

Pengembangan Fondasi Telapak Berkaki Untuk Mendukung Kolom Eksentris

Sumiyanto dan Paulus Setyo Nugroho

Program Sarjana Teknik Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto

E-mail: masumiyanto@yahoo.com

Abstrak

Bangunan pada daerah padat pemukiman terkadang mengharuskan penggunaan fondasi telapak dengan kolom di tepi fondasi. Kondisi tersebut akan menimbulkan momen guling yang besar, sehingga membahayakan stabilitas fondasi. Pada penelitian ini, pemasangan kaki pada fondasi bertujuan untuk menahan momen dengan memanfaatkan tekanan tanah lateral pada kaki fondasi. Uji laboratorium dilakukan untuk mengamati perilaku fondasi tersebut. Pengujian dilakukan pada 3 variasi panjang dan masing-masing dengan 3 variasi letak kaki. Analisis kapasitas dukung fondasi telapak berkaki dilakukan dengan asumsi tanah pada kondisi plastis. Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa semakin panjang kaki, kapasitas dukung fondasi semakin besar. Letak kaki semakin efektif pada kedudukan kaki semakin dekat dengan kolom. Metode analisis yang dikembangkan memberikan hasil yang memuaskan.

Kata kunci: *Fondasi telapak berkaki, panjang kaki dan letak kaki*

Abstract

Construction a building on high-density area must be using foundation by column in side of foundation and this condition cause a high moment. In this research, the moment was solute by installing a foot under foundation. Objective of installing foot is to support the moment from load by moment resistant from lateral earth pressure. Behavior of the footing foundation was studied by research in laboratories. Laboratory test was doing by 3 variations on length and 3 variations on foot position. Analysis of bearing capacity of footing foundation was proposed by soil plastic condition assumed. From the research, bearing capacity of footing foundation was increasing with increasing length of foot and foot under column is the most effective position. Analysis method that was developed gives satisfied result.

Key words: *Footing foundation, foot length and foot position*

1. Pendahuluan

Keterbatasan lahan bangunan terkadang mengharuskan fondasi diletakan pada sisi batas kepemilikan lahan sehingga kolom berada pada sisi tepi fondasi. Kondisi ini menyebabkan eksentrisitas beban besar, sehingga momen yang ditimbulkan juga besar. Pada penelitian ini dikembangkan fondasi telapak berkaki yang diharapkan mampu menahan momen yang besar. Pemasangan kaki fondasi dimaksudkan untuk mendapatkan momen perlawanan dari tekanan tanah lateral yang bekerja pada kaki fondasi. Prinsip kerja kaki fondasi ini mengacu dari prinsip kerja fondasi cakar ayam yaitu memanfaatkan tekanan tanah lateral untuk menahan momen [1]. Hasil analisis dengan metode elemen hingga

menunjukkan bahwa pemasangan kaki akan mereduksi rotasi fondasi akibat beban eksentris. Berdasarkan hasil analisis didapatkan hubungan bahwa panjang kaki yang efektif merupakan fungsi dari eksentrisitas beban [2]. Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a) menentukan kedalaman dan letak kaki yang efektif untuk mendukung kolom eksentris,
- b) mengembangkan metode analisis kapasitas dukung yang sesuai.

Untuk mengamati perilaku fondasi telapak berkaki maka dilakukan uji laboratorium pada model dua dimensi. Hasil pengujian digunakan juga untuk validasi metode analisis yang dikembangkan.

Kapasitas dukung (q_u), fondasi telapak lajur merupakan fungsi dari kohesi (c) dan sudut gesek internal (ϕ) tanah [3].

$$q_u = cN_c + qN_q + 0,5B\gamma N_\gamma \quad (1)$$

dengan N_c , N_q , N_γ adalah faktor kapasitas dukung tanah yang merupakan fungsi ϕ . Analisis fondasi yang mendukung beban P sentris dan momen M maka dilakukan dengan metode superposisi [2].

$$q = \frac{P}{A} + \frac{M \cdot x}{I_o} \quad (2)$$

Pendekatan lain untuk fondasi yang mendukung beban P sentris dan momen M dilakukan dengan menganggap tanah berperilaku plastis. Reaksi tanah akibat beban P maupun momen M berupa tegangan yang besarnya seragam. Lebar fondasi efektif yang mendukung beban tersebut adalah $B' = B - 2e$, dengan e adalah eksentrisitas beban P . Besarnya e dihitung berdasarkan M dan P , yaitu $e = M/P$.

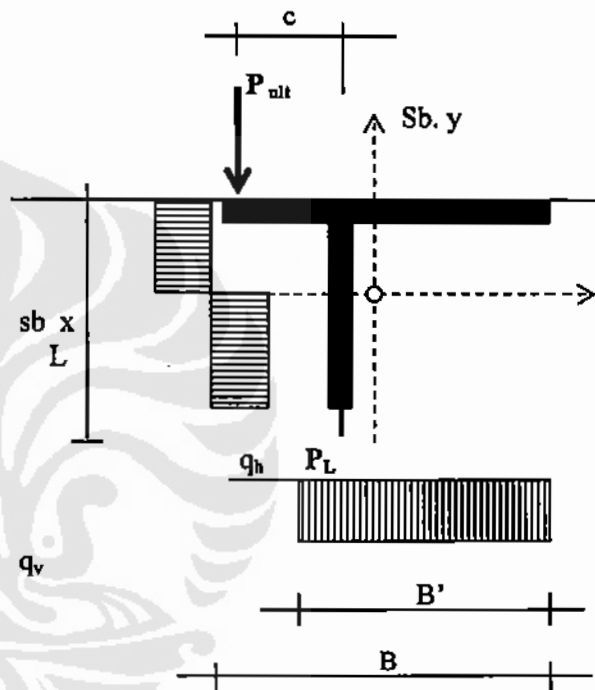
Tekanan lateral tanah diam dituliskan dalam persamaan $q_h = K_o \cdot q$, dengan $K_o = 1 - \sin\phi$. Jika tanah menahan gerakan lateral maka tekanan akan meningkat, dan kondisi ultimatnya disebut tekanan tanah pasif yang besarnya $q_h = K_p \cdot q$. Nilai koefisien tekanan tanah pasif $K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$, dengan [4],[5].

Analisis dengan metode elastis dikembangkan dengan asumsi bahwa besarnya tegangan tanah sebanding dengan regangan yang terjadi. Pada analisis ini fondasi dianggap didukung oleh pegas-pegas vertikal dan horizontal. Besarnya koefisien pegas vertikal k_v dan koefisien pegas leteral k_h didapatkan dari uji *plate load test* [5]. Penelitian-penelitian sebelumnya yang mempelajari tentang nilai k_h dan k_v menyebutkan bahwa:

1. Nilai k_v tanah tidaklah seragam, melainkan pada sisi tepi pelat nilainya lebih besar dari pada bagian tengah [6].
2. Analisis kuat dukung terhadap beban lateral dapat di sederhanakan dengan metode normalisasi [7].
3. Tekanan tanah lateral pada tanah pasir lebih cocok jika dikembangkan dalam bentuk *non linear* [8].

4. Nilai kuat dukung terhadap beban lateral sangat bergantung pada kekakuan dari struktur tersebut [9].

Kapasitas dukung fondasi pada saat fondasi terjadi pada kedudukan tanah plastis. Dengan asumsi tersebut analisis dapat dilakukan dengan metode Mayerhof. Pendekatan dapat dilakukan dengan menganggap bahwa tekanan tanah ultimat di bawah telapak dan di samping kaki adalah terdistribusi seragam yang besarnya q_v dan q_h (Gambar 1).



Gambar 1.
Skema Tegangan Tanah Plastis.

2. Metodologi

Uji laboratorium dilakukan pada model fondasi dengan membebani model fondasi dan mengamati pergerakannya, sampai fondasi runtuh. Prototipe fondasi didesain dengan asumsi hubungan antara kolom dan fondasi adalah sendi sehingga beban yang bekerja hanyalah beban titik P dari kolom. Tanah dasar fondasi adalah tanah non kohesif. Dimensi fondasi telapak dihitung, dengan menganggap beban kolom P adalah sentris.

Model fondasi dihitung dengan menggunakan prinsip similaritas yang

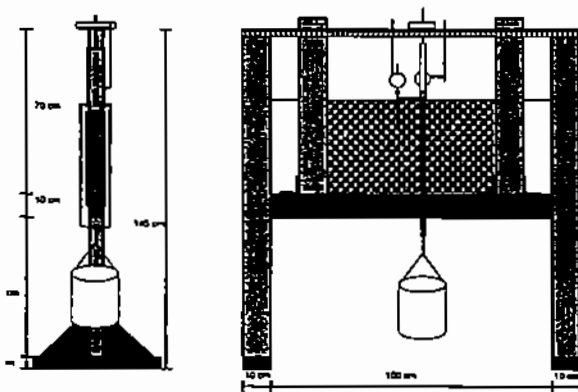
diperoleh dari hubungan model dan prototipenya. Skala yang lazim digunakan adalah skala geometri (S_L) dan skala bahan (S_E). Selanjutnya berdasarkan S_L dan S_E dapat diperoleh hubungan variable-variable yang lain [10].

- Skala beban titik, $S_p = S_E \cdot S_L^2$,
- Skala tegangan, $S_\sigma = S_E$,
- Skala regangan, $S_\epsilon = 1$,
- Skala lendutan, $S_\delta = S_L$,
- Skala rotasi, $S_\theta = 1$,
- Skala subgrade reaction, $S_{k_v} = S_E/S_L$

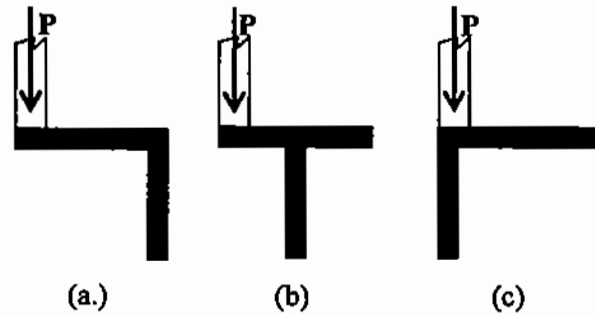
Variasi pengujian dilakukan dalam dua variable yaitu panjang dan letak kaki. Kaki fondasi dibuat dalam tiga variasi yaitu 0,5.B, B dan 1,5.B. Letak kaki divariasikan dalam tiga tiga posisi, yaitu kaki di tepi fondasi sisi jauh dari kolom (tipe A), kaki di tengah fondasi (tipe B), dan di bawah kolom (tipe C), seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Model fondasi dibuat dari bahan kayu bangkirai dengan tebal 2,0 cm (tebal *prototype* = 20 cm).

Tanah non kohesif dimodelkan dengan batang-batang bambu diameter 2-3 mm, panjang 6 cm dan berat satuan 650 kg/m³. Nilai ϕ didapatkan dari uji beban pada model fondasi telapak. Pengujian model fondasi telapak berkaki dilakukan secara bertahap sampai model fondasi mengalami keruntuhan.

Setiap tahap pembeban dilakukan pembacaan pada *gial gauge*.



Gambar 2.
Skema Alat Pengujian Model 2 Dimensi
Fondasi Telapak Berkaki.



Gambar 3.
Tipe Model Fondasi Telapak Berkaki:
(a) Kaki ditepi sisi jauh kolom (tipe A),
(b) Kaki di tengah telapak (tipe B),
(c) Kaki di bawah kolom (tipe C).

Analisis pengaruh panjang kaki dan pengaruh letak kaki terhadap kapasitas dukung fondasi dilakukan berdasarkan data pengujian yang didapatkan. Panjang kaki dianggap efektif, jika fondasi telapak berkaki mempunyai kapasitas dukung sama dengan telapak sentris. Analisis kapasitas dukung fondasi dihitung berdasarkan kapasitas dukung fondasi telapak, kapasitas dukung kaki dan tekanan tanah pasif dalam mendukung momen. Hasil analisis divalidasi dengan hasil uji laboratorium.

3. Hasil dan Pembahasan

Sudut gesek internal tanah (ϕ) dihitung berdasarkan hasil pengujian model fondasi telapak (tanpa kaki) dengan pembebanan sentris. Pada saat runtuh berlaku persamaan: $q_u = 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma$ dengan,

$$q_u = \frac{P_u}{A}$$

maka persamaan dapat ditulis menjadi: $N_\gamma = \frac{P_u}{0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot A}$. Berdasarkan

pengujian nilai P_u sama dengan 4,5 kg, sehingga hitungan $N_\gamma = 23,07$. Nilai N_γ tersebut digunakan untuk menentukan besarnya sudut gesek internal model tanah ϕ , berdasarkan tabel faktor kuat dukung fondasi dangkal didapatkan nilai $\phi = 33,38^\circ$, dan nilai $N_q = 28,89$.

a. Pengaruh Panjang Kaki

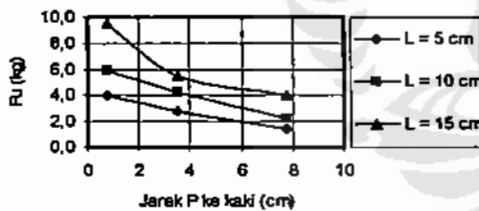
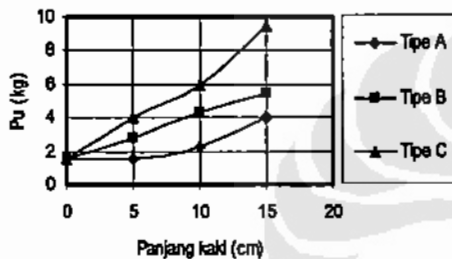
Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin panjang kaki

kapasitas dukungnya semakin besar (Gambar 4). Hal ini dimungkinkan karena kemampuan kaki dalam menahan momen semakin besar, sehingga lebar efektif fondasi juga semakin besar.

b. Pengaruh Letak Kaki

Semakin dekat jarak kaki terhadap kolom (letak beban P), kapasitas dukung fondasi semakin besar (Gambar 5). Hal ini dimungkinkan karena kontribusi kaki dalam mendukung beban P semakin efektif. Jika letak kaki semakin jauh dari P maka kontribusi kaki dalam mendukung beban vertical semakin kecil.

c. Panjang dan letak kaki efektif.



Gambar 5.

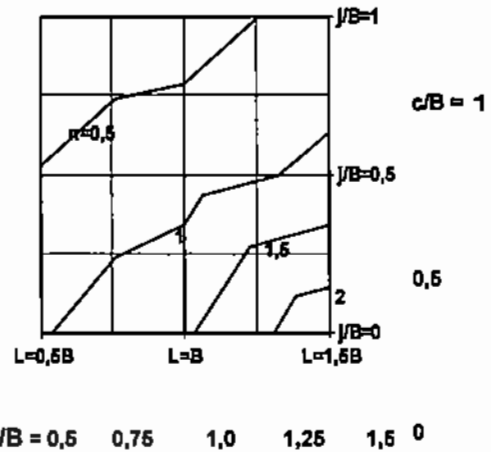
Pengaruh Letak Kaki Dari Kolom.

Tabel 1.
Panjang Kaki Efektif

Tipe Fondasi	Panjang kaki efektif	Keterangan
Tipe A	0,5B	kaki dibawah kolom
Tipe B	1,3B	kaki ditengah fondasi
Tipe C	2,0B	kaki di tepi jauh kolom

Pemasangan kaki dimaksudkan untuk mendapatkan kapasitas dukung yang setara dengan fondasi telapak kolom sentris. Dalam pengujian ini kapasitas dukung

fondasi telapak sentris adalah 4,5 kg. Nilai tersebut didapatkan pada model fondasi dengan panjang kaki seperti pada tabel berikut ini.



Gambar 6.
Garfik Perkiraan Kapasitas Dukung Fondasi Telapak Berkaki.

Grafik pada Gambar 6 dikembangkan berdasarkan hasil pengujian. Grafik tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan kapasitas dukung fondasi telapak berkaki.

d. Analisis Kapasitas Dukung Fondasi

Analisis dilakukan dengan menggunakan metode Mayerhof, yaitu dengan menganggap tanah pada kondisi plastis, sehingga analisis ini sesuai untuk kapasitas dukung. Langkah-langkah hitungan adalah sebagai berikut ini.

1. Menghitung momen perlawanan kaki fondasi M_L , dengan persamaan berikut: $M_L = 0,25 \cdot \gamma \cdot L^2 \cdot K_p$, dengan $K_p = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2})$.
- 2) Menentukan kapasitas ultimat fondasi awal $P_i = P_1$, yang besarnya sembarang.
- 3) Menghitung nilai momen akibat beban luar $M_a = P \cdot a$, dengan a adalah jarak P dari pusat fondasi (dalam penelitian ini $a = 3,5$ cm.).
- 4) Menghitung momen yang didukung fondasi telapak besarnya $M_B = M_a - M_L$.
- 5) Menghitung eksentrisitas terhadap pusat luasan fondasi : $e = M_B / P_i$.

- 6) Menghitung lebar efektif fondasi yang sama dengan $B' = B - 2.e$.
- 7) Menghitung besarnya kapasitas dukung fondasi telapak. Dalam penelitian ini tanah dianggap non kohesif sehingga persamaannya adalah : $P_B = (B'.b).0,5.B'.\gamma.N_\gamma$.
- 8) Menghitung besarnya nilai P_L , yang merupakan kapasitas kaki fondasi, dengan menggunakan analogi kapasitas dukung fondasi tiang. Nilai P_L dalam penelitian ini dihitung dengan persamaan:

$$P_L = K.[(b_k.b)(\gamma.L.N_q + 0,5.b_k.\gamma.N_\gamma) + (L.b)(0,5.\gamma.L.(1 - \sin\phi). \tan\phi)]$$
 Nilai K dalam penelitian ini akan dicari dengan menggunakan data hasil uji laboratorium.
- 9) Menghitung nilai P_{i+1} system fondasi telapak berkaki, yaitu $P_{i+1} = P_B + P_L$.
- 10) Nilai P_{i+1} ini selanjutnya sebagai input nilai P_i , dan hitungan dilakukan berulang sampai mendapatkan $P_i = P_{i+1}$.

Tabel 2.
Perbandingan Hasil Hitungan dan Pengujian

Model Fondasi	Panjang kaki (cm)	Jarak kaki dari P (cm)	Putihmat (kg)		Kesalahan Hitungan
			Uji Lab	Hitungan	
A1	5	0	1,5	1,588	5,84%
A2	10	0	23	2,540	10,43%
A3	15	0	40	3,940	-1,51%
B1	5	5	23	2,397	4,20%
B2	10	5	43	4,080	-5,12%
B3	15	5	55	5,217	-5,14%
C1	5	10	43	4,730	10,00%
C2	10	10	60	6,385	6,42%
C3	15	10	95	7,355	-22,58%

Nilai K dibuat variasi dan dievaluasi untuk mendapatkan nilai P paling dekat dengan hasil laboratorium. Berdasarkan hasil evaluasi didapatkan nilai $K=(B-c)/B'$. Perbandingan antara hasil hitungan dan pengamatan di laboratorium menunjukkan bahwa: kesalahan hasil hitungan terbesar pada penelitian ini adalah 22,5%, dengan kesalahan rata-rata 7,9% dan simpangan setandarnya adalah 10,4%. Perbedaan hasil hitungan dan pengujian ini dimungkinkan karena ketidakteelitian pengujian, baik faktor penguji maupun alat. Kemungkinan lain adalah metode yang dikembangkan

belum sempurna untuk mensimulasikan perilaku model.

4. Kesimpulan

1. Letak kaki semakin efektif jika jarak antara kaki fondasi dan beban P semakin kecil.
2. Panjang kaki yang efektif pada fondasi telapak dengan kolom ditepi adalah $L = 0,5B$ untuk tipe C (kaki dibawah P), $L = B$ untuk tipe B (kaki ditengah fondasi), sedangkan pada tipe A (kaki ditepi jauh dari P), penelitian belum mendapatkan L efektif, namun diperkirakan $L = 2B$.
3. Metode analisis yang dikembangkan untuk analisis kapasitas dukung fondasi telapak berkaki cukup memuaskan.

Daftar Acuan

- [1]. Hardiyatmo, C.H., Suhendro, B., dan Adi, A.D., *Perilaku Fondasi Cakar Ayam pada Model di Laboratorium Kontribusi untuk Perancangan*, Laporan Penelitian Hibah Bersaing VII/1, Lemnit UGM, Yogyakarta, 1999.
- [2]. Mahiyar, H dan A. N. Patel, A. N., *Analysis Of Angle Shaped Footing Under Eccentric Loading*, Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering, edisi Desember 2000 hal. 1151-1156
- [3]. Hardiyatmo, C.H., *Teknik Fondasi I*, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1996,
- [4]. Hardiyatmo, H.C., *Mekanika Tanah II*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1994.
- [5]. Bowles, J. E., *Analisis dan Desain Fondasi*, ed. 4, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2002.
- [6]. Dalogu, A.T. dan Vallabhan, C.V.G., *Value of k for Slab on Winkler Foundation*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, edisi May 2000, hal. 463 – 471.
- [7]. Hsiung, Y. dan Chen, Y., *Simplified Method for Analyzing Loaded Single Piles in Clays*, Journal of Geotechnical

- and Geoenvironmental Engineering, edisi November 1997, hal. 1018 – 1029
- [8] Prakash, S. dan Kumar, S., *Nonlinear Lateral Pile Deflection Prediction in Sands*, Journal of Geotechnical Engineering edisi February 1996, hal. 130 -138
- [9]. Rao, S.N., Ramakrishna, V.G.S.T., dan Rao, M.B., *Influence of Rigidity on Laterally Pile Groups in marine Clay*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, edisi Juni 1998, hal. 542 – 548.
- [10]. Sabnis, G.M., Harris, H.G., White, R.N., dan Mirza, M.S., *Structural Modeling and Experimental Techniques*, Prentice-Hall inc., Englewood Cliffs, 1983.

