

# PROBABILITY ANALYSIS OF RETAINING WALL ON SAND IN WATER TABLE DEPTH VARIATION

## ANALISIS DINDING PENAHAN PADA TANAH PASIR DENGAN VARIASI KEDALAMAN MUKA AIR TANAH BERDASARKAN PRINSIP PROBABILITAS

Anto Budi Listyawan <sup>1)</sup>, Ditha Ayu Purnama Sari <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A.YaniTromol Pos I Pabelan 57102 e-mail:[anto\\_beel@yahoo.com](mailto:anto_beel@yahoo.com)

<sup>2)</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A.YaniTromol Pos I Pabelan 57102

### ABSTRACT

Deterministic analysis of retaining wall only takes account single soil properties that represent the whole data of soil. In contrary, probabilistic analysis accommodate the presence of variability by using all data of soil properties in a Monte Carlo method. The newest method is now widely applying in many geotechnical structure designs. This paper focuses on the analysis of retaining wall on sand using probabilistic analysis in a variation of water table depth. Retaining wall was sit in Jamuna River Sand and the depth of water table are 1 m and 3 m below soil surface respectively. The analysis begins by carrying conversion of tip resistant ( $q_c$ ) to friction angle, follows by representing the fit distribution of friction angles data in a form of Normal, Lo-normal, Beta, and Gamma distribution by ready program written in MATLAB. As statistics parameters derived, retaining wall was analyzed to determine the safety factor against sliding, overturning, and soil bearing capacity, by computer aid of Crystal Ball. Finally, the result of probabilistic analysis was compared to the conventional analysis. The result shows that both variations of retaining wall are unsafe in terms of sliding, overturning, and soil bearing capacity stabilities, either probabilistic and conventional analysis.

**Key words:** CPT, probabilistic, MATLAB, Crystal Ball, retaining wall

### ABSTRAK

Analisis dinding penahan tanah dengan metode deterministik hanya menggunakan satu nilai propertis tanah tertentu yang dianggap mewakili, sedangkan konsep probabilitas memakai semua data propertis tanah yang ada mengakomodasi setiap variasi yang terjadi. Karena konsep deterministik dianggap kurang teliti, maka dalam penelitian ini memakai prinsip probabilitas. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perhitungan manual dan perhitungan dengan prinsip probabilitas dengan menggunakan data CPT diambil dengan jenis tanah pasir di Sungai Jamuna, Bangladesh dengan kedalaman 10 meter. Tahap awal dilakukan dengan mengkonversikan tahanan ujung konus ( $q_c$ ) dari data CPT ke dalam sudut gesek dalam yang kemudian dianalisis dengan menggunakan metode statistik untuk menentukan distribusi frekuensinya, dengan bantuan program MATLAB dan menarik parameter statistik seperti mean, standar deviasi dan koefisien variasi. Pengujian kesesuaian distribusi frekuensi menggunakan metode Uji Chi-Kuadrat. Kemudian membandingkan perhitungan manual dan perhitungan prinsip probabilitas dengan menggunakan program Crystal Ball. Dengan dua variasi dinding penahan tanah, yaitu variasi I dengan muka air tanah 1 meter di bawah permukaan tanah dan variasi II dengan muka air tanah 3 meter di bawah permukaan tanah. Hasil yang diperoleh dari analisis adalah nilai distribusi yang paling mewakili data CPT/sondir adalah pada distribusi normal dengan nilai  $\chi^2$  best fit distribution sebesar 1,2277. Dari hasil analisis didapatkan bahwa untuk kedua variasi tersebut, dinding penahan tidak aman terhadap penggeseran, penggulingan dan terhadap keruntuhan daya dukung baik dari perhitungan metode manual maupun analisis program Crystal Ball.

**Kata-kata kunci :** CPT, probabilitas, MATLAB, Crystal Ball, dinding penahan tanah

## PENDAHULUAN

Banyak masyarakat Indonesia menggunakan dinding penahan tanah untuk menghindari bahaya tanah longsor. Dinding penahan tanah berfungsi untuk menyokong tanah serta mencegah dari bahaya longsor. Pada era 1990an analisis perancangan berbagai macam bangunan tanah didasarkan pada analisis model secara deterministik. Konsep analisis dengan pendekatan probabilitas menjadi solusi mutakhir untuk mengatasi kurang telitinya model deterministik. Cara deterministik hanya menggunakan satu nilai properti tanah tertentu yang dianggap mewakili, sedangkan konsep probabilitas memakai semua data properti tanah yang ada mengakomodasi setiap variasi yang terjadi. Salah satu properti tanah yang menunjukkan tingginya variasi data adalah hasil *Cone Penetration Test (CPT)* yang dapat dilihat pada nilai tahanan konus ( $q_c$ ) maupun hambatan lekat ( $f_s$ ) dari hasil *CPT*. Pengolahan data *CPT* yang akan digunakan dalam analisis model probabilitas yang selanjutnya dipakai untuk analisis stabilitas dinding penahan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan analisis stabilitas dinding penahan dengan perhitungan manual dan perhitungan metode probabilitas.

Data *CPT* atau data sondir diambil dari lereng sungai Jamuna, Bangladesh dengan data tanah adalah: tanah pasir murni ( $c = 0$ ), dengan  $\gamma_b = 17 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ ,  $h = 10 \text{ m}$ , lebar atas 3 meter, lebar dinding 5,5 meter. Dengan variasi I muka air tanah 1 meter di bawah permukaan tanah dan variasi II muka air tanah 3 meter di bawah permukaan tanah. Tanah di bawah dinding penahan  $\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$ ,  $c = 12 \text{ kN/m}^2$ ,  $\phi = 35^\circ$ ,  $\delta_b = 2/3 \phi$ . Dinding penahan terbuat dari beton dengan  $\gamma_{\text{bt}} = 23 \text{ kN/m}^3$ .

Beberapa penelitian sejenis yang telah ada sebelumnya, diantaranya adalah "Analisis Stabilitas Lereng Metode *Fellini* dengan Variasi Bidang Longsor Berdasarkan Teori Probabilitas" (Slamet Murdiyanto, 2012, Universitas Muhammadiyah Surakarta) dan "Analisa Dinding Penahan Tanah Yang Menggunakan *Earth Berm* Sebagai Support Dengan Program *Plaxis*" (Thurton P., Indra, 2009)

### Tanah Longsor dan Dinding Penahan Tanah

Tanah longsor adalah material pembentuk lereng yang berupa bebatuan, tanah atau material campuran batuan dan tanah yang bergerak ke bawah atau keluar lereng. Dinding penahan tanah adalah suatu konstruksi bangunan yang dibangun untuk menstabilkan tanah yang ditimbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang labil. Fungsi dari dinding penahan tanah adalah untuk menahan tekanan tanah akibat parameter tanah yang buruk sehingga longsor dapat dicegah. Macam dinding penahan menurut

(Sudarmanto, 1992) adalah dinding gravitasi, dinding kentilever, dinding conterfort, dinding *butters* dan abutmen jembatan.

### Pengujian Penetrasi Bikonus Belanda

Hasil dari pengujian penetrasi bikonus belanda (sondir) adalah nilai tahanan konus ( $q_c$ ). Untuk tanah pasir, menurut *Mayerhof* (1956) untuk perbandingan nilai tahanan konus dengan nilai  $N$  dari uji SPT menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$q_c = 4N \quad (1)$$

dengan:

$q_c$  = Tahanan ujung konus ( $\text{kg/cm}^2$ )

$N$  = Nilai pengujian *SPT*

Dari hasil perbandingan tersebut kemudian dikorelasikan ke sudut gesek dalam ( $\phi$ ) dengan Tabel 1 :

Tabel 1. Hubungan antara kepadatan relatif, sudut geser dalam nilai  $N$  dari tanah pasir (*Mayerhof*, 1974)

Nilai $N$	Klasifikasi	Kepadatan Relatif ( $D_r$ ), (%)	Sudut gesek dalam ( $\phi$ ) ( $^\circ$ )
0 – 4	Sangat lepas	0 – 15	<30
4 – 10	Lepas	15 – 35	30 – 35
10 – 30	Agak rapat (sedang)	35 – 65	35 – 40
30 – 50	Padat	65 – 85	40 – 45
> 50	Sangat padat	85 – 100	> 45

### Uji Chi-Kuadrat

Uji Chi-Kuadrat dapat dipakai untuk menentukan sejauh mana distribusi-distribusi teoritis (distribusi normal, gamma, beta, log-normal) sesuai dengan distribusi-distribusi empiris yang diperoleh dari data sample (*Spiegel*, 1994). Uji Chi-Kuadrat didasarkan pada sejauh mana kesesuaian antara frekuensi-frekuensi yang diamati dengan frekuensi-frekuensi yang diharapkan muncul dari distribusi yang diperkirakan sebelumnya, yang dapat dihitung dengan formula dibawah ini :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (2)$$

dengan :

$\chi^2$  = Chi kuadrat

$o_i$  = Frekuensi pengamatan

$e_i$  = Frekuensi yang diharapkan

### Tekanan Tanah Lateral

Menurut teori Rankine (1857) pada permukaan tanah horizon ( $\beta=0$ ) tekanan tanah aktif dapat dihitung dengan persamaan :

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 45 - \frac{\phi}{2} \quad (3)$$

dengan :

$K_a$  = Koefisien tekanan tanah aktif

$\varphi$  = sudut gesek dalam ( $^\circ$ )

Sedangkan tekanan tanah aktif total ( $P_a$ ) dihitung dengan persamaan:

- Rumus untuk luas diagram segitiga

$$P_a = 0,5 H^2 \gamma K_a \quad (4)$$

- Rumus untuk luas diagram persegi panjang

$$P_a = H^2 \gamma K_a \quad (5)$$

Dengan titik tangkap gaya pada H/3 dari dasar dinding penahan.

dengan :

$P_a$  = tekanan tanah aktif total (kN)

$\gamma$  = berat volume tanah (kN/m<sup>3</sup>)

### Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah

#### 1. Analisis Stabilitas terhadap Penggeseran

Faktor aman terhadap penggeseran ( $F_{gs}$ ), dirumuskan sebagai berikut :

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 1,5 \quad (6)$$

Untuk tanah c- $\varphi$  ( $\varphi > 0$  dan  $c > 0$ )

$$\sum R_h = c_a B + W \tan \delta \quad (7)$$

dengan :

$\sum R_h$  = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran

$W$  = berat total dinding penahan dan tanah di atas pelat fondasi

$\delta_b$  = sudut gesek antara tanah dan dasar fondasi, diambil (2/3)  $\varphi$

$c$  = kohesi tanah dasar (kN/m<sup>2</sup>)

$B$  = lebar fondasi (m)

$\sum P_h$  = jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

Faktor aman terhadap stabilitas penggeseran dasar fondasi ( $F_{gs}$ ) minimum diambil 1,5. Bowles (1997), menyarankan agar  $F_{gs} \geq 1,5$  untuk tanah dasar granuler.

#### 2. Analisis Stabilitas terhadap Penggulingan

Faktor aman terhadap penggulingan ( $F_{gl}$ ), dirumuskan sebagai berikut :

$$F_{gl} = \frac{\sum t_w}{\sum t_{gl}} a \quad (8)$$

dengan :

$\sum M_w$  =  $W b_1$

$\sum M_w$  = momen yang melawan penggulingan (kN.m)

$\sum M_{gl}$  = momen yang mengakibatkan penggulingan (kN.m)

$B$  = lebar kaki dinding penahan (m)

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

$b_1$  = jarak dari titik acuan (O) ke titik berat (m)

Faktor aman terhadap stabilitas penggulingan ( $F_{gl}$ ) tergantung pada jenis tanahnya, yaitu  $F_{gl} \geq 1,5$  untuk tanah dasar granuler.

#### 3. Analisis Stabilitas terhadap Keruntuhan

##### Kapasitas Daya Dukung Tanah

Persamaan kapasitas daya dukung tanah pada tugas akhir ini memacu pada persamaan kapasitas dukung Vesic (1975) dan Hansen (1970). Persamaan ini digunakan untuk menghitung kapasitas dukung ultimit pada beban miring dan eksentris, yaitu :

$$q_u = d_c i_c c N_c + d_q i_q D_f \gamma N_q + d_\gamma i_\gamma 0,5 B_\gamma N_\gamma \quad (9)$$

Dan faktor kapasitas dukung menggunakan rumus :

$$N_q = e^{m \gamma \varphi} \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (10)$$

$$N_c = \frac{N_q -}{\tan \varphi} \quad (11)$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - ) \tan \varphi \quad (12)$$

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung didefinisikan sebagai :

$$\frac{q_u}{q} F_{\geq} ; \quad q = \frac{V}{B'} \quad (13)$$

dengan :

$d_c, d_q, d_\gamma$  = faktor kedalaman

$i_c, i_q, i_\gamma$  = faktor kemiringan beban

$V$  = beban vertikal (kN)

$B$  = lebar dasar fondasi (m)

$B'$  = lebar efektif =  $B - 2e$

$e$  =  $B/2 - xe$

$xe$  =  $(\sum M_w - \sum M_{gl}) / \sum W$

$A'$  =  $B' \times l$

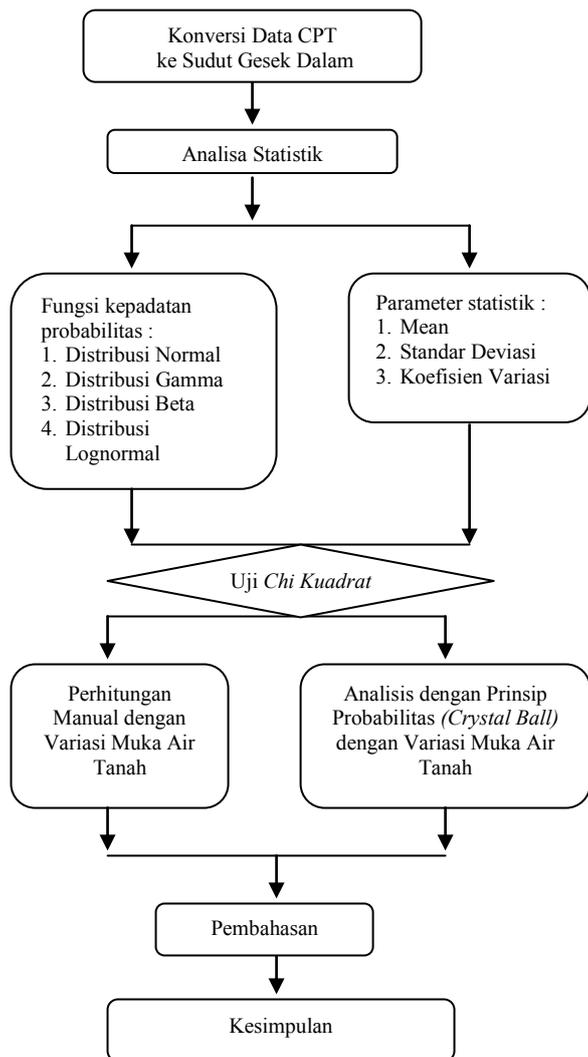
$N_c, N_q, N_\gamma$  = faktor kapasitas dukung

$q_u$  = kapasitas daya dukung ultimit

$q$  = tekanan akibat beban struktur

### METODE PENELITIAN

Pada penelitian kali ini permasalahan yang diangkat adalah menganalisis data *CPT-Test* dengan mengakomodasi segala variasi yang muncul, yang pada akhirnya menampilkan seluruh data tersebut ke dalam bentuk distribusi frekuensi. Tahapan Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Tahapan Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengambilan Data CPT

Data sondir diambil dari hasil pengujian sondir tanah pasir murni di sungai Jamuna, Bangladesh. Hasil pengujian data sondir yang berupa data tahanan ujung konus, dikorelasikan ke dalam sudut gesek dalam ( $\phi$ ) dengan kedalaman sampai dengan 10 m.

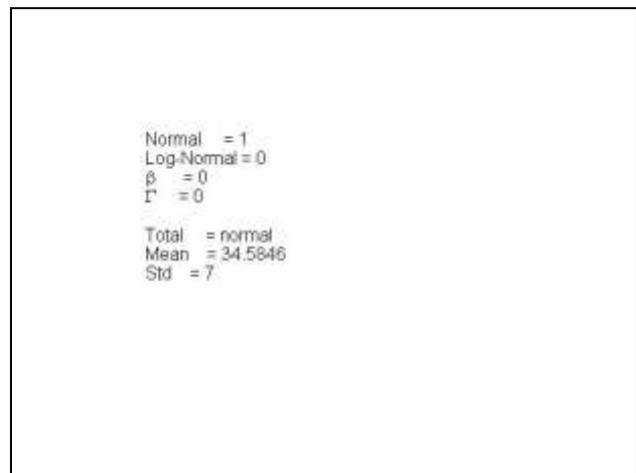
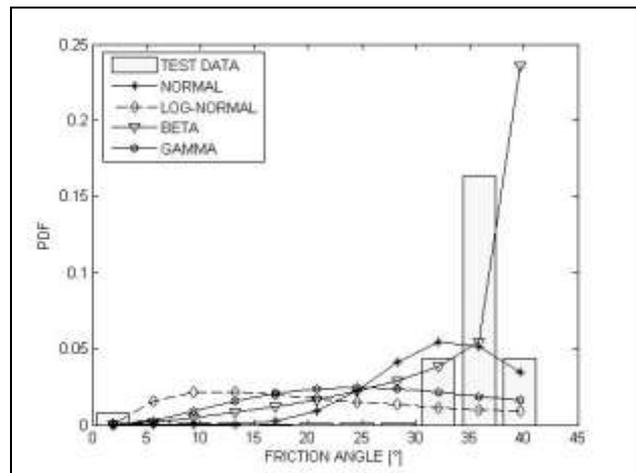
### Analisa Statistik

#### 1. Analisa dengan Program MATLAB

Menentukan jumlah kelas yang disyaratkan yaitu antara 5 sampai 20 dengan rumus *Sturges*, yaitu :

$$K = 1 + 3.3 \log n = 1 + 3.3 \log 715 = 11 \text{ kelas,}$$

Hasil dari analisis statistik dengan menggunakan program *MATLAB 7.0* dapat dilihat pada Gambar 2 :



Gambar 2. Uji statistik program *MATLAB 7.0*

Tabel 2. Hasil uji statistik untuk nilai  $\chi^2$  best fit distribution

Distribusi	Normal	Lognormal	Beta ( $\beta$ )	Gamma ( $\Gamma$ )
$\chi^2$	1,2277	2,6688	8,4912	1,2709

Pada Tabel 2 diperoleh nilai yang paling fit adalah pada distribusi Normal (1,2277).

#### 2. Uji Chi-kuadrat ( $\chi^2$ )

Dengan nilai  $k = 11$ ,  $m = 2$ , maka diperoleh nilai  $db(v) = 8$ . Dari tabel  $\chi^2$  (Chi-kuadrat) pada lampiran, dengan  $db = 8$  dan  $\alpha = 0.05$ , didapat nilai  $\chi^2 = 15.507$ . Dari hasil runing program *MATLAB*, nilai  $\chi^2$  pada distribusi normal = 1,2277.  $H_0 = 1,2277 \leq 15.507$ , maka diterima artinya data sudut gesek dalam dapat didistribusikan secara normal.

### Parameter-parameter Statistik

#### 1. Mean (rata-rata)

Perhitungan rata-rata hitung untuk data sudut gesek dalam ( $\bar{\phi}$ ) pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi}{n} = \frac{24727,97^0}{715} = 34,858^0$$

### 2. Standar Deviasi ( $\sigma$ )

Pada analisis ini menggunakan pembagi  $n-1$  karena jumlah data lebih dari 30 yaitu sebanyak 715.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varphi - \mu)^2}{(n-1)}} = 7^0$$

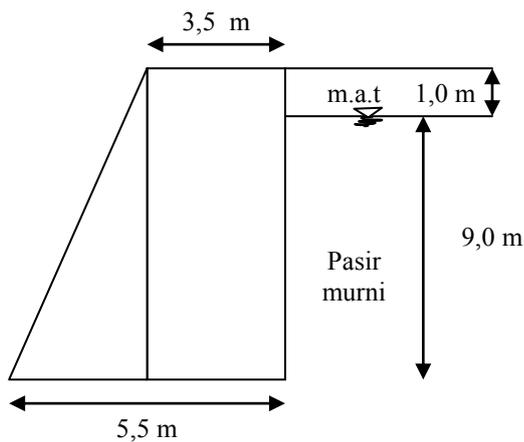
### 3. Koefesien Variasi (V)

Setelah didapatkan *mean* dan nilai *standar deviasi*, maka langkah selanjutnya adalah menghitung koefesien variasinya (V).

$$V = \frac{\sigma}{\bar{\varphi}} = \frac{7,220}{34,585} = 0,2088$$

### Analisa Stabilitas Dinding Penahan Manual

Metode analisis stabilitas dinding penahan pada tanah pasir murni dengan berat isi tanah di atas muka air tanah,  $\gamma_1 = 17 \text{ kN/m}^3$ , berat isi tanah di bawah muka air tanah,  $\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$ , berat isi air  $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ . Denah dinding penahan tanah dapat dilihat di bawah ini

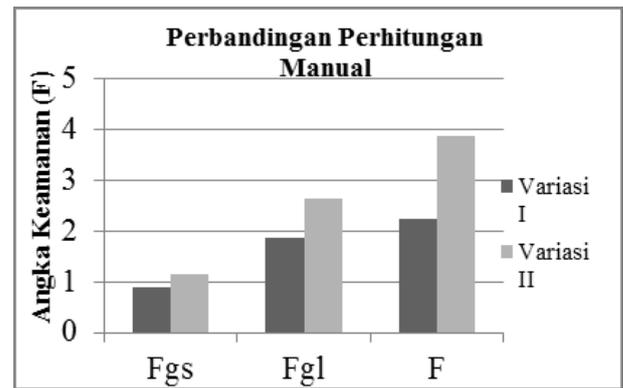


Gambar. 3. Dinding Penahan Tanah Variasi I

Hasil perhitungan nilai keamanan (F) pada variasi I dan variasi II dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 4.

Tabel 3. Hasil perhitungan F pada variasi I dan variasi II

	F <sub>gs</sub>	F <sub>gl</sub>	F
Variasi I (m.a.t 1 meter):	0.8864	1.8747	2.2285
F (angka aman)			
Variasi II (m.a.t 3 meter):	1.1463	1.1463	1.1463
F (angka aman)			



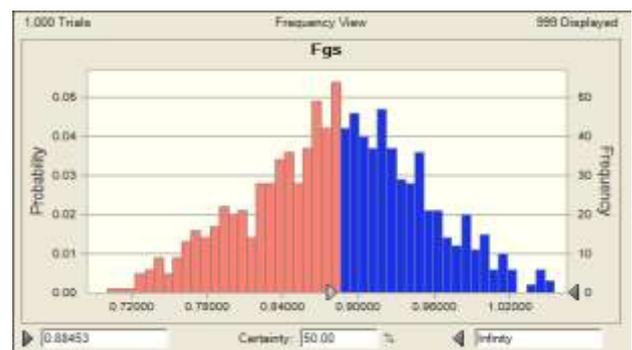
Gambar.4. Perbandingan Angka Aman (F) Variasi I dan II

### Analisa Stabilitas Dinding Penahan dengan Metode Probabilitas

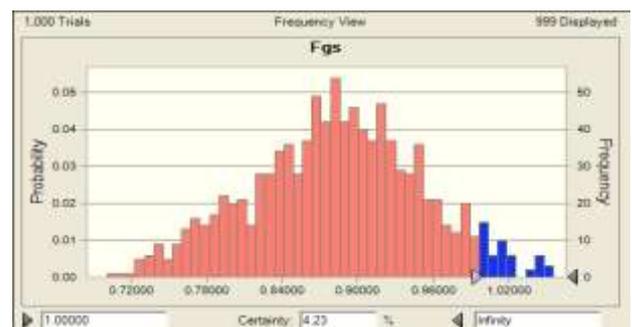
*Crystal Ball* mempunyai kemampuan menghitung, visualisasi, permodelan, simulasi, algoritma, probabilitas, serta analisa data. Data-data yang diperlukan adalah nilai *mean* sudut gesek dalam ( $\mu$ ), *standar deviasi* ( $\sigma$ ) dan rumus-rumus yang dipakai dalam perhitungan manual. Pada perhitungan *Crystal Ball* diperoleh Grafik yang menunjukkan besarnya nilai F pada masing-masing variasi dinding penahan tanah yang dianalisis.

#### Variasi I (muka air 1 meter)

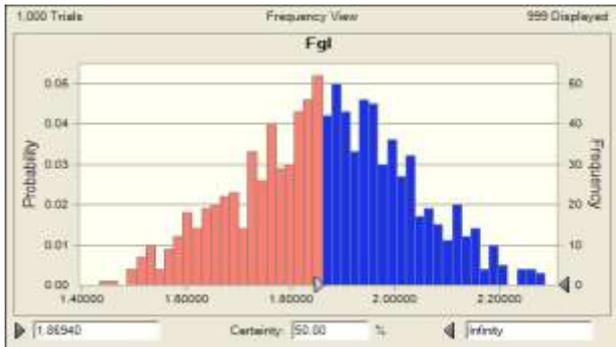
*Standar deviasi* ( $\sigma$ ) = 7,220 dan nilai *mean* sudut gesek dalam ( $\mu$ ) = 34,585 dengan percobaan sebanyak 1000 kali diperoleh grafik seperti pada Gambar 5 sampai Gambar 10



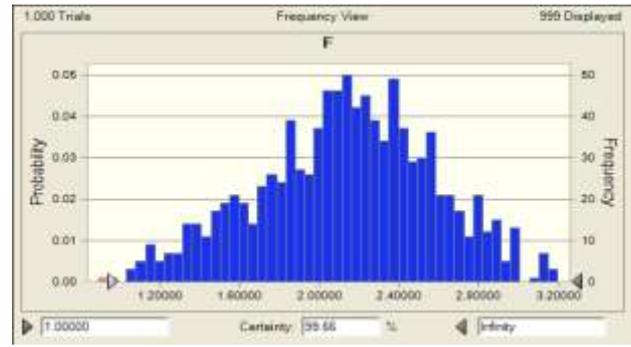
Gambar 5. Distribusi 50% F<sub>gs</sub> pada Variasi I



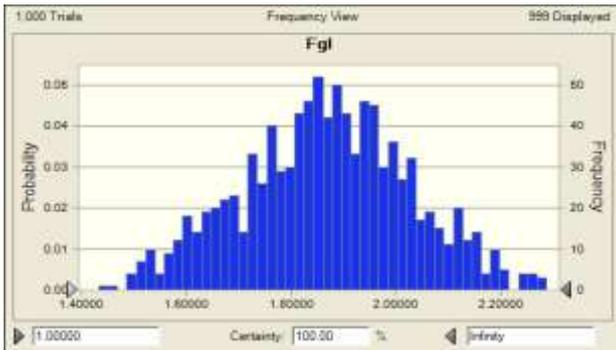
Gambar 6. Distribusi nilai F<sub>gs</sub> > 1 pada Variasi I



Gambar 7. Distribusi 50%  $F_{gl}$  pada Variasi I

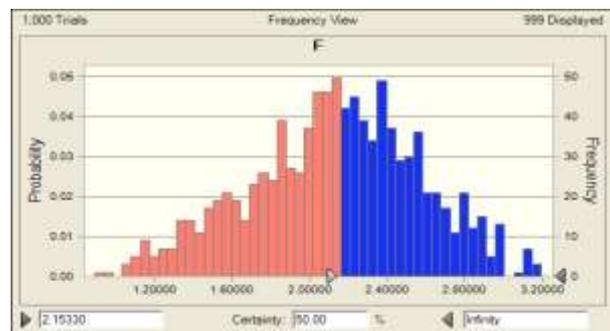


Gambar 10. Distribusi nilai  $F > 1$  pada Variasi I



Gambar 8. Distribusi nilai  $F_{gl} > 1$  pada Variasi I

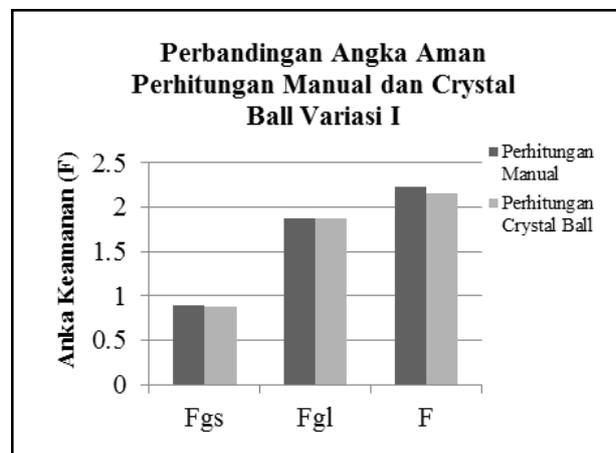
Pada Gambar 5, 7, dan 9 terlihat bahwa hanya terjadi perbedaan sangat kecil antara perhitungan manual yang menggunakan nilai mean dari sudut gesek dalam dengan cara probabilitas dengan mengambil 50% keyakinan, hal ini menunjukkan bahwa perhitungan cara konvensional sesuai dengan pernyataan bahwa 50% angka keamanan akan berada di bawah nilai angka aman hasil perhitungan. Pada Gambar 6 terlihat bahwa persentase nilai  $F_{gs} > 1$  sebesar 4,23% dengan kata lain diperoleh tingkat keyakinan kemampuan dinding penahan untuk menahan beban sebesar 4,23%. Demikian juga berlaku untuk angka aman terhadap bahaya penggulingan dan keruntuhan daya dukung tanah. Lebih lengkap bisa dilihat dalam Tabel 4 dan Gambar 11 dan Gambar 12.



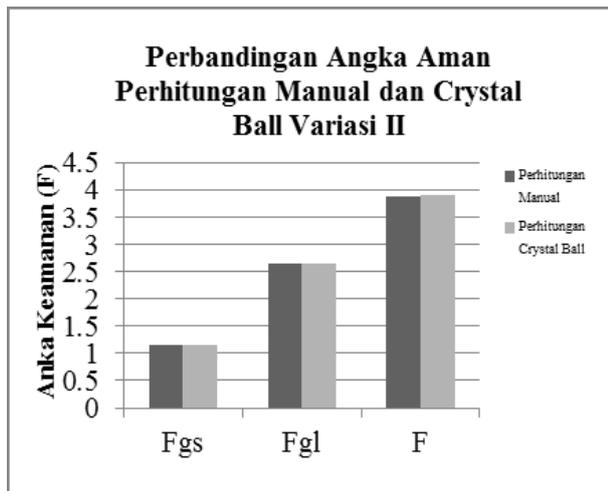
Gambar 9. Distribusi 50% F pada Variasi I

Tabel 4. Rekapitulasi hasil analisis

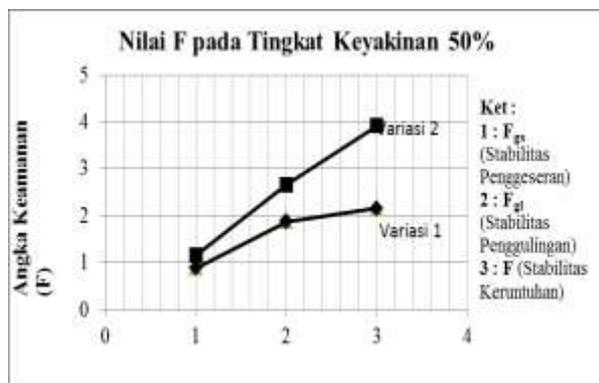
Variasi	I (m.a.t 1 meter)		
	Fgs	Fgl	F
Manual ( <i>Hazen and Vesic</i> )	0.8864	1.8747	2.2285
Keyakinan 50% ( <i>Crystal Ball</i> )	0.88453	1.8694	2.1533
Presentasi Nilai $F > 1$ ( <i>Crystal Ball</i> ), (%)	4.23	100	99.66
Variasi	II (m.a.t 3 meter)		
	Fgs	Fgs	Fgs
Manual ( <i>Hazen and Vesic</i> )	1.1463	1.1463	1.1463
Keyakinan 50% ( <i>Crystal Ball</i> )	1.15342	1.15342	1.15342
Presentasi Nilai $F > 1$ ( <i>Crystal Ball</i> ), (%)	87.84	87.84	87.84



Gambar 11. Perbandingan Angka Aman Perhitungan Manual dan *Crystal Ball* Variasi I

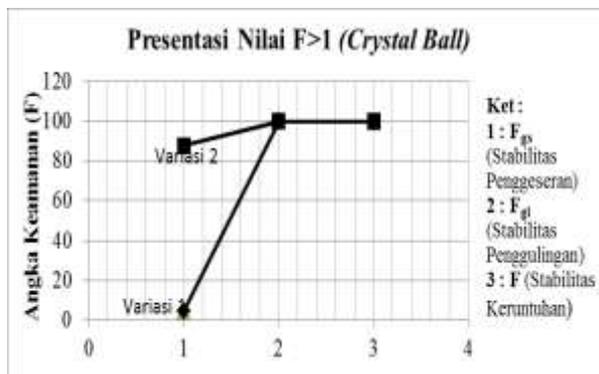


Gambar 12. Perbandingan Angka Aman Perhitungan Manual dan *Crystal Ball* Variasi II



Gambar 13. Nilai F pada tingkat keyakinan 50%

Pada Gambar 13 terlihat bahwa besarnya nilai  $F_{gs}$ ,  $F_{gl}$  dan  $F$  pada keyakinan 50% hampir sama dengan perhitungan nilai keamanan secara manual (metode *Hazen and Vesic*). Karena memiliki selisih yang sangat kecil sehingga angka keamanan dianggap sama. Hal ini menunjukkan bahwa perhitungan nilai keamanan menggunakan nilai *mean* ( $q_c$ ) dengan perhitungan manual (metode *Hazen and Vesic*) dan perhitungan *Crystal Ball* sesuai.



Gambar 14. Presentase  $F > 1$  pada analisis *Crystal Ball*

Pada Gambar 14 terlihat prosentase nilai  $F > 1$  pada kedua variasi. Naik turunnya prosentase sesuai

dengan nilai  $F_{gs}$ ,  $F_{gl}$  dan  $F$  pada masing-masing variasi. Nilai yang paling besar terdapat pada variasi II adalah  $F_{gs}$  87,84%,  $F_{gl}$  100% dan  $F$  daya dukung 100%. Dari hasil di atas dinding penahan variasi I dan II tidak aman, karena pada hasil *Crystal Ball* kemungkinan dinding tetap bertahan harus pada prosentase  $\geq 90\%$ .

## KESIMPULAN

Dari hasil analisis dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Distribusi yang paling mewakili data sudut gesek dalam adalah distribusi Normal dengan nilai  $\chi^2$  *best fit distribution* sebesar 1,2277. Karena hasil distribusi pada analisis program *MATLAB 7* adalah Normal, sehingga tidak perlu pengujian *Chi-Kuadrat*.
2. Perhitungan manual (metode *Hansen and Vesic*) dan analisis program *Crystal Ball*, didapatkan hasil sebagai berikut :
  - a. Angka keamanan dinding penahan tanah secara manual variasi I sebesar  $F_{gs} = 0,8864$ ;  $F_{gl} = 1,8747$ ; dan  $F$  daya dukung = 2,2285 (manual) dan secara *Crystal Ball* persentase nilai  $F > 1$  sebesar  $F_{gs} = 4,23\%$ ,  $F_{gl} = 100\%$  dan  $F$  daya dukung 99,6%.
  - b. Angka keamanan dinding penahan tanah secara manual variasi II sebesar  $F_{gs} = 1,1463$ ;  $F_{gl} = 2,6429$ ; dan  $F$  daya dukung = 3,8763 (manual) dan secara *Crystal Ball* persentase nilai  $F > 1$  sebesar  $F_{gs} = 87,84\%$ ,  $F_{gl} = 100\%$  dan  $F$  daya dukung 100%.
3. Dari kedua variasi yang dianalisis dengan metode manual untuk perhitungan stabilitas keruntuhan terhadap daya dukung tanah (*Hansen and Vesic*), kemungkinan dinding penahan tanah tidak aman atau mengalami penggeseran, aman terhadap penggulingan dan pada variasi I tidak aman terhadap keruntuhan tetapi pada variasi II aman terhadap keruntuhan. Karena syarat aman untuk perhitungan manual adalah 1,5 untuk stabilitas penggeseran dan stabilitas penggulingan dan syarat aman stabilitas keruntuhan terhadap daya dukung adalah 3.
4. Dari hasil perhitungan program *Crystall Ball* dapat disimpulkan bahwa dinding penahan tersebut tidak aman dengan angka keamanan 1 adalah variasi I  $F_{gs} = 4,23\%$ ,  $F_{gl} = 100\%$ , dan  $F$  daya dukung = 99,66% dan variasi II  $F_{gs} = 87,84\%$ ,  $F_{gl} = 100\%$ , dan  $F$  daya dukung = 100%, dikarenakan syarat aman adalah  $> 90\%$  untuk semua angka aman. Sedangkan syarat aman hanya terdapat pada stabilitas gulung dan stabilitas keruntuhan terhadap daya dukung tanah. Sehingga hasil dari variasi I dan variasi II dinding penahan adalah tidak aman.

## DAFTAR PUSTAKA

- Baecher, G.B. and Christian, J.T.. *Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering*, 1<sup>st</sup> ed. John Wiley & Sons Ltd, England, 2003
- Farrington, P.A., Nembhard, H.B., Sturrock, D.T. and Evans, G.W. Defining a beta distribution function for construction simulation. *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 1010-1015, 1999.
- Gogot S. Budi, 2011, *Pondasi Dangkal*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., *Mekanika Tanah II*, P.T. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1994.
- Hardiyatmo, H.C., 2011. "*Analisis dan Perancangan Pondasi I'*", Edisi Kedua, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Heri Pranata, 2010, Analisis Dinding Penahan Tanah dengan Perhitungan Manual dan Kontrol Gaya-Gaya Dalam yang Bekerja pada Dinding Penahan Tanah dengan Metode SAP 2000 Plane-Strain, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Hicks, M.A and Samy, K., Influence of heterogeneity on undrained clay slope stability. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 35, 41-49, 2002
- Limpert, E., Stahel, W.A. and Abbt, M., Log-normal Distributions across the Sciences: Keys and Clues. *Bioscience*, 51, 341-352, 2001.
- Listyawan, A.B, Statistical Characterization of Spatial Variability for Jamuna River Sand, *MSc, Dissertation*, University of Manchester, UK, 2006
- Pusat Litbang SDA, DPU, 2005.
- Sudarmanto, 1992.  
[http://eprints.uny.ac.id/1248/1/Tugas\\_Akhirx.pdf](http://eprints.uny.ac.id/1248/1/Tugas_Akhirx.pdf)
- Slamet Murdiyanto, 2012, Analisis Stabilitas Lereng Metode Fellenius dengan Variasi Bidang Longsor berdasarkan Teori Probabilitas, Universitas Muhammadiyah Surakarta.  
SNI – 2827, 2008.
- Thurton P. Indra, 2009, Analisis Dinding Penahan Tanah yang Menggunakan Earth Berm sebagai Support dengan Plaxis.
- Wahyu C. Dan M. Ariyanto, 2011, Panduan Belajar Mandiri MATLAB, Penerbit PT Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Walpole, R.E., Myers, R.H. and Myers, S.L. , *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, 6<sup>th</sup> ed. New Jersey, 1998
- Wong, S.Y., Stochastic characterization and reliability of saturated soils. *PhD. Thesis*, University of Manchester, UK, 2004.