

SLOPE STABILITY PROBABILISTIC ANALYSIS ON SATURATED CLAY

ANALISIS PROBABILITAS STABILITAS LERENG TANAH LEMPUNG JENUH

Anto Budi Listyawan¹⁾, Senja Rum Harneini²⁾, dan Bayu Chahyono³⁾

¹⁾Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta;
Jl. A. Yani Tromol Pos 1, Pabelan Kartasura, Surakarta. Email : anto_beel@yahoo.com

²⁾Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

³⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

ABSTRACT

Probabilistic design began more realistic solution compare to the conventional deterministic design as it can describe and accommodate of soil variability. Although the old approach is widely used, it is confirmed, that almost all natural soils are spatially variable in their properties and rarely homogenous as it can be showed in CPT data. This paper focuses on the slope stability analysis on saturated clay in Jakarta based on probabilistic method. The research begins with a certain preliminary analysis to prepare the probabilistic slope stability analysis by characterizing the undrained shear strength (Cu) which empirical calculated from tip resistance of 2 CPTs data taken from the site. It involves an extensive analysis to perform the best-fit distribution of pointwise variability of Cu using computer program written in MATLAB and deriving the point statistics (i.e. mean and standard deviation). Finally, a CRYSTAL BALL computer program is carried out to derive factor of safety by inputting all data taken from MATLAB analysis. The results show that, there is no objection to the hypothesis of normality in the chi-square analysis for all Cu data. S1 site has the highest probability of factor of safety which more than 1. In general, there will be no landslide across the slope as all the site the probability that factor of safety more than 1 are higher than 90%.

Keywords : probabilistic, CPT, saturated clay, *MATLAB*, *Crystal Ball*

ABSTRAK

Desain struktur geoteknik menggunakan metode probabilitas menjadi solusi mutakhir dibandingkan cara konvensional yang hanya menggunakan satu nilai properti tanah. Data CPT tanah menjadi bukti bahwa tingkat variasi yang sangat tinggi memerlukan analisis yang lebih mendekati kenyataan di lapangan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui stabilitas lereng tanah lempung jenuh di bantaran sungai di Jakarta dengan metode probabilitas dengan menggunakan data CPT. Analisis diawali dengan mengkonversi nilai tahanan ujung (qc) menjadi Cu. Kemudian data Cu dicari parameter-parameter statistiknya antara lain *mean dan standart deviasi* dan menentukan jenis distribusi frekuensi yang paling fit dengan data yang ada dengan bantuan program Matlab. Data statistik menjadi bahan input data pada program Crystal Ball untuk menentukan faktor aman lereng yang telah dimodelkan sebelumnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada alasan untuk menolak distribusi normal pada data Cu. Dari hasil analisis program Crystal Ball diperoleh hasil bahwa Titik 1 (S1) memiliki tingkat kemungkinan tertinggi memunculkan faktor aman (F) lebih besar dari 1, yaitu sebesar 93,745 %. Dan secara umum di semua titik, kemungkinan besar tidak akan terjadi longsor, karena nilai keamanan sangat besar dengan nilai persentasenya lebih dari 90%.

Kata –kata kunci : probabilitas, CPT, tanah lempung jenuh, *MATLAB*, *Crystal Ball*

PENDAHULUAN

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horisontal. Suatu longoran adalah keruntuhan dari massa tanah yang terletak pada sebuah lereng sehingga terjadi pergerakan massa tanah ke bawah dan ke luar. Longoran dapat terjadi dengan berbagai cara, secara perlahan-lahan atau mendadak serta dengan ataupun tanpa tanda-tanda yang terlihat.

Analisis kestabilan lereng harus berdasarkan model yang akurat mengenai kondisi material bawah permukaan, kondisi air tanah dan pembebanan yang mungkin bekerja pada lereng. Tanpa sebuah model geologi yang memadai, analisis hanya dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan yang kasar sehingga kegunaan dari hasil analisis dapat dipertanyakan.

Pada era 1990an analisis perancangan berbagai macam bangunan tanah didasarkan pada analisis model secara deterministik. Meskipun pendekatan secara deterministik telah dipakai secara luas, pada kenyataannya, hampir seluruh properti tanah sangat bervariasi dan kemungkinan bersifat homogen sangat jarang terjadi (Listyawan, 2006). Konsep analisis dengan pendekatan probabilitas menjadi solusi mutakhir untuk mengatasi kurang telitinya model deterministik. Berbeda dengan cara deterministik yang hanya menggunakan satu nilai properti tanah tertentu yang dianggap mewakili, 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 di Indonesia lebih dikenal dengan nama Sondir. Pada penelitian sebelumnya, Sutrisno (2009), menganalisis stabilitas lereng tanah pasir dengan menggunakan satu bidang longsor pada perhitungan manual dengan metode *fillinius* didapat nilai F sebesar 0,424. Sedangkan jika menggunakan metode probabilitas (*Crystal Ball*) menunjukkan bahwa $F > 1$ pada grafik sebesar 0,51% dan $F < 1$ sebesar 99,47% sehingga kemungkinan besar terjadi longsor karena sudut gesek dalam kecil.

Maka perlu adanya penelitian analisis stabilitas lereng dengan menggunakan data *CPT* yang dilakukan pada jenis tanah lain, seperti tanah lempung jenuh, karena sebagian kondisi tanah di Indonesia adalah tanah lempung.

Longoran

Longoran dapat diklasifikasikan menurut jenis pergerakan massa runtuh, tipe material dan kecepatan longoran. Berdasarkan pergerakan massa runtuhnya longoran dapat diklasifikasikan sebagai gelinciran (*sliding*), runtuh (*falling*), gulingan (*toppling*), aliran (*flowing*).

Gelinciran (*sliding*) merupakan pergerakan massa ke arah bawah dan keluar yang disebabkan oleh tegangan geser yang bekerja pada permukaan runtuh melebihi tahanan geser yang dimiliki oleh material pada permukaan runtuh.

Runtuhan (*falling*) merupakan jatuhnya bongkahan batu yang terlepas dari lereng yang terjal. Bongkahan batuan tersebut dapat jatuh melayang di udara, memantul beberapa kali pada permukaan bumi, menggelinding atau mengkomposisi dari beberapa bentuk pergerakan tersebut.

Gulingan (*toppling*) merupakan tergulingnya beberapa blok – blok batuan yang diakibatkan oleh momen guling yang bekerja pada blok – blok batuan tersebut. Longsoran tipe ini biasanya terjadi di lereng – lereng terjal atau bahkan vertikal yang memiliki bidang tidak menerus yang hampir tegak lurus. Momen guling tersebut dihasilkan oleh berat blok – blok batuan dan juga dapat diakibatkan oleh gaya hidrostatik dari air yang mengisi pada bidang tidak menerus.

Aliran (*flow*) adalah gerakan yang dipengaruhi oleh jumlah kandungan atau kadar air tanah, terjadi pada material tak terkonsolidasi. Bidang longsor antara material yang bergerak umumnya tidak dapat dikenali. Termasuk dalam jenis gerakan aliran kering adalah *sandrun* (larian pasir), aliran fragmen batu, aliran loess. Sedangkan jenis gerakan aliran basah adalah aliran pasir-lanau, aliran tanah cepat, aliran tanah lambat, aliran lumpur, dan aliran bahan rombakan.

Konversi data CPT

Untuk mengkonversikan nilai q_c dari pengujian data sondir ke nilai c_u . Begemann mengusulkan persamaan sebagai berikut : Untuk tanah lempung (Hardiyatmo, 2003).

$$c_u = \frac{q_c - p_o'}{N_c'} \quad (1)$$

$$p_o' = h \cdot \gamma \quad (2)$$

dengan :

- c_u = komponen kohesi yang ditetapkan dengan pengujian triaksial tanpa drainase (kN/m^2)
- q_c = tahanan konus (kN/m^2)
- p_o' = tekanan efektif akibat tanah di atasnya pada kedalaman CPT (kN/m^2)
- N_c' = konstanta yang nilainya diantara 5 sampai 70 (pada penelitian ini karena tanah lempung jenuh dipakai 20)
- h = tinggi pembacaan pada sondir (m).
- γ = berat isi tanah (kN/m^3)

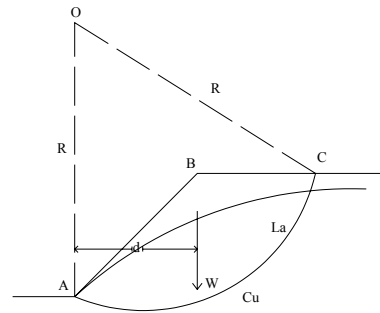
Stabilitas Lereng Pada Tanah Lempung Jenuh

Dalam analisis ini, yang ditinjau hanya keseimbangan momen. Pada potongan, permukaan runtuh potensial diasumsikan sebagai sebuah bujur sangkar. Ketidakstabilan potensial disebabkan oleh berat total massa tanah (W persatuan panjang) di atas permukaan runtuh. Faktor keamanan dihitung dengan rumus, (Craig, 1994), seperti terlihat pada Gambar 1 :

$$F = \frac{c_u L_a R}{Wd} \quad (3)$$

dengan :

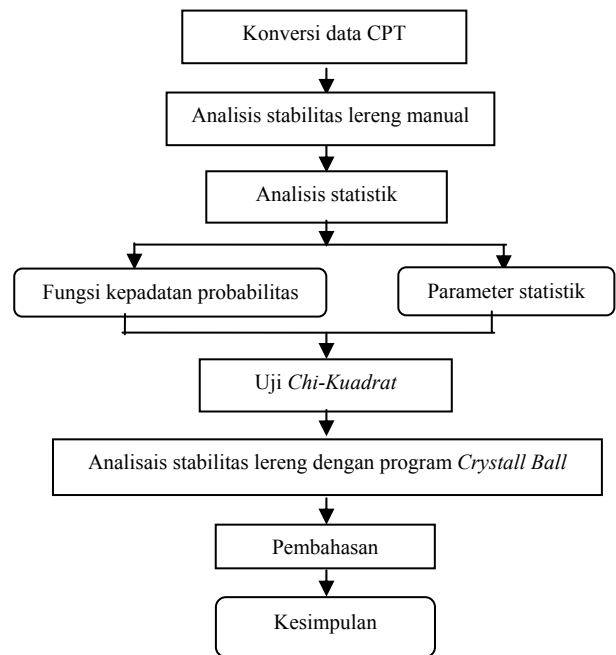
- F = Faktor keamanan
- c_u = komponen kohesi tanpa drainase (kN/m^2)
- R = Jari – jari lingkaran bidang longsor (m)
- L_a = Panjang bagian lingkaran (juring) (m)
- W = Berat massa tanah efektif (kN)
- d = Jarak pusat berat W terhadap O (m)



Gambar 1. Stabilitas lereng pada lempung jenuh

METODE PENELITIAN

Tahap pertama penelitian ini adalah melakukan konversi data tahanan ujung (q_c) menjadi c_u dengan menggunakan Persamaan (1) dan (2), kemudian data c_u dianalisis menggunakan program Matlab untuk memperoleh distribusi frekuensi yang paling fit berikut parameter statistiknya. Data output Matlab digunakan sebagai data input pada program Crystal Ball untuk memperoleh faktor aman analisis stabilitas lereng. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. Bagan alir penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

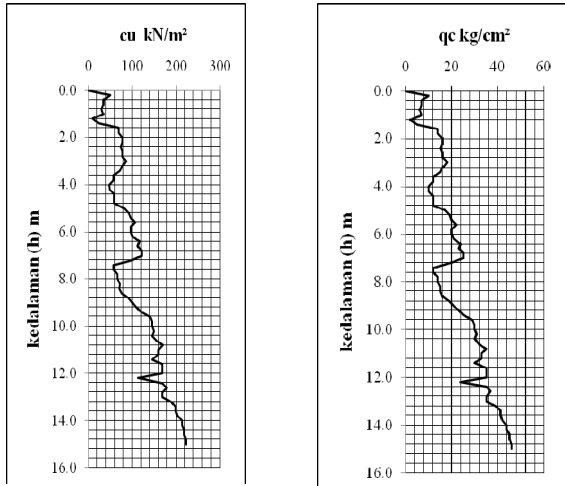
Data dan konversi CPT

Data CPT diambil dari dua titik S1 dan S2 di bantaran sungai di daerah Jakarta. Hasil pengujian data CPT yang berupa data tahanan ujung konus, dikonversikan ke komponen kohesi tanpa drainase (c_u) dengan kedalaman 15 m dengan menggunakan Persamaan (1) dan (2). Seperti terlihat pada contoh di Tabel 1.

Tabel 1. Konversi data CPT

h (m)	q_c (kN/m^2)	γ (kN/m^3)	p_o' (kN/m^2)	N_c'	c_u (kN/m^2)
1.00	700.00	17	17.00	20	34.150
1.20	200.00	17	20.40	20	8.980

Secara grafis, perbandingan data tahanan ujung dan Cu dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan qc dan Cu pada CPT S1

Analisa Statistik

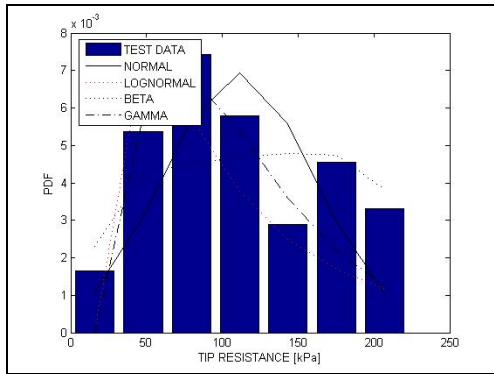
Program *MATLAB* digunakan untuk mengetahui nilai Chi-kuadrat (χ^2) yang paling kecil (*best fit distribution*) pada data Cu dan juga diperoleh beberapa parameter statistik yaitu *mean* dan standar deviasinya. Langkah awal dalam input data Matlab adalah menentukan jumlah kelas yang disyaratkan yaitu antara 5 sampai 20 dengan rumus *Sturges*, yaitu :

$$K = 1 + 3.3 \log n$$

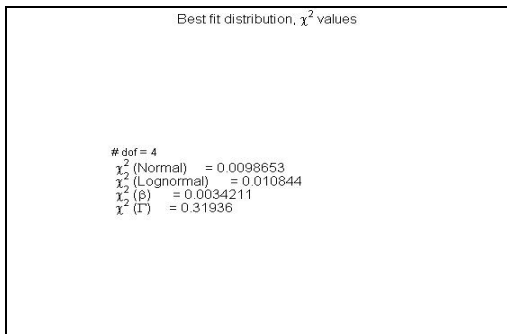
$$= 1 + 3.3 \log 76$$

$$= 7 \text{ kelas}$$

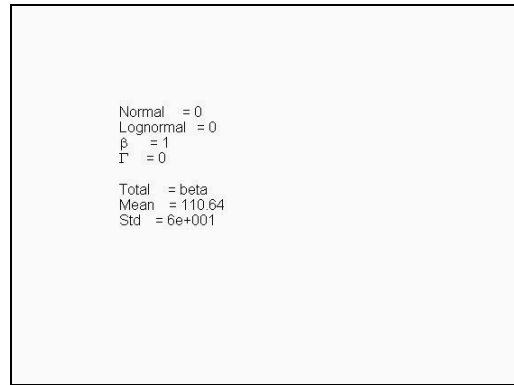
Hasil dari analisis statistik dengan menggunakan program *MATLAB 7.0* dapat dilihat pada Gambar 4a, 4b, dan 4c.



Gambar 4a. PDF Fit determination



Gambar 4b. Chi Kuadrat



Gambar 4c. Parameter Statistik

Pada Gambar 4a, 4b dan 4c terlihat bahwa untuk data Cu S1, distribusi yang paling mewakili atau fit atas data adalah Beta dengan nilai chu kuadrat (χ^2) paling kecil, yaitu 0,0034. Hasil dari analisis Matlab untuk semua data CPT dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Nilai Chi-kuadrat (χ^2) *best fit distribution*

Distribusi	S1 χ^2	S2 χ^2	Gabungan χ^2
Normal	0,0098653	0,013757	0,012135
Lognormal	0,010844	0,019937	0,015357
Beta (β)	0,0034211	0,0057937	0,0029426
Gamma (Γ)	0,31936	0,14384	0,20991

Tabel 3. Parameter Statistik

Parameter	S1	S2	Gabungan
Mean (μ) kN/m ²	110,6382	108,93	109,7841
Standar deviasi (σ) kN/m ²	57,9268	61,005	59,4663

Uji Chi-kuadrat (χ^2)

Uji Chi-Kuadrat didasarkan pada sejauh mana kesesuaian antara frekuensi-frekuensi yang diamati dengan frekuensi – frekuensi yang diharapkan muncul dari distribusi yang diperkirakan sebelumnya. Setelah dilakukan analisa data sondir dengan menggunakan program *MATLAB*,

Contoh hitungan nilai χ^2 untuk titik 1 (S1).

Menentukan nilai v :

$$k = 7; m = 2;$$

$$v = k - 1 - m$$

$$= 7 - 1 - 2 = 4$$

Dari tabel χ^2 (Chi-kuadrat), dengan v = 4 dan $\alpha = 0.05$, didapat nilai $\chi^2 = 9,488$. Dari hasil *running* program *MATLAB*, nilai χ^2 pada distribusi normal = 0,0098653.

$H_0 = 0,0098653 \leq 9,488$, artinya data distribusi normal masih dapat dipakai. Untuk uji semua titik bisa dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji Chi-kuadrat (χ^2)

Titik	α	k	d.b (v)	χ^2 (α ; d.b)	Nilai χ^2 Distribusi normal	Normal distribusi
S1	0,05	7	4	9,488	0,00986	OK
S2	0,05	7	4	9,488	0,01375	OK
Gabungan	0,05	7	4	9,488	0,01213	OK

Hasil dari pengujian Chi-kuadrat (χ^2) untuk c_u didapatkan baik itu setiap titik maupun gabungan setiap titik membuktikan bahwa distribusi normal masih bias dipakai menjadi distribusi

yang mewakili setiap data Cu di setiap titik maupun gabungan semua titik.

Analisa Stabilitas Lereng Lempung Jenuh Manual

Metode analisis stabilitas lereng pada tanah lempung jenuh dengan berat isi tanah di atas muka air tanah, $\gamma_1 = 17 \text{ kN/m}^3$, berat isi tanah di bawah muka air tanah, $\gamma_{\text{sat}} = 19,5 \text{ kN/m}^3$, berat isi air $\gamma_{\text{air}} = 10 \text{ kN/m}^3$, $R = 150 \text{ m}$. Kemudian menghitung nilai keamanan dengan Persamaan (3)

Contoh perhitungan pada titik 1 (S1), data - data yang diketahui adalah sebagai berikut :

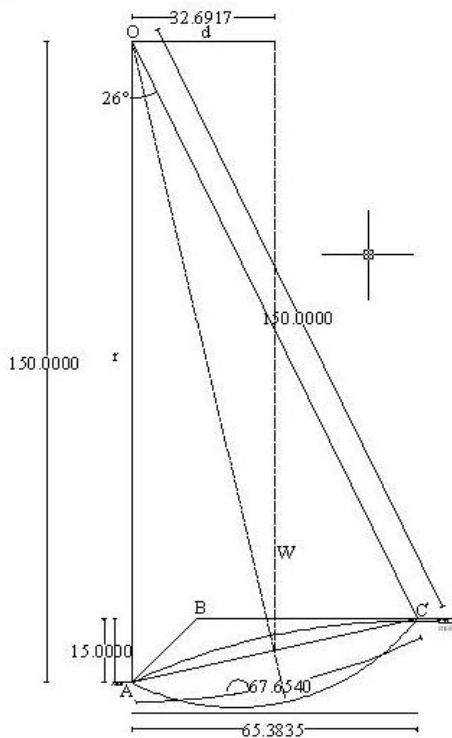
$\gamma_1 = 17 \text{ kN/m}^3$; $\gamma_{\text{sat}} = 19,5 \text{ kN/m}^3$; $\gamma_{\text{air}} = 10 \text{ kN/m}^3$; $h = 15 \text{ m}$; $c_u = 110,6382 \text{ kN/m}^3$; $r = 150 \text{ m}$; $La = 67,6540 \text{ m}$; $W = 6817,9992 \text{ kN}$; $d = 32,6917 \text{ m}$.

Penyelesaian :

$$F = \frac{c_u L_a r}{W d}$$

$$F = \frac{110,6382 \times 67,6540 \times 150}{6817,9992 \times 32,6917}$$

$$F = 5,0373$$



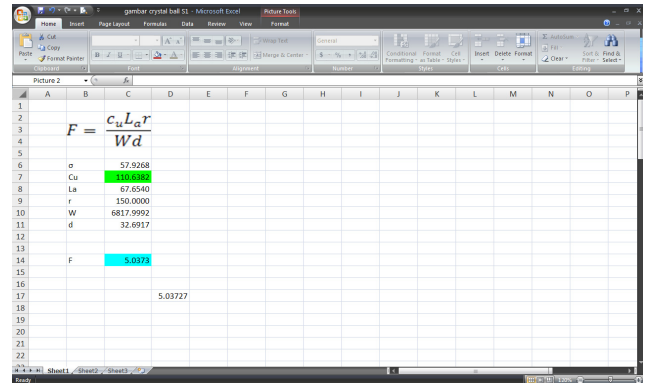
Gambar 5. Analisis stabilitas lereng

Tabel 5. Hasil perhitungan angka keamanan untuk setiap titik dan gabungan semua titik.

Parameter	S1	S2	Gabungan
c_u (kN/m ³)	110,6382	108,9276	109,7829
La (m)	67,6540	67,6540	67,6540
r (m)	150	150	150
W (kN)	6817,999	6817,9992	6817,9992
d (m)	32,6917	32,6917	32,6917
Angka keamanan (F)	5,0373	4,9595	4,9983

Analisa Stabilitas Lereng dengan Program Crystal Ball

Crystal Ball terdapat kemampuan menghitung, visualisasi, pemodelan, simulasi, algoritma, probabilitas, serta analisis data. Data-data yang dimasukkan dalam program Crystal Ball adalah nilai mean (μ), standar deviasi (σ), komponen kohesi tanpa drainase (c_u), jari - jari (r), panjang bagian lingkaran (La), berat masa tanah (W), jarak pusat berat W terhadap O (d).

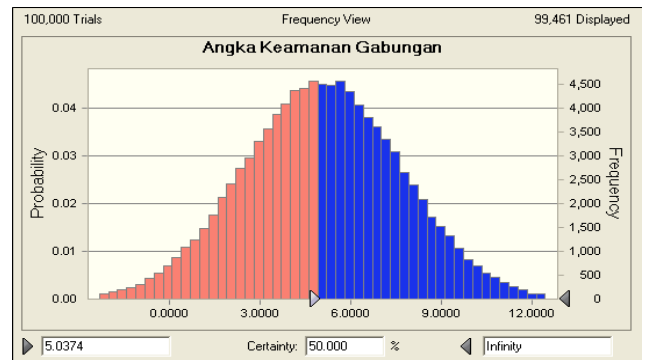


Gambar .6. Contoh input data CPT S1

Hasil analisis dari program Crystal Ball dengan percobaan sebanyak 100000 kali didapat grafik - grafik sebagai berikut :

Perhitungan pada titik 1 (S1)

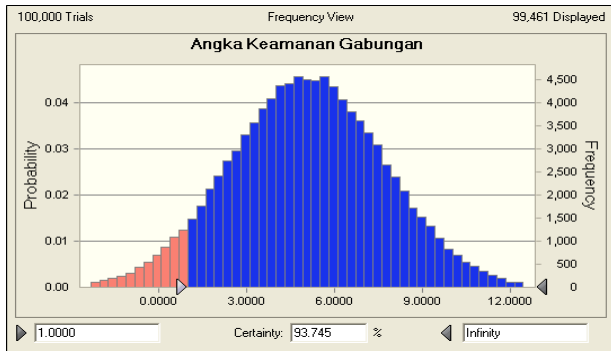
Dengan menggunakan nilai standar deviasi (σ) = 57,92687 dan nilai mean (μ) = 110,6382 dengan percobaan sebanyak 100000 kali.



Gambar 7. Grafik frekuensi 50% F pada titik 1 (S1).

Dari gambar 7 terlihat 50% F adalah 5,0374 terlihat berbeda dengan perhitungan manual yaitu 5,0373, hal ini yang membedakan adalah pembulatan angka di belakang koma, jadi analisis ini tetap dianggap sama dengan perhitungan manual, terlihat bahwa 50% F akan berada di kiri 5,0373 atau kurang dari 5,0373.

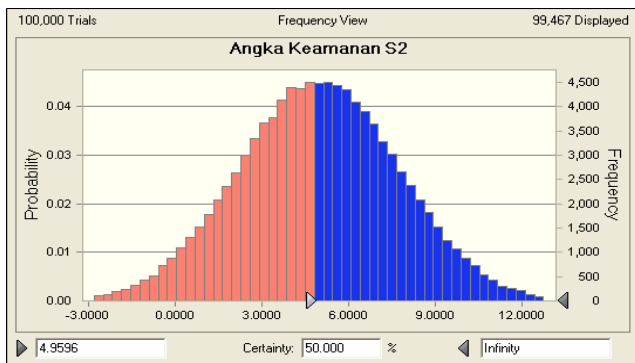
Dari Gambar 8 terlihat bahwa untuk $F > 1$ sebesar 93,745%, dengan kata lain diperoleh tingkat keyakinan kestabilan lereng mampu menahan beban sebesar 93,745%, maka pada lereng titik 1 (S1) kemungkinan besar tidak akan terjadi longsor.



Gambar 8. Contoh input data sondir 1 (S1).

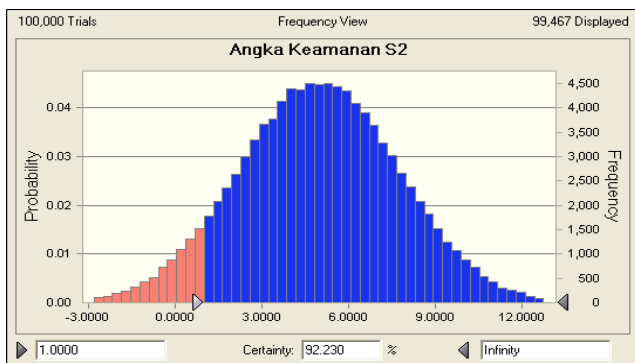
Perhitungan pada titik 2 (S2).

Dengan menggunakan nilai *standar deviasi* (σ) = 61,0058 dan nilai *mean* (μ) = 108,93 dengan percobaan sebanyak 100000 kali.



Gambar 9. Grafik frekuensi 50% F pada titik 2 (S2).

Dari Gambar 9 terlihat 50% F adalah 4,9596 terlihat berbeda dengan perhitungan manual yaitu 5,9595, hal ini yang membedakan adalah pembulatan angka di belakang koma, jadi analisis ini tetap dianggap sama dengan perhitungan manual, terlihat bahwa 50% F akan berada di kiri 4,9595 atau kurang dari 4,9595.



Gambar 10. Contoh input data sondir 2 (S2).

Dari Gambar 10 terlihat bahwa untuk $F > 1$ sebesar 92,230%, dengan kata lain diperoleh tingkat keyakinan kestabilan lereng mampu menahan beban sebesar 92,230%, maka pada lereng titik 2 (S2) kemungkinan besar tidak akan terjadi longsor.

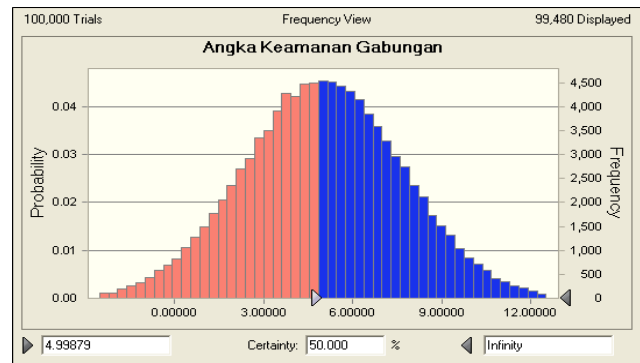
Perhitungan pada gabungan semua titik.

Dengan menggunakan nilai *standar deviasi* (σ) = 59,4663 dan nilai *mean* (μ) = 109,7841 dengan percobaan sebanyak 100000 kali.

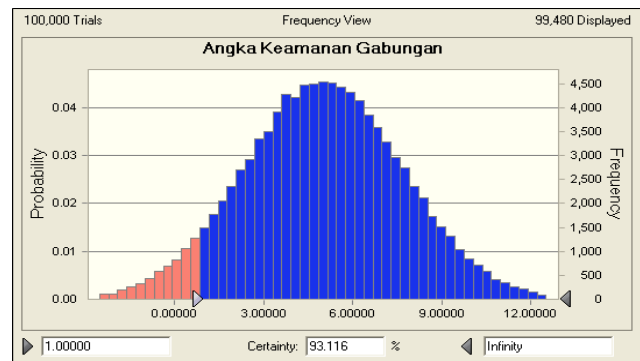
Dari Gambar 11 terlihat 50% F adalah 4,9987 terlihat berbeda dengan perhitungan manual yaitu 4,9983, hal ini yang

membedakan adalah pembulatan angka di belakang koma, jadi analisis ini tetap dianggap sama dengan perhitungan manual, terlihat bahwa 50% F akan berada di kiri 4,9983 atau kurang dari 4,9983.

Dari Gambar 12 terlihat bahwa untuk $F > 1$ sebesar 93,116, dengan kata lain diperoleh tingkat keyakinan kestabilan lereng mampu menahan beban sebesar 93,116%, maka pada lereng gabungan semua titik kemungkinan besar tidak akan terjadi longsor.



Gambar 11. Grafik frekuensi 50% F pada gabungan semua titik.



Gambar 12. Contoh input data gabungan semua titik.

Tabel 6. Hasil perhitungan nilai F pada tingkat keyakinan untuk setiap titik dan gabungan semua titik.

Data Sondir	Nilai Angka Keamanan (F)		Tingkat keyakinan $F > 1$ (%)
	Manual	Keyakinan 50% (Crystal Ball)	
Titik 1 (S1)	5,0373	5,0374	93,745
Titik 2 (S2)	4,9595	4,9596	92,230
Gabungan	4,9983	4,9987	93,116

KESIMPULAN

Kesimpulan

- 1) Dari hasil analisis program *MATLAB 7.0* dapat dilihat bahwa hasil untuk nilai c_u pada Titik 1 (S1) nilai distribusi yang paling mewakili adalah Beta (0,0034211), pada Titik 2 (S2) adalah Beta (0,0057937), dan pada Gabungan semua titik adalah Beta (0,0029426).
- 2) Dari hasil analisis program *MATLAB 7.0* dapat dilihat bahwa hasil yang paling fit (*best fit distribution*) pada semua titik dan gabungan semua titik adalah distribusi Beta dengan hasil χ^2 normal $0,012135 < \chi^2 (0,05 ; 4)$ adalah 9,488 didapat dari tabel nilai distribusi χ^2 , artinya data distribusi normal dapat dipakai.

- 3) Dari hasil perhitungan manual dan analisis program *Crystal Ball* dari ketiga titik sondir nilai angka keamanan yang paling besar terjadi pada Titik 1 (S1) sebesar 5,0373 (manual) dan $F > 1$ sebesar 93,745% (*Crystal Ball*). Sehingga kemungkinan besar tidak akan terjadi longsor, karena nilai angka keamanan sangat besar dengan nilai presentasinya lebih dari 90%.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, *Teori Stabilitas Lereng*, www.Scribd.com
Arief, Saifudin.(2007). *Konsep Dasar Analisis Kstabilan Lereng*, www.scribd.com
Boediono, dan Koster, W. (2008). *Statistika dan Probabilitas (Teori dan Aplikasi)*, Remaja Rosdakarya, Bandung.
Bowles, J.E. (1991). *Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
Craig, R.F. (1994). *Mekanika Tanah*, Terjemahan Budi Susilo, Edisi keempat, Erlangga, Jakarta.
Das, B.M. (1994). *Mekanika Tanah (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Erlangga, Jakarta.
Fitriadi, R. dkk. (2011). *Modul Praktikum Komputasi Industri*, Laboratorium Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
Hardiyatmo, H.C. (2002). *Mekanika Tanah I* (edisi III), Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
Hardiyatmo, H.C. (1994). *Mekanika Tanah II*, (edisi III), Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
Hardiyatmo, H.C. (2003). *Teknik Fondasi II*, (edisi II), Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
Hendarsin, S.L. (2003). *Investigasi Rekayasa Geoteknik*, Politeknik Negeri Bandung, Bandung.
Inayatillah, Atiyya. (2009), *Stabilitas Lereng*, www.scribd.com
Soedarmo, G.D. dan Purnomo, S.J.E. (1997). *Mekanika Tanah 2*, Kansisus, Yogyakarta.
Speigel, M.R. (1994). *Statistika*. (edisi II). Erlangga.
Sumardjoko, B. (2000). *Metoda Statika*, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
Sutrisno. (2009). *Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Fellinius Berdasarkan Teori Probabilita*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muham-madiyah Surakarta, Surakarta.
Terzaghi, K., and Peck, R.B. (1987). *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*, Erlangga, Jakarta.
Varnes (1978), Sumber ariefs@inco.com
Walpole, R.E., Myers, R.H., and Myers, S.L. (2000). *Probabilitas dan Statistika Untuk Teknik dan Sains*, Prenhallindo, Jakarta.
Zulfiad,i Zakaria. (2000). *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*, Laboratorium Geologi Teknik, FMIPA, Universitas Padjajaran, Bandung.