

THE PROBABILITY ANALYSIS OF BORED PILE FOUNDATION (CASE STUDY ON THE PROJECT OF SOLO QUEST HOTEL)

ANALISIS PONDASI BORED PILE DENGAN PRINSIP PROBABILITAS (STUDY KASUS PROYEK HOTEL QUEST SOLO)

Agus Susanto¹⁾, Anto Budi Listyawan²⁾, Dewi Puspitasari³⁾

^{1, 2, 3)} Civil Engineering Department, Universitas Muhammadiyah Surakarta, e-mail : as240@ums.co.id

ABSTRACT

Probabilistic design began more realistic solution compare to the deterministic (conventional) 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. This paper focuses on the analysis and design of bored pile foundation on the project of Solo Quest Hotel based on the probabilistic theory. The research begins with a certain preliminary analysis to prepare the probabilistic analysis of bored pile foundation design, by characterizing the cohesion (c_u) from conversion of N value on three SPTs data taken from the site. It involves an extensive analysis to perform the best-fit distribution of pointwise variability of cohesion (c_u) using computer program written in MATLAB. The next step is deriving the point statistics (i.e. mean, standard deviation, and coefficient of variation) across the site. Finally, a certain monte carlo analysis using Crystal Ball computer program is carried out to design the bored pile foundation by inputting all data taken from MATLAB analysis. The bored pile installed in 12 m depth and the diameters of bored pile 0,6 m respectively. The bored pile experiences 43.354,455 kN vertical load. The results show that there is no objection to hypothesis of normality in the Chi-Square analysis. Compare to the deterministic analysis, the probabilistic design needs more bored pile to resist the vertical load in a safety factor 2,5 and confident limit 95%. Furthermore, the higher variation of c_u data the larger number of bored pile is desired.

Keywords: bored pile foundation, Crystal Ball, deterministic, MATLAB, SPT

ABSTRAK

Perencanaan dengan prinsip probabilitas dipandang dapat memberikan solusi yang lebih realistis dibandingkan dengan perencanaan secara deterministik (konvensional) dan juga mengakomodasi variabilitas tanah yang ada. Meskipun cara pendekatan lama (deterministik) masih banyak digunakan secara luas, namun perlu dipertimbangkan bahwa secara alamiah kondisi tanah merupakan hal yang sangat variatif dan jarang sekali homogen. Artikel ini difokuskan pada analisis dan perencanaan pondasi bore pile pada proyek pembangunan Hotel Quest Solo berdasarkan teori probabilitas. Penelitian ini dimulai dengan analisis pendahuluan untuk mempersiapkan analisis probabilitas perencanaan pondasi bored pile dengan karakterisasi nilai kohesi (c_u) dari hasil konversi nilai N tiga data SPT yang diperoleh dari lapangan. Analisis pendahuluan ini berupa suatu analisis yang bertujuan untuk mencari distribusi yang paling fit dari nilai variabilitas kohesi (c_u) menggunakan program MATLAB. Langkah selanjutnya adalah penentuan parameter statistik (rata-rata, deviasi standar, dan koefisien variasi) terhadap data kohesi (c_u). Yang terakhir adalah sebuah analisis monte carlo menggunakan program komputer Crystal Ball untuk mendesain pondasi bored pile dengan memasukkan seluruh data yang didapat dari analisis MATLAB. Pondasi bored pile dipasang sampai kedalaman 12 m dengan diameter masing-masing 0,6 m. Beban vertikal rencana pondasi bored pile sebesar 43.354,455 kN. Hasil analisis menunjukkan bahwa tidak ada penolakan terhadap hipotesis normalitas dalam analisis Chi-Kuadrat. Dibandingkan dengan analisis deterministik, perencanaan dengan prinsip probabilitas membutuhkan lebih banyak bored pile untuk memikul beban vertikal dengan faktor aman 2,5 dan tingkat keyakinan 95%. Selain itu, semakin tinggi variasi data c_u semakin banyak jumlah bored pile yang dibutuhkan.

Kata-kata kunci: pondasi bored pile, Crystal Ball, deterministik, MATLAB, SPT

PENDAHULUAN

Pondasi merupakan bagian paling bawah dari suatu bangunan yang berfungsi untuk meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang ada di bawahnya. Pondasi berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur bagian atas. Pondasi harus diperhitungkan sedemikian rupa sehingga dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban berguna dan gaya-gaya luar seperti angin, gempa bumi, dan lain-lain.

Jika keberadaan tanah keras atau batuan terletak relatif jauh dari permukaan tanah maka jenis pondasi yang sesuai adalah pondasi tiang. Terdapat dua tipe pondasi tiang yaitu pondasi tiang pancang dan pondasi *bored pile*. Seperti halnya pada proyek pembangunan Hotel Quest Solo, berdasarkan hasil uji SPT (*Standard Penetration Test*) lapisan tanah kerasnya berada pada kedalaman 12 m dari permukaan tanah. Sementara lokasi pembangunan hotel berada dekat dengan kawasan pemukiman, maka dipilih tipe pondasi tiang yang mana pada saat pengerjaannya tidak menimbulkan banyak getaran dan kebisingan yaitu pondasi *bored pile*.

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 propertis tanah sangat bervariasi dan kemungkinan bersifat homogen sangat jarang terjadi. Konsep analisis dengan pendekatan probabilitas menjadi solusi mutakhir untuk mengatasi kurang telitinya model deterministik. Cara deterministik hanya menggunakan satu nilai propertis tanah tertentu yang dianggap mewakili, sedangkan konsep probabilitas memakai semua data propertis tanah yang ada dan mengakomodasi setiap variasi yang terjadi. Salah satu propertis tanah yang menunjukkan tingginya variasi data adalah hasil uji SPT.

Teori Reliabilitas dalam Ilmu Geoteknik

Reliabilitas artinya adalah tingkat keterpercayaan hasil suatu pengukuran. Pengukuran yang memiliki reliabilitas tinggi adalah pengukuran yang mampu memberikan hasil ukur yang terpercaya (*reliable*). Ide pokok dalam konsep reliabilitas adalah sejauh mana hasil suatu pengukuran dapat dipercaya, artinya sejauh mana skor hasil pengukuran terbebas dari kekeliruan peng-

ukuran (*measurement error*). Sekitar tahun 1970an desain bangunan tanah dalam ilmu geoteknik mulai mengakomodasi teori reliabilitas ini.

Uji Chi-Kuadrat

Uji Chi-Kuadrat adalah pengujian hipotesis mengenai perbandingan antara frekuensi observasi yang benar-benar terjadi atau aktual dengan frekuensi harapan atau ekspektasi. Uji Chi-Kuadrat dapat dipakai untuk menentukan sejauh mana distribusi-distribusi teoritis seperti distribusi normal, gamma, beta, log-normal dan seterusnya, sesuai dengan distribusi-distribusi empiris yang diperoleh dari data sampel. 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 berikut :

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

Dengan :

χ^2 = Chi-Kuadrat

O_i = Frekuensi pengamatan

e_i = Frekuensi yang diharapkan

Analisis Kapasitas Pondasi Bored Pile

Analisis kapasitas pondasi *bored pile* menggunakan data nilai N hasil uji SPT yang dikonversi ke nilai tahanan konus (q_c), kemudian nilai q_c dikonversi ke nilai kohesi (c_u).

Hubungan antara nilai N-SPT dan tahanan konus (q_c) sesuai persamaan Mayerhof berikut,

$$q_c = 4N \quad (2)$$

Dengan

q_c = tahanan konus (kg/cm^2)

N = nilai SPT

Konversi nilai q_c ke nilai kohesi (c_u) dilakukan sesuai dengan persamaan (3) dan (4) :

$$C_u = \frac{q_c - p_o'}{n e'} \quad (3)$$

$$p_o' = Z \gamma' \quad (4)$$

Dengan

c_u = Kohesi (kg/cm^2)

q_c = Tahanan konus (kg/cm^2)

p_o' = Tekanan efektif akibat berat tanah di atasnya pada kedalaman (kg/cm^2)

$N e'$ = konstanta yang nilainya tergantung macam tanah dan nilai OCR (diambil antara 9 sampai 15)

Z = Kedalaman pembacaan pada SPT (cm)

γ' = Berat isi tanah efektif (kg/cm^3)

Kapasitas ultimit *bored pile* dihitung dengan persamaan (5) berikut.

$$Q_u = \mu A_b N_c c_b + 0,45 c_u A_s \quad (5)$$

Dengan

Q_u = Kapasitas ultimit netto tiang (kN)

μ = Faktor koreksi, dengan $\mu = 0,8$ untuk $d < 1$ m, dan $\mu = 0,75$ untuk $d > 1$ m, dengan d = diameter tiang

A_b = Luas penampang ujung bawah tiang (m^2)

N_c = faktor kapasitas dukung ($N_c = 9$)

c_b = Kohesi tak terdrainase tanah di bawah dasar tiang (kN/m^2)

c_u = Kohesi tak terdrainase di sepanjang tiang (kN/m^2)

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

Selanjutnya faktor aman (SF) dihitung menggunakan persamaan :

$$SF = Q_u \cdot n / P \quad (6)$$

Dengan

n = jumlah tiang.

P = beban total (kN)

Q_u = kapasitas ultimit tiang (kN)

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini permasalahan yang diangkat adalah analisis data c_u hasil konversi dari nilai N-SPT dengan mengakomodasikan segala variasi yang ada kemudian menampilkan se-luruh data tersebut kedalam bentuk distribusi frekuensi. Selanjutnya menggunakan hasil distribusi frekuensi untuk perancangan pondasi *bored pile* dengan prinsip probabilitas. Data penelitian yang dipakai adalah data hasil pengujian SPT tanah lumpur jenuh pada lokasi pembangunan Hotel Quest Solo. Untuk mempermudah pelaksanaan penelitian digunakan alat bantu berupa beberapa program computer yaitu program MATLAB 7.0, program Crystal Ball, program gambar (AutoCad 2007) dan program *worksheet* (Microsoft Office 2007).

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

Tahap I :

- a. Studi literatur
- b. Pengumpulan data dari pengujian SPT

Tahap II

- a. Konversi N-SPT ke q_c
- b. Konversi nilai q_c ke c_u

Tahap III

- a. Penentuan fungsi kepadatan probabilitas yang mewakili data c_u (normal, gamma, beta, atau log-normal)
- b. Penentuan parameter statistik (*mean*, deviasi standar, dan koefisien variasi)

Tahap IV

Uji Chi-Kuadrat

Tahap V

- a. Analisis pondasi secara deterministik
- b. Analisis pondasi dengan probabilitas dengan program Crystal Ball

Tahap VI

Pembahasan

Tahap VII

Kesimpulan

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis Kapasitas Pondasi Bored Pile Secara Deterministik

Analisis kapasitas pondasi *bored pile* Hotel Quest Solo dilakukan dengan menggunakan data-data dari 3 titik pengujian SPT yaitu titik DB-1, DB-3 dan DB-5. Data teknis perencanaan pondasi *bored pile* adalah sebagai berikut:

Kedalaman pondasi = 12 m

Bentuk penampang = lingkaran

Diameter pondasi = 60 cm

Beban rencana (P) = 43.354,455 kN

Hasil analisis kapasitas pondasi *bored pile* secara deterministik dapat dilihat pada Tabel 1.

Analisis Statistik

1. Persiapan Data Pada Program MATLAB

Jumlah data yang diperoleh yaitu 7 data, maka ditentukan jumlah kelas (k) = 4.

2. Nilai Chi-Kuadrat (χ^2)

Selain memperoleh nilai total, *mean*, dan *standard deviation*, uji statistik juga menghasilkan nilai Chi-Kuadrat (χ^2) *best fit*

distribusi pada c_u dengan bantuan program MATLAB. Hasil analisis statistik dapat dilihat pada Gambar 1.

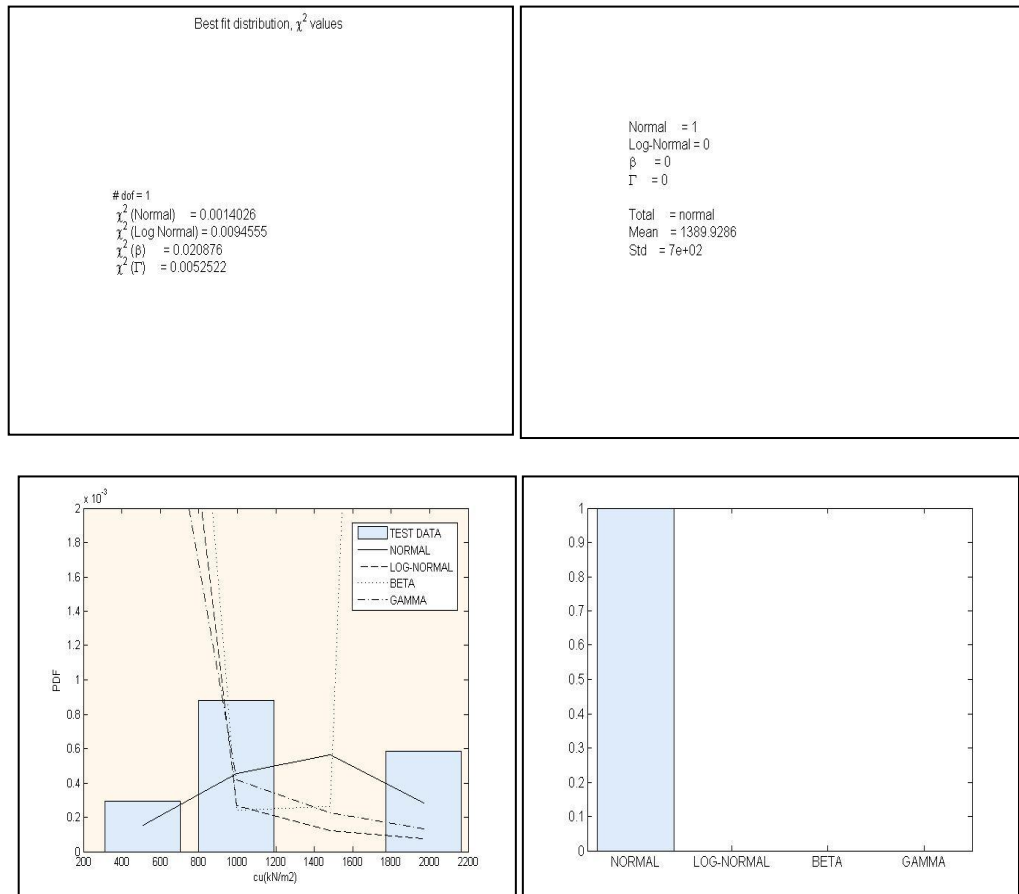
Tabel 1. Hasil hitungan pondasi *bored pile* secara deterministik

	DB-1	DB-3	DB-5	Gabungan
Qu (kN)	18038	18780	15170	17329
Qa (kN)	7215	7512	6068	6931
Jumlah tiang (n)	7	6	8	7
SF aktual	2,91	2,60	2,80	2,80

Dari Tabel 2 dapat ditentukan nilai χ^2 best fit distribution. Nilai χ^2 best fit distribution adalah nilai yang mewakili atau fit yang diambil yang paling kecil dari ke empat distribusi tersebut. Maka pada DB-1 nilai yang fit adalah Normal (0,00140), DB-3 adalah Normal (0,00278), DB-5 adalah Normal (0,00374).

Uji Chi-Kuadrat (χ^2)

Pada penelitian ini ditentukan nilai level of significance-nya (α) sebesar $\alpha = 0,05$ dengan kriteria pengujian jika $\chi^2 \leq \chi^2(\alpha; d.b)$ maka hipotesis diterima dan jika $\chi^2 > \chi^2(\alpha; d.b)$ maka hipotesis ditolak.



Gambar 1. Hasil analisis statistik program MATLAB titik DB-1

Tabel 2. Hasil analisis statistik untuk nilai χ^2 best fit distribution data c_u

χ^2	DB-1	DB-3	DB-5	Gabungan
Normal	0.00140	0.00278	0.00374	0.00264
Log Normal	0.00946	0.01247	0.00633	0.00942
Beta	0.02088	0.01478	0.01513	0.01693
Gamma	0.00525	0.00672	0.00534	0.00577

Tabel 3. Perhitungan χ^2 best fit distribution data c_u pada setiap titik dan gabungan dari semua titik

Titik	α	k	d.b (v)	χ^2 ($\alpha; d.b$)	Nilai χ^2 distribusi normal	Kesimpulan
DB-1	0.05	4	1	3.841	0.00140	Normal
DB-3	0.05	4	1	3.841	0.00278	Normal
DB-5	0.05	4	1	3.841	0.00374	Normal
Gabungan	0.05	4	1	3.841	0.00264	Normal

Tabel 4. Hasil hitungan parameter statistik data c_u untuk setiap titik dan gabungan dari semua titik

Parameter	DB-1	DB-3	DB-5	Gabungan
Mean (μ), kN/m ²	1389,93	1427,54	1180,61	1332,7
Deviasi Standar (σ), kN/m ²	690,37	770,22	633,71	698,102
Koefisien variasi (V)	0,497	0,540	0,537	0,524

Parameter statistik hasil hitungan dapat dilihat pada Tabel 4.

Analisis Pondasi Bored Pile dengan Prinsip Probabilitas Menggunakan Program Crystal Ball

Program Crystal Ball memiliki kemampuan untuk menghitung, visualisasi, permodelan, simulasi, algoritma, probabilitas, serta analisa data . Pada analisis pondasi *bored pile* ini data-data yang dimasukkan dalam program Crystal Ball untuk diproses dengan rumus sebagai berikut :

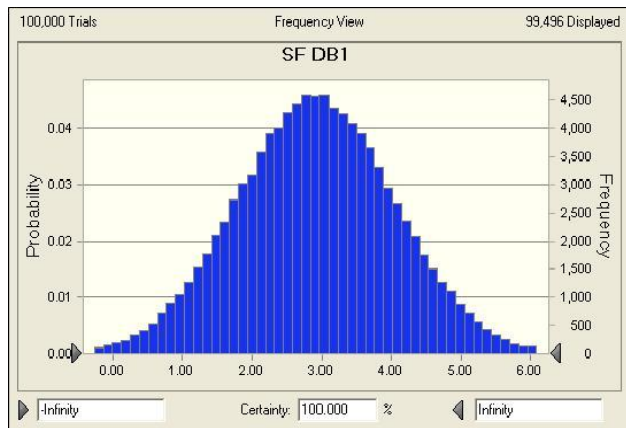
$$Q_u = \mu A_b N_c c_b + 0,45c_u A_s$$

$$SF = (n \times Q_u) / P$$

Pada artikel ini hanya diuraikan analisis terhadap salah satu titik saja yaitu titik DB-1, sedangkan titik-titik yang lain di-analisis dengan langkah yang sama.

Analisis pada titik DB-1

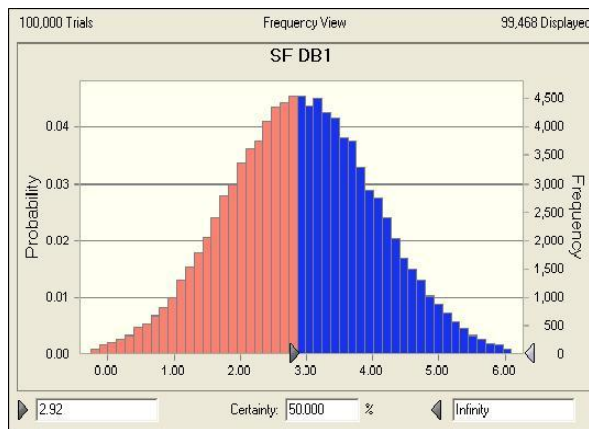
Dengan menggunakan nilai deviasi standar (σ) = 690,37 dan nilai *mean* (μ) = 1389,93 jumlah tiang (n) = 7 buah, maka diperoleh grafik pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik frekuensi awal (100%) pada titik DB-1

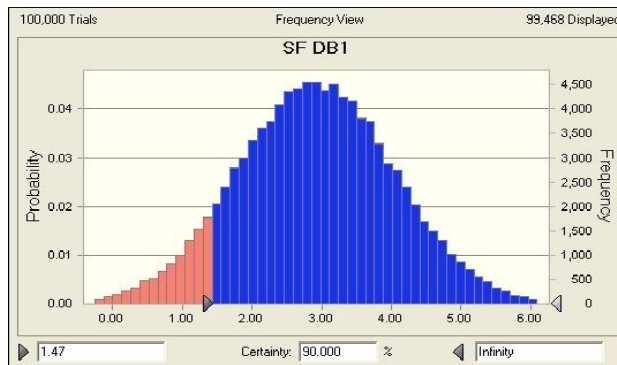
Tabel 5. Hasil uji statistik pada titik DB-1

Statistics	Values
Trials	100000
Mean	2,92
Median	2,92
Standard Deviation	1,13
Variance	1,29
Skewness	0,0090
Kurtosis	2,99
Coefficient of Variability	0,3889

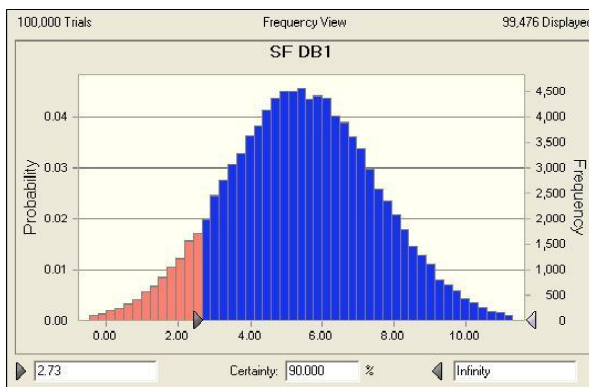


Gambar 3. Grafik frekuensi 50% SF pada titik DB-1

Pada Gambar 3 terlihat frekuensi 50% SF, nilai SFnya adalah 2,92 sedangkan pada perhitungan deterministik nilai SF sebesar 2,913549 . Terjadi perbedaan 0,006451 antara perhitungan deterministik dengan analisis probabilitas. Atau dengan kata lain dari Gambar 3 terlihat bahwa 50% SF akan berada di kiri 2,92 atau kurang dari 2,92



Gambar 4. Grafik frekuensi 90% SF pada titik DB-1



Gambar 5. Grafik frekuensi 90% SF pada titik DB-1

Tabel 6. Rekapitulasi hasil analisis semua titik dan gabungan semua titik

No	Titik	Jumlah tiang (n)		SF dari Tingkat keyakinan 90%	
		Awal	Akhir	Awal	Akhir
1	DB-1	7	13	1.47	2.73
2	DB-3	6	13	1.21	2.62
3	DB-5	8	16	1.29	2.56
4	Gabungan	7	14	1.31	2.65

Pada Gambar 4 terlihat bahwa 90% SF adalah 1,47, diperoleh tingkat keyakinan pondasi *bored pile* mampu menahan beban di atasnya dengan menggunakan jumlah tiang sebanyak 7 buah. Kemudian *trial error* dilakukan dengan merubah jumlah tiang dengan 90% - 95% SF > 2,5 dengan menaikkan jumlah tiang menjadi 13 buah, sehingga diperoleh grafik Gambar 5.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa 90% SF adalah 2,73, diperoleh tingkat keyakinan pondasi *bored pile* mampu menahan beban di atasnya dengan menggunakan jumlah tiang sebanyak 13 buah.

Dari Tabel 6 dapat dilihat untuk tingkat keyakinan 90% pada titik DB-3 menunjukkan nilai angka keamanan yang paling kecil yaitu 1,21 sedangkan pada titik DB-1 menunjukkan nilai angka keamanan yang paling tinggi yaitu 1,47.

Bisa dikatakan bahwa titik SPT yang akan lebih dulu mengalami keruntuhan adalah titik DB-3 dan yang mengalami keruntuhan terakhir adalah titik DB-1.

KESIMPULAN

1. Hasil analisis program MATLAB 7.0 menunjukkan bahwa hasil nilai c_u pada titik 1 (DB-1), titik 2 (DB-3), titik 3 (DB-5), dan titik gabungan nilai distribusi yang paling mewakili adalah distribusi normal.

2. Hasil analisis program MATLAB 7.0 juga menunjukkan bahwa hasil yang paling fit (*best fit distribution*) pada semua titik dan gabungan semua titik lebih kecil dari $\chi^2(0.05; 1)$ (3,841) tabel normal, maka data distribusi normal dapat dipakai.
3. Hasil analisis program Crystal Ball, untuk nilai SF atau Fos (2,5) dengan tingkat keyakinan 90% - 95% didapat jumlah pondasi *bored pile* yang lebih banyak dibandingkan dengan cara deterministik.

DAFTAR PUSTAKA

- Barnes, J. Wesley, 1994, *Statistical Analysis For Engineers and Scientist*, 2nd ed, McGraw-Hill Inc, Singapore.
- Beacher, G.B. and Christian, J.T. 2003, *Reability and Statistics in Geotechnical Engineering*, 1st ed. John Wiley & Sons Ltd, England.
- Bowles, J.E, 1997, *Analisis dan Desain Pondasi I*, ed. keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C, 2003, *Teknik Fondasi II*, ed. Kedua, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sianipar, RH, 2003, *Pemrograman MATLAB Dalam Conoth dan Penerapan*, Informatika, Bandung