

Analisis Lendutan Model Pelat Fleksibel dengan Tiang Perbesaran Ujung dan Pelat Tidak Rapat Tanah Pada Tanah Pasir

(Deflection Analysis of Supported Flexible Plate Models with Pile Enlargement and Free Standing Foundation on Sandy Soil)

EDI HARTONO

ABSTRACT

Problems in sandy soil may occur when sand has low density, uniform gradation and thick deposit. Flexible plate foundation may used in this condition but plate deflection still high. To reduce deflection and to improve soil density, piles were used to support the plate. Installing piles made foundation system stiffer. The objectives of this study are to studies about behavior of plates and plate with pile on sandy soil. Plate deflection was observed with variation of plate thickness, bottom pile enlargement, and soil-plate-pile interaction (free standing pile and piled foundation). 1,2 x 1,2 x 1,2 m box container filled with sandy soil was used as soil media. Square and rectangular plexiglass plate were used to modelled plate. Steel pipe with 2,5 cm in diameter were used as pile model. The behavior of the plates were observed under loading (point load). The results shows that plate deflections were affected on plate thickness, bottom pile enlargement and soil-plate-pile interaction. For a thicker plate, contact surface between plate and soil was wider. For the 40 cm x 10 cm plates with base pile enlargement, deflections were found to reduced up to 21,26%. The 'piled foundation' on 40 cm x 10 cm plates, (installing with 20 cm pile length, and 10 cm spacing between pile), deflections were reduced 83,63% compared with free standing foundation.

Keywords : sandy soil, flexible plate, pile, deflection, deflection

PENDAHULUAN

Tanah pasir umumnya memiliki kapasitas dukung yang relatif baik. Hal ini menyebabkan banyak sekali alternatif jenis fondasi yang bisa digunakan untuk jenis tanah ini. Permasalahan yang bisa dihadapi pada tanah pasir adalah bila tanah dalam keadaan longgar, distribusi ukuran butiran yang seragam dan juga pengaruh dari tingginya air tanah. Perbaikan tanah dengan cara pemadatan menjadi kurang efektif dilakukan.

Penggunaan tiang-tiang pancang yang relatif kecil dan pendek dengan pelat fleksibel sangat mungkin dilakukan pada tanah pasir. Aksi pemancangan tiang diharapkan akan menambah kepadatan pada tanah di sekitar tiang. Selanjutnya setelah fondasi bekerja, pelat berperilaku fleksibel dan tiang-tiang akan terotasi yang akan dilawan oleh tekanan tanah lateral di sekeliling tiang, sehingga memperbesar kapasitas dukung tanah dan mereduksi lendutan yang terjadi.

Tujuan umum penelitian ini adalah untuk pengembangan jenis-jenis fondasi sebagai alternatif pemilihan jenis fondasi di atas tanah pasir. Sedangkan tujuan khusus dari penelitian ini adalah untuk mengkaji :

1. Perilaku tiang dengan pembesaran ujung akibat pembebanan.
2. Pengaruh pelat rapat dengan tanah dan *free standing* terhadap lendutan.

Hasil penelitian Hardiyatmo, et al.(1999) pada pengamatan model semi 3 dimensi fondasi cakar ayam menunjukkan bahwa pada beban relatif kecil penyebaran lendutan pelat hanya sampai pada jarak $4,5d - 5d$, dengan d adalah diameter luar cakar dan pada beban relatif lebih besar kedua ujung pelat akan terangkat. Lendutan yang terjadi pada pelat akan menyebabkan cakar berotasi, rotasi cakar ini dilawan oleh tekanan tanah lateral disekeliling cakar.

Penelitian yang dilakukan Desrihadi (2001) pada sistem fondasi tiang dengan pelat fleksibel pada tanah lempung menunjukkan bahwa

panjang efektif pelat hampir sama. Perhitungan lendutan, momen, dan gaya lintang dengan metode *Beam on Elastic Foundation* dengan asumsi sebagai balok yang terhingga (*finite*) dan takterhingga (*infinite*) menunjukkan hasil yang hampir sama. Perhitungan lendutan dengan metode *Beam on Elastic Foundation* Pelat tanpa tiang dengan menggunakan k_v *Plate Load Test* (PLT) menunjukkan penyimpangan yang lebih besar bila dibandingkan dengan menggunakan nilai k_v dari metode lendutan rata-rata pelat fondasi (pelat fleksi-glas).

Hasil penelitian Pujiastuti (2001), pada pengujian model fondasi tiang dengan tiang fleksibel pada tanah lempung menyimpulkan lendutan pelat berkurang jika panjang tiang bertambah, jarak antar tiang berkurang dan fleksibilitas tiang berkurang.

Susanto (2001) melakukan pengujian beban pada pondasi tiang dengan *pile cap* tipis pada tanah pasir. Dengan memperhitungkan momen perlawanan tiang, lendutan dan momen yang terjadi menjadi lebih kecil. Perhitungan lendutan pada k_v PLT untuk kondisi *finite* terjadi reduksi lendutan sebesar 38,84% dan momen sebesar 43,71%. Gaya lintang hasil pengamatan maupun hitungan menunjukkan nilai yang sama pada pusat beban baik untuk kondisi *finite* maupun *infinite*.

Tiang yang dipancang dengan cara dipukul atau ditekan ke dalam tanah dapat mengakibatkan perubahan susunan dan pecahnya sebagian butiran tanah, pada kondisi ini, tanah mengalami pemadatan atau kenaikan berat volume dan pada permukaan tanah akan terlihat tonjolan tanah. Ketika tiang dipancang dalam tanah nonkohesif tidak padat, depresi tanah terjadi pada bagian yang didesak tiang tersebut (Hardiyatmo, 1996).

Robinsky dan Morrison, 1964 (dalam Hardiyatmo, 1996), menunjukkan bahwa gerakan tanah yang terjadi akibat pemancangan tiang pada pasir tidak padat ($D_r=17\%$) dapat berkisar pada jarak antara 3 (tiga) sampai 4 (empat) kali diameter tiang dihitung dari sisi tiang dan 2,5 sampai 3,5 kali diameter tiang di bawah dasar tiang. Pada pasir yang berkepadatan sedang, pengaruhnya lebih besar, yaitu sekitar 4,5 sampai dengan 5,5 kali diameter tiang dihitung dari sisi tiang dan 3 sampai 4,5 kali dari tiang di bawah dasar tiang.

Kapasitas Fondasi Tiang

1. Tahanan ujung ultimit

Menurut Bowles (1997), karena pada tanah non kohesif besarnya kohesi (c) nol, maka tahanan ujung ultimit tiang adalah :

$$Q_b = A_b(p_b N_q + 0,5 \gamma d N_\gamma) \quad (1)$$

dengan :

Q_b : tahanan ujung ultimit (kN),

A_b : luas penampang ujung tiang (m^2),

P_b : Tekanan vertikal efektif tanah pada dasar tiang (kN/m^2)

γ : berat volume tanah di dasar fondasi (kN/m^3)

N_q, N_γ : koefisien kapasitas dukung tanah

2. Tahanan gesek dinding ultimit

Tahanan gesek antara dinding tiang dan tanah granuler dapat dihitung dengan persamaan 2 (Bowles, 1997).

$$Q_s = A_s K_d p_o' \cdot \text{tg} \phi_d \quad (2)$$

dengan :

Q_s : tahanan gesek dinding ultimit (kN)

A_b : luas selimut tiang (m^2)

K_d : koefisien yang tergantung dari kondisi tanah,

p_o' : tekanan vertikal efektif rata-rata sepanjang tiang (kN/m^2)

ϕ_d : sudut gesek antara dinding tiang dan tanah ($^\circ$)

Kapasitas ultimit netto tiang pada tanah non kohesif dapat dinyatakan dalam persamaan 3 (Bowles, 1997).

$$Q_u = A_b(p_b N_q + 0,5 \gamma d N_\gamma) + A_s K_d p_o' \cdot \text{tg} \phi_d - W_p \quad (3)$$

dengan :

Q_u : kapasitas ultimit (kN)

W_p : berat tiang (kN)

Koefisien Reaksi Subgrade

Koefisien reaksi *subgrade* adalah suatu hubungan konseptual antara tekanan tanah dan lendutan (Bowles, 1997). Persamaan dasar untuk menghitung nilai koefisien reaksi *subgrade* bila menggunakan pengujian beban adalah pelat sebagai berikut :

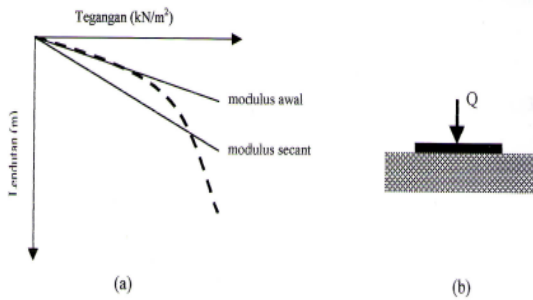
$$k_v = \frac{q}{\delta} \quad (4)$$

dengan :

k_v : koefisien *subgrade* vertikal (kN/m^3)

q : tekanan (kN/m^2)

δ : lendutan pelat (m)



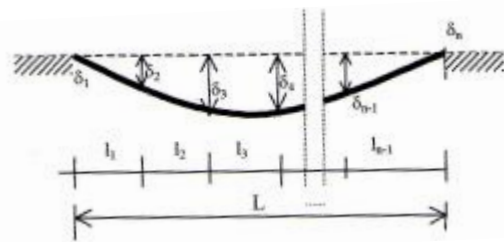
GAMBAR 1. (a) Tipikal hubungan tegangan dan lendutan uji beban pelat pada tanah, (b) Uji beban pelat

Koefisien *subgrade* vertikal untuk pelat fleksibel disarankan menggunakan Persamaan 5 (Hardiyatmo, et al. 1999).

$$k_v = \frac{Q/A_c}{\delta_a} \quad (5)$$

dengan :

- Q : beban terpusat (kN)
 A_c : luas bidang *contact pressure* (m^2)
 δ_a : lendutan rata-rata pelat (m)



GAMBAR 2. Hitungan lendutan rata-rata pelat fleksibel (Hardiyatmo, et al., 1999)

Pada sistem fondasi tiang dengan pelat tipis, pelat fondasi mempunyai panjang L dengan titik pengukuran berjumlah n , dengan jarak masing-masing titiknya I_1, I_2, \dots, I_{n-1} . Lendutan rata-rata pelat ditentukan dengan Persamaan 6.

$$\delta_a = \frac{1}{2L} \{1(\delta_1 + \delta_{n-1}) + 1_{n-1}(\delta_{n-1} + \delta_{n-2}) + \dots + 1_{n-1}(\delta_{n-1} + \delta_n)\} \quad (6)$$

dengan :

- L : panjang pelat yang menyentuh tanah (m)
 1_i : lebar pias ke-i (m)
 δ_i : lendutan pada titik ke-i (m)

koefisien reaksi *subgrade* horisontal bertambah secara linier dengan kedalaman tanah, dinyatakan oleh Palmer (1948, dalam Pulus dan Davis, 1980) dalam Persamaan 7.

$$k_h = k_L \left(\frac{z}{h}\right)^n \quad (7)$$

dengan :

- k_L : nilai k_h pada ujung tiang ($z=h$)(kN/m^3),
 z : kedalaman (m)
 h : panjang tiang (m)
 n : 1 untuk tanah granuler

untuk nilai $n = 1$ Persamaan 7 dituliskan kembali dalam bentuk Persamaan 8.

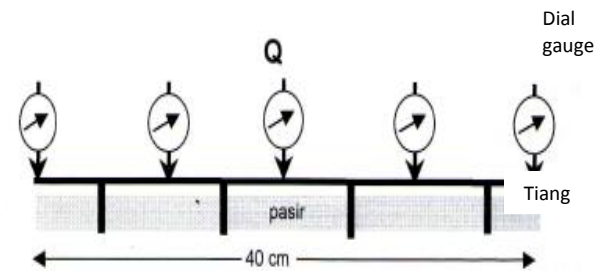
$$k_h = n_h \left(\frac{z}{hd}\right) \quad (8)$$

dengan :

- n_h : variasi koefisien reaksi *subgrade* (kN/m^3)
 z : kedalaman (m)
 d : diameter atau lebar tiang (m)

METODE PENELITIAN

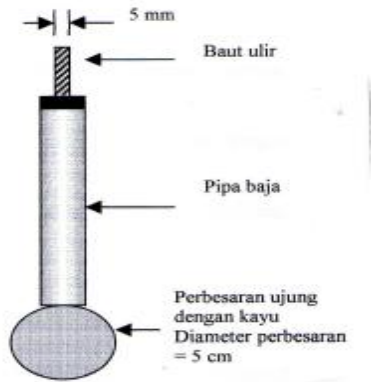
Penelitian fondasi tiang dengan pelat fleksibel ini menggunakan model dari plexyglass sebagai pelat fondasi dan pipa-pipa baja sebagai tiangnya. Pengujian dilakukan dengan variasi pelat tidak rapat tanah seperti pada Gambar 3.



GAMBAR 3. Model fondasi tiang dengan pelat fleksibel tidak rapat tanah (*free standing*)

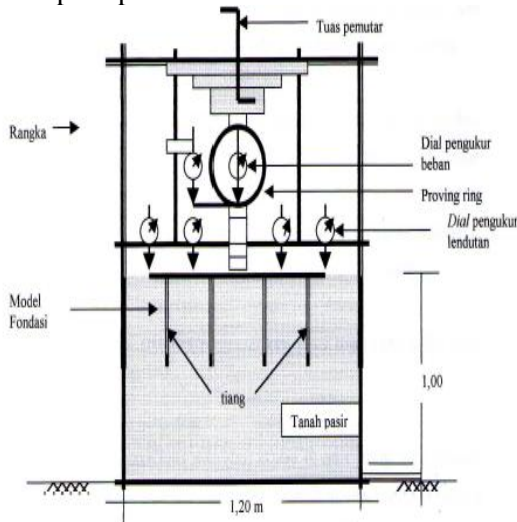
Alat dan bahan yang digunakan:

1. Tanah pasir
 Tanah pasir yang dipakai sebagai media penelitian diambil dari pantai Parangkusumo, Bantul, Yogyakarta.
2. Plexyglass
 Model yang digunakan sebagai pelat fondasi dari bahan Plexyglass dengan tebal 0,5 cm.
3. Pipa Baja
 Pada penelitian ini tiang fondasi dimodelkan menggunakan pipa baja dengan bagian lubangnya ditutup dengan semen. Dimensi pipa baja yang digunakan berdiameter 2,5cm dengan panjang bervariasi 10cm, 20cm, dan 40cm. Pipa baja divariasikan dengan ujung bawah tiang diperbesar seperti gambar 4.



GAMBAR 4. Model tiang perbesaran ujung

4. Kotak uji dengan ukuran 1,2m x 1,2m x 1,2m (panjang x lebar x tinggi) dengan bahan besi baja, dilengkapi dengan frame seperti pada Gambar 5.



GAMBAR 5. Skema kotak pengujian

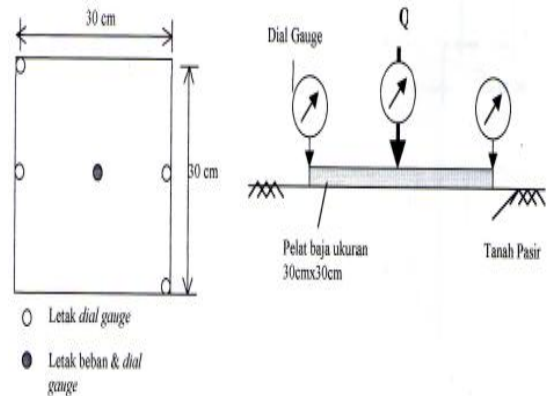
5. Alat uji pembebanan berupa mesin penekan dengan *proving ring* kapasitas 10000 kg dengan batang penekan yang dapat bergerak teratur dengan kecepatan 1,27 mm/menit (0,05 inch/menit)

Pengujian Pendahuluan

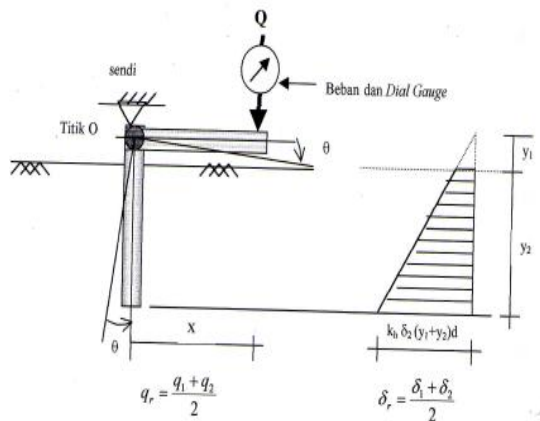
Pengujian pendahuluan dimaksudkan untuk mengetahui parameter-parameter teknis bahan maupun alat. Pengujian pendahuluan tersebut meliputi :

1. Uji kadar air pasir
Pengujian kadar air pasir dilakukan secara berkala selama waktu pengujian berlangsung untuk menjaga agar kadar air tanah relatif konstan.
2. Pemeriksaan distribusi ukuran butiran pasir
Pemeriksaan ini dilakukan menggunakan alat uji saringan menginget pasir pantai termasuk kategori pasir bersih atau sedikit kandungan butir halusnya.

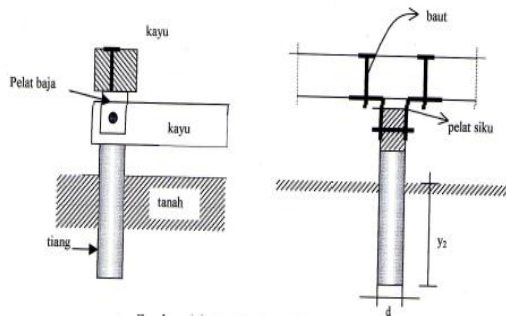
3. Pemeriksaan kepadatan tanah
Kepadatan tanah pasir di dalam kotak uji diusahakan tetap sehingga perilaku setiap pengujian lebih mudah dibandingkan. Pemeriksaan kepadatan ini dilakukan dengan menanam tiga buah tabung di bawah dan sekeliling fondasi. Selain itu untuk mendapatkan kepadatan relatif (D_r) dilakukan uji kepadatan maksimum dengan pemadatan getar mengikuti standard pengujian *British Standard*.
4. Uji geser langsung
Dari uji ini diketahui parameter kuat geser tanah, yaitu sudut gesek internal tanah (ϕ) dan nilai kohesi (c_u).
5. Uji k_v Plate Load Test dan k_h
Pengujian sesuai standar ASTM D1196-64. Untuk memperoleh nilai koefisien *subgrade* vertikal tanah dilakukan dengan menerapkan beban pada pelat baja berukuran 1 ft x 1 ft, kemudian diukur besar lendutan yang terjadi seperti terlihat pada Gambar 6. Sedangkan pengujian nilai k_h dilakukan seperti terlihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



GAMBAR 6. Letak dial gauge dan beban skema uji beban pelat



GAMBAR 7. Skema pengujian rotasi tiang



GAMBAR 8. Detail uji rotasi tiang

Pembuatan Model

Asumsi fondasi di lapangan adalah fondasi tiang dengan pelat dan tiang dari beton, sedangkan model di laboratorium pelat dari *plexyglass* dan tiang dari pipa baja. Dengan menggunakan skala geometri 10 didapat data-data model seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

TABEL 1. Data fondasi di lapangan dan model

	Fondasi di lapangan	Model di laboratorium
Tebal pelat	0,05 - 0,15 m	0,5 - 1,5 cm
Panjang tiang	1,0 - 4,0 m	10 - 40 cm
Diameter tiang	0,25 m	2,5 cm
Jarak tiang	0,5 - 1,0 m	5 - 10 cm
Modulus elastisitas	$2,4 \cdot 10^4$ MPa (beton)	2,98. 103 MPa (<i>plexyglass</i>)

Selanjutnya model dibuat beberapa variasi seperti terlihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

TABEL 2. Data fondasi di lapangan dan model

Pelat			Tiang		
Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (mm)	Panjang (cm)	Jarak (cm)	Jumlah
40	10	5	20	10	4
40	10	10	20	10	4
40	10	15	20	10	4

TABEL 3. Pengujian tiang dengan perbesaran ujung

Pelat			Tiang		
Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (mm)	Panjang (cm)	Jarak (cm)	Jumlah
40	10	5	20	10	4
40	10	10	20	10	4
40	10	15	20	10	4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian pendahuluan

1. Kadar air tanah pasir
Kadar air tanah pasir selama pengujian dipertahankan tetap, yaitu sebesar 0,371%.
2. Berat jenis (*Specific Gravity*)
Berat jenis tanah pasir yang digunakan untuk media pengujian sebesar 2,676.
3. Gradasi ukuran butiran tanah
Hasil analisis gradasi butiran menunjukkan persentase pasir sebesar 99,68%, persentase lanau dan lempung sebesar 0,32%. Koefisien keseragaman (*Coefficient of Uniformity*) sebesar 2,33 dan koefisien gradasi (*Coefficient of gradation*) sebesar 1,19.
4. Parameter geser tanah
Parameter geser tanah yaitu kohesi dan sudut geser internal, diperoleh dari pengujian geser langsung. Kohesi pasir (c) = 0,00 dan sudut geser internal (ϕ) = $30,11^\circ$.
5. Kepadatan tanah
Selama pengujian berlangsung kepadatan tanah diusahakan tidak berubah dengan rata-rata berat volume tanah (γ) selama pengujian $1,83 \text{ gr/cm}^3$. Nilai berat volume maksimum dalam kotak uji (γ_d) $1,80 \text{ gr/cm}^3$.
6. Hasil pengujian CBR tanah pasir yang digunakan dalam penelitian mempunyai nilai CBR 2,27%.
7. Pelat *Plexyglass*
Dalam penelitian ini pelat fondasi dimodelkan dengan pelat *plexyglass*. Pengujian modulus elastisitas pelat menggunakan pelat satu lapis dengan dengan ukuran tebal 0,5 cm, lebar 3,8 cm dan panjang 25 cm. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan modulus elastisitas pelat adalah sebesar $2,98 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$.
8. Koefisien reaksi tanah vertikal (k_v) dari PLT. Dari pengujian k_v dengan PLT didapatkan nilai k_v sebesar $24230,73 \text{ kN/m}^3$.
9. Koefisien reaksi tanah horisontal (k_h)
Pengujian k_h dilakukan dengan menggunakan tiang panjang 10 cm dan 20 cm. Nilai k_h rata-rata pada panjang tiang 10 cm sebesar $52484,49 \text{ kN/m}^3$ dan nilai k_h rata-rata panjang tiang 20 cm sebesar $20931,72 \text{ kN/m}^3$. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.

Pengaruh Perbesaran Ujung Tiang

Tabel 4 memperlihatkan kontribusi perbesaran ujung tiang dalam mereduksi lendutan yang terjadi. Reduksi lendutan berkisar 16,67% - 21,46% untuk perbandingan pelat tanpa tiang dengan pelat dengan tiang dan perbesaran ujung.

Sementara itu dari tabel 5. untuk perbandingan lendutan pelat dengan tiang dengan pelat dengan tiang perbesaran ujung memperlihatkan reduksi lendutan sebesar 21,26 persen yang terjadi pada pelat dengan ketebalan 1.5cm.

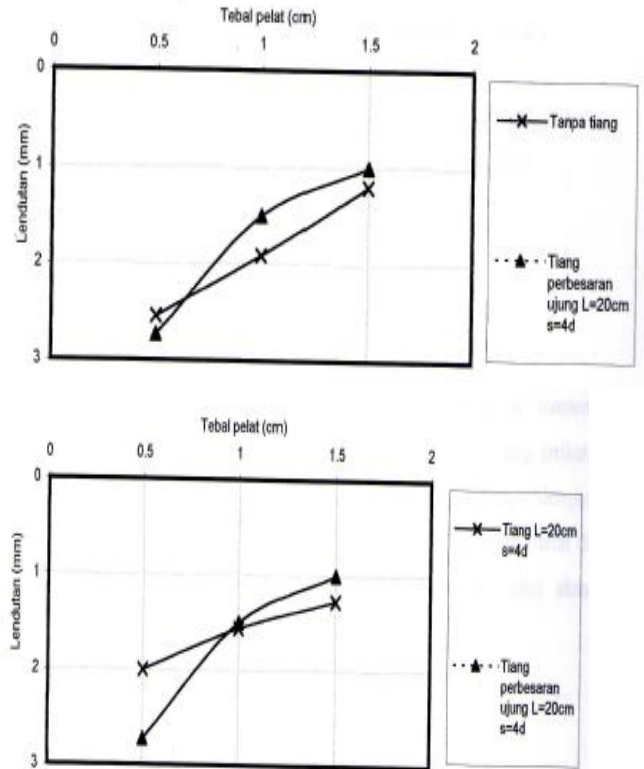
Perbandingan lendutan pelat dengan tiang perbesaran juga dapat dilihat pada gambar 9 . Pada pengujian pelat dengan ketebalan 0,5 cm pada beban 1,0 kN terjadi lendutan sebesar 2,73 mm, ini lebih besar dari lendutan pelat tanpa tiang maupun dengan tiang tanpa perbesaran ujung. Hal tersebut dikarenakan pada waktu pelaksanaan pemasangan tiang dengan perbesaran tidak dapat dilakukan pemancangan. Pemasangan tiang harus dilakukan penggalian terlebih dahulu, sedangkan pengujian pada tebal pelat 0,5 cm merupakan pengujian paling awal sehingga kondisi tanah pada pengujian dengan ketebalan pelat 0,5 cm dimungkinkan tanah berkurang kepadatannya.

TABEL 4. Perbandingan lendutan pelat 40 cm x 10cm dengan perbesaran ujung terhadap pelat 40cm x 10cm tanpa tiang, q=1,0 kN

Ukuran Pelat (cm)	Tanpa tiang (mm)	Panjang = 20 cm	
		Jarak = 10 cm Perbesaran ujung (mm)	Reduksi lendutan (%)
40 x 10 x 0.5	2.54	2.73	-7.48
40 x 10 x 1.0	1.91	1.5	21.46
40 x 10 x 1.5	1.2	1	16.67

TABEL 5. Perbandingan lendutan pelat 40 cm x 10cm dengan perbesaran ujung terhadap pelat 40cm x 10cm dengan tiang, q=1,0 kN

Ukuran Pelat (cm)	L= 20cm s= 10 cm (mm)	L = 20 cm s = 10 cm	
		Perbesaran ujung (mm)	Reduksi lendutan (%)
40 x 10 x 0.5	2	2.73	-36.5
40 x 10 x 1.0	1.56	1.5	3.85
40 x 10 x 1.5	1.27	1	21.26



GAMBAR 9. Perbandingan lendutan pelat 40cm x 10cm dengan perbesaran ujung L=20cm, s=4d

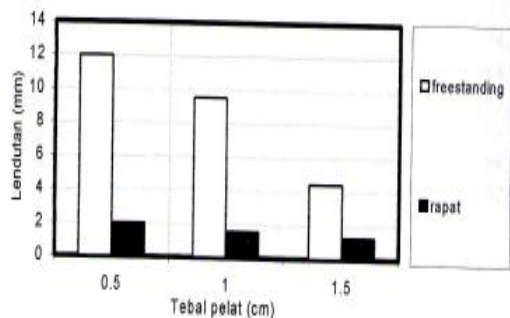
Pengaruh Pelat yang Tidak Rapat Tanah

Untuk membandingkan pengaruh ini dipakai hasil lendutan yang terjadi pada pelat dengan tiang kondisi *free standing* (dasar pelat tidak rapat dengan tanah) dibandingkan dengan pelat dengan tiang yang rapat dengan tanah.

Peninjauan pengaruh ini dimaksudkan untuk mengetahui kontribusi pelat dalam mendukung beban. Pada dasar pelat yang tidak rapat dengan tanah maka fungsi pelat hanya meneruskan beban ke tiang-tiang, sedangkan pelat yang rapat dengan tanah disamping meneruskan beban ke tanah dasar juga ikut mendukung beban. Tabel 7 dan Gambar 10 di bawah ini menunjukkan perbandingan tersebut.

TABEL 6. Perbandingan lendutan pelat lajur pengaruh *free standing* di bawah beban = 1,2 kN

Ukuran Pelat (cm)	L = 20 cm s = 10 cm		Reduksi lendutan (%)
	<i>Free Standing</i> (mm)	Rapat tanah (mm)	
40 x 10 x 0.5	12	2	83.33
40 x 10 x 1.0	9.53	1.56	83.63
40 x 10 x 1.5	4.45	1.27	71.46



GAMBAR 10. Pengaruh dasar plat yang tidak rapat (*free standing*) tanah terhadap lendutan

Dari Tabel 6 tampak jelas perbedaan lendutan antara pelat yang menyentuh tanah dengan kondisi *free standing* dimana dengan pelat yang rapat dengan tanah mampu mereduksi lendutan sebesar 83.63% terhadap kondisi pelat *free standing*.

KESIMPULAN

1. Perilaku pelat fleksibel yang didukung tiang pada tanah pasir hampir sama dengan perilaku pelat tanpa tiang.
2. Pemasangan tiang-tiang mampu mereduksi lendutan pelat selain juga menyebabkan tidak terangkatnya ujung tiang akibat tahanan gesek tiang dengan tanah.
3. Pengaruh perbesaran ujung tiang pada pelat fleksibel yang dibebani beban titik pada tanah pasir tidak cukup besar mereduksi lendutan hanya mencapai 21,46%.
4. Reduksi lendutan sebesar 83,63% terjadi pada pelat 40cm x 10cm yang rapat tanah dibandingkan kondisi *free standing*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E., 1997, *Analisis dan Desain Pondasi edisi ke-4 Jilid 1*, Jakarta:Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C., Suhendro, B., Hutagamissufardal, Susanto, H. A. (1999). Perilaku Fondasi Cakar Ayam pada model di laboratorium kontribusi untuk perancangan, *Prosiding Seminar Nasional Geoteknik '99*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Poulos, H. G., Davis, E. H. (1980) *Pile Foundation Analysis and Design*, New York:John Willey & Son.

Pujiastuti, H. (2001). *Uji Beban Pelat Fleksibel Pada tanah Lempung yang diperkuat dengan Pemasangan Tiang-Tiang fleksibel*, Naskah Seminar Tesis Pascasarjana UGM, Yogyakarta.

PENULIS:

Edi Hartono

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul 55813.

Email: edihartok@yahoo.com