

Studi Karakteristik Fondasi Pelat Tipis Dengan Pengaku Tiang “+” Pada Tanah Granuler Melalui Uji Eksperimen Dan Analisis Pemodelan Menggunakan Software *Abaqus*

¹Firman Syarif, ²Agus Darmawan Adi, ³Ashar Saputra

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Riau

^{2,3}Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada

Abstract

The amount of damage that happened in Indonesian road is the impact of high traffic load exceeds the carrying capacity of the pavement. To reduce the problems that occur on the pavement the good systems of pavement are built, various studies conducted to produce a creative innovation in order to evaluate and improve the performance of the pavement system. this study has developed a new system of foundation with pile "+" to make the connection between plate and minipile (joint) becomes better.

In this study, three models of foundation will be tested by loading test (following ASTM D 114 381 and ASTM D 3689 Pile Under static axial compressive load) to observe and analyze the behavior of the foundation model by loading centric and eccentric. In addition to laboratory tests this research also modeling analysis with Abaqus software to observe and analyze the behavior of the foundation model in terms of deformation and settlement.

The results showed the distances between pile and pile provides a significant contribution in reducing the settlement in the foundation when given a maximum load of 20 kN, where is the foundation 1 had short distance between the other foundation the deformation and settlement is the smallest. The length of pile also give significant contribution to reduce the settlement like in foundation 3 that have 20 cm length of the pile have settlement and deformation smaller than the foundation 2 that have 10 cm length of the pile.

Keywords: nailed slab system, centric and eccentric loading, Abaqus software

1. PENDAHULUAN

Kerusakan perkerasan jalan di Indonesia pada umumnya akibat besarnya beban lalu lintas yang melebihi kapasitas dari daya dukung sistem perkerasan yang dibangun. Untuk mengurangi permasalahan kerusakan perkerasan yang terjadi pada sistem perkerasan yang dibangun, berbagai penelitian dilakukan untuk menghasilkan suatu inovasi yang kreatif demi mengevaluasi dan memperbaiki kinerja dari sistem perkerasan ini. Prof. Sedyatmo pada tahun 1961 mengusulkan suatu metode untuk mengatasi permasalahan ini yaitu menggunakan fondasi cakar ayam

Pada pelaksanaannya pembangunan fondasi cakar ayam memerlukan waktu relatif lebih lama dan dikarenakan adanya penggunaan buis-buis beton mengakibatkan perkerjaan menjadi susah karena buis-buis beton yang cenderung berat, oleh karena itu

diusulkan suatu sistem fondasi yang mana buis-buis beton (cakar) pada fondasi cakar ayam diganti dengantiang kecil (*mini pile*) sebagai pengganti buis-buis beton pada fondasi cakar ayam, metode ini dinamakan Sitem Pelat Terpaku. Pada Sistem Pelat Terpaku interaksi antara pelat beton, tiang dan tanah di sekitarnya dapat menciptakan suatu perkerasan yang lebih kaku serta lebih tahan terhadap deformasitanah dasar. Pada pelaksanaanya di lapangan Sistem Pelat Terpaku dapat mengurangi waktu pengerjaan dan pengerjaan fondasi untuk suatu sistem perkerasan lebih mudah dilaksanakan daripada menggunakan buis-buis beton. Sistem pelat terpaku ini masih perlu di evaluasi dikarenakan rendahnya kekuatan antara pelat dan *mini pile* sehingga mengakibatkan jointnya menjadi rusak dan membentuk sendi. Pada penelitian ini dikembangkanlah suatu sistem fondasi dengan tiang berbentuk “+” yang dapat membuat hubungan antara pelat dan *minipile (joint)* menjadi lebih baik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Perkerasan Jalan Di Indonesia

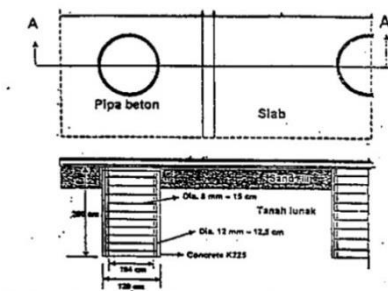
Konstruksi perkerasan di Indonesia menurut Alizar (2012) dikelompokkan menurut bahan pengikatnya yaitu:

1. Konstruksi perkerasan lentur (*fleksible pavement*)
2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*).
3. Konstruksi perkerasan komposit.

2.2 Perkembangan Sistem Fondasi yang Digunakan pada Sistem Perkerasan Jalan di Indonesia

2.2.1 Fondasi Cakar Ayam Prof Sedyatmo

Fondasi Cakar Ayam ditemukan oleh Prof. Sedyatmo pada tahun 1961. Secara umum perkerasan Cakar Ayam, terdiri dari pelat tipis beton bertulang tebal 10 - 17 cm yang diperkaku dengan pipa-pipa beton (cakar) berdiameter 120 cm, tebal 8 cm, dan panjang pipa 150 - 200 cm, yang tertanam pada lapisan *subgrade*, dengan jarak pipa-pipa berkisar 2,0 - 2,50 m. Di bawah pelat beton, terdapat lapisan lantai kerja tebal ± 30 cm yang berfungsi, terutama sebagai perkerasan sementara selama masa pelaksanaan dan agar permukaan tanah dasar dapat rata sehingga pelat beton Cakar Ayam dapat dibuat di atasnya (Hardiyatmo 2006) seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Tipikal Cakar Ayam Konvensional (Hardiyatmo 2006).

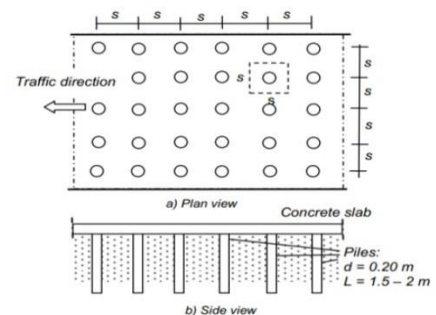
2.2.2 Sistem Cakar Ayam Modifikasi

Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) merupakan pengembangan lebih lanjut dari Sistem Cakar Ayam Prof. Sedyatmo. Pengembangan yang telah dilakukan didasarkan pada evaluasi hasil-hasil penelitian yang dilakukan secara intensif sejak tahun 1990 oleh tim pengembangan Sistem Cakar Ayam Modifikasi. Pengembangan yang dilakukan mencangkup perubahan bahan cakar yang semula dibuat dari bahan pipa beton digantikan dengan pipa baja yang sangat ringan (berat sekitar 35 kg). Pipa baja ini harus digalvanisir dan dilapisi dengan bahan

pelindung anti karat. Bahan cakar yang lebih ringan mempermudah dan mempercepat pelaksanaan aplikasi sistem CAM pada perkerasan jalan yang tanahnya dasarnya berupa tanah (Hardiyatmo dan Suhendro, 2003)

2.2.3 Sistem Pelat Terpaku

Menurut Hardiyatmo (2011) Sistem pelat terpaku (*nailed slab system*) yaitu suatu perkerasan beton bertulang (tebal antara 12-20 cm) yang didukung oleh tiang-tiang besi mini (150-200 cm) dan diameter (15-20 cm) seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Sistem pelat terpaku tersebut memberikan interaksi antara pelat beton-tiang-tanah disekitarnya menciptakan suatu perkerasan yang lebih kaku, serta lebih tahan terhadap deformasi tanah dasar. Fungsi tiang adalah untuk menaikkan daya dukung tanah dasar, menjaga agar pelat beton tetap dalam kontak yang baik dengan tanah dasar, menjaga kekuatan jangka panjang struktur perkerasan, mengurangi kebutuhan tebal perkerasan besi dan memperkaku sistem perkerasan (Togubu, 2012)



Gambar 2 Sistem Pelat Terpaku (Hardiyatmo, 2011).

2.3 Perilaku Pembebanan Terhadap Deformasi dan Settlement Pada Sistem Pelat Terpaku

Soemantri (2013) melakukan penelitian tentang kajian lendutan sistem pelat terpaku pada tanah pasir. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pelat dengan ukuran 400 mm x 100 mm memiliki jumlah tiang 4 buah dan pelat ukuran 800 mm x 100 mm memiliki tiang berjumlah 8 buah. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa untuk pelat ukuran 400 mm x 100 mm dapat mereduksi lendutan sampai 93.10% untuk beban terpusat dan 89.28% untuk beban tepi. Untuk ukuran fondasi 800 mm x 100 mm dapat mereduksi lendutan sampai 95.37% untuk beban terpusat dan 72% untuk beban tepi.

3 LANDASAN TEORI

3.1 Kerapatan Relatif Tanah Pasir

Kuat geser dan kompresibilitas tanah pasir tergantung kepada butiran yang dinyatakan dalam kerapatan

relatif (D_r). Nilai kerapatan relatif (D_r) ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Penggolongan pasir berdasarkan kerapatan relatifnya dalam Das (1994).

Kerapatan relatif D_r (100 %)	Deskripsi
0 – 20	Sangat tidak padat
20 – 40	Tidak padat
40 – 60	Agak padat
60 – 80	Padat
80 – 100	Sangat padat

3.2 Modulus Reaksi Tanah Dasar

Nilai modulus reaksi *subgrade* (k) merupakan rasio antara tekanan (q) pada suatu pelat kaku dan lendutan (δ), yaitu:

$$k = q/\delta \tag{1}$$

Nilai tipikal koefisien reaksi *subgrade* pada setiap jenis tanah menurut Bowles di tampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Nilai-nilai tipikal koefisien reaksi *subgrade* menurut Bowles (1977).

Jenis Tanah	koefisien reaksi <i>subgrade</i> (k_v)	
	k_v (kcf)	k_v (kN/m ³)
Pasir lepas	30 – 100	4800 – 16000
Pasir padat sedang	60 – 500	9600 – 80000
Pasir padat	400 – 800	64000 – 128000
Pasir padat sedang berlumpur	200 – 500	32000 – 80000
Pasir padat sedang berlanau	600 – 800	24000 – 48000
Tanah lempung		
$q_u \leq 200$ kPa (4 kcf)	75 – 150	12000 – 24000
$200 \leq q_u \leq 400$ kPa	150 – 300	24000 – 48000
$q_u > 800$ kPa	>300	>48000

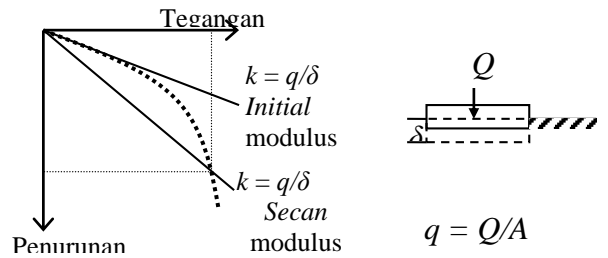
3.3. Penurunan (*settlement*)

Penurunan (*settlement*) fondasi yang terletak pada tanah umumnya dibagi menjadi 3 komponen yaitu, penurunan konsolidasi primer, penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi sekunder. Pada tanah pasir umumnya penurunan yang terjadi adalah penurunan segera. Penurunan total, berlangsung dan selesai pada waktu segera setelah beban diterapkan. Lebar fondasi merupakan hal yang mempengaruhi besarnya penurunan. Pada beban per

satuan luas yang sama, tanah dibawah fondasi akan mendukung tekanan lebih besar bila lebar fondasi (B) bertambah.

3.5 Lendutan

Pendekatan perilaku tanah sebagai bahan elastis yaitu dengan mengasumsikan bahwa hubungan antara lendutan dan tegangan adalah linier, seperti ditunjukkan pada Gambar 3 Perilaku ini akan mendekati benar jika tekanan yang terjadi masih dalam zona elastis.



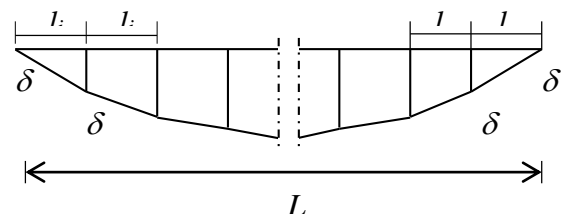
Gambar 3 Hubungan tegangan dan lendutan untuk mendapatkan nilai k (Hardiyatmo 1999).

Untuk suatu pelat yang relatif tipis sehingga berperilaku sebagai pelat fleksibel, Hardiyatmo (1999) mengusulkan metode yaitu dengan membandingkan tegangan rata-rata dan lendutan pelat rata-rata (δ_a) pada uji beban pelat fleksibel. (Gambar 4) persamaan yang digunakan yaitu:

$$\delta_a = \frac{1}{2L} \{ l_i (\delta_i + \delta_{i+1}) + l_{i+1} (\delta_{i+1} + \delta_{i+2}) + \dots + l_{n-1} (\delta_{n-1} + \delta_n) \} \tag{2}$$

dengan:

- Q = beban titik (kN),
- A_c = luas bidang kontak antara plat dan tanah dibawahnya (m²),
- δ_a = lendutan pelat rata-rata (m),
- $\delta_i, \delta_{i+1}, \delta_n$ = penurunan pada titik ke- i (m),
- i = nomor titik pengukuran i sampai n dengan $\delta_i = \delta_n = 0$,
- l_i = jarak masing-masing titik (m),
- L = panjang plat yang menyentuh tanah (m).



Gambar 4 Penentuan lendutan rata-rata (δ_a) pada pelat fleksibel

3.6 Program Abaqus

Abaqus merupakan program simulasi teknik yang berdasarkan metode elemen hingga yang bisa menyelesaikan permodelan baik linear maupun non linear. Secara umum fungsi dari *software Abaqus* menyelesaikan problem pemodelan dengan respon statik, dinamik, thermal, listrik dan elektromagnetik. Dalam program *Abaqus* ada 3 langkah umum yang harus dilakukan untuk simulasi dari suatu model yaitu input berupa model baik 2 dimensi atau 3 dimensi proses analisis atau simulasi sesuai dengan problem yang akan disimulasikan serta output berupa gambar simulasi berupa contour yang berbeda warna yang menjelaskan kondisi dari modelnya, animasi dan grafik plot x dan y dari model tersebut.

4 METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Jenis tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah pasir yang berasal dari Pantai Parangtritis, Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dalam kondisi terganggu.

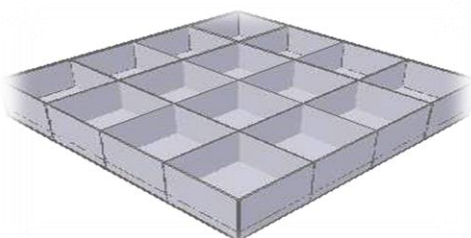
4.2 Bahan dan Alat Penelitian

4.2.1 Model Fondasi

Fondasi yang akan di uji berbentuk persegi dengan ukuran 60 x 60 cm dan tebalnya ± 2 mm. Dalam penelitian ini digunakan tiga model fondasi yang berbeda.

a. fondasi 1

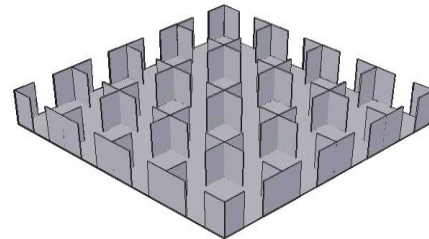
Fondasi ini berbentuk persegi dengan ukuran 60 cm x 60 cm dengan tebal ± 2 mm dan tinggi 10 cm yang memiliki rongga dan terkait satu sama lainnya seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Model fondasi 1 yang digunakan dalam penelitian

b. Fondasi 2

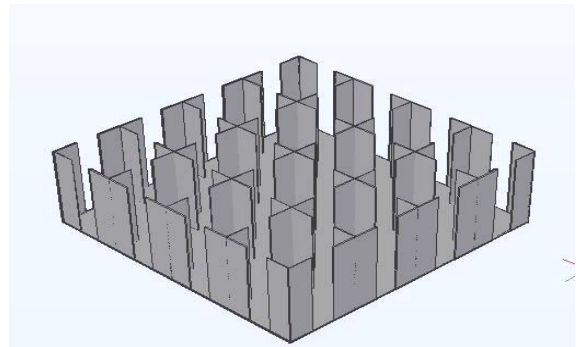
Fondasi ini berbentuk persegi dengan ukuran 60 cm x 60 cm dengan tebal ± 2 mm dan tinggi 10 cm hampir mirip dengan fondasi 1 namun memiliki rongga seperti kipas (tiang “+”) dan tidak saling terkait satu sama lainnya seperti terlihat pada Gambar 6



Gambar 6 Model fondasi 2 yang digunakan dalam penelitian

c. Fondasi 3

Fondasi ini berbentuk persegi dengan ukuran 60 cm x 60 cm dengan tebal ± 2 mm dan tinggi 20 cm namun memiliki rongga seperti kipas dan tidak saling terkait satu sama lainnya seperti terlihat pada Gambar 7



Gambar 7 Model fondasi 3 yang digunakan dalam penelitian

4.2.2 Alat – Alat Penelitian

a. Alat-alat uji karakteristik tanah

Alat yang digunakan dalam uji karakteristik tanah yaitu, alat uji kadar air, alat uji kadar air, alat uji berat jenis dan alat uji *grain size*.

b. Alat uji pengamatan lendutan pelat besi pada tanah lempung dan tanah pasir yang terdiri dari:

1. *Waterpass*, digunakan untuk mengukur kerataan permukaan tanah.
2. *Box uji*
Box uji tiga dimensi ini berukuran $1,2 \times 1,2 \times 1,2$ m³, digunakan sebagai wadah atau tempat untuk uji pembebanan pelat tipis dengan pengaku.

3. *Dial gauge*, digunakan untuk mengukur lendutan pelat pada saat pembebanan. Pada percobaan ini menggunakan *dial gauge* dengan ketelitian 0,01 mm.
4. Dongkrak *CBR* lapangan yang dimodifikasi agar dapat digunakan untuk mengaplikasikan gaya tekan yang terjadi pada model telapak beban.
5. *Proving ring*, dengan kapasitas 50 kN digunakan untuk pembacaan gaya yang terjadi pada setiap pembebanan pada telapak beban dalam kotak uji.
6. Alat getar atau *Stamper*.

4.1 Tahapan Penelitian

4.1.1 Tahap Persiapan

Tahapan persiapan merupakan langkah awal dalam penelitian ini. Dimana segala hal yang digunakan (alat dan bahan) harus telah dipersiapkan sebelum pengujian dilakukan.

4.1.2 Tahap Pengujian Pendahuluan

a. Uji sifat-sifat fisik tanah

Pengujian sifat-sifat fisik tanah atau *index properties* tanah, meliputi uji kadar air (ASTM D 2216-98), uji *specific gravity* (ASTM D 854-02), gradasi butiran (ASTM D 1140-00) dan (ASTM D 422-60).

b. Uji sifat-sifat mekanis tanah

Uji sifat-sifat mekanis tanah dilakukan dengan uji pemadatan tanah (ASTM D 698-00a) dan uji geser langsung (ASTM D 3080-98)

4.1.3 Pengujian Utama

a. Uji pembebanan

Uji pembebanan (mengikuti ASTM D 114381 dan ASTM D 3689 *Pile Under static axial compressive load*) dengan pembebanan sentris dan eksentris secara bertahap dengan skema *loading* dan *unloading*. Dalam penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap tiga fondasi yang berbeda.

b. Skema Pembebanan

Pada penelitian ini dilakukan pengujian secara sentris (ditengah bentang dari pelat) dan eksentris (di bagian tepi pelat). Dalam pengujian ini dilakukan sistem *loading* dan *unloading*. Skema pembebanan pada penelitian ini dijelaskan pada Gambar 8.

1. Pembebanan sentris

Pada penelitian ini dilakukan pembebanan secara *loading* dan *unloading* (*cyclic loading* in ASTM) untuk mencari deformasi dan *settlement* dari fondasi. Pembebanan dilakukan secara sentris yaitu di pusat fondasi.

2. Pembebanan Eksentris

Pada penelitian ini juga dilakukan pembebanan secara eksentris untuk mencari deformasi dan *settlement* dari fondasi. Pembebanan eksentris yang dilakukan yaitu eksentris 1 ($e_x = 0$ cm dan $e_y = 15$ cm), eksentris 2 ($e_x = 15$ cm dan $e_y = 0$ cm) eksentris 3 ($e_x = 15$ cm dan $e_y = 15$ cm) yaitu 15 cm dan 30 cm di kiri dan kanan dari titik pusat fondasi.

4.2 Tahapan pemodelan elemen hingga menggunakan software Abaqus

Software Abaqus yang digunakan dalam penelitian ini perlu melalui tiga tahapan utama dijelaskan sebagai berikut:

1. Abaqus Input

Pada tahapan ini memberikan gambaran dan data-data yang terkait dalam kasus penelitian.

2. Abaqus Analysis/Calculation

Pada tahapan ini menggambarkan proses analisis dari penelitian yang akan dilakukan. Dalam program *Abaqus* ini ada dua langkah yaitu *generating mesh* dan *jobs analysis*.

a. Generating mesh

Pada langkah ini model akan dianalisis secara elemen-elemen kecil yang biasa disebut elemen hingga. Model yang telah digambar akan di diskritisasi per elemen-elemen kecil sebelum proses analisis.

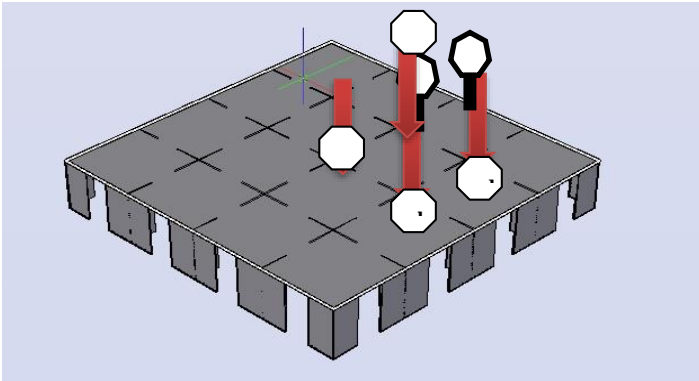
b. Jobs analysis

Pada langkah ini model siap untuk dianalisis sesuai dengan data masukan yang telah dimasukkan pada menu sebelumnya.

3. Abaqus Output

Pada tahapan ini adalah pemaparan hasil analisis dapat berupa gambar, grafik tabel atau pun angka.

Bagan alir penelitian secara umum dapat dilihat pada Gambar 9



Gambar 8 Skema pembebanan penelitian utama

- a) sentris, b) eksentris 1 ($e_x = 0$ cm dan $e_y = 15$ cm), c) eksentris 2 ($e_x = 15$ cm dan $e_y = 0$ cm) d) eksentris 3 ($e_x = 15$ cm dan $e_y = 15$ cm)

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian Pendahuluan

Hasil pengujian tanah pasir yang digunakan pada penelitian ini terlihat pada Tabel 5

Tabel 5 Rekapitulasi hasil penelitian pendahuluan

Sifat disik tanah	Simbol	Nilai	Satuan
Kadar air	W	0,24	%
Berat Volume kering	γ_b	1,879	gr/cm ³
Berat Volume basah	γ_d	1,875	gr/cm ³
Specific gravity	G_s	3,243	-
Angka pori	e	0,575	-
Angka pori maks	e_{max}	0,852	-
Angka pori min	e_{min}	0,535	-
Kerapatan reaktif	D_r	48,89	%

5.2 Hasil Pengujian Utama

5.2.1 Pembebanan Sentris

Pada penelitian ini ketiga fondasi diuji dengan pembebanan sentris dengan pembebanan (*loading*) bertahap dimulai dari 0 kN sampai beban 20 kN. Dasar diambil pembebanan hanya sampai 20 kN, dikarenakan faktor keamanan. Setelah pembebanan 20 kN dilakukan penurunan beban (*unloading*) sampai beban yang diberikan 0 kN. Pada penelitian ini pada saat pembebanan sentris fondasi 1 mengalami penurunan yang terkecil dibandingkan yang fondasi yang lainnya. Fondasi 1 mengalami penurunan 7,48 mm sedangkan fondasi 2 mengalami penurunan sebesar 12,22 mm dan fondasi 3 mengalami penurunan sebesar 10,29 mm

5.2.2 Pembebanan eksentris

Ada tiga skema pembebanan eksentris yang dilakukan dimana hasil penurunan yang terjadi hampir sama dengan pembebanan sentris. Pada pembebanan eksentris 1 ($e_x = 0$ cm dan $e_y = 15$ cm) fondasi 1 mengalami penurunan yang terkecil dibandingkan yang fondasi yang lainnya. fondasi 1 mengalami penurunan 6,96 mm sedangkan fondasi 2 mengalami penurunan sebesar 13,63 mm dan fondasi 3 mengalami penurunan sebesar 10,12 mm.

Pada pembebanan eksentris 2 ($e_x = 15$ cm dan $e_y = 0$ cm) perilaku yang terjadi sama dengan saat pembebanan eksentris 1. Fondasi 1 mengalami penurunan yang terkecil dibandingkan yang fondasi yang lainnya. Fondasi 1 mengalami penurunan 7,41 mm sedangkan fondasi 2 mengalami penurunan sebesar 15,72 mm dan fondasi 3 mengalami penurunan sebesar 9,79 mm

Pada pembebanan eksentris 3 ($e_x = 15$ cm dan $e_y = 15$ cm) perilaku yang terjadi sama dengan saat pembebanan eksentris lainnya. Fondasi 1 mengalami penurunan yang terkecil dibandingkan yang fondasi yang lainnya. Fondasi 1 mengalami penurunan 8,8 mm sedangkan fondasi 2 mengalami penurunan sebesar 16,52 mm dan fondasi 3 mengalami penurunan sebesar 10,63 mm

5.3 Perilaku Penurunan pada Ketiga Fondasi

5.3.1 Perilaku penurunan pada saat pembebanan sentris

Pada penelitian ini terlihat fondasi 1 mengalami penurunan yang terkecil dibandingkan yang fondasi yang lainnya seperti terlihat pada Gambar 10. Hal ini disebabkan karena pada fondasi 1 jarak antar tiang dianggap tidak ada karena tiang “+” pada fondasi ini saling terikat dan menyatu satu sama lainnya, hal ini membuat perlawanan gesekan menjadi besar sehingga beban yang diberikan dilawan oleh gaya gesekan tersebut seperti dijelaskan oleh Melisa (2009) pada saat pembebanan sentris semakin jauh jarak antar tiang maka lendutan yang akan terjadi semakin besar. Hal ini disebabkan karena jika jarak antar tiang di dalam kelompoknya di tambah, maka Integritas tegangan di dalam tanah dan kedalaman tanah yang tertekan juga bertambah. Pada penelitian ini juga terlihat fondasi 2 mengalami penurunan yang besar dibandingkan fondasi 3, padahal fondasi 2 dan 3 jarak antar tiang “+”nya sama. Penurunan fondasi 2 lebih besar dari fondasi 3 disebabkan Karena panjang tiang fondasi 2 lebih pendek dari pada fondasi 3 hal ini juga dijelaskan dalam Melisa (2009) bahwa penurunan atau

lendutan juga bergantung pada nilai banding antara kedalaman terhadap luasan fondasi, karena karakteristik dan luasan fondasi 2 dan 3 sama maka lendutan yang terjadi pada fondasi 2 lebih besar karena nilai banding antara kedalaman terhadap luasan fondasinya kecil.

5.3.2 Perilaku penurunan pada saat pembebanan eksentris

Pada pengujian eksentris perilaku penurunan yang terjadi terlihat hampir sama dengan pembebanan sentris seperti terlihat pada Gambar 10 dimana fondasi 1 mengalami penurunan yang terkecil dibandingkan yang fondasi yang lainnya. Hal ini disebabkan karena pada fondasi 1 jarak antar tiang dianggap tidak ada karena tiang “+” pada fondasi ini saling terikat dan menyatu satu sama lainnya hal ini membuat perlawanan gesekan menjadi besar sehingga beban yang diberikan dilawan oleh gaya gesekan tersebut seperti dijelaskan oleh Arungpadang (2009) bahwa pada saat pembebanan eksentris semakin jauh jarak antar tiang maka lendutan yang akan terjadi semakin besar sama seperti pembebanan sentris. Pada penelitian ini juga terlihat fondasi 2 mengalami penurunan yang besar dibandingkan fondasi 3, padahal fondasi 2 dan 3 jarak antar tiang “+”nya sama. Penurunan fondasi 2 lebih besar dari fondasi 3 disebabkan Karena panjang tiang fondasi 2 lebih pendek dari pada fondasi 3 hal ini juga dijelaskan dalam Arungpandang (2009) bahwa penurunan atau lendutan juga bergantung pada nilai banding antara kedalaman terhadap luasan fondasi, karena karakteristik dan luasan fondasi 2 dan 3 sama maka lendutan yang terjadi pada fondasi 2 lebih besar karena nilai banding antara kedalaman terhadap luasan fondasinya kecil. Pada saat pembebanan eksentris ini perilaku penurunan pada tepi fondasi cenderung kecil dari pada bagian tengah fondasi sama halnya dengan pembebanan sentris. Hal ini memperlihatkan bahwa distribusi penyebaran tegangan yang di hasilkan oleh proses pembebanan terpusat pada posisi dimana perletakan beban. Sedangkan bagian yang jauh dari perletakan beban tegangannya kecil.

5.4 Perilaku fondasi pada saat pembebanan (*loading*) dan saat pelepasan beban (*unloading*)

5.4.1. Perilaku fondasi pada saat pembebanan (*loading*) dan saat pelepasan beban (*unloading*) pada pembebanan sentris

Penurunan fondasi yang terjadi dan perilaku deformasi di tengah pelat, akibat dibebani (*loading*) dan

pelepasan beban (*unloading*) dari uji beban pada fondasi ditampilkan pada Gambar 11. Fondasi 1 dengan lendutan yang paling rendah saat diberikan beban (*loading*) dan pada saat pelepasan beban (*unloading*) pelat dari fondasi tersebut cenderung kembali kebentuk semula (datar) walaupun masih ada lendutannya sebesar 1 mm. Fondasi 2 yang lendutannya paling besar saat diberikan beban (*loading*) dan pada saat pelepasan beban (*unloading*) pelat masih mengalami lendutan sebesar 4 mm. Hal ini disebabkan oleh lendutan yang terjadi sudah besar sehingga kemampuan dari material pelat yaitu baja untuk kembali kebentuk semula jadi berkurang sehingga masih menyisakan bentuk yang melendut. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengecekan sifat material untuk memahami perilaku materialnya. Pada fondasi 3 pada saat pelepasan beban (*unloading*) masih terjadi lendutan sebesar 2 mm yang mana lebih kecil dari fondasi 2

5.4.2. Perilaku fondasi pada saat pembebanan (*loading*) dan saat pelepasan beban (*unloading*) pada pembebanan eksentris

Penurunan fondasi yang terjadi dan perilaku deformasi di tengah pelat, akibat dibebani (*loading*) dan pelepasan beban (*unloading*) dari uji beban pada fondasi ditampilkan pada Gambar 12. Perilaku deformasi pada pembebanan eksentris pada ketiga fondasi ini saat diberikan beban (*loading*) dan pelepasan beban (*unloading*) tidak begitu berbeda perubahan deformasinya dibandingkan dengan pembebanan sentris (0 cm dari pusat fondasi) dari ketiga fondasi ini menunjukkan pola yang relatif sama. Fondasi 1 dengan lendutan yang paling rendah saat diberikan beban (*loading*) dan pada saat pelepasan beban (*unloading*) pelat dari fondasi tersebut cenderung kembali kebentuk semula (datar) walaupun masih ada lendutannya. Fondasi 2 yang lendutannya paling besar saat diberikan beban (*loading*) dan pada saat pelepasan beban (*unloading*) pelat masih mengalami lendutan. Hal ini disebabkan oleh lendutan yang terjadi sudah besar sehingga kemampuan dari material pelat yaitu baja untuk kembali kebentuk semula jadi berkurang sehingga masih menyisakan bentuk yang melendut. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengecekan sifat material untuk memahami perilaku materialnya. Pada fondasi 3 pada saat pelepasan beban (*unloading*) masih terjadi lendutan sebesar 2 mm yang mana lebih kecil dari fondasi 3 dikarenakan panjang tiang/cakar fondasi 3 lebih panjang dari pada fondasi 2. Perilaku penurunan fondasi pada fondasi 1 dan 3 mengalami lendutan yang sama pada saat akhir pelepasan beban (*unloading*) hal

ini dikarenakan fondasi yang telah digunakan telah dibebani beberapa kali (proses pengujian terakhir) sehingga perilaku material dari pelat fondasi yang telah dibebani berulang meninggalkan sisa lendutan yang terjadi sebelumnya. Pada penelitian ini proses pembebanan eksentris dilakukan di tiga titik yang mana ada kesamaan perilaku deformasi dari proses pembebanan ini. Proses pembebanan yang berulang ini yang menyebabkan tersisanya lendutan pada pelat fondasi.

5.5 Hasil Pemodelan Perilaku Deformasi Arah Vertikal dengan *Software Abaqus* Pada Seluruh Model Fondasi

Pemodelan fondasi dalam *software Abaqus* menggunakan metode *elastic foundation* dimana pengaruh dari koefisien reaksi subgrade (k_s) baik koefisien reaksi subgrade arah vertikal (k_v) maupun dari koefisien reaksi subgrade arah horizontal (k_h) menjadi fokus dalam pemodelan. Model fondasi dari material baja dimodelkan dengan modulus elastisitas sebesar $2,1 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ menurut SNI 03-2847-2002. Pemodelan tanah berdasarkan hasil hitungan diperoleh nilai $D_r = 48,89 \%$. Nilai kerapatan tersebut menurut Das (1994) pada tabel 3.1 tergolong dalam pasir agak padat oleh karena itu nilai koefisien reaksi subgrade arah vertikal (k_v) = 10.000 kN/m^3 dan nilai koefisien reaksi subgrade arah horizontal (k_h) = 20.000 Kn/m^3 .

5.5.1 Hasil pemodelan Perilaku Deformasi Arah Vertikal dengan *Software Abaqus* pada Fondasi 1

Hasil pemodelan menggunakan *software Abaqus* untuk fondasi 1 terlihat pada Gambar 13 untuk pembebanan sentris di pusat fondasi dan pembebanan eksentris 3 ($e_x = 15 \text{ cm}$ dan $e_y = 15 \text{ cm}$). Untuk pemodelan pada saat posisi beban pada posisieksentris1 ($e_x = 0 \text{ cm}$ dan $e_y = 15 \text{ cm}$) dan eksentris2 ($e_x = 15 \text{ cm}$ dan $e_y = 0 \text{ cm}$) hasil pemodelan pada *software Abaqus* menunjukkan hasil yang sama. Hasil pemodelan dengan *software Abaqus* pada fondasi 1 memberikan nilai lendutan sebesar $5,74 \text{ mm}$ ditunjukkan pada Gambar 13. Nilai lendutan ini lebih kecil dari nilai lendutan yang diperoleh pada saat pengujian di laboratorium, hal ini disebabkan parameter-parameter *input* untuk proses pemodelan dalam *software Abaqus* menggunakan pendekatan berdasarkan referensi-referensi dari pengujian terdahulu oleh karena itu untuk penelitian selanjutnya perlu diadakan penelitian terhadap parameter-parameter dari material yang digunakan. Pada saat pembebanan dengan pembebanan eksentris 3 ($e_x = 15$

cm dan $e_y = 15 \text{ cm}$), hasil pemodelan dengan *software Abaqus* memberikan nilai penurunan sebesar $13,48 \text{ mm}$ berbeda $6,07 \text{ mm}$ dari pengujian di laboratorium. Perbedaan nilai ini seperti terlihat pada Gambar 13 dimana pada *software Abaqus* input parameter koefisien reaksi *subgrade* dari tanah dianggap bebas atau tidak tertahan oleh box sehingga tinjauan yang digunakan tidak terbatas, sedangkan pada pengujian dibatasi oleh box sehingga tanah tertahan box dan memberikan perlawanan terhadap pembebanan yang terjadi pada fondasi yang mengakibatkan lendutan yang terjadi lebih kecil.

5.5.2 Hasil pemodelan Perilaku Deformasi Arah Vertikal dengan *Software Abaqus* pada fondasi 2

Hasil pemodelan menggunakan *software Abaqus* untuk fondasi 2 terlihat pada Gambar 13 untuk pembebanan sentris di pusat fondasi dan pembebanan eksentris 3 ($e_x = 15 \text{ cm}$ dan $e_y = 15 \text{ cm}$). Hasil penurunan fondasi 2 dengan beban di pusat fondasi (sentris) yang terlihat pada gambar senilai $20,18 \text{ mm}$. Pada fondasi 2 ini seperti terlihat pada tampak bawah hasil pemodelan dengan *software Abaqus* pada posisi cakar disekeling cakar yang terkena beban langsung di atasnya terjadi momen dan cakar berotasi untuk memberikan perlawanan terhadap beban yang diberikan sehingga pola lendutan yang terjadi membentuk lengkungan. Untuk cakar yang posisinya paling jauh dari dampak beban secara langsung mengalami lendutan yang terkecil. Pada saat eksentris 3 ($e_x = 15 \text{ cm}$ dan $e_y = 15 \text{ cm}$) Hasil penurunan fondasi 2 dengan pemodelan *software* senilai $22,35 \text{ mm}$.

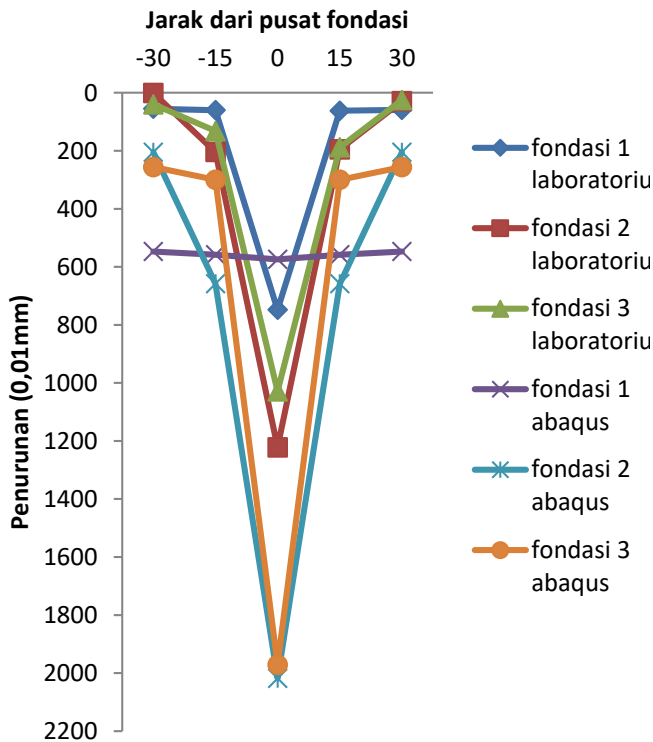
5.5.3 Hasil pemodelan Perilaku Deformasi Arah Vertikal dengan *Software Abaqus* pada fondasi 3

Hasil pemodelan menggunakan *software Abaqus* untuk fondasi 3 terlihat pada gambar 13 untuk pembebanan sentris 0 cm dari pusat fondasi dan eksentris 3 ($e_x = 15 \text{ cm}$ dan $e_y = 15 \text{ cm}$). Hasil penurunan fondasi 3 dengan beban di pusat fondasi (sentris) yang terlihat pada gambar senilai $19,7 \text{ mm}$. Pada fondasi 3 ini seperti terlihat pada tampak bawah hasil pemodelan dengan *software Abaqus* pada posisi cakar disekeling cakar yang terkena beban langsung di atasnya terjadi momen dan cakar berotasi untuk memberikan perlawanan terhadap beban yang diberikan sehingga pola lendutan yang terjadi membentuk lengkungan. Untuk cakar yang posisinya paling jauh dari dampak beban secara langsung mengalami lendutan yang terkecil. Pada saat

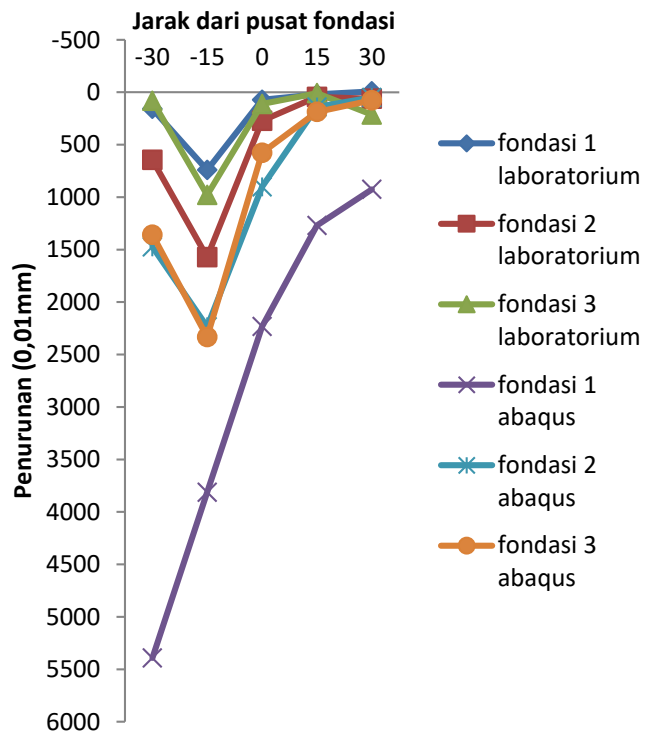
pembebanan eksentris 3 ($e_x = 15$ cm dan $e_y = 15$ cm) distribusi penyebaran deformasi juga merata, dimana bagian yang terkena beban secara langsung seperti terlihat pada gambar yaitu daerah yang mengalami deformasi yang paling besar dan bagian yang paling jauh dari pembebanan langsung deformasinya kecil.. Hasil pemodelan dengan *software Abaqus* dibandingkan dengan hasil pada saat pengujian di laboratorium ditampilkan pada Tabel 5 dan Gambar 14 dan 15.

Tabel 5 Perbandingan hasil penurunan fondasi pada saat pengujian di laboratorium dengan pada saat pemodelan dengan *software Abaqus*

No / keterangan	Hasil pengujian di laboratorium	Hasil pemodelan dengan <i>abaqus</i>	Selisih
Fondasi 1			
- sentris	7,48 mm	5,74 mm	-1,74 mm
- eksentris	7,41 mm	13,48 mm	6,07 mm
Fondasi 2			
- sentris	12,2 mm	20,018 mm	7,818 mm
- eksentris	15,72 mm	22,35 mm	6,63 mm
Fondasi 3			
- sentris	10,29 mm	19,7 mm	9,41 mm
- eksentris	9,79 mm	23,33 mm	13,54 mm



Gambar 14 Perbandingan hasil penurunan fondasi di laboratorium dan pemodelan *abaqus* pada pembebanan sentris



Gambar 15 Perbandingan hasil penurunan fondasi di laboratorium dan pemodelan *abaqus* pada pembebanan sentris

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

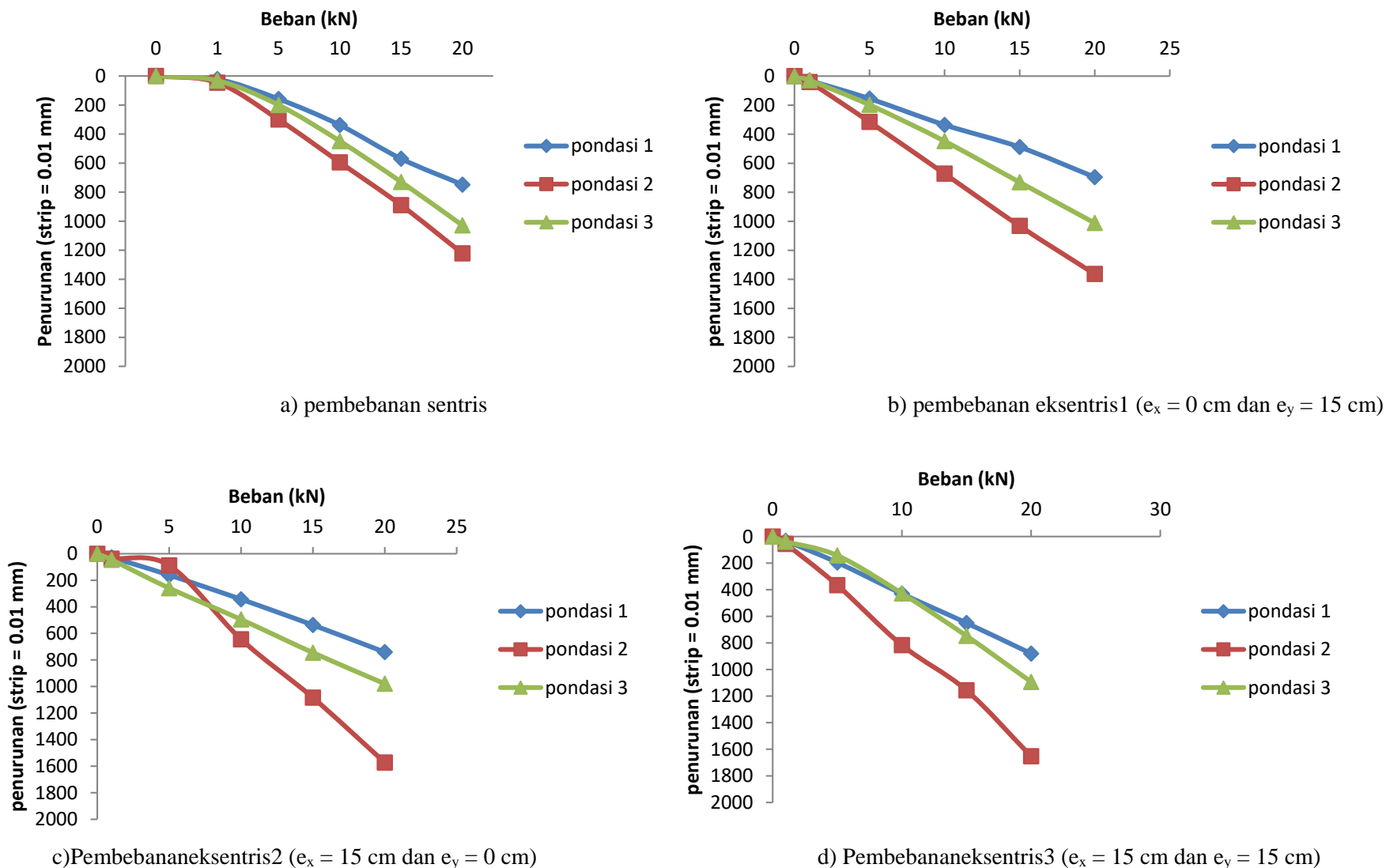
- Jarak antar tiang memberikan kontribusi yang cukup signifikan dalam mereduksi penurunan yang terjadi pada fondasi saat diberi beban maksimum 20 kN. Hasil penelitian menunjukkan hasil sebagai berikut:
 - Pembebanan di pusat fondasi: fondasi 1 terjadi penurunan sebesar 7,48 mm, fondasi 2 terjadi penurunan sebesar 12,22 mm dan fondasi 3 mengalami penurunan sebesar 10,29 mm
 - Pembebanan eksentris 1 ($e_x = 0$ cm dan $e_y = 15$ cm): fondasi 1 terjadi penurunan sebesar 6,96 mm, fondasi 2 terjadi penurunan sebesar 13,63 mm dan fondasi 3 mengalami penurunan sebesar 10,12 mm
 - Pembebanan eksentris 2 ($e_x = 15$ cm dan $e_y = 0$ cm) : fondasi 1 terjadi penurunan sebesar 7,41 mm, fondasi 2 terjadi penurunan sebesar 15,72 mm dan fondasi 3 mengalami penurunan sebesar 9,79 mm

- d. Pembebanan eksentris 3 ($e_x = 15$ cm dan $e_y = 15$ cm): fondasi 1 terjadi penurunan sebesar 8,8 mm, fondasi 2 terjadi penurunan sebesar 16,52 mm dan fondasi 3 mengalami penurunan sebesar 10,93 mm
2. Penurunan pada fondasi juga akan lebih kecil jika panjang tiang yang digunakan lebih panjang hal ini terlihat dari fondasi 3 yang memiliki panjang tiang 20 cm penurunannya lebih kecil dari pada fondasi 2 yang panjang tiangnya 10 cm.
3. Pemodelan dengan program *Abaqus* memberikan nilai yang sedikit berbeda dari pengujian di laboratorium. Hasil pemodelan program *Abaqus* dirincikan sebagai berikut
 - a. Pembebanan di pusat fondasi: fondasi 1 terjadi penurunan sebesar 5,74 mm, fondasi 2 terjadi penurunan sebesar 20,018 mm dan fondasi 3 mengalami penurunan sebesar 19,7 mm
 - b. Pembebanan eksentris 3 ($e_x = 15$ cm dan $e_y = 15$ cm): fondasi 1 terjadi penurunan sebesar 13,48 mm, fondasi 2 terjadi penurunan sebesar 22,35 mm dan fondasi 3 mengalami penurunan sebesar 23,33 mm

Togubu, Jamaluddin., 2012, *Kajian Kenaikan Modulus Reaksi Subgrade Dari Hasil Uji Beban Pelat Yang Didukung Tiang Pada Sistem Pelat Terpaku*. Tesis, Program Pascasarjana, Minat Studi Geoteknik JTSL, FT UGM. Gadjah Mada, Yogyakarta.

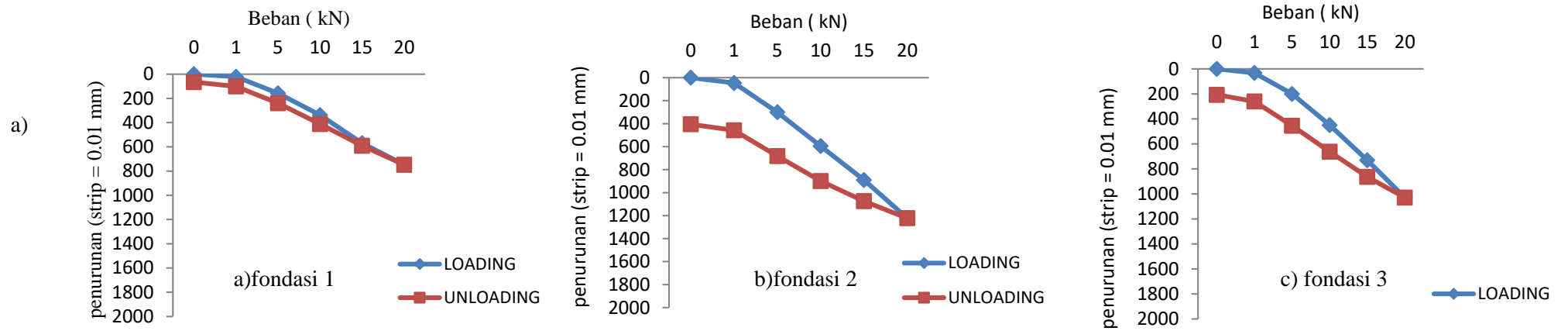
DAFTAR PUSTAKA

- Alizar, 2012, *Sejarah Perkembangan dan Tipe Kontruksi Perkerasan Jalan*, Modul Kuliah Perancangan Perkerasan Jalan.
- Arungpadang, R., 2009, *Pengaruh Jarak Tiang Terhadap Lendutan Pelat Beton Sistem Pelat Terpaku Akibat Beban Eksentris pada Pasir*, Skripsi program sarjana JTSL FT UGM, Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B. 2003, *Fondasi Tiang Dengan Pile Cap Tipis Sebagai Alternatif untuk Mengatasi Problem Penurunan Bangunan di Atas Tanah Lunak*, Laporan Penelitian Hibah Bersaing Perguruan Tinggi Tahun 2001 -2003.
- Hardiyatmo, H.C., 2008, *Sistem "Pelat Terpaku" (Nailed Slab) Untuk Perkuatan Pelat Beton Pada Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)*, Seminar Nasional Teknologi Tepat Guna Penanganan Sarana Prasarana, Magister Pengelolaan Sarana Prasarana UGM, Yogyakarta.
- Malisa, R., 2009, *Pengaruh Jarak Tiang Terhadap Lendutan Pelat Beton Sistem Pelat Terpaku Akibat Beban Sentris pada Pasir*, Skripsi program sarjana JTSL FT UGM, Yogyakarta

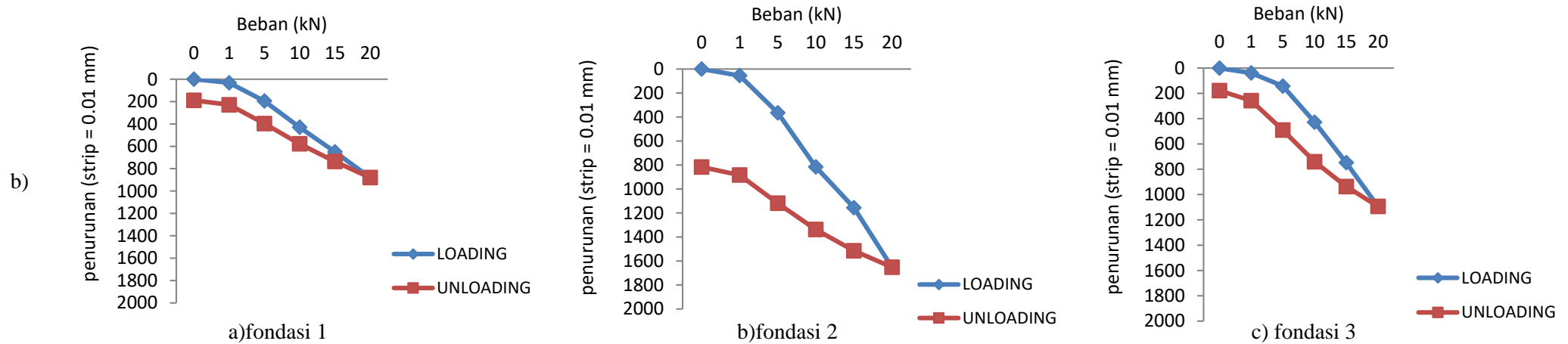


Gambar 10 Grafik penurunan pada posisi perletakan beban untuk ketiga fondasi

Studi Karakteristik Fondasi Pelat Tipis Dengan Pengaku Tiang “+” (Syarif, dkk)

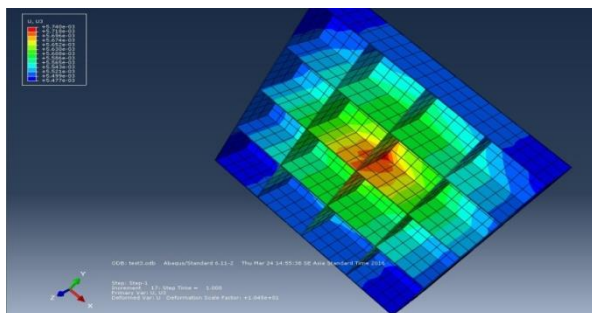


Gambar 11 Penurunan pada posisi perletakan beban saat pembebanan (*loading*) dan pelepasan beban (*unloading*) pada pembebanan sentris a)fondasi 1, b)fondasi 2, c) fondasi 3

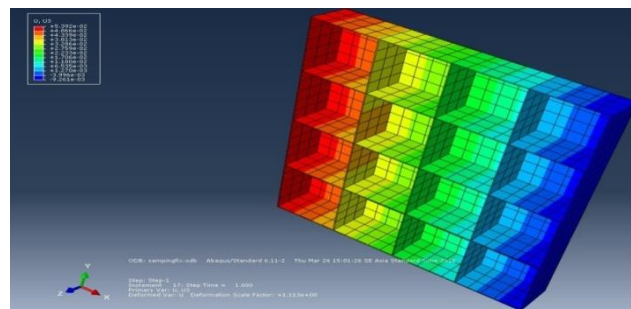


Gambar 12 Grafik penurunan pada posisi perletakan beban saat pembebanan (*loading*) dan pelepasan beban (*unloading*) pada pembebanan eksentris a)fondasi 1, b)fondasi 2, c) fondasi 3

a)

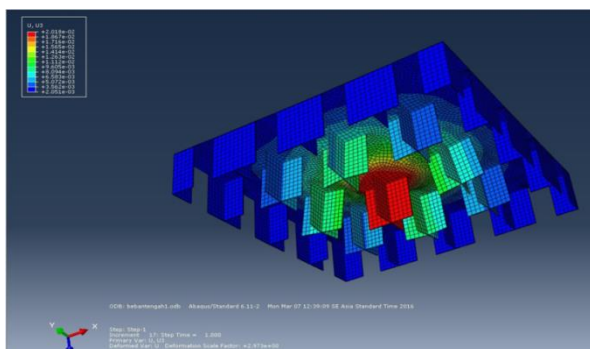


Sentris

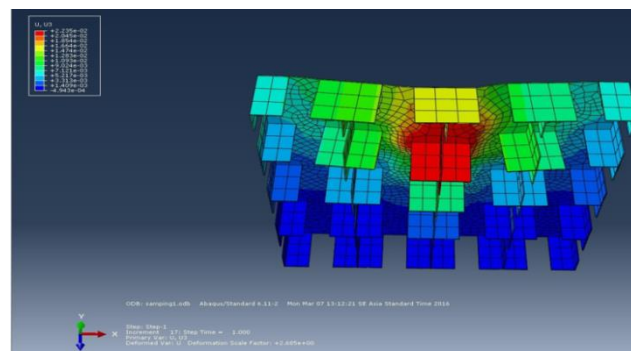


Eksentris

b)

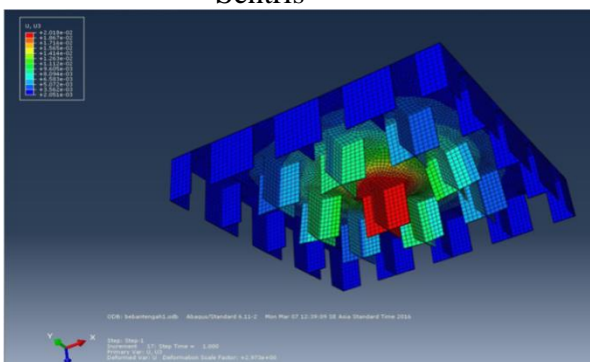


Sentris

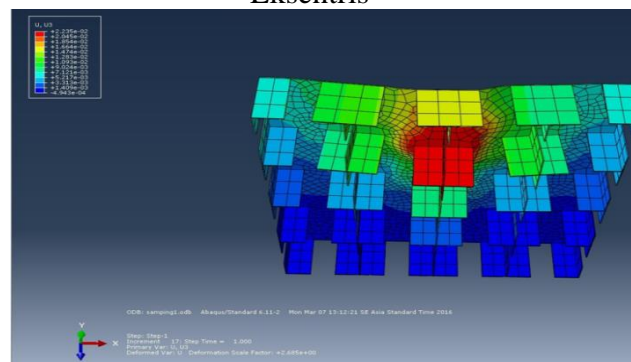


Eksentris

c)



Sentris



Eksentris

Gambar 13 Pemodelan ketiga fondasi dengan *software Abaqus* a) fondasi 1, b) fondasi 2, c) fondasi 3

