

PENGARUH JENIS TANAH TERHADAP DAYA DUKUNG TIANG PANCANG TUNGGAL AKIBAT BEBAN LATERAL DENGAN METODE KEANDALAN

SJACHRUL BALAMBA

ABSTRAK

Ketidakpastian pada asumsi dasar dalam desain menyangkut sifat-sifat tanah, bahan konstruksi, dan metode yang digunakan selalu tidak dapat dihindarkan karena data yang ada kurang merepresentasikan kondisi yang dianalisis. Pada penelitian ini tiang pancang (Free Head) yang terbuat dari material beton prategang berbentuk bujur sangkar, dipancangkan ke dalam tanah pasir padat ($c = 0$) yang homogen dan isotropik. Dengan panjang tiang dan ukuran penampang yang bervariasi, tiang pancang diberikan beban lateral statis.

Untuk analisa keandalan diperlukan beberapa parameter probabilitas yaitu COV, mean (nilai rata-rata) standar deviasi, dan tipe distribusi dari variabel yang digunakan. Selanjutnya analisis beban lateral yang dilakukan berdasarkan Teori Meyerhof, dengan cara trial and error akan menghasilkan indeks keandalan β untuk menentukan beban lateral batas tiang pancang.

Semakin panjang tiang dan semakin besar indeks keandalan β yang diperoleh akan memberikan daya dukung yang semakin besar. Berdasarkan indeks keandalan rencana ($\beta=2.3$) diperoleh beban lateral batas, dimana tiang dengan panjang tiang $L = 20$ m dan $D = 0.35$ m memberikan daya dukung yang paling besar.

Kata-kata kunci : tiang pancang, beban lateral, keandalan

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Tiang pancang adalah salah satu jenis pondasi dalam digunakan apabila daya dukung tanah tidak cukup untuk memikul berat bangunan di atasnya, atau tanah keras yang mempunyai daya dukung yang baik berada cukup jauh di bawah permukaan tanah. Tiang pancang tidak hanya menerima beban aksial saja, tetapi juga beban lateral.

Banyak permasalahan dalam perencanaan teknik yang melibatkan proses dan fenomena alam yang bersifat acak dan tidak tentu sehingga tidak dapat digambarkan secara pasti. Selain itu kurangnya informasi dan data menyebabkan pengambilan keputusan seringkali disimpulkan berdasarkan kondisi lingkungan yang serupa (atau bahkan berbeda) atau diturunkan melalui model dengan derajat ketidaksempurnaan yang bervariasi. Untuk kondisi ini, tidaklah mungkin baik secara praktis maupun ekonomis untuk dapat menjamin sepenuhnya terhadap hasil desain dan keamanannya.

Perilaku dari struktur pondasi tergantung pada sifat-sifat fisik tanah serta kondisi pada tanah bawah permukaan. Ketidakpastian pada asumsi dasar dalam perencanaan selalu tidak dapat dihindarkan karena tidak pernah lengkapnya pengetahuan dan data-data mengenai kondisi

tanah bawah permukaan. Untuk itu perlu dijamin keandalan (reliability) terhadap asumsi-asumsi dasar menyangkut sifat-sifat tanah, bahan konstruksi, metode yang digunakan dalam perencanaan, dan lain-lain. Pasir adalah butiran yang tertahan dalam saringan No.200 dengan diameter lubang 0.075 mm pada analisa saringan.

1.2. Pembatasan Masalah

Penelitian ini dilakukan pada pondasi tiang pancang tunggal yang tertanam seluruhnya ($e = 0$) pada tanah pasir padat (dense sand) yang homogen yang dibebani beban lateral statis.

2. Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang sering harus dirancang dengan memperhitungkan beban-beban horisontal atau lateral. Perancangan pondasi tiang yang menahan gaya lateral, harus memperhatikan 2 kriteria, yaitu harus memenuhi faktor keamanan terhadap keruntuhan ultimate dan defleksi yang terjadi akibat beban yang bekerja harus masih dalam batas-batas toleransi. Daya dukung batas tiang vertikal terhadap suatu beban lateral dan defleksi yang terjadi pada tiang terhadap penambahan beban dengan nilai batas merupakan persoalan-persoalan kompleks yang menyangkut interaksi

antara suatu elemen struktur dan tanah. Solusi terhadap masalah-masalah ini diberikan melalui metode sederhana untuk menghitung beban leteral batas dan defleksi. Langkah pertama adalah dengan menentukan kriteria tiang apakah tiang pendek kaku (rigid) atau tiang pancang panjang (fleksibel). Faktor kekakuan tersebut dipengaruhi oleh kekakuan tiang (nilai EI) dan kompresibilitas tanah yang berhubungan dengan suatu nilai "modulus tanah" yang berbeda untuk berbagai jenis tanah.

Berdasarkan kekakuan relatif (Kr), maka dapat ditentukan perilaku tiang yang dihubungkan dengan panjang tiang, yaitu :

$$Kr = \frac{E_p I_p}{E_s L^4} \quad (1.1)$$

dengan E_p = modulus elastisitas tiang, I_p = momen inersia tiang, E_s = modulus elastisitas tanah dan L = kedalaman tiang. Berdasarkan Teori Meyerhof, tiang pancang didefinisikan sebagai tiang panjang (fleksibel) jika $Kr < 0$.

Untuk lempung overkonsolidasi, modulus tanahnya diasumsikan konstan di seluruh kedalaman, maka persamaan untuk faktor kekakuan adalah :

$$R = \sqrt[4]{\frac{EI}{KB}} \quad (1.2)$$

dengan : $K = \frac{k_1}{1.5}$

k_1 = modulus reaksi tanah dasar dan B = lebar tiang Untuk lempung terkonsolidasi normal dan tanah granuler,

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}} \quad (2.3)$$

dimana n_h = koefisien modulus tanah (kN/m^3), E = modulus elastisitas tiang pancang

menurut ACI 318-71 (kPa) = $4800 \sqrt{f_{cy}}$ (N/mm^2),

f_{cy} = kekuatan tekan beton I = momen inersia tiang pancang (m^4). Berdasarkan faktor kekakuan R dan T, Tomlinson (1977) mengusulkan kriteria tiang kaku (tiang pendek) dan tiang elastis (tiang panjang) yang dikaitkan dengan panjang tiang yang tertanam dalam tanah (L) sebagai Tabel 2.1

Tabel 2.1. Kriteria tiang pancang berdasarkan faktor kekakuan

Jenis Tiang Pancang	Modulus Tanah	
	Bertambah secara Linier	Konstan

Kaku (Rigid)	$L < 2T$	$L < 2R$
Elastis	$L > 4T$	$L > 3.5R$

Sumber: Pile Design and Constuction Practice (M.J. Tomlinson)

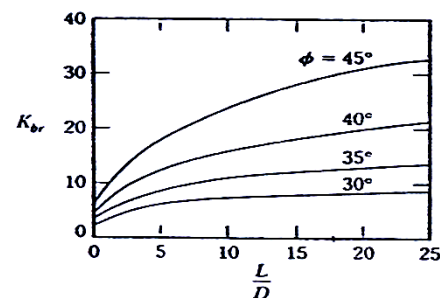
Nilai-nilai n_h Terzaghi untuk tanah tak berkohesi diperlihatkan pada tabel 2.2. pada lampiran

2.1 Analisa Beban Lateral Teori Meyerhof

Meyerhof (1995) memberikan solusi untuk tiang kaku (rigid) dan tiang fleksibel, berdasarkan kekakuan relatif K_r untuk tanah pasir :

- Tiang pendek (kaku),
$$Q_{u(g)} = 0.12 \gamma D L^2 K_{br} \leq 0.4 p_l D L \quad (1.3)$$

Dengan γ = berat jenis tanah, K_{br} = koefisien resultan tekanan tanah dan p_l = tekanan atas yang diperoleh dari tes *pressuremeter*



Gambar 2.3. Grafik variasi resultan tekanan tanah K_{br}

Tekanan batas (p_l) diberikan sebagai berikut :

$$p_l = 40 N_q \tan \phi \quad (1.4)$$

untuk *Menarpressuremeter*

$$p_l = 60 N_q \tan \phi \quad (1.5)$$

untuk *self boring dan full displacement pressuremeter* dengan N_q = faktor daya dukung tanah

Momen maksimum (M_{max}) akibat beban lateral $Q_{u(g)}$ adalah

$$M_{max} = 0.35 Q_{u(g)} L \leq M_y \quad (1.6)$$

dengan M_y = momen tahanan tiang pancang

- Tiang panjang (fleksibel), beban lateral dapat dihitung dengan persamaan 2.6 dengan mensubstitusi panjang tiang efektif (L_e) untuk L .

$$\frac{L_e}{L} = 1.65K_r^{0.12} \leq 1 \quad (1.7)$$

Momen maksimumnya adalah

$$M_{\max} = 0.3K_r^{0.2}Q_gL \leq 0.3Q_gL \quad (1.8)$$

3. Teori Dasar Keandalan (Reabilitas)

Keandalan (reabilitas) adalah suatu kriteria keyakinan bahwa komponen sistem akan melaksanakan fungsinya dengan aman. Keandalan juga dapat didefinisikan sebagai pengukuran secara probabilitas terhadap jaminan dari hasil-hasil desain. Dasar keandalan desain adalah desain dari komponen-komponen struktur pada basis probabilistik. Tujuannya adalah untuk menghitung seluruh ketidakpastian yang berhubungan dengan desain, secara langsung ataupun tidak langsung. Sebagian besar perencanaan dan desain dilakukan tanpa adanya informasi/data yang lengkap. Namun demikian, biasanya ada observasi kualitatif pada tingkah laku dari desain-desain yang terdahulu. Beberapa percobaan dan teori dapat digunakan untuk mengevaluasi data yang ada, dan untuk selanjutnya dapat digunakan untuk menganalisis tentang kemungkinan-kemungkinan relatif dari kejadian-kejadian yang akan datang. Beberapa pendapat kemudian dapat digunakan dalam desain, dan hasilnya digunakan untuk memodifikasi keputusan. Banyak keputusan yang diambil dalam perencanaan dan desain dilakukan dalam kondisi yang tidak tentu. Kejadian-kejadian alamiah yang terjadi, seperti sifat-sifat tanah dan variasi lapisan tanah, merupakan kejadian yang sifatnya acak. Sifat keacakan tersebut masih dapat dianalisis jika fungsi distribusinya diketahui. Walaupun bentuk fungsi distribusi variabel acak tidak diketahui dengan pasti, bentuk-bentuk tersebut dapat didekati dengan model-model matematika khususnya model probabilistik.

3.1. Parameter-Parameter Probabilitas

Dalam ilmu pengetahuan alam dan rekayasa, terdapat banyak fenomena acak yang berhubungan dengan hasil numerik dari beberapa besaran fisik. Akan tetapi terdapat juga peristiwa-peristiwa di mana hasilnya tidak dinyatakan dalam besaran numerik. Peristiwa-peristiwa seperti ini dapat dinyatakan secara numerik dengan menggunakan besaran buatan (artifisial) untuk

setiap peristiwa lain yang mungkin. Dengan kata lain, hasil yang mungkin dari suatu fenomena acak dapat dinyatakan secara numerik, baik sebenarnya ataupun buatan. Dalam segala hal, suatu hasil atau peristiwa dapat dinyatakan dengan nilai atau nilai-nilai suatu fungsi; fungsi yang demikian adalah variabel acak (random variabel), yang lazimnya ditunjukkan dengan huruf besar.

Sifat-sifat cirian probabilitas dari suatu variabel acak akan ditentukan selengkapnya dengan jalan memberikan bentuk dari fungsi distribusi (atau secara ekuivalen, fungsi kerapatan probabilitas atau fungsi massa) dan parameter-parameter yang bersangkutan. Akan tetapi di dalam praktek, bentuk dari fungsi distribusi boleh jadi tidak diketahui; sehingga sering diperlukan suatu pernyataan pendekatan dari suatu variabel acak. Sifat-sifat cirian probabilistik dari suatu variabel acak secara pendekatan dapat dinyatakan di dalam besaran-besaran penentu atau besaran-besaran utama; salah satu di antaranya adalah nilai sentral (central value), dan suatu besaran pengukur penyebaran nilai-nilai.

Nilai Tendensi Sentral.

Karena terdapat suatu rentang nilai yang mungkin dari suatu variabel acak, secara alami kita berminat atas suatu nilai sampel, seperti misalnya nilai rata-rata. Khususnya, karena masing-masing nilai dari variabel acak dihubungkan dengan probabilitas atau kerapatan probabilitas yang berbeda-beda. Maka diperhatikan suatu cara pengambilan nilai rata-rata dengan sistem terbobot / tertimbang (weighted average), dan ini dikenal sebagai nilai purata (mean value) atau nilai harapan (expected value) dari variabel acak.

Pada umumnya nilai purata, median dan modus suatu variabel acak berbeda satu sama lain, khususnya bila fungsi kerapatannya tidak simetris. Akan tetapi, bila PDF (Probability Density Function) adalah simetris dan bermodus tunggal (single mode), ketiga nilai di atas adalah sama.

Yakni besaran mengenai seberapa dekat nilai-nilai variat mengelompok atau sebaliknya jauh menyebar disekitar nilai sentral. Secara intuisi, ukuran yang demikian harus merupakan fungsi dari deviasi nilai sentral. Fungsinya harus merupakan fungsi yang genap dari deviasi.

Secara dimensional, suatu pengukur dispersi yang lebih mudah adalah akar pangkat dua dari varians

atau deviasi standar (simpangan baku) σ ; yaitu :

$$\sigma_x = \sqrt{\text{Var}(X)} \quad (3.1)$$

Hanya berdasarkan varians atau deviasi standar saja akan sulit untuk menyatakan apakah penyebarannya besar atau kecil. Untuk tujuan ini, suatu parameter dari dispersi relatif terhadap nilai sentral akan lebih bermanfaat. Dengan kata lain, besar kecilnya dispersi hanya mempunyai arti apabila diukur relatif terhadap nilai sentral. Untuk alasan ini, koefisien variasi (COV) yang diberikan oleh

$$\delta_x = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \quad (3.2)$$

Merupakan pengukuran dispersi atau variabilitas tak berdimensi yang lebih disukai dan lebih mudah.

Analisa Keandalan terhadap Beban Lateral Batas Reliabilitas atau keandalan adalah ukuran kepercayaan bahwa sistem dari komponen-komponen akan bekerja sesuai dengan fungsinya. Secara implisit, asumsi bahwa keberhasilan (safety) dan kegagalan (failure) dapat ditentukan secara unik. Dengan hanya dua kemungkinan, reliabilitas (keandalan) dapat diukur dengan probabilitas dari keberhasilan atau kegagalan, yaitu:

$$P_S = 1 - P_F \quad (3.3)$$

$$P_F = 1 - \Phi(\beta) \quad (3.4)$$

Dengan P_F = probabilitas dari kegagalan, P_S = probabilitas dari keberhasilan dan β = indeks keandalan.

Pada umumnya, probabilitas dari keberhasilan (P_S) mendekati 1,0 sehingga probabilitas dari kegagalan (P_F) digunakan sebagai referensi. P_F dapat diinterpretasikan sebagai jumlah dari kegagalan yang dapat terjadi dari sejumlah besar percobaan independen. Indeks keamanan (β) menunjukkan ukuran keandalan atau keamanan stuktur. Model keandalan dibuat untuk menentukan faktor-faktor beban dan tahanan berdasarkan pada metode indeks keamanan (beta), dimana ketidakpastian dideskripsikan oleh mean dan koefisien variasi (standar deviasi dibagi dengan mean). Indeks keamanan (β) diekspresikan dalam bentuk

$$\beta = \frac{\text{mean batas keamanan}}{\text{tingkat ketidakpastian}}$$

Indeks keamanan yang besar menunjukkan situasi yang lebih aman. Ada beberapa perbedaan dari model-model indeks keamanan tergantung dari model yang digunakan, seperti distribusi probabilitas

Tabel 2.3 Tingkat resiko yang dapat diterima untuk suatu struktur

Jenis Struktur	Resiko yang dapat diterima
Struktur beton dan baja dengan beban permanen	10^{-3}
Stuktur beton dan baja dengan beban sementara	10^{-2}
Pusat tenaga nuklir dengan beban permanen	$10^{-7} - 10^{-6}$

Dengan demikian pondasi tiang pancang yang dibebani dengan beban lateral dalam pembahasan ini akan berada pada resiko tingkat kegagalan stuktur 10^{-2} dengan target $\beta = 2.3$ karena merupakan struktur beton dan baja yang mengalami beban permanen dan beban sementara.. Tingkat keamanan struktur dan parameter desain tertentu diturunkan berdasarkan tingkat resiko atau keandalan tertentu yang dapat diterima, yaitu berdasarkan target $\beta = 2.3$. Target β adalah nilai indeks keandalan yang menjadi target keandalan minimal dalam desain.

Fungsi Performa yang Linier (*Linear Performance Function*)

Tingkat keberhasilan (the level of performance) dari suatu sistem sangat bergantung pada sifat-sifat dari sistem tersebut. Dalam konteks ini dan untuk perumusan umum, fungsi performa (performance function atau state function) adalah

$$g(X) = g(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (3.5)$$

dengan $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ adalah variabel kondisi dasar atau desain awal dari sistem dan fungsi $g(X)$ menyatakan keberhasilan atau keadaan dari sistem.

Untuk itu, maka

$$[g(X) > 0] = \text{kondisi aman (the safe state)}$$

[$g(X) < 0$] = kondisi runtuh (the failure state)
 Misalkan fungsi dengan hasil-hasil khusus, disebut juga dengan fungsi dengan hasil linier. Beberapa aspek pada kasus kasus linier dapat menjadi dasar untuk suatu penaksiran terhadap fungsi dengan hasil yang non linier (non linear performance function). Fungsi performa linier dirumuskan sebagai berikut :

$$g(X) = a_0 + \sum_i a_i x_i \quad (3.6)$$

dengan
$$\beta = \frac{a_0 + \sum_i a_i \mu_{x_i}}{\sqrt{\sum_i (a_i \sigma_{x_i})^2}} \quad (3.7)$$

Fungsi Performa yang Non Linier

Untuk fungsi-fungsi $g(X)$ dengan hasil yang non linier, akan memerlukan evaluasi yang lebih seksama untuk probabilitas keamanan ataupun keruntuhannya. Berbeda dengan kasus yang linier, persamaan kondisi batasnya $g(X) = 0$. Evaluasi untuk probabilitas keamanan akan memerlukan integrasi dari probabilitas gabungan

Algoritma

Untuk tujuan yang lebih praktis, akan diperlukan aproksimasi untuk probabilitas yang lebih teliti. Dalam menentukan nilai β atau indeks keandalan, dapat dilakukan berdasarkan algoritma sederhana berikut ini (Rackwitz, 1976) :

1. Diasumsikan nilai awal x_i^* ; $i = 1, 2, \dots, n$
2. Mengevaluasi $\left(\frac{\partial g}{\partial X_i}\right)_*$ dan α_i^* pada x_i^*

dengan :
$$\left(\frac{\partial g}{\partial X_i}\right)_* = \left(\frac{\partial g}{\partial x_i}\right) \sigma_{x_i} \quad (3.8)$$

$$\alpha_i^* = \frac{\left(\frac{\partial g}{\partial X_i}\right)_*}{\sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial g}{\partial X_i}\right)_*^2}} \quad (3.9)$$

3. Bentuk $x_{i \text{ baru}}^* = \mu_{x_i} - \alpha_i^* \sigma_{x_i} \beta \quad (3.10)$

4. Substitusikan x_i^* baru ke

$$g(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$$

Dan penyelesaian untuk β , Dimana $g(x)$ adalah fungsi performa (performance function atau state function)

5. Dari β pada langkah ke (4), re-evaluasi

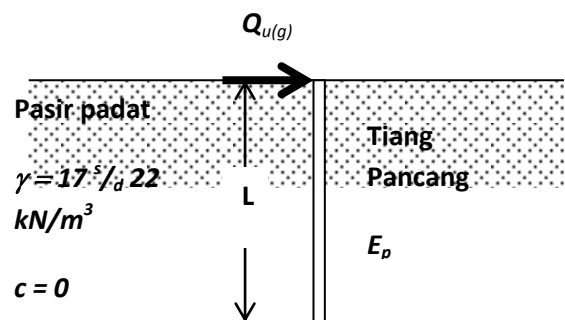
$$x_i^* = -\alpha_i \beta$$

6. Ulangi langkah ke (2) sampai (5) hingga diperoleh hasil yang konvergen.

Variabel-variabel yang digunakan untuk menghitung beban lateral batas ($Q_{u(g)}$) dan defleksi pada tiang pancang adalah berat volumen tanah (γ), lebar penampang tiang pancang (D), dan panjang tiang (L). Distribusi normal dan seragam yang didefinisikan dengan nilai rata-rata atau mean, dan koefisien variasinya (COV) digunakan untuk menggambarkan beban lateral batas, berat volume tanah. Sedangkan untuk lebar penampang dan panjang tiang untuk COV merupakan ketidakpastian dan variasi yang didapat dari properti geometri (faktor fabrikasi).

4. Aplikasi

Tiang pancang tunggal (free head), dengan kondisi tiang tertanam seluruhnya dalam tanah pasir padat (dense sand, $c = 0$) diberikan beban lateral. Tiang pancang terbuat dari material beton prategang ($f_{cy} = 35 \text{ N/mm}^2$). Bentuk penampang tiang adalah bujursangkar. Modulus elastisitas tanah (E_s) adalah 48 s/d 81 MPa. Berat volume tanah (γ) adalah 17 s/d 22 kN/m^3 dan sudut geser dalam (ϕ) adalah 38° .



Gambar 4.1. Tiang pancang tunggal free-head yang tertanam seluruhnya dalam tanah pasir padat

Tentukan :

- Tiang pancang termasuk tiang pendek atau tiang panjang (dengan berbagai nilai n_b), jika :
 - Variasi panjang tiang (L) adalah 10 m, 15 m dan 20 m.
 - Variasi ukuran penampang tiang (D) adalah 250 mm, 300 mm dan 350 mm.
- Parameter-parameter analisa keandalan untuk teori Meyerhof, yaitu nilai rata-rata (mean) dan COV untuk berat jenis tanah γ , lebar penampang tiang D , panjang tiang L , dan panjang tiang efektif L_e .
- Beban lateral batas tiang pancang ($Q_{u(g)}$) dengan teori Meyerhof, berdasarkan analisa keandalan.

Kategori Tiang Pancang berdasarkan nilai-nilai T (Tabel 2.4 pada lampiran) dan faktor kelenturan K_r (Tabel 2.5 pada lampiran). Tiang termasuk kategori tiang elastis karena memenuhi syarat $L > 4T$, untuk variasi $L = 10, 15, \text{ dan } 20$ m. berdasarkan nilai-nilai K_r , tiang dapat dikategorikan tiang fleksibel karena memenuhi syarat $K_r < 0.01$. Parameter-parameter untuk Analisa Keandalan yaitu nilai-nilai mean dan COV dihitung berdasarkan distribusi variabel acak, dalam kasus ini diasumsikan merupakan distribusi seragam.

Nilai-nilai K_r , L_e , dan K_{br} berdasarkan variasi panjang tiang pada Tabel 2.6 pada lampiran. Berdasarkan nilai-nilai K_r , tiang dikategorikan sebagai tiang panjang, kemudian dihitung juga $Q_{u(g)}$ untuk variasi lebar dan panjang tiang yang lain. Beban lateral batas yang dihitung berdasarkan rumus empiris dapat mengandung faktor ketidakpastian, yang dikoreksi dengan faktor N dengan asumsi mean = 1 dan COV 0.1. Jadi fungsi performa untuk analisa keandalannya adalah $g(x) = Q_{u(g)} - N0.12\gamma DL_e^2 K_{br}$

Selanjutnya indeks keandalan (β) dihitung berdasarkan algoritma sebagai berikut :

Nilai-nilai untuk N , γ , D dan L_e disubstitusikan pada $g(x)$ menjadi : $220 - (1.0+0.055\beta) \times 0.12 (19.5 + 0.597\beta) (0.25 + 0.004\beta) (4.48 + 0.180\beta) = 0$, dengan cara coba-coba diperoleh $\beta = 0.58$. Jadi titik keruntuhannya adalah $n^* = 1.03$; $\gamma^* = 19.85$; $D^* = 0.25$; $l_e = 4.58$. Probabilitas keruntuhan untuk $Q_{u(g)} = 220$ kN dengan $\beta = 0.58$,

$$P_F = 1 - \Phi(\beta) = 0.2810$$

$$P_S = 1 - P_F$$

$$= 1 - 0.2810 = 0.7190$$

Berdasarkan tingkat resiko yang dapat diterima stuktur dengan target $\beta = 2.3$, maka untuk $D = 0.25$ m dan $L = 10$ m (dari hasil perhitungan) diperoleh beban lateral batas $Q_{u(g)} = 94.762$ kN, dengan nilai-nilai kondisi batas : $\gamma^* = 20.89$; $D^* = 0.26$; $L_e^* = 4.89$

Selanjutnya untuk variasi perhitungan lainnya diperoleh hasil-hasil yang diberikan pada tabel berikut :

Tabel 2.8 Nilai-nilai $Q_{u(g)}$, γ^* , D^* , L_e^*

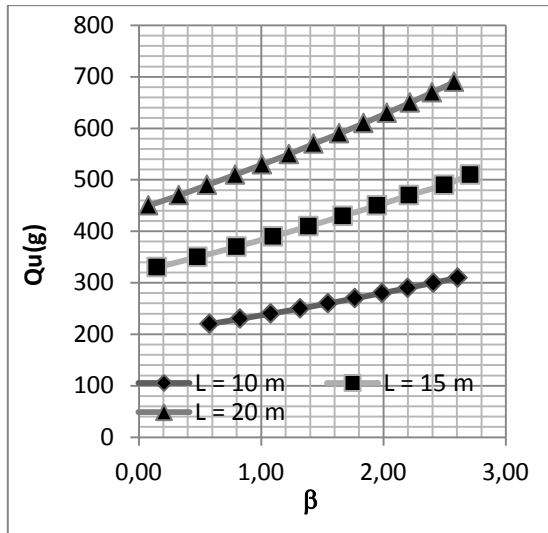
(berdasarkan $\beta = 2.3$) Pasir

D (m)	L (m)	$Q_{u(g)}$ (kN)	γ^* (kN/m ³)	D^* (m)	L_e^* (m)
0.25	10	294.762	20.89	0.26	4.89
	15	476.207	20.89	0.26	6.04
	20	658.889	20.89	0.26	7.02
0.30	10	411.333	20.89	0.31	5.34
	15	665.556	20.89	0.31	6.59
	20	930	20.89	0.31	7.66
0.35	10	547.273	20.89	0.36	5.75
	15	881.429	20.89	0.36	7.11
	20	1228	20.89	0.36	8.26

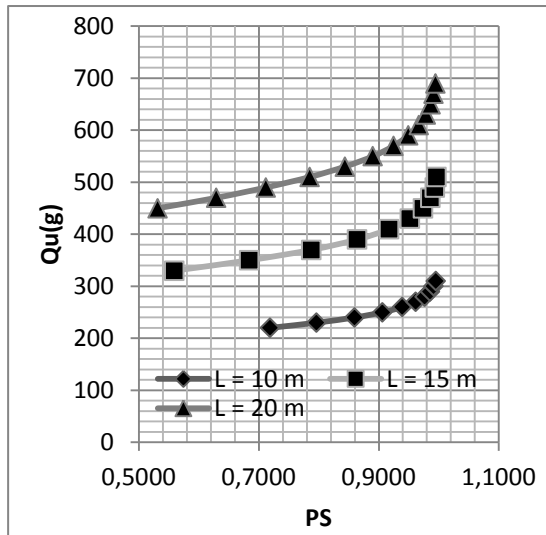
Tabel 2.9 Nilai-nilai $Q_{u(g)}$, c_u^* , D^* , L^* (berdasarkan $\beta = 2.3$) Lempung

D (m)	L (m)	$Q_{u(g)}$ (kN)	c_u^* (kN/m ³)	D^* (m)	L^* (m)
0.35	20	203.314	20.89	0.36	20.01
	25	254.016	20.89	0.36	25.00
	30	302.746	20.89	0.36	30.00
	20	349.695	20.89	0.64	20.03

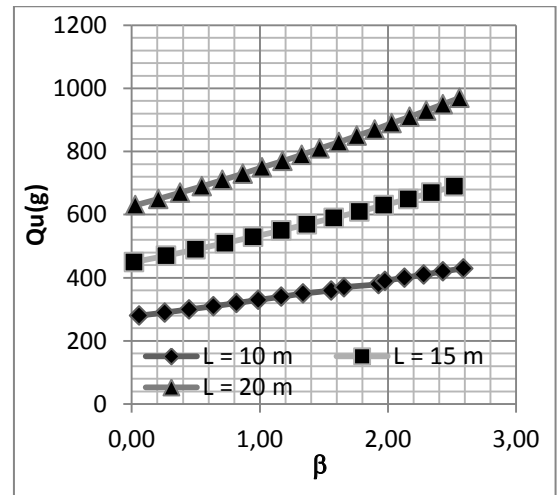
0.40	25	437.317	20.89	0.64	25.05
	30	533.039	20.89	0.64	30.02
0.50	20	396.118	20.89	0.71	20.04
	25	494.753	20.89	0.71	25.03
	30	550.715	20.89	0.71	30.00



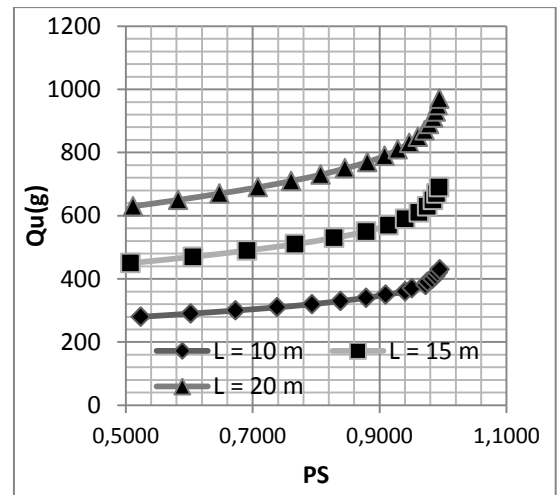
Gambar 4.2. Hubungan Indeks Keandalan β dan $Q_{u(g)}$ untuk $D = 0,25$ m



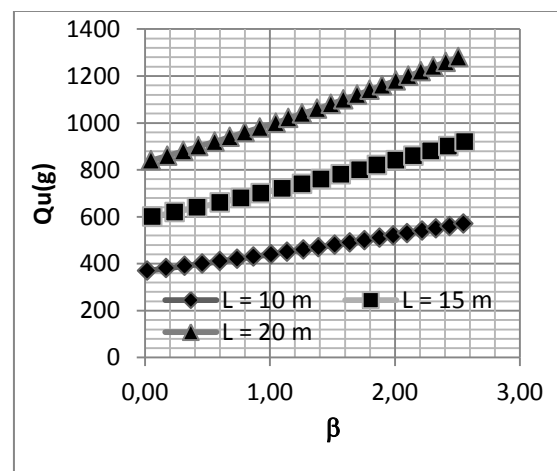
Gambar 4.3. Hubungan Probabilitas Keamanan PS dan $Q_{u(g)}$ untuk $D = 0,25$ m



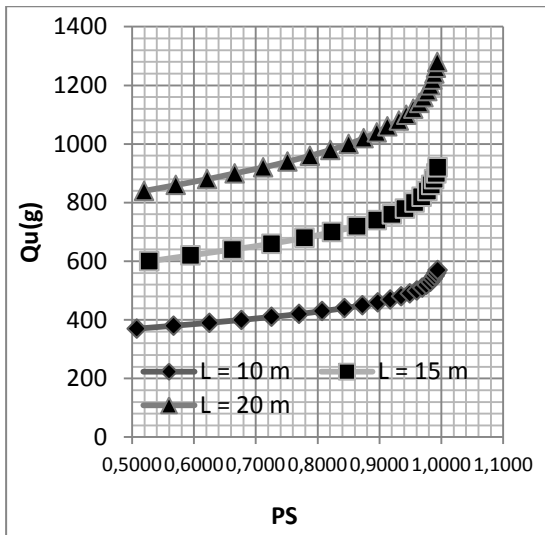
Gambar 4.2. Hubungan Indeks Keandalan β dan $Q_{u(g)}$ untuk $D = 0,30$ m



Gambar 4.3. Hubungan Probabilitas Keamanan PS dan $Q_{u(g)}$ untuk $D = 0,30$ m



Gambar 4.2. Hubungan Indeks Keandalan β dan $Q_{u(g)}$ untuk $D = 0,35$ m



Gambar 4.3. Hubungan Probabilitas Keamanan PS dan $Q_{u(g)}$ untuk $D = 0,35$ m

Tabel 2.7 Nilai $Q_{u(g)}$ (pasir) Teori Meyerhof dan Keandalan

D (m)	L (m)	$Q_{u(g)}$ (kN)	
		Meyerhoof	Keandalan
0.25	10	198.426	294.762
	15	321.387	476.207
	20	447.455	658.889
0.30	10	276.973	411.333
	15	448.177	665.556
	20	626.167	930
0.35	10	368.485	547.273
	15	593.529	881.429
	20	833.197	1228

Tabel 2.8 Nilai $Q_{u(g)}$ (lempung) Meyerhof dan Keandalan

D (m)	L (m)	$Q_{u(g)}$ (kN)	
		Meyerhoof	Keandalan
0.25	10	216.007	283.762
	15	380.268	494.303
	20	540.481	716.311
0.30	10	296.773	390.989
	15	482.651	545.920
	20	760.643	980.134
0.35	10	385.807	505.074
	15	669.711	873.551
	20	945.177	1234.794

5. PENUTUP

Kesimpulan

Dengan melihat hasil perhitungan dan analisa dalam bentuk tabel dan grafik, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Semakin besar beban lateral ($Q_{u(g)}$) yang dipikul tiang pancang, maka indeks keandalan (β) dan tingkat keberhasilan (P_s) dari desain yang dilakukan akan semakin besar dengan mengikuti garis cenderung linier.
2. Untuk nilai-nilai desain awal yang digunakan yaitu $\square\square\square D$, dan Le juga berubah menjadi lebih besar dengan berubahnya $Q_{u(g)}$ berdasarkan analisa keandalan.
3. Perhitungan beban lateral batas berdasarkan analisa keandalan dapat dijadikan sebagai suatu alternatif pilihan selain metode-metode lainnya yang sudah ada. Dalam menganalisis suatu desain struktur berdasarkan analisa keandalan (reliability) didasarkan pada faktor ketidaktentuan, resiko yang dapat diterima struktur, termasuk juga faktor ekonomi.
4. Berdasarkan tingkat resiko yang dapat diterima struktur dengan target $\beta = 2,3$, dari hasil perhitungan diperoleh beban lateral batas pada tanah lempung dengan tiang pancang dengan $D=0,30$ m dan $L=20$ m pada nilai-nilai kondisi batas, maka koefisien 0,40 menjadi 0,42 dan $K_{cr} = 8$ menjadi $K_{cr}^* = 8.06$.

DAFTAR PUSTAKA

- Ang, A. H-S., Tang, W. H., Konsep-konsep Probabilitas dalam Perencanaan dan

- Perancangan Rekayasa : Prinsip-prinsip Dasar*, Jilid I, Erlangga, Jakarta, 1987
- Ang, A. H-S., Tang, W. H., *Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Volume II : Decision, Risk and Reliability*, John Wiley and Sons, New York, 1994
 - Billah, M. Mutasim, *Analisis Faktor Beban Gempa untuk Anjungan di Laut Jawa*, Tugas Akhir, ITB, 2001
 - Bowles, J. E., *Analisis dan Desain Pondasi*, Jilid I, Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta, 1991
 - Das, Braja M., *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993
 - Das, Braja M., *Principles of Foundation Engineering*, Fourth Edition, Brooks/Cole Publishing Company, 1998
 - Hardiyatmo, H. C., *Teknik Pondasi*, Jilid I, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1996
 - Hardiyatmo, H. C., *Teknik Pondasi*, Jilid II, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1996
 - Melchers, R. E., *Strutural Reliability : Analysis and Prediction*, Ellis Horwood Limited, 1987
 - Poulos, H. G., Davis, E. H., *Pile Foundation Analysis and Design*, John Wiley and Sons, New York, 1980
 - Sidi, I. D., *Reliability Analisis and LRFD : Probability Based Faktor of Safety*, Kursus Singkat Geoteknik di Indonesia Menjelang Milenium Ke-3, 1998
 - Tomlinson, M. J., *Pile Design and Construction Practice*, Cement and Concrete Association, 1977

LAMPIRAN

Tabel 2.2. Koefisien modulus (n_h) Terzaghi untuk tanah tak berkoheisi

Kepadatan Relatif		Lepas (Loose)	Sedang (Medium dense)	Dense
n_h untuk pasir kering atau tanah basah	MN/m ³	1,4	5	12
	Ton/ft ³	4	14	34
n_h untuk pasir kering atau tanah basah	MN/m ³	1,4	5	12
	Ton/ft ³	4	14	34

Tabel 2.4. Nilai-nilai T berdasarkan variasi n_h

D = B (m)	n_h	I_p (m ⁴)	T	2T	4T
0,25	20000,000	3,255E-04	0,85697	1,7139	3,4279
	27368,514		0,80486	1,6097	3,2194
	29793,572		0,79131	1,5826	3,1652
0,30	20000,000	6,750E-04	0,99154	1,9831	3,9662
	27368,514		0,93125	1,8625	3,7250
	29793,572		0,91557	1,8311	3,6623
0,35	20000,000	1,251E-03	1,12168	2,2434	4,4867
	27368,514		1,05347	2,1069	4,2139
	29793,572		1,03574	2,0715	4,1429

Tabel 2.5 Nilai-nilai K_r berdasarkan variasi panjang tiang

D =B(m)	Ip (m ⁴)	Es (kN/m ³)	L(m)	Kr
0,25	3,255E-04	48000	10	1,92581E-05
			15	3,80406E-06
			20	1,20363E-06
0,30	6,750E-04	48000	10	3,99335E-05
			15	7,88811E-06
			20	2,49585E-06
0,35	1,251E-03	48000	10	7,39818E-05
			15	1,46137E-05
			20	4,62386E-06

Tabel 2.6 Nilai-nilai Kr, Le, dan Kbr berdasarkan variasi panjang tiang

D (m)	L (m)	Kr	Le (m)	Le/L	Le/D	Kbr
0,25	10	1,92581E-05	4,48	0,448	17,93	16,9
	15	3,80406E-06	5,54	0,369	22,14	17,9
	20	1,20363E-06	6,43	0,321	25,72	18,5
0,30	10	3,99335E-05	4,89	0,489	16,31	16,5
	15	7,88811E-06	6,04	0,403	20,14	17,5
	20	2,49585E-06	7,02	0,351	23,39	18,1
0,35	10	7,39818E-05	5,27	0,527	15,06	16,2
	15	1,46137E-05	6,51	0,434	18,59	17,1
	20	4,62386E-06	7,56	0,378	21,59	17,8