cone Penetration Test (which was used in this study). The CPT test was carried out at 4 stations that had experienced slope failure. Furthermore, this study designed a retaining wall in the landslide area by taking into account the magnitude of the seepage coefficient (k). From the four CPT points, the seepage coefficient values were obtained  $k_1 = 1.06E-05$  cm/sec,  $k_2 = 5.79E-06$  cm/sec,  $k_3 = 6.77E-06$  cm/sec and  $k_4 = 6.46E-06$  cm/sec. Taking into account the presence of water seepage behind the retaining wall, it is obtained that FK 1.65 still does not meet FK under conditions of high levels of uncertainty and large repair costs (FK requirements  $> 2.0$  according to SNI 8460 2017). From this study, it was found that by calculating the seepage coefficient (k), the FK value was not sufficient and it was suggested that in its implementation, efforts to compact the soil layer by layer behind the wall were needed so that the soil behind the wall was quite dense.

**Keywords:** retaining wall, seepage coefficient, cone penetration test

### 1. PENDAHULUAN

Dinding penahan tanah adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan tanah lepas atau alami dan mencegah keruntuhan tanah yang miring atau lereng yang kemantapannya tidak dapat dijamin oleh lereng tanah itu sendiri. Tanah yang tertahan memberikan dorongan secara aktif pada struktur dinding sehingga struktur cenderung akan terguling atau akan tergeser. Dinding penahan tanah berfungsi untuk menyokong tanah serta mencegahnya dari bahaya kelongsoran. Baik akibat beban air hujan, berat tanah itu sendiri maupun akibat beban yang bekerja di atasnya (Tanjung, 2016). Dinding penahan tanah dapat dikatakan aman apabila dinding penahan tersebut telah diperhatikan faktor keamanannya, baik terhadap bahaya pergeseran, bahaya penggulingan, penurunan daya dukung tanah dan patahan. Permasalahan yang menjadi fokus bahasan penelitian adalah sifat fisik dan mekanik tanah pada daerah penelitian yang mempengaruhi rembesan dan potensi bahaya piping yang terjadi pada pondasi dinding penahan tanah.

Agar pembahasan dapat lebih terarah, maka diberikan batasan masalah, yaitu menentukan data sondir yang relevan terhadap topik penelitian., dilakukan interpretasi

data CPT (*Cone Penetration Test*), membuat hasil korelasi tahanan konus ( $q_c$ ), data yang di dapat kemudian di aplikasikan pada program Slope dan kesimpulan korelasi nilai hambatan konus ( $q_c$ ) terhadap parameter geoteknik dan rembesan pada dinding penahan tanah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui korelasi antara nilai hambatan konus ( $q_c$ ) terhadap koefisien rembesan ( $k$ ) yang kemudian akan digunakan sebagai referensi mendesain suatu dinding penahan tanah.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Kelongsoran lereng

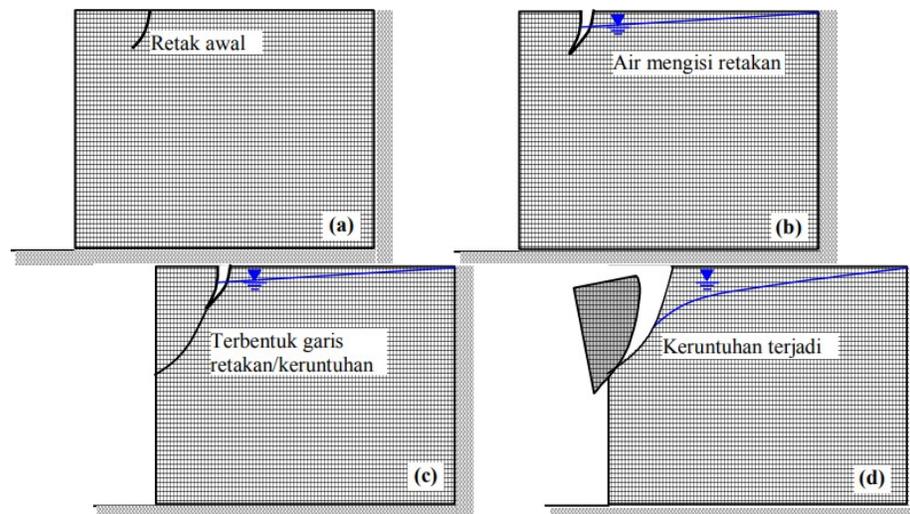
Lereng merupakan suatu bidang di permukaan tanah yang menghubungkan bagian permukaan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah. Terbentuknya lereng dapat secara alami juga buatan manusia. Terdapat tiga jenis lereng dalam teori Teknik Sipil, antara lain yaitu:

- Lereng alam, merupakan lereng yang terbentuk karena proses-proses alam.
- Lereng yang dibuat dengan tanah asli, misalnya apabila tanah dipotong untuk pembuatan jalan atau saluran air untuk keperluan irigasi.
- Lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan, sebagai tanggul untuk jalan atau bendungan tanah.

Faktor-faktor yang mampu mengurangi kuat geser antara lain adalah:

- Meningkatnya tekanan air pori karena infiltrasi ke dalam lereng, debit air yang tidak terkontrol pada saluran drainase, atau gempa bumi yang mengakibatkan naiknya tekanan air pori.
- Tanah pada lereng mengandung mineral lempung yang mengembang sehingga mudah menyerap air tetapi dapat menghilangkan lekatan tanah.
- Pelapukan dan degradasi fisika-kimia karena pertukaran ion, proses hidrolisis, penggaraman.
- Keruntuhan yang bertahap karena penguatan regangan geser.

Faktor yang mempengaruhi berkurangnya kuat geser tanah, poin a dan b merupakan pengaruh dari adanya rembesan air. Tahap rembesan yang terjadi dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 1.** Tahapan Keruntuhan Lereng Akibat Infiltrasi Air (a) Tahap I: Retak awal, (b) Tahap II : Infiltrasi air, (c) Tahap III: Retak merambat, (d) Tahap IV : Keruntuhan (Muntohar, 2006).

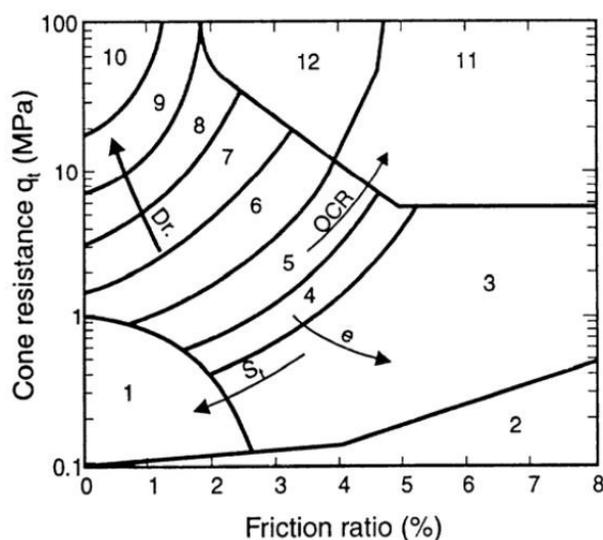
Rembesan air yang terjadi dipengaruhi oleh karakteristik tanah itu sendiri. Kemampuan tanah di rembesi air bergantung pada jenis-jenis tanah. Berdasarkan dari jenis tanah tersebut dapat diketahui koefisien rembesannya ( $k$ ). Koefisien rembesan akan menunjukkan seberapa besar debit rembesan yang akan terjadi dan kemungkinan terjadinya longsor pada lereng.

### Koefisien permeabilitas dan rembesan

Tanah merupakan susunan butiran padat dan pori-pori yang saling berhubungan satu sama lain sehingga air dapat mengalir dari satu titik yang mempunyai energi yang lebih tinggi ke titik yang mempunyai energi yang lebih rendah. Studi mengenai aliran air melalui pori-pori tanah diperlukan dalam mekanika tanah karena hal ini sangat berguna dalam memperkirakan jumlah rembesan air dalam tanah ( $k$ ), menyelidiki permasalahan-permasalahan yang menyangkut pemompaan air untuk konstruksi di bawah tanah, dan menganalisis kestabilan dari suatu bendungan tanah dan konstruksi dinding penahan tanah yang terkena gaya rembesan (Braja M. Das).

Koefisien rembesan ( $k$ ) dapat diperoleh dengan melakukan pengujian di laboratorium dan dengan menginterpretasi data hasil penyelidikan sondir (CPT). Pada penelitian ini dilakukan interpretasi data hasil penyelidikan sondir yang sudah dilakukan. Sehingga diperoleh nilai koefisien rembesan ( $k$ ) pada daerah penelitian. Melalui uji Cone Penetration Test (CPT) dapat ditentukan lapisan dan jenis-jenis tanah yang di uji. Jenis-jenis tanah dapat diperoleh berdasarkan grafik. Grafik yang dipublikasikan Robertson et.al (1986) yang paling sering digunakan (Gambar 2). Pada grafik Robertson et al. (1986) dalam menentukan jenis tanah menggunakan nilai tahanan konus ( $q_c/q_t$ ) dan friction ratio

$$F_r = \frac{f_s}{q_c} \times 100\% \quad (1)$$



**Gambar 2.** Zona tipe tanah qt-Fr (Robertson et al, 1986)

Hasil klasifikasi jenis tanah menggunakan grafik Robertson et al. (1986) menghasilkan 12 tipe tanah, antara lain diuraikan pada Tabel 1 berikut:

**Tabel 1.** Zone tipe tanah  $q_t$ - $F_r$  (Roberson et.al, 1986)

Zone	Soil Behaviour Type (SBT)
1	Sensitive Fine Grained
2	Organic Material
3	Clay
4	Silty Clay to Clay
5	Clayey Silt to Silty Clay
6	Sandy Silt to Clayey Silt
7	Silty Sand to Sandy Silt
8	Sand to Silty Sand
9	Sand
10	Gravelly Sand
11	Very Stiff Fine Grained
12	Sand to Clayey Sand

Berdasarkan dari jenis tanah yang diperoleh, dari tabel di atas, maka dapat digunakan dalam menentukan koefisien permeabilitas tanah ( $k$ ) dengan cara empiris dari tabel hubungan antara jenis tanah dengan koefisien permeabilitas, dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

**Tabel 2.** Harga koefisien rembesan ( $k$ ) pada beberapa tipe tanah

Jenis Tanah	$k$ (cm/det)
Kerikil bersih	$> 1.0$
Pasir bersih dengan campuran kerikil	$1.0 - 10^{-3}$
Pasir lanau dan campuran tanah pasir lanau dan lempung	$10^{-3} - 10^{-5}$
Lempung yang terbuka, lanau dan lempung kelanauan	$10^{-5} - 10^{-7}$
Lempung	$< 10^{-7}$

Sumber : Das, 1995

### Permeabilitas Ekuivalen

Untuk menghitung nilai koefisien rembesan ( $k$ ) ekuivalen dilakukan dengan perhitungan rumus empiris seperti berikut

- a. Koefisien rembesan arah horizontal ( $k_H$ )

$$k_{H_{eq}} = \frac{1}{H} (k_1 h_1 + k_2 h_2 + k_3 h_3 + \dots + k_n h_n) \quad (2)$$

- b. Koefisien rembesan arah vertikal ( $k_V$ )

$$k_{V_{eq}} = \frac{H}{\frac{h_1}{k_1} + \frac{h_2}{k_2} + \frac{h_3}{k_3} + \dots + \frac{h_n}{k_n}} \quad (3)$$

Maka kekuivalen dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$k_{eq} = \sqrt{k_{V_{eq}} k_{H_{eq}}} \quad (4)$$

### Parameter Tanah

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan kuat geser taah yang menentukan ketahanan tanah

terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan factor aman dari yang direncanakan. Nilai kohesi secara empiris dapat ditentukan dari data CPT ( $q_c$ ) yaitu sebagai berikut:

$$\text{Kohesi } (c) = \frac{q_c}{20} \quad (5)$$

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapatkan dari korelasi jenis tanah hasil data CPT terhadap sudut geser (tabel 3).

**Tabel 3.** Hubungan antara sudut geser dalam ( $\phi$ ) dan jenis tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam ( $\phi$ ), °
Kerikil kepasiran	35 - 40
Kerikil kerakal	35 - 40
Pasir padat	35 - 40
Pasir lepas	30
Lempung kelanauan	25 - 30
Lempung	20 - 25

Sumber : Das, 1995

### Lereng tanah

Banyak kasus kelongsoran lereng tanah dan batuan disebabkan oleh faktor air, baik air di permukaan maupun aliran air di dalam tanah. Adanya air di dalam lereng menyebabkan menurunnya tegangan efektif akibat tekanan air pori yang meningkat sehingga menyebabkan turunnya kekuatan geser tanah atau massa batuan. Adanya air tanah dapat juga menambah gaya-gaya yang menyebabkan ketidakstabilan karena bertambahnya berat tanah atau massa batuan maupun timbulnya gaya yang diakibatkan oleh aliran air di dalam lereng. Faktor keamanan lereng yang disyaratkan untuk analisis kestabilan lereng tanah diperlihatkan pada tabel 4 dengan didasarkan pada pertimbangan biaya dan konsekuensi kegagalan lereng terhadap tingkat ketidakpastian kondisi analisis.

**Tabel 4.** Nilai faktor keamanan untuk lereng tanah

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah <sup>a</sup>	Tinggi <sup>b</sup>
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1.25	1.5
Biaya perbaikan lebih besardari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1.50	2.0 atau lebih

<sup>a</sup> Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan

<sup>b</sup> Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan

Sumber : SNI Geoteknik 8460:2017

### Simulasi numerik

Simulasi numerik menggunakan Program SLOPE. SLOPE/W menggunakan pendekatan keseimbangan batas untuk menilai stabilitas geometri yang ditentukan. Batasnya metode kesetimbangan membagi massa geser potensial, yang ditentukan oleh percobaan slip surface, menjadi irisan vertikal. Sebuah solusi iteratif digunakan untuk menentukan faktor dimana kekuatan geser semua irisan harus: dikurangi sedemikian rupa sehingga massa geser tepat pada titik kesetimbangan statis (sebelum terjadi kegagalan). Faktor reduksi ini disebut sebagai faktor keamanan. Keseimbangan dapat dinilai untuk keseimbangan momen atau gaya. Jadi, SLOPE/W menghitung dua faktor keamanan; satu sehubungan dengan kesetimbangan momen keseluruhan dan satu terhadap kesetimbangan gaya horizontal. Solusi iterasi lain menentukan faktor gaya interslice ( $\lambda$ ; rasio geser interslice dan interslice gaya normal) menghasilkan faktor keamanan yang sama untuk keseimbangan momen dan gaya.

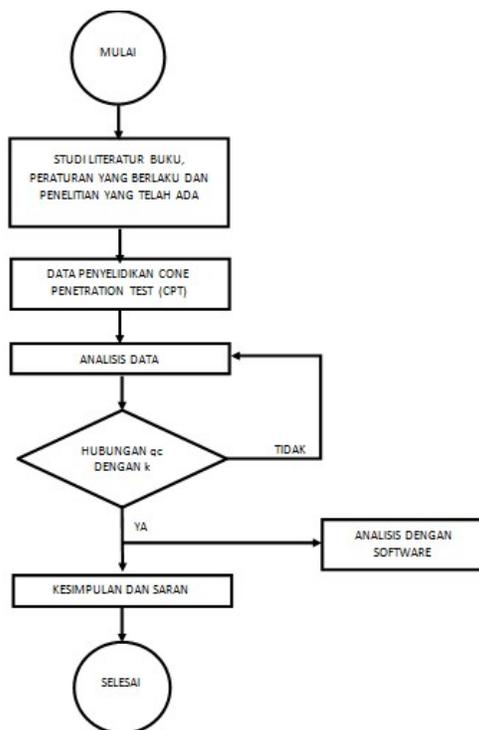
Tekanan air pori dapat berdampak besar pada stabilitas lereng. Jadi, hal penting lainnya dalam aspek analisis SLOPE/W adalah definisi tekanan air pori. Tekanan air pori mungkin ditentukan oleh garis piezometrik, fungsi spasial,  $R_u$  dan koefisien, atau nilai yang dihitung dengan analisis elemen hingga yang sesuai (misalnya, SEEP/W).

### 3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini pengumpulan data dilakukan dengan mengambil hasil pengujian tanah melalui pihak perusahaan yang terkait dalam pekerjaan penyelidikan tanah. Data yang diperoleh berasal dari hasil pengujian tanah pada proyek Pekerjaan Jalan Longsor di kota Tarutung, Kabupaten Tapanuli Utara (gambar 3). Dalam penelitian ini digunakan data hasil pengujian CPT (Cone Penetration Test) berupa nilai tahanan konus ( $q_c$ ) yang kemudian akan di korelasikan dengan parameter tanah. Selanjutnya untuk aplikasi data pada dinding penahan tanah dilakukan di Kampus UHN dengan bantuan SLOPE. Alur penelitian sesuai gambar 4 berikut.



**Gambar 3.** Lokasi penelitian



Gambar 4. Alur penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Klasifikasi tanah dan Koefisien rembesan (k) berdasarkan data CPT

Dengan menggunakan persamaan (1), Gambar 2, Tabel 1 dan 2 diperoleh nilai koefisien rembesan dari setiap lokasi dilakukannya test CPT (tabel 5).

Tabel 5. Koefisien rembesan (k, cm/det) sesuai kedalaman pada penyelidikan tanah

Kedalaman	Sta 11+115		Sta 17+100		Sta 32+110		Sta 46+950	
	Zona	k	Zona	k	Zona	k	Zona	k
0.0 - 0.2	2	-	2	-	3	1E-08	2	-
0.2 - 0.4	3	1E-08	3	1E-08	4	1E-07		
0.4 - 0.6	5	1E-07			4	1E-07	6	1E-05
0.6 - 0.8	6	1E-05						
0.8 - 1.0			5	1E-07	5	1E-07	7	1E-05
1.0 - 1.2								
1.2 - 1.4	6	1E-05	6	1E-05	9	1E-03	5	1E-07
1.4 - 1.6								
1.6 - 1.8	5	1E-07	7	1E-05	6	1E-05	6	1E-05
1.8 - 2.0								
2.0 - 2.2	6	1E-05	8	1E-05	7	1E-05	7	1E-05
2.2 - 2.4								
2.4 - 2.6	7	1E-05	8	1E-05	7	1E-05	7	1E-05
2.6 - 2.8								
2.8 - 3.0	8	1E-05	9	1E-03	7	1E-05	7	1E-05
3.0 - 3.2								
3.2 - 3.4	9	1E-03	9	1E-03	7	1E-05	7	1E-05
3.4 - 3.6								

3.6 - 3.8							
3.8 - 4.0							
4.0 - 4.2							
4.2 - 4.4							
4.4 - 4.6							
4.6 - 4.8							
4.8 - 5.0							
5.0 - 5.2			9	1E-03			
5.2 - 5.4							
5.4 - 5.6							
5.6 - 5.8							
6.0 - 6.2							
6.2 - 6.4					8	1E-05	8
6.6 - 6.8							
6.8 - 7.0							
7.0 - 7.2							
7.2 - 7.4							
7.4 - 7.6							
7.6 - 7.8							
7.8 - 8.0							
8.0 - 8.2					9	1E-03	9
8.2 - 8.4							
8.4 - 8.6							
8.6 - 8.8							
8.8 - 9.0							
9.0 - 9.2							
9.2 - 9.4							

### Koefisien rembesan ekuivalen ( $k_{ekivalen}$ )

Dengan menggunakan persamaan (2),(3), (4) dan Tabel 3 diperoleh koefisien rembesan ekuivalen ( $k_{ekivalen}$ ) yang dirangkum pada Tabel 6 berikut.

**Tabel 6.** Koefisien rembesan ekuivalen ( $k_{ekivalen}$ ) pada lokasi penyelidikan tanah

Lokasi	$k_{ekivalen}$ , cm/det
Sta 11+115	1.06 E-05
Sta 17+100	5.79 E-06
Sta 32+110	6.77 E-06
Sta 46+950	6.46 E-06

### Parameter Tanah Untuk Aplikasi

Berdasarkan data hasil CPT, menggunakan persamaan (5) dan Tabel 3 digunakan parameter tanah berikut (Tabel 7) untuk aplikasi numerik.

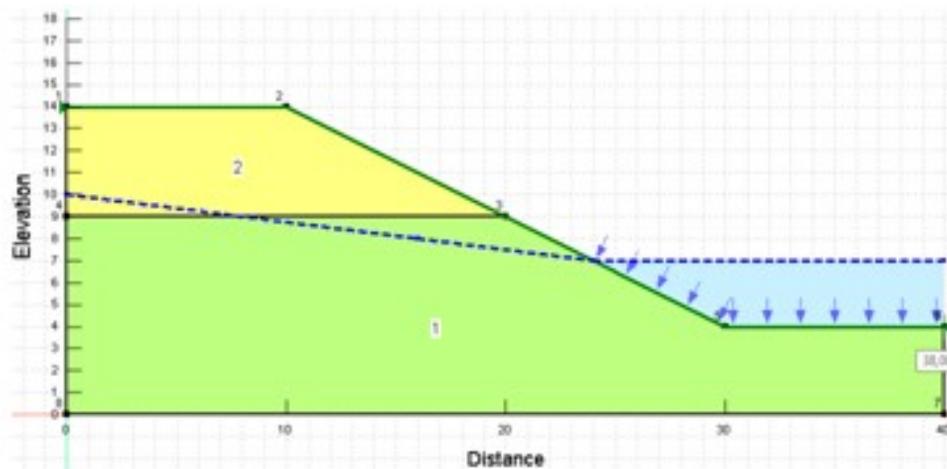
**Tabel 7.** Data parameter tanah

Material	Lanau Berpasir	Pasir
Berat Isi	15 kN/m <sup>3</sup>	18 kN/m <sup>3</sup>
Kohesi	5 kPa	4 kPa
$\phi$	25°	35°

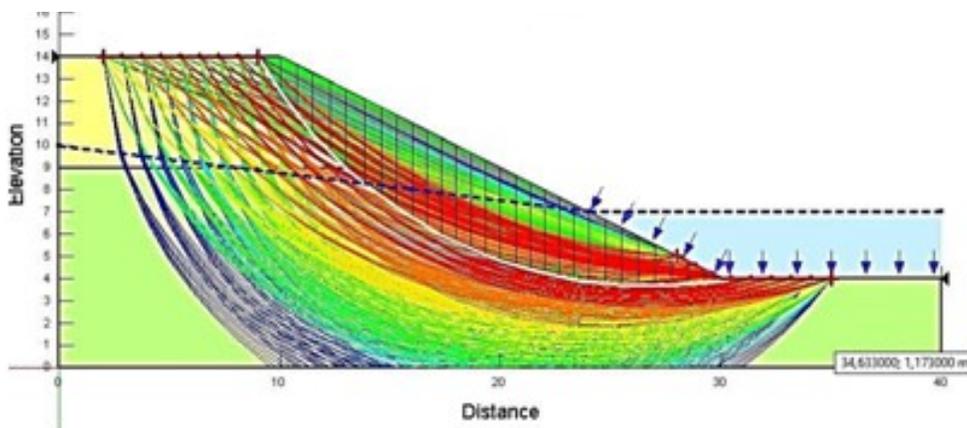
### Aplikasi Menggunakan Metode Numerik

Simulasi numerik pada lereng tanah dilakukan dengan Program SLOPE dan input parameter tanah menggunakan tabel 6 dan 7. Pemodelan lereng tanah sesuai gambar 5. Setelah semua tahapan sudah dilakukan tahap selanjutnya adalah mengetahui hasil analisis pada menu Solve Manager, jika tidak ada error yang terjadi, maka akan muncul

hasil analisis seperti gambar 6. Hasil analisis menunjukkan angka keamanan 1.612 yang berarti kondisi lereng cukup stabil.



**Gambar 5.** Pemodelan lereng tanah dengan program SLOPE



**Gambar 6.** Hasil analisis dengan program SLOPE

Dengan menggunakan persyaratan Faktor Keamanan Geoteknik untuk lereng diketahui bahwa nilai FK 1.65 masih belum memenuhi FK pada kondisi tingkat ketidakpastian tinggi dan biaya perbaikan besar (syarat  $FK > 2.0$ )

#### 4. KESIMPULAN

1. Penyelidikan tanah CPT memberikan informasi daya dukung tanah per lapisan juga dapat memberikan informasi besarnya koefisien rembesan tanah ( $k$ ) berdasarkan jenis tanah di lapisan tersebut.
2. Pemodelan lereng dengan menggunakan informasi lapisan tanah dan koefisien rembesan tanah ( $k$ ) dari hasil CPT diperoleh  $FK = 1.65$ . FK ini belum memenuhi FK lereng tanah sesuai SNI 8460-2017 : Persyaratan Perancangan Geoteknik. Artinya lereng tanah tersebut masih berpotensi longsor.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Barron, R. A. 1948. Consolidation of Fine Grained Soils by Drain Wells, *Transaction ASCE*, Vol. 113.
- Bergado, D.T., et.al., 2002. Prefabricated PVDs in Soft Bangkok Clay, *Canadian Geotech Journal*, Vol 39, pp 304-315.
- Christady, H. 2010. *Mekanika Tanah 2 Edisi Ke Lima*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Christady, H. 2013. *Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya Perancangan dan Aplikasi*. Gadjah mada University Press. Yogyakarta
- Craig, R. F. 1994. *Mekanika Tanah Edisi Keempat*. Erlangga. Jakarta.
- Das, M. Braja. 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Erlangga. Jakarta.
- Giroud, J.P. 1981. Designing With Geotextiles, *Mater. Const (Paris)*, Vol.14. no.82, pp.257- 272
- Hansbo, S. 1979. *Geodrains in Theory and Practice, Geotechnical Report, Terrafigo, Stockholm, Swedia*.
- Terzaghi, K. 1925. *Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage, Deutichke, Vienna*.
- Terzaghi, K., and Peck, R. B. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd ed., Wiley, New York*.
- Yan, S.W., Chu, J. 2005. Soil Improvement for a Storage Yard Using the Combined Vacuum and Fill Preloading Method. *Canadian Geotech Journal*, Vol 42, pp 1094-1104