

PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA	
DITERIMA	: 15 SEP 2001
INVENTARISASI	: 054/TS/Hd.09 8 101
KLASIFIKASI	: R-f 624.1 / Pen / e
SELESAI DIPROSES	

NCI BookMan 2.30

R.



R

PERHATIAN

1. Taatilah Peraturan Perpustakaan.
2. Jagalah kebersihan dan rawatlah pustaka yang Anda baca dengan baik.
3. Dilarang meminjamkan kepada orang lain.
4. Kembalikan tepat pada waktunya.

EVALUASI KEANDALAN DAYA DUKUNG PONDASI DANGKAL PADA TANAH PASIR

Oleh : John Tri Hatmoko & Justin Alie

A. LATAR BELAKANG MASALAH

Jaminan atas keandalan struktur yang cukup selama masa layanannya merupakan tinjauan yang perlu diperhatikan didalam proses perencanaan dan pelaksanaan struktur yang bersangkutan. Didalam analisis rekayasa, termasuk rekayasa geoteknik selalu dilakukan penyederhanaan-penyederhanaan dari keadaan yang sesungguhnya yang ditujukan untuk memudahkan penyelesaian masalah. Memang anggapan-anggapan dan idealisasi perlu dilakukan agar model matematik, yang biasanya sangat rumit, menjadi relatif simpel dan mudah untuk diselesaikan. Oleh sebab itu, tidak mungkin dapat dihindarkan adanya faktor-faktor yang dihilangkan untuk keperluan penyederhanaan tersebut. Sebagai contoh dalam proses perencanaan beton sebagai elemen struktur; kuat batas lentur dari suatu penampang beton bertulang selalu dipengaruhi oleh : (a). idealisasi diagram tegangan-regangan (b). variasi kekuatan tarik baja (c). variasi kekuatan desak beton yang ditimbulkan oleh proses di *mixing plant*, maupoun dilapangan (d). kecermatan dan ketelitian pelaksanaan, (e). proses pengawasan dilapangan, dan masih banyak faktor yang menimbulkan variasi kekuatan penampang beton tersebut, yang faktor-faktor tersebut akan berakibat pada kuat lentur penampang beton tidak seragam dari satu tempat dengan tempat yang lainnya (Indrajati Sidi, 1987). Contoh lain pada perencanaan daya dukung tanah pondasi terhadap beban yang bekerja dipengaruhi oleh beberapa faktor yang antara lain : (a). jenis tanah, (b). lokasi, (c). variasi proses pengujian parameter-parameter kuat geser tanah, (d). variasi pengambilan contoh tanah, (d). variasi penyimpanan contoh tanah sebelum dilakukan pengujian. Hal-hal tersebut akan menimbulkan ketidak pastian dalam menentukan daya dukung pondasi.

B. PERMASALAHAN

- Parameter daya dukung tanah tidak deterministik , yang berarti serangkaian pengujian yang dilakukan pada tanah yang sama tidak akan menghasilkan harga yang tetap.
- Faktor-faktor daya dukung tanah yang merupakan fungsi dari sudut gesek dalam sangat bervariasi , atau tidak unik yang disebabkan oleh variasi dari parameter daya dukung tanah.
- Resiko kegagalan tanah dasar pondasi tidak akan sama untuk angka keamanan yang sama, melainkan tergantung pada variasi parameter daya dukung tanah.
- Angka keamanan mutlak tidak dapat dicapai untuk sistem struktur tanah-pondasi.

C. BATASAN MASALAH

- *Pondasi*: pondasi dalam penelitian ini adalah pondasi dangkal yang berbentuk segi empat atau bujur sangkar, yang terletak pada permukaan tanah atau tertanam didalam tanah.
- *Tanah*: tanah adalah tanah pasir yang parameter kuat gesernya didominasi oleh sudut gesek dalam (ϕ), sedangkan nilai kohesinya mendekati nol atau dapat diabaikan.

- *Persamaan daya dukung*: persamaan daya dukung tanah pondasi diambil dari persamaan yang diturunkan oleh Terzaghi, dengan beban vertikal terpusat pada pusat berat pondasi, tanpa inklinasi dan tanpa eksentrisitas.

D. TUJUAN PENELITIAN

- Menghitung keandalan tanah dasar sebagai pendukung pondasi dangkal, dengan mengukur indeks keandalan serta keandalan pondasi akibat beban yang bekerja dengan angka leamanan yang berbeda.
- Memberikan rekomendasi angka keamanan maksimum daya dukung tanah dasar berdasarkan pada analisis resiko, selama resiko kegagalan pondasi masih dalam batas-batas kewajaran.

E. TINJAUAN PUSTAKA

Dengan membatasi pada masalah struktur yang selalu terkait dengan beban (load) dan tahanan (resistence) yang diperlukan untuk menahan beban merupakan sifat yang acak (Ellingwood, 1972), maka keamanan struktur akan lebih realistis jika dinyatakan dalam dalam bentuk probabilitas kegagalan (probability of failure) yang dapat diterima (Ang, 1975). Kegagalan dalam hal ini diartikan lebih luas daripada keruntuhan, dalam hal ini termasuk penampilan yang tidak memuaskan (*unsatisfactory performance*) seperti halnya: terjadinya penurunan pondasi yang berlebihan, daya dukung tanah yang terlampaui, dan lain-lain. Agar sistem struktur tanah-pondasi . Agar supaya sistem struktur berpenampilan memuaskan maka probabilitas kegagalan dibuat sekecil mungkin. Semakin kecil probabilitas kegagalan yang diharapkan, maka harga struktur akan menjadi lebih mahal. Sebaliknya jika kemungkinan kegagalan besar, maka harga struktur akan menjadi lebih murah (Indrajati Sidi, 1987).

Model beban yang digunakan pada analisis struktur sering kali diturunkan berdasarkan pada suatu informasi yang tidak lengkap. Sering dijumpai, seorang perencana harus menentukan beban rencana hanya berdasarkan *feeling* saja, apabila data informasi tidak tersedia. Hukum mekanika rekayasa yang menghubungkan antara beban dengan respons struktur seringkali diturunkan dengan beberapa penyederhanaan dan idealisasi, sehingga proses perencanaan yang sangat sederhana pun seringkali ada faktor-faktor yang tidak diketahui dengan pasti, yang berarti beberapa parameter masukan yang digunakan menunjukkan gejala penyebaran nilai. Oleh sebab itu angka keamanan mutlak tidak dapat dicapai dalam setiap sistem struktur.

F. DASAR-DASAR TEORI

1. Daya Dukung Tanah Dasar

Persamaan daya dukung tanah dasar yang paling populer dan sering digunakan dalam perencanaan adalah persamaan yang diusulkan oleh Terzaghi, 1943, sebagai berikut:

$$q_{ult} = cN_{cs} + q * N_q + 0,5\gamma B\gamma_s \dots\dots\dots (1)$$

dengan

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)} \dots\dots\dots a = e^{\left(0,75\pi - \frac{\phi}{2} \right) \tan \phi} \dots\dots\dots (2)$$

$$N_c = \frac{(N_q - 1)}{\tan \phi} \dots \dots \dots N_\gamma = \frac{\tan \phi}{2} \left(\frac{K_{py}}{\cos^2 \phi} - 1 \right) \dots \dots \dots (3)$$

Tabel 1. Hubungan antara faktor bentuk dengan geometri pondasi

	S_c	S_γ
Pondasi Lajur	1,0	1,0
Pondasi Lingkaran	1,3	0,6
Pondasi Persegi	1,3	0,8

Parameter tanah yang sangat berpengaruh terhadap daya dukung ultimit tanah dasar (q_{ult}) tersebut adalah kohesi dan sudut gesek dalam. Demikian halnya, faktor-faktor daya dukung sangat tergantung pada kedua parameter tersebut. Untuk jenis tanah yang sama, besarnya kohesi dan sudut gesek dalam sangat bervariasi, misalkan, dilakukan pengujian geser langsung ataupun triaksial sebanyak 30 kali, hampir pasti akan diperoleh harga 30 kohesi dan sudut gesek dalam yang berbeda. Lalu kohesi dan sudut gesek dalam yang mana yang dipakai untuk menentukan daya dukung ultimit? Sampai saat ini memang belum ada peraturan mengenai berapa % resiko yang diambil didalam menentukan daya dukung tanah dasar. Dicontohkan saja disini pada PBI 1971, PBI 1971 mensyaratkan bahwa kuat tekan rencana adalah nilai rerata hasil percobaan dikurangi dengan 1,64 dikalikan standar deviasi, arti dari besaran tersebut adalah kemungkinan bahwa kuat tekan beton yang terjadi di lapangan akan lebih kecil dari kuat tekan rencana hanya sebesar 5%. Dengan kata lain, resiko sebesar 5% ini dapat diterima oleh perencana.

2. Beban

Suatu struktur apapun selalu mengalami beberapa macam pembebanan yang terdiri dari beban mati akibat berat sendiri, beban hidup, beban sementara, atau beban lateral akibat gempa dll. Dalam penelitian ini hanya akan ditinjau kombinasi antara beban mati dan beban hidup. Penelitian mengenai statistik kombinasi beban mati dan beban hidup sudah banyak dilakukan, Englewood, 1981, membuat data statistik yang menunjukkan bahwa kombinasi beban mati dan beban hidup memiliki koefisien variasi berkisar antara 0,10 - 0,15. Angka tersebut akan dipakai dalam penelitian ini untuk menghitung parameter-parameter beban.

3. Pilihan Model

Variabel-variabel dasar dianggap sebagai variabel random terdistribusi normal, dengan pilihan metode penyelesaian *First Order Second Moment Methods (FOSM)*. Pada metode ini, variabel-variabel acak diselesaikan dengan momen pertama dan momen keduanya. Didalam mengevaluasi momen pertama dan kedua dari fungsi keruntuhan (*failure function*), digunakan pendekatan order pertama. Oleh sebab itu, metode ini disebut dengan FOSM. Apabila *failure function* tidak linier, maka digunakan ekspansi deret Taylor.

Perhatikan kasus fondamental yang hanya memiliki dua buah variabel R (*resistence*) dan S (*loads*), maka:

$$p_f = P(R < S) \dots \dots \dots (4)$$

$$M = g(R, S) \dots \dots \dots (5)$$

Persamaan bidang runtuh menjadi : $(R-S) = 0$, dengan indeks keandalan

$$\beta = \mu_M / \sigma_M \dots\dots\dots(6)$$

Probabilitas kegagalan menjadi : $p_f = \Phi(-\beta)$

Pada kasus yang lebih umum, jika M merupakan fungsi linier dari variabel-variabel dasar , maka :

$$M = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots\dots\dots + b_nX_n \dots\dots\dots(7),$$

maka:

$$\mu_M = b_0 + \sum_1^n b_i \mu_i \dots\dots\dots(8)$$

$$\sigma_M^2 = \sum_1^n b_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_1^n \sum_1^n \rho_{ij} b_i b_j \sigma_i \sigma_j \dots\dots\dots(9)$$

Jika M merupakan fungsi nonlinier dari variabel-variabel dasar, maka:

$$\mu_M = g(\mu_1, \mu_2, \mu_1, \dots\dots\dots \mu_n) \dots\dots\dots(10)$$

$$\sigma_M^2 = \sum_1^n \left\{ \left(\frac{\partial g}{\partial X_i} \right)_{\mu} \right\}^2 (\sigma_i)^2 \dots\dots\dots(11)$$

G. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi didalam penelitian ini dibagi menjadi 4 bagian:

- *Pertama adalah*: pemodelan persamaan daya dukung tanah dasar dalam bentuk keandalan struktur dengan menganggap M sebagai fungsi linier dari variabel-variabel dasar ($c, \phi, N_c, N_q, N_\gamma$) . Dan juga merupakan fungsi beban yang dianggap sebagai variabel acak terdistribusi normal dengan koefisien variasi $\delta = 0,12$.
- *Kedua adalah* : pengumpulan data (terutama beban dan ukuran pondasi). Beban dan ukuran pondasi persegi diambil dari hasil perencanaan :
- *Ketiga adalah* : studi eksperimen di laboratorium untuk menentukan parameter-parameter kuat geser tanah (c dan ϕ). Sampel tanah diambil
Jaya Yogyakarta, Babarsari I (4 tempat), dan kampus Babarsari II 4 tempat. Sehingga dalam hal ini ada delapan buah sampel tanah pasir, yang kemudian 6 sampel diuji dengan Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*). Setiap sampel diuji sebanyak 30 kali untuk mendapatkan nilai c , dan ϕ .
- *Keempat adalah* : analisis hasil. Hasil parameter yang diperoleh pada tahap ketiga, kemudian dimasukkan ke model pada tahapan pertama untuk menentukan indeks keandalan, resiko (*probability of failure*), yang kemudian untuk merekomendasi angka keamanan yang sesuai.

H. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Studi Lapangan

Hasil studi lapangan yang dilakukan pada perencanaan "Gedung Motor Perwita" dimana pada proyek tersebut dilakukan pengujian sondir (5 titik) dan pengujian bor(4 titik). Darri pengujian sondir diperoleh nilai konus diatas 200 kg/cm2 (pada kedalaman 7,00 meter). Tegangan ijin pada

kedalaman 2,00 meter, dengan menggunakan pondasi bujur sangkaer (1,00 x 1,00) adalah 1,8 kg/cm². Hasil pengujian bor menunjukkan : 0,00 - 5,00 meter berupa tanah pasir coklat, 5,00 - 8,00 pasir bersih.

2. Hasil Studi Laboratorium

Sampel tanah tidak terganggu diambil pada kedalaman 2,00 meter untuk setiap hasil pengeboran. Untuk setiap sampel diuji 30 kali dengan geser langsung. Hasil pengujian gesre langsung dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel : Hasil Pengujian Geser Langsung

	Mean (derajat)	St. Deviasi (derajat)	Koef Variasi
Titik B-1	29,1	4,11	0,14
Titik B-2	29,7	5,09	0,17
Titik B-3	32,1	2,16	0,07
Titik B-4	34.1	8,61	0,25

Standar deviasi dan koef. variasi pada titik B-1 sangat kecil disebabkan oleh kondisi tanah yang homogen. Berbeda dengan titik B-1, titik B-4 menunjukkan hasil koef. variasi dan standar deviasi yang cukup besar, disebabkan pada titik tersebut terdapat butiran-butiran kerikil.

Pengujian berat volume dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel : Hasil Pengujian Geser Langsung

	Mean (kN/m3)	St. Deviasi (kN/m3)	Koef Variasi
Titik B-1	18,9	4,5	0,27
Titik B-2	17,1	5,1	0,30
Titik B-3	18,1	4,0	0,22
Titik B-4	18,5	6,3	0,34

Hasil pengujian berat volume paralel terhadap hasil pengujian geser langsung, dimana pada titik bor B-1 koefisien variasinya cukup kecil dan yang paling besar pada titik bor B-4.

3. Analisis Hasil

1. Hubungan Antara ϕ dengan Faktor-faktor Daya Dukung

Sudut gesek dalam merupakan variabel random. Dikarenakan ada hubungan langsung antara faktor-faktor daya dukung dengan sudut gesek dalam, maka faktor-faktor tersebut juga akan merupakan variabel random yang diasumsikan linier terhadap sudut gesek dalam. Misalkan sudut gesek dalam memiliki koefisien variasi δ , maka faktor daya dukung juga akan memiliki koefisien variasi δ . Sedangkan mean dan standar deviasi faktor-faktor tersebut ditentukan berdasarkan tabel hubungan langsung antara sudut gesek dalam dengan faktor-faktor daya dukung yang tercantum pada Bowles(1988). Interpolasi linier dilakukan dikarenakan sudut gesek dalam hasil eksperimen tidak sama persis seperti yang tercantum di dalam tabel. Hasil hitungan ini dapat dilihat di dalam tabel.10

Tabel 10. Faktor Daya Dukung Terzaghi (Bowles,1988)

ϕ ,derajat	Nc	Nq	N γ	Kpy
20	17,7	7,4	5,0	25,0
25	25,1	12,7	9,7	35,0
30	37,2	22,5	19,7	52,0
34	52,6	36,5	36,0	
35	57,8	41,4	42,4	82,0
40	95,7	81,3	100,4	141,0

Tabel 11. Parameter-parameter Faktor Daya Dukung

Titik Bor	Nc			Nq			N γ		
	μ	σ	δ	μ	σ	δ	μ	σ	δ
B1 (29,1),(4,11),(0,14)	36,9	5,17	0,14	21,6	3,02	0,14	18,9	2,65	0,14
B2(29,7),(5,09),(0,17)	37,0	6,29	0,17	22,0	3,74	0,17	19,2	3,26	0,17
B3(32,13),(2,16),(0,07)	44,9	3,14	0,07	29,5	2,07	0,07	27,4	1,92	0,07
B4(34,1),(8,61),(0,25)	53,1	13,3	0,25	37,2	9,28	0,25	37,2	9,3	0,25

2. Analisis Dengan Metode Central Safety Factor

Tegangan ultimit berbanding lurus dan linier terhadap faktor-faktor daya dukung tanah dasar. Faktor-faktor tersebut merupakan variabel random terdistribusi normal, dengan demikian daya dukung ultimit juga akan merupakan variabel acak terdistribusi normal. Pondasi adalah empat persegi panjang atau bujur sangkar, dengan elevasi dasar pondasi terletak pada kedalaman 2,00 meter dari muka tanah. Ukuran pondasi untuk semua titik diambil sama yaitu 1,25 x 1,25 meter. Menurut konsep *Central Safety Factor*, angka keamanan hanya tergantung pada harga rerata beban (S), dan harga rerata tahanan (R), tidak tergantung pada koefisien variasi. Sehingga angka keamanan menurut konsep tersebut dapat dituliskan dalam persamaan :

$$V_c = \mu_R / \mu_S \dots \dots \dots (10)$$

Tabel 12. Beban dan Tegangan yang terjadi

TITIK	BEBAN KOLOM (KN)			TEGANGAN (KN/M2)		
	μ	σ	δ	μ	σ	δ
B-1	350	42	0,12	224	26,88	0,12
B-2	350	42	0,12	224	26,88	0,12
B-3	450	54	0,12	288	34,56	0,12
B-4	450	54	0,12	288	34,56	0,12

Tabel: 13 Ringkasan Hitungan Daya Dukung Ultimit

TITIK	DAYA DUKUNG ULTIMIT ,Q, (KN/M2)		
B O R	μ	σ	δ
B-1	636,55	182,2668	0,286
B-2	656,54	213,9121	0,326
B-3	951,753	215,500	0,226
B-4	1256,65	486,227	0,386

Tabel 14. Daya Dukung vs. Tegangan Yang terjadi

TITIK	DAYA DUKUNG ULTIMIT TANAH DASAR (KN/M2)			TEGANGAN YANG TERJADI (KN/M2)		
	μ	σ	δ	μ	σ	δ
B-1	636,55	182,266	0,286	224	26,88	0,12
B-2	656,54	213,912	0,326	224	26,88	0,12
B-3	951,753	215,500	0,226	288	34,56	0,12
B-4	1256,65	486,227	0,386	288	34,56	0,12

Angka keamanan mutlak yang diperoleh berdasarkan konsep *Central Safety factor* adalah sebagai berikut:

Tabel 15. Angka Keamanan Mutlak

TITIK BOR	ANGKA KEAMANAN MUTLAK (SF)
B-1	$636,55/224 = 2,84$
B-2	$656,54/224 = 2,93$
B-3	$951,753/288 = 3,3$
B-4	$1256,65/288 = 4,36$

Angka keamanan yang diperoleh dari perhitungan menurut konsep *Central Safety Factor* paling kecil adalah 2,84 hampir mendekati 3,0, dan yang terbesar adalah 4,36. Terlihat bahwa hasil tersebut sangat konservatif. Hal ini disebabkan oleh penentuan dimensi pelat pondasi yang cukup besar, tanpa melihat kasus per kasus. Dan satu hal yang perlu mendapat perhatian adalah bahwa variasi daya dukung tanah dasar dan juga variasi beban perlu diperhitungkan didalam menentukan angka keamanan. Namun demikian, varians beban dan tahanan ini tidak secara langsung dapat menentukan angka keamanan, melainkan melalui probabilitas kegagalan dapat diperkirakan angka keamanan yang logis.

3. Analisis Dengan Metode Partial Safety Factor

Konsep perencanaan *Partial Safety Factor* berasumsikan bahwa tahanan (*resistence*) dan beban (*load*) merupakan variabel random dengan distribusi tertentu. Angka keamanan yang dihasilkan tidak hanya tergantung pada harga rerata beban dan tahanan melainkan juga tergantung pada standar deviasi dari beban dan tahanan. Suatu angka keamanan yang sama, jika dihitung

dengan konsep central safety factor, tidak akan menghasilkan probabilitas kegagalan yang sama tergantung pada variasi beban dan tahanan. Semakin besar *penyebaran data beban dan tahanan (acak)* akan semakin besar probabilitas kegagalannya, dengan demikian keandalannya akan menurun.

$P_f = P(R < S)$jika $M = R - S$ maka $P_f = P(M < 0)$, persamaan ini digunakan bilamana beban (S) dan tahanan ,R, terdistribusi normal. Jika diturunkan dalam fungsi standard normal :

Dengan demikian probabilitas kegagalan dapat dituliskan sebagai:

$$P_f = \Phi(-\beta)$$

TITIK BOR B-1

Daya Dukung Ultimit

636,55	182,26	0,286
--------	--------	-------

Tabel 16. Hitungan Prob. Kegagalan Titik Bor B-1

Faktor Beban	Beban Terfaktor			Indeks Keandalan/Prob. Kegagalan/ S.F (CSF)		
	μ	σ	δ	β	PF	S.F(CSF)
1,25	280	33,6	0,12	1,92	0,02743	2,27
1,50	336	40,32	0,12	1,61	0,05370	1,89
1,75	392	47,04	0,12	1,30	0,09680	1,62
2,00	443	53,76	0,12	1,02	0,15386	1,44
2,25	498,4	60,48	0,12	0,72	0,23576	1,28
2,50	553,8	67,2	0,12	0,57	0,28434	1,15
2,75	609,2	73,92	0,12	0,184	0,42858	1,04
2,85	631,35	76,6	0,12	0,03	0,57142	1,01
1,00	224	26,88	0,12	2,24	0,01255	2,84

TITIK BOR B-2

Daya Dukung Ultimit

656,54	213,912	0,326
--------	---------	-------

Tabel 17. Hitungan Prob. Kegagalan Titik Bor B-2

Faktor Beban	Beban Terfaktor			Indeks Keandalan/Prob. Kegagalan/ S.F (CSF)		
	μ	σ	δ	β	PF	S.F(CSF)
1,00	224	26,88	0,12	2,00	0,02275	2,93
1,25	280	33,6	0,12	1,74	0,04093	2,34
1,50	336	40,32	0,12	1,47	0,07078	1,95
1,75	392	47,04	0,12	1,20	0,11507	1,67
2,00	443	53,76	0,12	0,97	0,16602	1,48
2,25	498,4	60,48	0,12	0,71	0,23885	1,32
2,50	553,8	67,2	0,12	0,46	0,32276	1,19
2,75	609,2	73,9	0,12	0,21	0,41683	1,08
3,00	664	80,6	0,12	-0,03	0,51197	0,99

TITIK BOR B-3

Daya dukung Ultimit

951,753	215,500	0,226
---------	---------	-------

Tabel 18. Hitungan Prob. Kegagalan Titik Bor B-3

Faktor Beban	Beban Terfaktor			Indeks Keandalan/Prob. Kegagalan/ S.F (CSF)		
	μ	σ	δ	β	PF	S.F(CSF)
1,00	288	34,56	0,12	3,04	0,00118	3,30
1,25	360	43,2	0,12	2,69	0,00357	2,63
1,50	432	51,84	0,12	2,34	0,00964	2,20
1,75	504	60,48	0,12	2,00	0,02275	1,89
2,00	576	69,12	0,12	1,66	0,04846	1,65
2,25	643	77,76	0,12	1,35	0,08851	1,48
2,50	714,4	86,4	0,12	1,02	0,15386	1,33
2,75	785,84	95,04	0,12	0,70	0,24186	1,21
3,00	857,28	103,7	0,12	0,40	0,34458	1,11
3,25	928,72	112,34	0,12	0,094	0,464140,	1,02
3,35	957,30	115,80	0,12	-0,02	0,50399	0,99

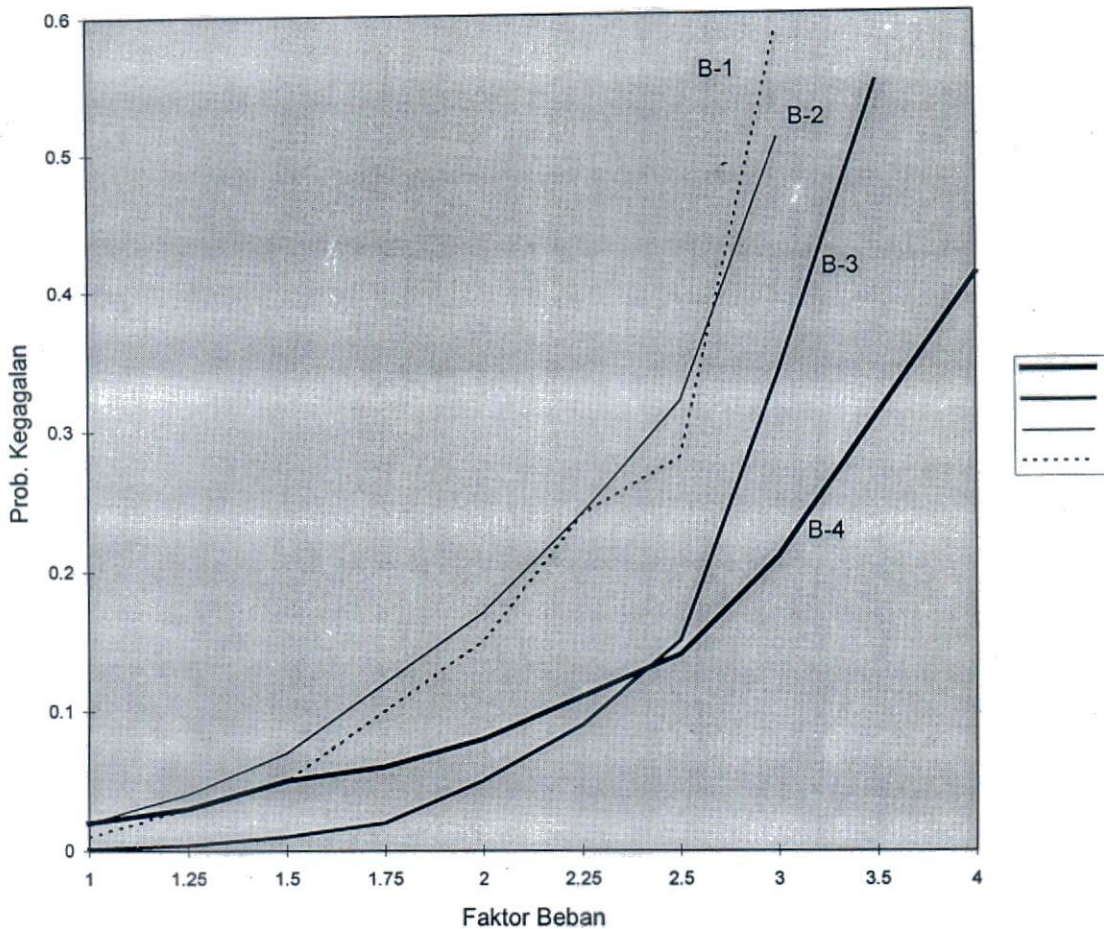
TITIK BOR B-4

1256,65	486,227	0,386
---------	---------	-------

Tabel 19. Hitungan Prob. Kegagalan Titik Bor B-4

Faktor Beban	Beban Terfaktor			Indeks Keandalan/Prob. Kegagalan/ S.F (CSF)		
	μ	σ	δ	β	PF	S.F(CSF)
1,00	288	34,56	0,12	1,99	0,02330	4,36
1,25	360	43,2	0,12	1,84	0,03288	3,49
1,50	432	51,84	0,12	1,69	0,04551	2,91
1,75	504	60,48	0,12	1,54	0,06178	2,49
2,00	576	69,12	0,12	1,39	0,08226	2,18
2,25	643	77,76	0,12	1,25	0,10565	1,95
2,50	714,4	86,4	0,12	1,10	0,13567	1,76
3,00	857,3	103,68	0,12	0,80	0,21186	1,47
3,50	1000,2	121	0,12	0,51	0,30503	1,26
4,00	1143,1	138,3	0,12	0,22	0,41294	1,10
4,40	1257,4	152,1	0,12	0	0,5000	1,00

Gbr.11. Faktor Beban Vs. Prob. Kegagalan



Probabilitas kegagalan tanah dasar pondasi yang terjadi sangat bervariasi, walaupun faktor beban sama. Hal ini disebabkan oleh variasi daya dukung ultimit tanah dasar yang disebabkan oleh variasi dan harga rerata berat volume tanah, variasi dan harga rerata sudut gesek dalam, dan variasi dan harga rerata faktor-faktor daya dukung tanah (N_c, N_q dan N_γ). Kedua, disebabkan oleh harga rerata serta variasi beban.

Faktor beban pada kondisi ultimit (limit state) sangat bervariasi yang juga sangat bergantung pada variasi dan harga rerata beban dan tahanan. Namun demikian pada kondisi tersebut dicapai harga probabilitas kegagalan yang berkisar antara 0,45 - 0,55, atau jika diambil harga tengahnya adalah 0,500. Pada kondisi batas yaitu kondisi dimana harga *central safety factor* kurang lebih sama dengan 1, faktor beban pada titik bor B-4 mencapai harga yang sangat tinggi (4,4), dan probabilitas kegagalan pada kondisi tersebut = 0,500. Hal ini diakibatkan oleh perencanaan yang konservatif yaitu dalam hal menentukan dimensi footing yang sangat besar (1,25 x 1,25 m). Pada kondisi yang sama, pada titik bor B-3 harga faktor beban menurun (3,35) yang disebabkan oleh dimensi pondasi sama dengan pada B-4, namun daya dukung ultimit pada B-3 lebih rendah dibanding daya dukung tanah pada titik bor B-4. Probabilitas kegagalan pada kondisi batas untuk titik bor B-3, hasilnya adalah 0,509.

Pada titik bor B-1, dan B-2 diperoleh hasil faktor beban yang hampir sama 3,00 dan 2,85. Hal ini disebabkan oleh daya dukung pada kedua titik bor tersebut jauh lebih rendah dibandingkan pada titik-titik bor B-3 dan B-4, sedangkan ukuran pondasi tetap sama ($1,25 \times 1,25$ m). Probabilitas kegagalan B-1 diperoleh harga 0,55 sedangkan pada titik B-2 = 0,51. Sehingga untuk keempat titik bor, pada kondisi batas, diperoleh probabilitas kegagalan sekitar 0,500 dengan faktor beban yang bervariasi.

Sebaliknya, pada kondisi paling aman, dimana faktor beban sama dengan 1, probabilitas kegagalan untuk masing-masing titik bor urut dari harga terkecil adalah : B-3 = 0,00118, dengan CSF = 3,30 ; B-1 = 0,01255 dengan CSF = 2,84; B-2 = 0,02275 dengan CSF = 2,93, dan B-4 = 0,02330 dengan CSF = 4,36. hal ini disebabkan bahwa varians daya dukung untuk B-3 adalah paling kecil.

Dari gambar 12, dapat dilihat bahwa jika diambil harga rerata dari kondisi batas dan kondisi faktor beban sama dengan 1, probabilitas kegagalan masih cukup besar dengan kisaran antara 0,25 sampai dengan 0,28. Apabila probabilitas kegagalan tersebut dipakai sebagai dasar penentuan faktor beban ataupun angka keamanan, resiko kegagalan yang terjadi masih sangat tinggi.

ambar 13. menunjukkan hubungan antara probabilitas kegagalan dengan faktor beban serta *central safety factor* untuk titik bor B-1. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kondisi yang paling baik adalah untuk faktor beban dan CSF 1,75 dengan probabilitas kegagalan sekitar 0,08 (8%). Resiko kegagalan sebesar 8% tersebut kiranya masih dalam batas toleransi. Jika digunakan angka keamanan 1,75 maka ukuran pondasi pada titik bor tersebut dapat diperkecil menjadi sekitar $1,00 \times 1,00$ M. Jika diambil probabilitas kegagalan 5%, maka diperoleh faktor beban sekitar 1,85 sedangkan CSF = 1,4. Ukuran pondasi semula adalah $1,25 \times 1,25$ m = $1,5625$ m², jika digunakan probabilitas kegagalan 5% dengan CSF = 1,85 maka ukuran pondasi dapat direduksi menjadi : $1,10 \times 1,10$ m².

Gambar 14 menunjukkan hubungan antara probabilitas kegagalan dengan *load factor* serta *central safety factor*. *Load factor* maksimum adalah 3 yang menghasilkan probabilitas kegagalan sama dengan 0,512. Perpotongan antara garis *load factor* dengan *central safety factor* menunjukkan probabilitas kegagalan kurang lebih sama dengan 0,1 (10%), dengan *load factor* dan *central safety factor* 1,75. Jika diambil angka probabilitas kegagalan sebesar 5% akan diperoleh harga *load factor* = 1,35 dengan *central safety factor* = 2,30. Pada titik ini, probabilitas kegagalannya cukup besar dibandingkan dengan titik bor B-1 disebabkan oleh besarnya varians dan koefisien variasi dari daya dukung ultimitnya, disamping itu harga rerata daya dukung ultimitnya tidak cukup besar.

Titik bor B-3 ini berbeda dengan B-1 dan B-2 yang ditunjukkan oleh probabilitas kegagalan pada perpotongan LF dan CSF yang cukup kecil = 0,02775 (2,77%), dengan *load factor* dan *central safety factor* sama dengan 1,8. hal ini disebabkan oleh varians dan koefisien variasi pada titik ini cukup kecil. Sedangkan jika diambil probabilitas kegagalan 5%, faktor beban menurun (1,55), sedangkan angka keamanan (*central safety factor*) meningkat menjadi 2,11. Pada perencanaan awal, yang terjadi di lapangan, mengambil angka keamanan 3,3. Hal ini dipandang sangat konservatif. Jika direncanakan dengan probabilitas kegagalan 2,27% ukuran pondasi dapat direduksi menjadi setengahnya, sedangkan bila direncanakan dengan menggunakan probabilitas kegagalan 5% (LF = 1,55 dan CSF = 2,11) ukuran pondasi dapat direduksi menjadi dua pertiga dari ukuran semula. Ukuran semula adalah $1,25 \times 1,25$ = $1,5625$ m², dapat direduksi menjadi = $1,042$ m² ($1,00 \times 1,00$ m²).

Titik bor B-4 mirip dengan titik bor B-1 dan B-2, dimana pada titik perpotongan antara garis faktor beban dan garis angka keamanan sentral probabilitas kegagalannya sama dengan 0,08225

(8,2%) lebih besar dari 5%, dengan angka keamanan dan faktor beban = 2,2. Hal ini juga disebabkan varians dan koefisien variasi daya dukung ultimit pada titik tersebut cukup tinggi. Pada keadaan probabilitas kegagalan 5%, angka keamanan meningkat menjadi 2,7 dan faktor beban turun menjadi 1,6. Sehingga dengan kondisi angka keamanan sama dengan faktor beban = 2,2 ukuran fondasi akan tereduksi menjadi kurang lebih setengahnya, yang semula ($1,25 \times 1,25 = 1,5625 \text{ m}^2$), akan menjadi sekitar $0,90 \times 0,90 \text{ m}^2$.

Pada semua titik bor distribusi beban tidak begitu banyak berpengaruh disebabkan pada distribusi beban, koefisien variasi di tetapkan dengan harga yang tetap = 0,12, dengan demikian varians atau standar deviasi beban akan tetap proporsional terhadap harga reratanya. Dengan demikian bentuk kurva distribusi normal (*bell shape curve*) nya sama, hanya saja meannya yang berbeda.

Probabilitas kegagalan 5% yang menghasilkan faktor beban dan angka keamanan sentral yang bervariasi ini bukan suatu harga mati, melainkan hanya suatu justifikasi saja, bahwa probabilitas kegagalan sebesar itu masih dalam batas-batas kewajaran. Sebaliknya juga apabila digunakan perpotongan antara garis faktor beban dengan garis angka keamanan akan menghasilkan probabilitas kegagalan yang bervariasi, tergantung terutama pada mean dan varians daya dukung ultimit, hal ini juga merupakan justifikasi dan masih dalam batas toleransi bilamana probabilitas kegagalan tidak melampaui 10%.

I. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

1. Sudut gesek dalam bervariasi atau merupakan variabel acak terdistribusi normal, yang berakibat pada faktor-faktor daya dukungnya juga akan merupakan variabel acak terdistribusi normal.
2. Berat volume tanah, dari hasil pengujian laboratorium, juga menunjukkan variabel acak terdistribusi normal yang berakibat pada tekanan efektif didasar pondasi juga terdistribusi normal.
3. Faktor-faktor daya dukung tanah dasar (N_c, N_q, N_γ) juga merupakan variabel acak terdistribusi normal, karena faktor-faktor tersebut berbanding lurus dengan sudut gesek dalam.
4. Sebagai akibat dari tiga hal diatas, daya dukung ultimit tanah dasar juga terdistribusi normal, karena berbanding langsung dengan faktor daya dukung, berat volume serta tekanan efektif yang terjadi di dasar pondasi.
5. Beban yang diperoleh dari gaya vertikal sentris yang bekerja pada masing-masing kolom pada B-1, B-2, B-3, dan B-4, dibagi dengan dimensi pondasi juga merupakan variabel acak terdistribusi normal dengan mengambil koefisien variasi 0,12.
6. Probabilitas kegagalan yang terjadi pada kondisi ultimit, central safety factor = 1, berada pada kisaran harga 0,5 (50%), sedangkan pada kondisi yang paling aman, load factor = 1, probabilitas kegagalan bervariasi dari 0,00118 sampai dengan 0,02330 yang disebabkan oleh besar kecilnya varians dan koefisien variasi pada masing-masing kasus.
7. Jika diambil angka keamanan serta faktor beban tetap yaitu pada perpotongan antara garis angka keamanan dan garis faktor beban, probabilitas kegagalan yang ada juga bervariasi. Pada kondisi ini, jika ini dipakai sebagai dasar perencanaan maka akan mereduksi ukuran pondasi kurang lebih menjadi setengahnya ditinjau dari ukuran luas.
8. Jika diambil probabilitas kegagalan tetap, disini diambil 5%, maka angka keamanan dan faktor beban akan bervariasi. Angka keamanan akan naik sedangkan faktor beban akan turun, kecuali

pada titik bor B-3. Apabila hasil ini dipakai sebagai dasar perencanaan, maka akan mereduksi ukuran pondasi menjadi dua pertiga ukuran yang ada ditinjau dari ukuran luas.

2. Saran

1. Penelitian ini bersifat evaluatif dan kasuistik, sehingga asil yang diperoleh tidak dapat dipakai secara umum. Namun demikian justifikasi yang logis barangkali dapat dipakai sebagai dasar perencanaan atau penelitian lanjutan.
2. Pada penelitian berikutnya disarankan untuk meninjau lebih jauh hubungan antara faktor-faktor daya dukung dengan sudut gesek dalam yang sebenarnya bukan merupakan hubungan linier.

J. DAFTAR PUSTAKA

- Ang, A.H., and Tang, W.H., 1975 ; *Probability Concept in Engineering Planning and Design* , Vol. I, John Willey and Sons Book Company, New York.
- Ang, A.H., and Tang, W.H., 1975 ; *Probability Concept in Engineering Planning and Design* , Vol. II, John Willey and Sons Book Company, New York.
- Bowles, J.E., 1988; *Foundation Analysis and Design*, Fourth Edition, McGraw-Hill Publishing Company Limited, New York
- Engliwood, B.R., and Ang, A.H., 1972; *A Probability Study of Safety Criteria for Design*, SRS-387, University Of Illinois, Urbana, USA.
- Harr, E.M., 1987, *Reliability-Based Design in Civil Engineering*, McGraw-Hill Publishing Company Limited, New York.
- Lind, N.C., 1989; *Optimization, Cost-benefit Analysis, Specifications*, Proc. 3rd Conference on Applications of Statistics in Soil and Structural Engineering, Sydney, Vol.3, pp 373-384.
- Ranganathan, R, 1990; *Reliability Analysis and Design of Structures*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi
- Sidi, I.D., 1987; *Keandalan Struktur Dengan Jaring Kawat Baja*, Seminar Jaring Kawat Baja, Jakarta 14-Oktober-1987.

