

Uji Beban dan Analisis Lendutan Model Pelat Fleksibel yang Didukung Tiang-Tiang pada Tanah Pasir

(Load-Deformation Test and Deflection Analysis of Supported Flexible Plate Models with Piles on Sandy Soil)

EDI HARTONO

ABSTRACT

Sand commonly has a good bearing capacity. Problems may occur when sand has low density and thick deposit. Flexible plate foundation may be used in this soil but plate deflection may be still high. To reduce deflection and improving 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 a pile of sand on the ground, influence of plate thickness, pile length and spacing of the pole deflection, and the influence of the bond between the plate and the deflection of the pile. In this study is used test box of 1.2 m depth, 1.2 m width, 1.2 m length, and 1.0 m depth filled out with sand. Plate models were made from plexiglas of rectangular and square geometry. Piles were of steel pipes of 2.5cm diameter. Some parameters were as follows: plate thickness, plate geometry, pile length (L), pile spacing (s), bounding between plate and pile (fix or free), 'piled' and freestanding foundation, and base pile enlargement. The behavior of the plates were observed under loading (point load). The result shows that plate deflections were affected by the method of pile installation, plate thickness and pile length. For a thicker plate, contact surface between plate and soil was wider. For the 40cmx10cm plates with fix end pile, deflections were found to be reduced up to 70% compared with free end pile. The 'piled foundation' on 40cmx10cm plates, $L=20\text{cm}$, $s=4d$, deflections were reduced 83,63% compared with free standing foundation.

Keywords : sandy soil, flexible plate, pile, deflection, coefficient of subgrade reaction

PENDAHULUAN

Tanah pasir pada umumnya memiliki kapasitas dukung yang relatif baik. Hal ini menyebabkan banyak sekali alternatif jenis fondasi yang bisa digunakan untuk jenis tanah ini. Permasalahan yang biasa 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 pelat dan pelat dengan tiang pada tanah pasir.
2. pengaruh tebal pelat, panjang tiang dan jarak tiang terhadap lendutan

3. pengaruh ikatan antara pelat dan ujung tiang terhadap lendutan.
4. Pengaruh pelat rapat dengan tanah dan *free standing* terhadap lendutan
5. Perilaku tiang dengan perbesaran ujung akibat pembebanan.
6. Membandingkan lendutan hasil pengamatan dengan lendutan hitungan metode *Beam on Elastic Foundation*, *Plate on Elastic Foundation* dan *Metode Elemen Hingga*
7. Membandingkan lendutan pelat pada media tanah pasir dengan tanah lempung

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 di sekeliling 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 tak terhingga (*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 fleksiglas).

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 43,17%. Gaya lintang hasil

pengamatan maupun hitungan menunjukkan nilai yang sama pada pusat beban baik untuk kondisi *finite* maupun *infinite*.

Sumiyanto (2002) meneliti perilaku pelat fleksibel yang didukung oleh tiang-tiang pada tanah lempung. Hasil penelitiannya menunjukkan pemasangan 4 tiang $L=8d$ pada pelat 40cm x 10cm dapat meningkatkan kapasitas dukung pelat 19%-112% dan dapat mereduksi lendutan pelat 41%-75%. Penyimpangan lendutan hasil hitungan BoEF terhadap pengamatan pada pelat 40cm x 10cm dengan 4 tiang $L=20cm$ adalah sekitar -15% sampai 13,4%. Hitungan lendutan pelat 40cm x 40cm dengan 16 tiang $L=20cm$ mempunyai kesalahan terhadap pengamatan sebesar -14,8% sampai 0% (BoEF), -34,5% sampai 13,3% (PoEF) dan -3,0% sampai 34,0% (FEM).

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),
- d : diameter tiang (m),
- 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)

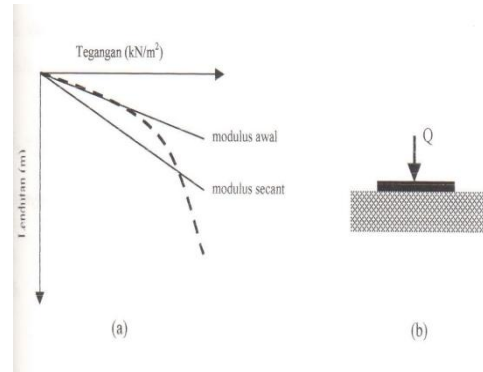
Koefisien Reaksi Subgrade

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)



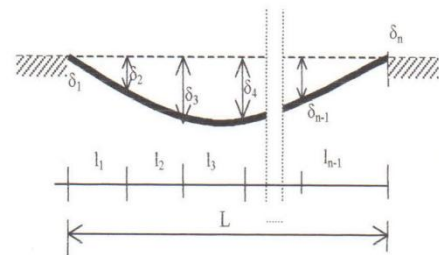
GAMBAR 1. (a) Tipikal hubungan tegangan dan lendutan uji beban pelat pada tanah, (b) Uji beban pelat

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 l_1, l_2, \dots, l_{n-1} . Lendutan rata-rata pelat ditentukan dengan Persamaan 6.

$$\delta_a = \frac{1}{2L} \{ l_1(\delta_1 + \delta_{i+1}) + l_{i+1}(\delta_{i+1} + \delta_{i+2}) + \dots + l_{n-1}(\delta_{n-1} + \delta_n) \} \quad (6)$$

dengan,

- L : panjang pelat yang menyentuh tanah (m),
- l_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 Poulus 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,

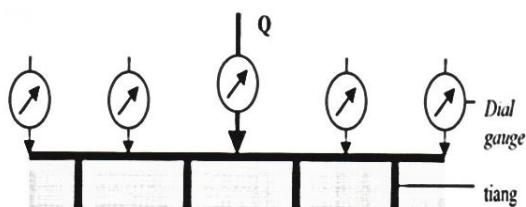
n_h : variasi koefisien reaksi *subgrade* (kN/m^3),

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 (Gambar 3).



GAMBAR 3. Model fondasi tiang dengan pelat fleksibel

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan :

1. Tanah Pasir

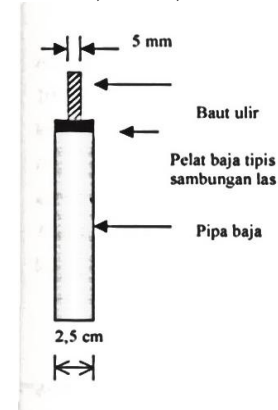
Tanah pasir yang dipakai sebagai media penelitian diambil dari pantai Parangkusumo, Bantul, Yogyakarta.

2. Plexyglass

Model yang digunakan sebagai pelat fondasi dari bahan *Plexyglass* dengan tebal 0,5 cm.

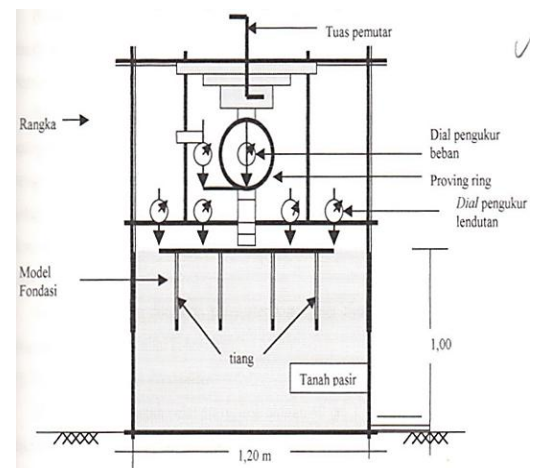
3. Pipa Baja

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.



GAMBAR 4. Model tiang

4. Kotak uji dengan ukuran 1,2m x 1,2m x 1,2 m (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)

6. Alat pengukur lendutan menggunakan *dial gauge* kapasitas 20 mm dengan ketelitian 0.1 mm

7. Alat uji karakteristik tanah (kadar air, berat jenis, gradasi butiran, berat volume, kepadatan dan kuat geser).

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 mengingat pasir pantai termasuk kategori pasir bersih atau sedikit kandungan butiran halus.

3. Pemeriksaan kepadatan tanah

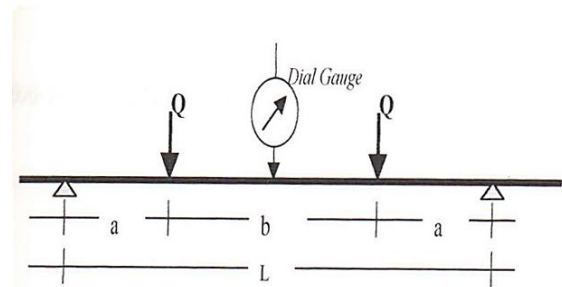
Kepadatan tanah pasir di dalam kotak uji diusahakan tetap sehingga perilaku setiap pengujian lebih mudah dibandingkan. Pemeriksaan kepadatan ini dilakukan dengan menanam tiga buah tabung di bawah dan di sekeliling fondasi. Selain itu untuk mendapatkan kepadatan relatif (D_r) dilakukan uji kepadatan maksimum 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 Modulus Elastis *Plexiglass*

Digunakan pelat plexyglass ukuran 40cm x 10cm yang ditumpu di kedua ujung dan dibebani dengan 2 beban terpusat masing-masing berjarak a terhadap tumpuan (Gambar 6) kemudian diukur besar defleksi yang terjadi.



GAMBAR 6. Skema pengujian modulus elastisitas plexyglass

Perhitungan modulus elastisitas pelat uji dilakukan menggunakan Persamaan 9.

$$E = \frac{Q \cdot a}{24 \delta_c I} (8a^2 + 12ab + 3b^2) \quad (9)$$

dengan,

E : modulus elastisitas plexyglass (kN/m^2)

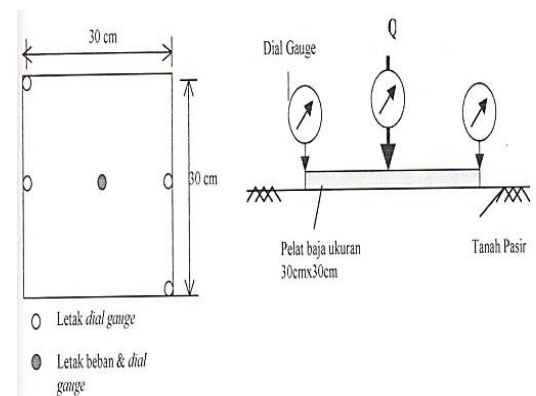
Q : beban (kN)

a : jarak dari pelat ke beban (m),

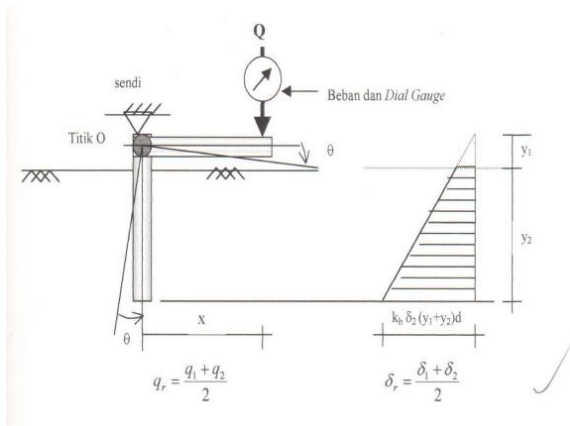
δ_c : lendutan di tengah bentang (m)

6. Uji k_v Plate Load Test dan k_h

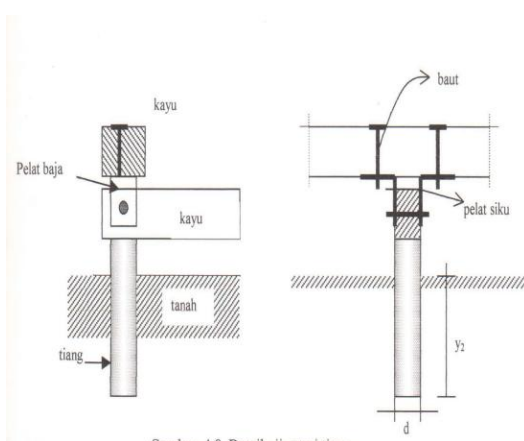
Pengujian sesuai standar ASTM D1196-64. Untuk memperoleh nilai koefisien *subgrade* vertikal tanah dilakukan dengan menerapkan beban pada pelat baja berukuran 1 ft x 1 ft, kemudian diukur besar lendutan yang terjadi seperti terlihat pada Gambar 7. Sedangkan pengujian nilai k_h dilakukan seperti terlihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



GAMBAR 7. Letak dial gauge dan beban skema uji beban pelat



GAMBAR 8. Skema pengujian rotasi tiang



GAMBAR 9. Detail uji rotasi tiang

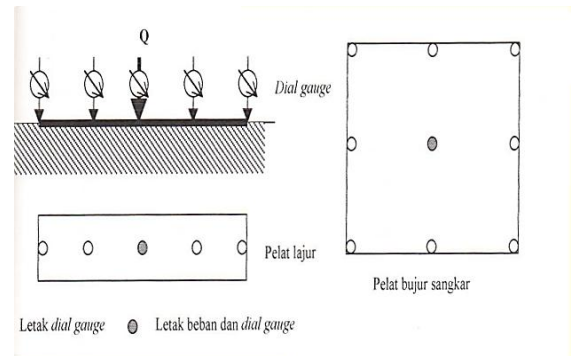
Pembuatan Model

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>)

Skema pengujian pelat fleksibel seperti pada Gambar 10.



GAMBAR 10. Skema uji lendutan pelat

Selanjutnya model dibuat beberapa variasi seperti terlihat pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 7.

TABEL 2. Pengujian pelat tanpa tiang

No	Pelat		
	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (mm)
1	20	20	5
2	20	20	10
3	20	20	15
4	40	10	5
5	40	10	10
6	40	10	15
7	80	10	5
8	80	10	10
9	80	10	15

TABEL 3. Pengujian pelat ukuran 40 cm x 10 cm

No	Pelat			Tiang		
	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (mm)	Panjang (cm)	Jarak (cm)	Jumlah
1	40	10	5	10	10	4
2	40	10	10	10	10	4
3	40	10	15	10	10	4
4	40	10	5	20	5	8
5	40	10	10	20	5	8
6	40	10	15	20	5	8
7	40	10	5	20	10	4
8	40	10	10	20	10	4
9	40	10	15	20	10	4

TABEL 4. Pengujian pelat 80 cm x 10 cm

No	Pelat			Tiang		Jumlah
	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (mm)	Panjang (cm)	Jarak (cm)	
1	80	10	5	10	10	8
2	80	10	10	10	10	8
3	80	10	15	10	10	8
4	80	10	5	20	5	16
5	80	10	10	20	5	16
6	80	10	15	20	5	16
7	80	10	5	20	10	8
8	80	10	10	20	10	8
9	80	10	15	20	10	8

TABEL 5. Pengujian pelat ukuran 20 cm x 20 cm

No	Pelat			Tiang		Jumlah
	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (mm)	Panjang (cm)	Jarak (cm)	
1	20	20	5	20	5	9
2	20	20	10	20	5	9
3	20	20	15	20	5	9
4	20	20	5	20	10	4
5	20	20	10	20	10	4
6	20	20	15	20	10	4
7	20	20	5	40	10	4
8	20	20	10	40	10	4
9	20	20	15	40	10	4

TABEL 6. Pengujian *free standing*

No	Pelat			Tiang		Jumlah
	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (mm)	Panjang (cm)	Jarak (cm)	
1	40	10	5	20	10	4
2	40	10	10	20	10	4
3	40	10	15	20	10	4

TABEL 7. Pengujian tiang ujung bebas

No	Pelat			Tiang		Jumlah
	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (mm)	Panjang (cm)	Jarak (cm)	
1	80	10	5	20	10	4
2	80	10	10	20	10	4
3	80	10	15	20	10	4
4	40	10	5	20	10	4
5	40	10	10	20	10	4
6	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

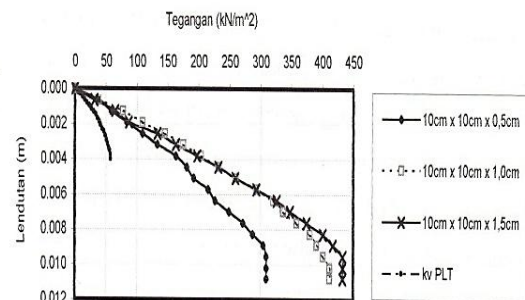
Hasil analisis gradasi butiran menunjukkan persentase pasir sebesar 99,68%, persentase lanau dan lempung sebesar 0,32 %. Koefisien keseragaman (*Coefficient of Uniformity*) sebesar 2,33 dan koefisien

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) $1,89 \text{ gr/cm}^3$ dan berat volume minimum 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 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 8.

Perbandingan Koefisien Reaksi Subgrade Vertikal

Koefisien reaksi *subgrade* merupakan kemiringan bagian yang linier dari kurva awal tegangan dengan lendutan (modulus tangen), namun sering juga dipakai nilai k_v modulus sekan. Nilai k_v dapat diperoleh dengan bermacam-macam cara, cara standard yang banyak digunakan dari pengujian PLT. Nilai k_v merupakan suatu nilai yang tidak tentu untuk suatu tanah, besarnya dipengaruhi oleh ukuran fondasi, pelapisan tanah, tebal lapisan, dan kekakuan pelat. Sehingga bila ukuran pelat yang digunakan untuk pengujian k_v berbeda dengan ukuran pelat fondasi, maka harus ada koreksi ukuran dan bentuk, begitu pula bila bahan pelat (kekakuan pelat) yang digunakan berbeda, harus ada koreksi faktor kekakuan pelat. Gambar 11 berikut ini adalah perbandingan nilai k_v dari pengujian PLT dengan menggunakan pelat baja ukuran 1 ft x 1 ft (30 cm x 30 cm) dengan pelat *plexyglass* berukuran 10 cm x 10 cm dengan variasi tebal 0,5 cm x 1,0 cm x 1,5 cm.



GAMBAR 11. Perbandingan nilai k_v dari pengujian PLT dengan pengujian pelat *plexyglass* ukuran 10 cm x 10 cm

TABEL 8. Hasil uji koefisien reaksi tanah horisontal (k_h)

No. Pengujian	Panjang tiang (cm)	Koefisien reaksi tanah horisontal (k_h) (kN/m^3)	K_h rata-rata (kN/m^3)	K_0 rata-rata (kN/m^3)
1	10	64102,56		
2	10	54939,09	52484,49	0,43
3	10	38411,90		
4	20	21895,60		
5	20	20776,50	20931,72	1,40
6	20	20123,10		

Dari Gambar 11 terlihat bahwa nilai k_v PLT lebih kecil dari pelat 10 cm x 10 cm atau lendutan yang terjadi pada pelat PLT lebih besar dari pada pelat 10 cm x 10 cm pada tegangan yang sama. Hal ini disebabkan karena semakin luas permukaan bidang kontak antara tanah dan pelat, beban didukung oleh luasan yang semakin besar sehingga lendutan yang terjadi semakin kecil. Sedangkan pada pelat dengan ukuran yang sama dan ketebalan yang berbeda, penambahan ketebalan pelat atau peningkatan kekakuan pelat akan mengurangi lendutan karena beban yang disebarkan lebih merata.

Kapasitas dukung fondasi

Kapasitas dukung fondasi tiang dengan pelat fleksibel rapat dengan tanah akan ditentukan oleh kemampuan dukung pelat, tiang dan tanah di bawahnya. Namun demikian perencanaan kapasitas fondasi tiang berdasarkan bahan (pelat, tiang) bisa disesuaikan dengan kondisi pembebanan, sehingga kapasitas dukung ultimitnya lebih banyak dipengaruhi oleh kapasitas dukung tanahnya.

Penentuan kapasitas dukung ultimit berdasarkan kuat dukung tanah diambil apabila lendutan yang terjadi tidak lagi sebanding dengan penambahan bebannya. Namun dari hasil penelitian ini kapasitas dukung tersebut sulit ditentukan mengingat kurva pembebanan dan lendutan masih relatif linier sampai pembebanan dihentikan karena pelat (*plexyglass*) pecah. Pada kondisi tersebut tanah masih dalam kondisi elastis sampai kondisi deformasi plastis sehingga kuat geser tanah masih mampu menahan beban yang terjadi.

Dari hasil penelitian ini secara umum diperlihatkan kapasitas dukung fondasi meningkat dengan penambahan nilai k_v akibat bertambahnya kekakuan sistem fondasi. Hal tersebut ditunjukkan dengan berkurangnya lendutan pada pelat yang semakin tebal dan jarak tiang yang lebih rapat.

Pengaruh ketebalan pelat terhadap lendutan

Pengaruh ketebalan pelat tanpa tiang dan pelat dengan tiang terhadap lendutan seperti terlihat pada Tabel 9 dan Tabel 10. Tabel 9 berikut ini menunjukkan besarnya lendutan pelat tanpa tiang akibat pengaruh tebal pelat pada pembebanan $Q = 1,2$ kN. Dengan peningkatan tebal pelat dari 0,5 cm ke tebal 1,0 cm dapat mereduksi lendutan rata-rata 33,49%.

Peningkatan tebal pelat dari 0,5 cm ke tebal 1,5 cm mereduksi lendutan 44,33%.

TABEL 9. Pengaruh tebal pelat tanpa tiang terhadap lendutan

No	Ukuran pelat (cm)	Lendutan (mm)	Reduksi lendutan pelat terhadap pelat $t = 0,5$ cm (%)
1	40 x 10 x 1,5	2,89	-
2	40 x 10 x 1,0	2,06	28,72
3	40 x 10 x 1,5	1,85	35,98
4	80 x 10 x 0,5	10,85	-
5	80 x 10 x 1,0	6,99	35,58
6	80 x 10 x 1,5	6,35	41,47
7	20 x 20 x 0,5	3,00	-
8	20 x 20 x 1,0	1,91	36,37
9	20 x 20 x 1,5	1,5	50,00

Pada pelat dengan tiang $L=20$ cm, $s=4d$, besar lendutan seperti ditunjukkan pada tabel 10. Dengan peningkatan tebal pelat dari 0,5 cm ke tebal 1,0 cm dapat mereduksi lendutan rata-rata 17,16%. Peningkatan tebal pelat dari 0,5 cm ke tebal pelat 1,5 cm mereduksi lendutan 36,07%.

TABEL 10. Pengaruh tebal pelat dengan tiang $L=20$ cm (8d), $s=10$ cm (4d) 10 cm terhadap lendutan

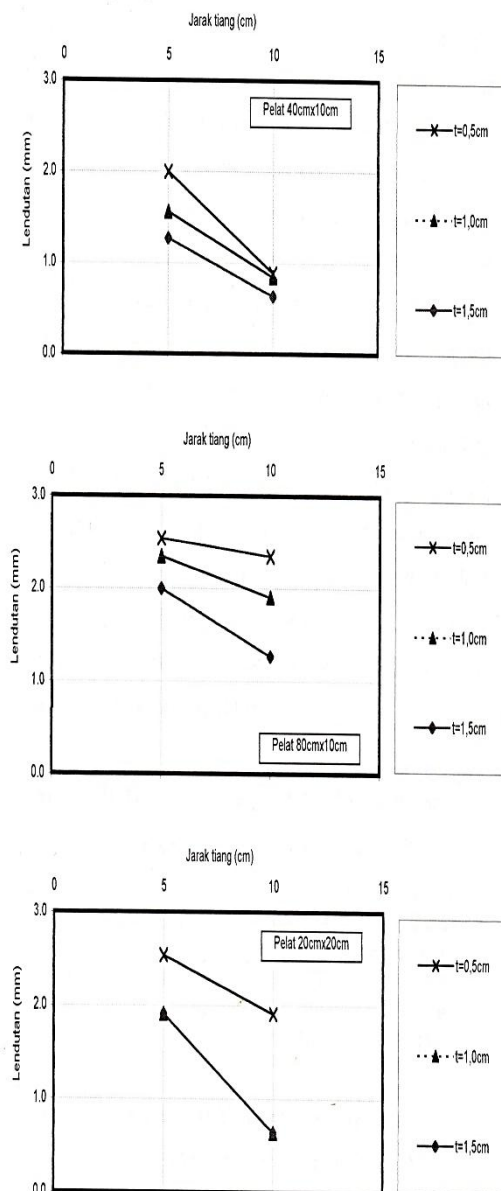
No	Ukuran pelat (cm)	Lendutan (mm)	Reduksi (%) lendutan pelat terhadap pelat $t = 0,5$ cm
1	40 x 10 x 1,5	2,00	-
2	40 x 10 x 1,0	1,56	22,00
3	40 x 10 x 1,5	1,27	36,50
4	80 x 10 x 0,5	2,54	-
5	80 x 10 x 1,0	2,35	7,48
6	80 x 10 x 1,5	2,00	21,26
7	20 x 20 x 0,5	2,00	-
8	20 x 20 x 1,0	1,56	22,00
9	20 x 20 x 1,5	1,27	36,50

Secara umum dapat digambarkan bahwa penambahan ketebalan pelat akan mereduksi lendutan yang terjadi, hal ini disebabkan kekakuan pelat bertambah sehingga beban yang bekerja akan didistribusikan secara merata. Tetapi penambahan ketebalan pada pelat yang diperkuat tiang-tiang, reduksi lendutan tidak sebesar yang terjadi pada penambahan ketebalan pada pelat saja.

Untuk mereduksi lendutan dapat ditempuh dua cara yaitu dengan memperkaku pelat atau memperbaiki tanah dasar (meningkatkan k_v). Peningkatan nilai k_v tanah pada pelat dengan tiang akan lebih dominan dalam mereduksi lendutan dari pada pengaruh penambahan ketebalan pelat.

Pengaruh Jarak Antar Tiang

Dari hasil penelitian ini didapatkan kontribusi reduksi lendutan tiang yang cukup signifikan dari jarak tiang 10 cm menjadi 5 cm. Reduksi lendutan untuk pelat 40 cm x 10 cm rata-rata 50,20%, pelat 80 cm x 10 cm rata-rata 20,90% dan pelat 20 cm x 20 cm sampai 52,59%. Hal tersebut bisa dipahami mengingat dengan berkurangnya jarak tiang atau dengan bertambahnya tiang maka modulus reaksi subgrade tanah bertambah selain juga kekakuan sistem fondasi juga meningkat. Perbandingan lendutan di bawah beban pengaruh jarak tiang dapat dilihat pada Gambar 12 dan pada Tabel 11.



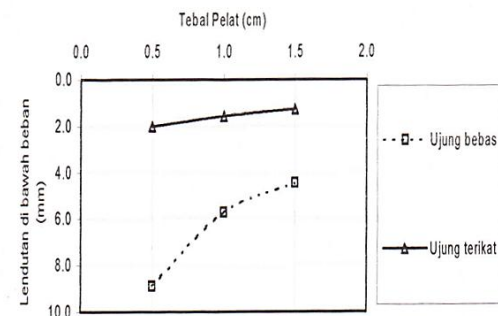
GAMBAR 12. Pengaruh jarak tiang terhadap lendutan di bawah beban $Q = 1,2$ kN

TABEL 11. Perbandingan jarak tiang terhadap lendutan pelat di bawah beban $Q = 1,2$ kN

No	Ukuran pelat (cm)	L=20cm s=10cm (mm)	L=20cm s=5cm (mm)	Reduksi lendutan (%)
1	40 x 10 x 1,5	2,00	0,89	55,50
2	40 x 10 x 1,0	1,56	0,85	45,51
3	40 x 10 x 1,5	1,27	0,64	49,61
4	80 x 10 x 0,5	2,54	2,35	7,48
5	80 x 10 x 1,0	2,35	1,91	18,72
6	80 x 10 x 1,5	2,00	1,27	36,50
7	20 x 20 x 0,5	2,54	1,91	24,80
8	20 x 20 x 1,0	1,91	0,64	66,49
9	20 x 20 x 1,5	1,91	0,64	66,49

Pengaruh Ikatan Tiang pada Pelat

Peninjauan ikatan tiang dilakukan untuk mengetahui kontribusi momen perlawanan tiang terhadap lendutan, pada hubungan antara pelat dan tiang terikat, rotasi yang terjadi pada pelat diharapkan akan menyebabkan tiang berotasi (dengan besar yang sama dengan rotasi pelat), sehingga akan terjadi tekanan tanah lateral di belakang tiang akan menghasilkan momen perlawanan tiang yang akan mereduksi lendutan.



GAMBAR 13. Pengaruh ikatan tiang terhadap lendutan pelat 40 cm x 10 cm

Pengaruh ikatan tiang dengan pelat sangat besar sekali terhadap lendutan yang terjadi seperti terlihat pada Gambar 13. Pada pelat 40 cm x 10 cm dengan ujung tiang terikat mampu mengurangi lendutan lebih dari 70% terhadap pelat ujung bebas.

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. Lendutan semakin berkurang pada pelat yang semakin tebal, tiang yang semakin panjang dan jarak yang semakin rapat.
 4. Peningkatan reduksi lendutan cukup besar terjadi pada pelat dengan tiang $L=20$ cm (8d) dibandingkan dengan pemasangan tiang $L=10$ cm. Pada pelat 40 cm x 10 cm ($L=10$ cm) reduksi lendutan hanya $0,7\%$ sampai $5,94\%$ sedang pada pelat yang sama ($L=20$ cm) reduksi lendutan mencapai $24,27\%$ sampai $31,35\%$.
 5. Ujung tiang yang terikat memberikan kontribusi reduksi lendutan yang besar hingga mencapai $77,50\%$.
 6. Reduksi lendutan sebesar $83,63\%$ terjadi pada pelat 240 cm x 10 cm 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 Analisis and Design*, New York: John Wiley & Son.
- Pujiastuti, H. (2001). *Uji Beban Pelat Fleksibel Pada Tanah Lempung yang diperkuat dengan Pemasangan Tiang-Tiang*, Naskah Seminar Tesis Pascasarjana UGM, Yogyakarta

PENULIS:

Edi Hartono✉

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul 55183.

✉Email:edihartok@yahoo.com