

## STUDI PARAMETERIK PERKERASAN JALAN BETON SISTEM PELAT TERPAKU PADA TANAH DASAR LUNAK

<sup>1</sup>Anas Puri

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Riau,  
[anaspuri@yahoo.com](mailto:anaspuri@yahoo.com)

### ABSTRACT

The applications of chicken foot foundation (*sistem cakar ayam*) are shown successfully on run way, taxi way, and apron of airport and gave services more than 30 years. This system is also shown the satisfy performance for high way construction. One of developing of this system was changing the concrete cylindrical foundation by galvanized cylindrical steel and it is named modified chicken foot foundation (CAM). Hardiyatmo (2008) proposed Nailed-slab System for more practical application by changing the cylindrical foundation by concrete pile foundation. Based on model tests and analysis, the Nailed-slab is promising for application. This research is aimed to learn the behavior of Nailed-slab by conducting parametric study. This study was using the full scale test results of chicken foot foundation in Waru, East Java. Results show that the performance of Nailed-slab system ( $4 \times 4$  piles and  $5 \times 5$  piles) with similar slab width with CAM was better than CAM performance. Slab deflections of Nailed-slab tend to be lower than CAM. Similar behaviors were for moment of slab. Additional of pile length and decreasing the pile spacing can increase the performance which indicated by decreasing the deflections.

**Keywords:** *chicken foot foundation, Nailed-slab system, soft soils, rigid pavement*

### 1. PENGANTAR

Umumnya perkerasan kaku (*rigid pavement*) digunakan untuk perkerasan jalan pada tanah dasar lunak. Lapis perkerasan tersebut dapat langsung menumpu pada tanah dasar lunak dan/ atau di atas lapis fondasi jalan. Namun penurunan tanah lunak di bawahnya cenderung bersifat tidak seragam (*differential settlement*) sebagai akibat distribusi beban yang tidak merata sepanjang perkerasan, atau disertai dengan penurunan tidak seragam akibat ketidak-homogenan tanah. Perkerasan jalan tidak hanya menerima beban siklik oleh kendaraan, namun juga menerima beban akibat temperatur yang membuat perkerasan mengalami momen lentur bolak-balik. Bergelombangnya jalan dan/ atau patahnya struktur perkerasan dapat disebabkan oleh hal-hal tersebut. Perkerasan jalan pada tanah lunak memerlukan tebal perkerasan yang lebih besar sehingga beban struktur juga bertambah.

Sistem fondasi cakar ayam adalah salah satu metode peningkatan kinerja perkerasan kaku pada tanah lunak. Aplikasi fondasi cakar ayam menunjukkan keberhasilan yang sangat memuaskan pada konstruksi landas pacu (*run way*), *taxi way*, dan apron pada lapangan terbang dan telah memberikan layanan lebih 30 tahun. Fondasi cakar ayam juga menunjukkan kinerja yang baik pada konstruksi jalan raya, seperti pada Jalan Tol Prof. Sedyatmo menuju Bandara Internasional Soekarno-Hatta di Cengkareng Banten, jalan tol di Malaysia dan lain-lain. Fondasi cakar ayam tersebut, mengalami berbagai pengembangan yang salah satunya adalah penggantian cakar yang semula berbahan beton dengan cangkang baja galvanis sehingga berat sendiri konstruksi jauh berkurang, kemudian dikenal dengan sebutan Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM). Dalam rangka kemudahan dalam pelaksanaan di lapangan, Hardiyatmo (2008) mengusulkan perkerasan Sistem Pelat Terpaku (*Nailed-slab System*), yang muncul atas ide mengganti cakar ayam dengan tiang-tiang friksi yang pendek berbahan beton bertulang.

Dalam rangka pengembangan Sistem Pelat Terpaku, telah dilakukan studi model laboratorium dan studi analitis (Hardiyatmo, 2008, 2009, 2011; Nasibu, 2009; Dewi, 2009; Taa, 2010; Puri, dkk., 2011a, 2011b, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b). Berdasarkan hasil penelitian tersebut, terlihat bahwa sistem ini menjanjikan untuk aplikasi lapangan. Maka pada penelitian ini akan dikaji perilaku sistem ini melalui studi parametrik menggunakan hasil uji lapangan Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM), yang bertujuan untuk menentukan

rancangan perkerasan Sistem Pelat Terpaku yang mempunyai kinerja berupa lendutan yang hampir sama dengan Sistem Cakar Ayam Modifikasi, untuk dimensi pelat dan beban yang sama.

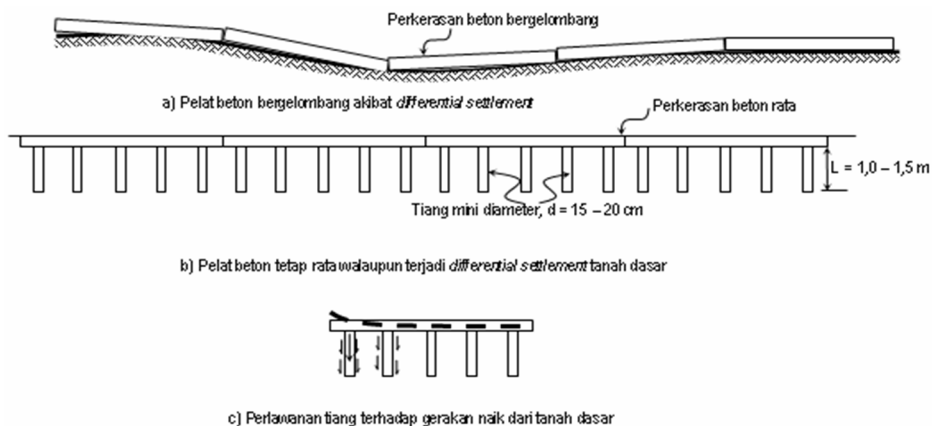
### A. Sistem Cakar Ayam

Tipikal fondasi cakar ayam pada timbunan badan Jalan Tol Prof. Sedyatmo menuju Bandara Internasional Soekarno-Hatta di Cengkareng Banten. Dasar timbunan diperkuat dengan geosintetik dan fondasi cakar ayam konvensional (terbuat dari pipa beton bertulang) ditempatkan di dalam timbunan, dan selanjutnya pelat beton bertulang berada di atas cakar-cakar tersebut dengan hubungannya dibuat monolit. Fondasi cakar ayam terdiri dari pelat beton bertulang tebal 10 cm - 17 cm dan pipa-pipa beton (disebut cakar) berdiameter 120 cm dengan tebal 8 cm dan panjang pipa 150 cm – 200 cm, dengan jarak antar cakar 200 cm – 250 cm (Suhendro dan Hardiyatmo, 2010; Hardiyatmo, 2010). Sistem cakar ayam yang diaplikasikan ini mengalami penurunan berlebihan akibat konsolidasi tanah dasar, namun permukaan perkerasan tetap rata dan kendaraan masih dapat melewati dengan aman dan nyaman. Cakar berfungsi sebagai angkur (paku) pelat pada tanah dasar yang dapat menjamin kontak antara tanah dengan pelat sehingga pekerasan lebih awet dan sedikit perawatan. Adapun pada sistem konvensional (tanpa cakar) maka akan mudah terbentuk rongga antara tanah dan pelat yang mengakibatkan kekuatan turun tajam berjalan dengan waktu. Alhasil perkerasan kurang awet (mudah pecah) dan memerlukan biaya perawatan yang tinggi (Hardiyatmo, 2010).

Sistem cakar ayam dikembangkan dengan mengganti pipa beton bertulang dengan pelat baja (Suhendro dan Hardiyatmo, 2010), selanjutnya dikenal dengan sistem cakar ayam modifikasi (CAM). Penggunaan pelat baja yang dibentuk menjadi silinder/ pipa lebih praktis dalam mobilisasinya ke lokasi pekerjaan dalam bentuk lembaran yang kemudian di lokasi pekerjaan dilakukan penggulangan membentuk pipa sesuai diameter rencana. Adapun sambungan pelat tersebut dapat dengan cara dilas maupun paku keling. Selain itu, tanah dasar tidak mengalami gangguan berarti saat instalasinya. Sistem CAM ini juga tidak memerlukan alat-alat berat saat pelaksanaan, demikian halnya tidak memerlukan perkerasan sementara untuk landas kerja alat berat. Dari sisi berat sendiri konstruksi, CAM memberikan reduksi berat sendiri yang sangat signifikan, dimana cakar ayam konvensional (berbahan beton) mempunyai berat 1,1 ton sedangkan CAM hanya 35 kg (Suhendro dan Hardiyatmo, 2010). Perkerasan Sistem CAM ini telah diaplikasikan di de Tour Jl. Tol Prof. Sedyatmo Cengkareng, *trial road* Pamanukan-Sumedang KM. 25+800 Jawa Barat dan Jl. Tol Seksi 4 Makassar, serta jalan truk pangangkut semen di Samarinda (Suhendro dan Hardiyatmo, 2010).

### B. Pengembangan Perkerasan Sistem Pelat Terpaku

Perkerasan Sistem Pelat Terpaku (*nailed-slab system*) diperkenalkan oleh Hardiyatmo (2008). Gambar 2 mengilustrasikan perbandingan perkerasan kaku konvensional dengan perkerasan sistem pelat terpaku dan perlawanan tiang terhadap beban. Perkerasan kaku diperkuat dengan tiang-tiang pendek. Tiang-tiang tersebut berfungsi laksana paku bagi pelat beton, serta menambah kuat dukung tanah dan mengurangi faktor kehilangan dukungan (*loss support factor, LS*), sehingga meningkatkan modulus reaksi *subgrade* vertikal efektif. Alhasil, terjadi efisiensi pada pelat beton. Hardiyatmo (2009) merekomendasikan metode analisis lendutan pelat fleksibel menggunakan modulus reaksi tanah dasar ekuivalen.



Gambar 2. Ilustrasi pengaruh pemasangan tiang sebagai "paku" pada perkerasan beton (Hardiyatmo, 2008)

Analogi dengan sistem cakar ayam, maka Sistem Pelat Terpaku juga diharapkan berfungsi sebagai angkur pada beban rendah dan sekaligus berfungsi sebagai perlawanan lendutan pada beban berat. Kinerjanya pun

diharapkan serupa dengan kinerja sistem cakar ayam, namun dengan konstruksinya yang lebih kecil maka akan diperoleh keuntungan berupa pelaksanaan yang lebih praktis dan biaya konstruksi yang sedikit lebih rendah dibanding penggunaan cakar ayam. Berdasarkan hasil uji model perkerasan Sistem Pelat Terpaku pada tanah dasar lempung lunak, diketahui bahwa Sistem Pelat Terpaku meningkatkan kekakuan sistem, dan kekakuan tersebut meningkat seiring dengan pertambahan jumlah baris tiang, dan lebih kaku dibanding pelat saja. Peningkatan kekakuan tersebut sebagai kontribusi dari adanya tiang-tiang. Tidak ada pelat yang terjungkit karena ditahan oleh tiang-tiang. Dalam hal ini tiang berfungsi sebagai penahan lendutan dan juga sebagai jangkar/ angkur untuk menahan jungkitan (Puri dkk, 2011). Perkerasan Sistem Pelat Terpaku menunjukkan perilaku bahwa pelat tetap kontak dengan tanah (tidak terdapat *displacement* negatif yang signifikan). Dengan demikian keawetan pelat diharapkan menjadi lebih terjaga.

## 2. METODE PENELITIAN

### A. Dimensi dan Konfigurasi Perkerasan Sistem CAM

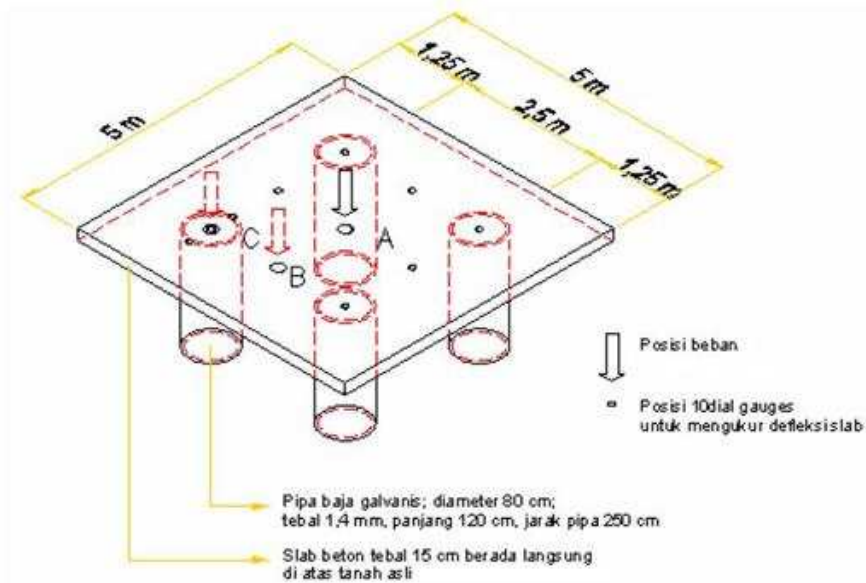
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data hasil uji Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) skala penuh di Waru Jawa Timur (Suhendro, 2006). Tipikal CAM Waru ditunjukkan pada Gambar 2 dan sifat-sifat materialnya diberikan pada Tabel 1. Untuk modulus elastisitas tanah,  $E_s$  ditentukan berdasarkan korelasi nilai koefisien *subgrade* vertikal,  $k_v$  dengan modulus elastisitas berdasarkan Persamaan Vesic ( $k_v = E_s/B(1-\nu)$ ), maka untuk  $k_v$  sebesar 5.000 kN/m<sup>3</sup> (Firdiansyah, 2010) diperoleh  $E_s$  sebesar 12.500 kN/m<sup>2</sup>. Parameter tanah lainnya untuk analisis CAM diberikan pada Tabel 2. Model tanah yang digunakan adalah model Mohr-Coulomb dengan koefisien *interface* lempung lunak-beton sebesar 0,8 dan lempung lunak-baja sebesar 0,5.

Tabel 1. Data pada Analisis CAM Waru (Firdiansyah, 2010)

No	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Modulus <i>subgrade</i> vertikal tanah ( $k_v$ )	kN/m <sup>3</sup>	5.000
2.	Modulus <i>subgrade</i> horizontal tanah ( $k_h$ )	-	$1 \times k_v$
3.	Material beton:		
	Berat volume beton	kN/m <sup>3</sup>	24
	Kuat tekan beton yang disyaratkan, $f_c'$	MPa	25
	Modulus Elastisitas beton, $E_c$	kN/m <sup>2</sup>	23.500.000
	Angka poisson, $\mu$	-	0,15
4.	Material baja (BJ 37):		
	Berat volume baja	kN/m <sup>3</sup>	78,5
	Modulus Elastisitas baja, $E_s$	MPa	200.000
	Angka poisson, $\mu$	-	0,3
	Tegangan leleh, $f_y$	MPa	240
5.	Dimensi pelat beton bertulang:		
	Panjang, $L$	m	5,0
	Lebar, $B$	m	5,0
	Tebal, $h$	cm	15
6.	Dimensi pipa cakar baja:		
	Panjang	m	1,2
	Diameter	m	0,8
	Tebal	m	0,0014
	Jarak antar cakar	m	2,5
7.	Beban ( <i>single wheel</i> ekuivalen jalan raya)	kN	40

### B. Dimensi dan Konfigurasi Model Perkerasan Sistem Pelat Terpaku

Dimensi dan bahan pelat pada Sistem Pelat Terpaku adalah sama dengan dimensi CAM Waru yaitu 5 m × 5 m dan tebal 15 cm berbahan beton bertulang dengan sifat-sifat beton mengacu pada Tabel 1. Adapun tiang didesain berdiameter ( $d$ ) 20 cm berbahan beton bertulang dengan sifat beton sama dengan sifat beton pelat. Sistem Pelat Terpaku yang akan dianalisis dibedakan atas 2 (dua) konfigurasi tiang yaitu konfigurasi 4 tiang × 4 tiang (rasio jarak tiang terhadap diameter,  $s/d = 6,25$ ) dan konfigurasi 5 tiang × 5 tiang (rasio  $s/d = 5,00$ ). Adapun panjang tiang divariasikan sebesar 1,00 m; 1,50 m; dan 2,0 m. Dimensi dan konfigurasi Sistem Pelat Terpaku diberikan pada Tabel 3. Tipikal Sistem Pelat Terpaku 4 baris tiang (4 × 4) disajikan pada Gambar 3.



Gambar 2. Tipikal CAM Waru (Suhendro, 2006)

Tabel 2. Parameter Tanah

No.	Parameter	Nama/ simbol	Lempung Waru	Satuan
1	Model material	Model	Mohr-Coulomb	-
2	Perilaku material	Tipe	Undrained	-
3	Berat volume tak jenuh	$\gamma$	16	kN/m <sup>3</sup>
4	Berat volume jenuh	$\gamma_{sat}$	17	kN/m <sup>3</sup>
5	Modulus Young	$E$	12.500	kN/m <sup>2</sup>
6	Rasio Poisson	$\nu$	0,35	-
7	Kohesi	$c$	20	kN/m <sup>2</sup>
8	Sudut gesek	$\phi$	0	°
9	Sudut dilatasi	$\psi$	0	°
10	Faktor reduksi <i>interface</i> :			
	Lempung lunak-beton	$R_{inter}$	0,8	-
	Lempung lunak-baja	$R_{inter}$	0,5	-
11	Koefisien tekanan tanah lateral	$K_0$	0,913	-

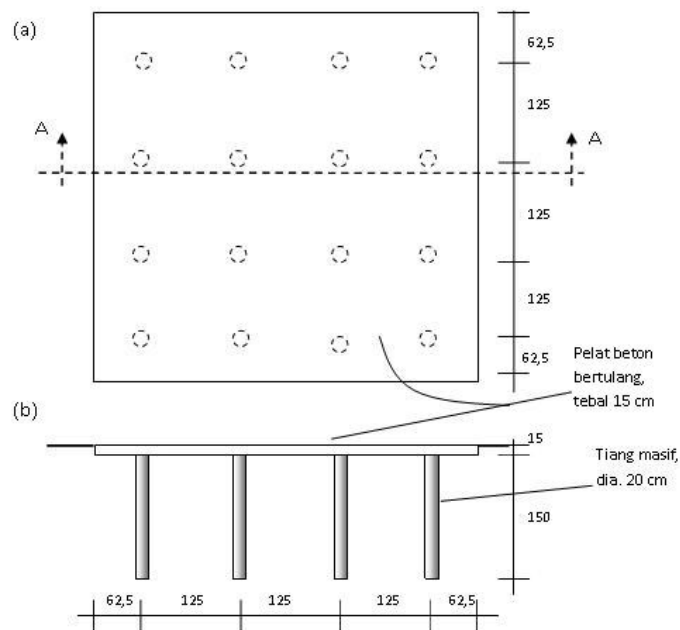
### C. Cara Analisis

Analisis dilakukan sebagai berikut: validasi data hasil uji skala penuh Sistem Cakar Ayam Modifikasi di Waru, analisis numerik Sistem Pelat Terpaku dengan menggunakan data dari CAM Waru, dan membandingkan deformasi hasil analisis Sistem Pelat Terpaku dengan CAM Waru. Analisis numerik dilakukan dengan bantuan program aplikasi Plaxis 3Dv.1.5, dimana *input material properties* struktur yang diperlukan dan besarnya disajikan pada Tabel 4. Cakar ayam dimodelkan sebagai cangkang (*shell*) berperilaku linier elastis dengan *outside* dan *inside interface*, sedangkan pelat beton sebagai *floor* dengan perilaku linier elastis beserta *interface* pada sisi bawah. Tiang beton dimodelkan sebagai elemen solid. Ditinjau pembebanan yang bekerja di pusat pelat, dengan besar beban mulai 0 kN, 10 kN, 20 kN, dan 40 kN. Kondisi batas (*boundary condition*) diambil sebesar 10 m (2B) di sekeliling konstruksi dan 10 m pada arah kedalaman dari muka tanah. Oleh karena nilai modulus elastisitas tanah Waru tidak tersedia, maka nilai tersebut ditentukan dengan perhitungan menggunakan Rumus Vesic. Untuk itu perlu dilakukan analisis validasi modulus elastisitas tanah,  $E_s$ . Diperoleh nilai modulus elastisitas tanah sebesar 17.500 kN/m<sup>2</sup> yang memberikan hasil lendutan yang sama dengan pengamatan.

Tabel 3. Data untuk Analisis Sistem Pelat Terpaku

No	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Material beton: Berat volume beton	kN/m <sup>3</sup>	24

	Kuat tekan beton yang disyaratkan, $f_c'$	MPa	25
	Modulus Elastisitas beton, $E_c$	kN/m <sup>2</sup>	23.500.000
	Angka poisson, $\mu$	-	0,15
2.	Dimensi pelat beton bertulang:		
	Panjang, $L$	m	5,0
	Lebar, $B$	m	5,0
	Tebal, $h$	cm	15
3.	Dimensi tiang:		
	Panjang, $L_p$	m	1,0; 1,5; 2,0
	Diameter, $d$	m	0,2
	Jarak antar tiang, $s$	m	1,25; 1,00
4.	Beban ( <i>single wheel</i> ekivalen jalan raya)	kN	40



Gambar 3. Tipikal Sistem Pelat Terpaku untuk 4 Baris Tiang (4 × 4);  
 (a) Denah, (b) Tampak

Tabel 4. Sifat-sifat Material Struktur

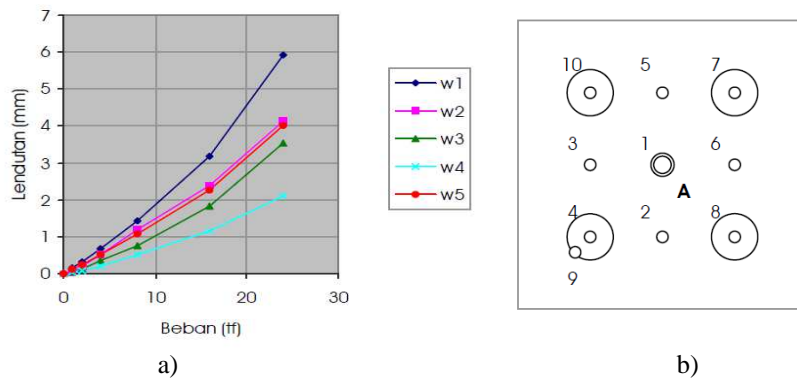
No.	Parameter	Nama/ simbol	CAM	Tiang	Pelat	Satuan
1	Model material	Model	Elemen shell	Linier elastik	Floor	-
2	Perilaku material	Tipe	Linier elastik	Non porous	Linier elastik	-
3	Tebal atau diameter	$d$	0,0014	0,2	0,15	m
4	Berat volume	$\gamma$	78,5	24	24	kN/m <sup>3</sup>
5	Modulus Young	$E$	$2,1 \times 10^8$	$2,35 \times 10^7$	$2,35 \times 10^7$	kN/m <sup>2</sup>
6	Modulus geser	$G$	$9,545 \times 10^7$	$1,022 \times 10^7$	$1,022 \times 10^7$	kN/m <sup>2</sup>
7	Rasio Poisson	$\nu$	0,1	0,15	0,15	-

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Perbandingan Perkerasan Sistem Cam Dan Pelat Terpaku

##### A. Hasil Pengamatan Lendutan Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM)

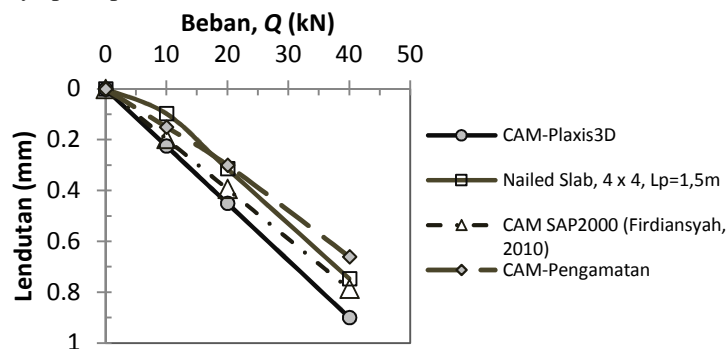
Hasil pengamatan uji skala penuh CAM di pusat pelat (titik A) diambil dari uji beban monotonik karena uji beban monotonik hanya dilakukan pada titik tersebut, sedangkan untuk titik lainnya diambil dari pengujian beban repetitif. Gambar 4 memberikan hubungan  $P-\delta$  akibat pembebanan sentris (titik A). CAM menunjukkan kekakuan yang besar dimana hingga beban 24 ton (240 kN), lendutan yang terjadi hanya 5,94 mm dan perilaku linier-elastik mencapai beban 16 ton. Titik-titik lainnya yang lebih jauh dari beban mengalami lendutan yang lebih rendah. Perilaku *deflected-bowle* berbentuk mangkok yang mengindikasikan bahwa sistem mampu memberikan respons yang sama ke segala arah. Pada beban 4 ton (beban roda tunggal), lendutan yang terjadi sangat kecil yaitu 0,66 mm.



Gambar 4. Hasil uji skala penuh Sistem CAM Waru; a) Hubungan  $P-\delta$ , b) Denah posisi titik pengamatan (Suhendro, 2006)

## B. Perbandingan Sistem Cakar Ayam Modifikasi dan Sistem Pelat Terpaku

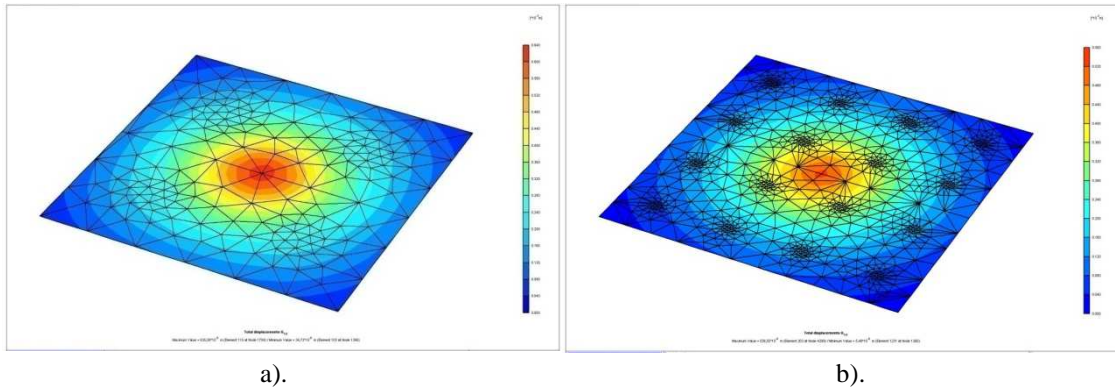
**Beban sentris.** Hasil-hasil analisis lendutan dan pengamatan lapangan untuk beban sentris ditunjukkan pada Gambar 5. Berat sendiri konstruksi diabaikan untuk melihat besarnya lendutan yang diakibatkan oleh beban luar. Hasil analisis Plaxis 3D diperoleh lendutan sebesar 0,68 mm yang relatif sama dengan pengamatan (perbedaan 2,78%). Adapun hasil lendutan dari Sistem Pelat Terpaku  $4 \times 4$  tiang adalah sebesar 0,54 mm lebih rendah 18,70% dibanding dengan pengamatan CAM. Luas bidang kontak tanah dengan tiang adalah 15,07 m<sup>2</sup>, hanya 75% dari luas bidang kontak cakar ayam (20,01 m<sup>2</sup>). Oleh karena itu reduksi lendutan pada Sistem Pelat Terpaku  $4 \times 4$  tiang adalah kontribusi dari tahanan gesek tiang yang melawan gaya tekan dan gaya angkat pada pelat. Tiang tersebut meningkatkan kekakuan pelat dalam melawan lendutan, sehingga lendutan pelat menjadi berkurang. Lendutan pelat perkerasan kaku konvensional hanya 60% dari lendutan pengamatan CAM. Namun demikian, dalam hal beban berulang maka pelat pada tanah lunak akan mudah bergeser sehingga terbentuk rongga di bawah pelat, sehingga dukungan tanah menjadi berkurang yang berakibat pada pecahnya pelat perkerasan.



Gambar 5. Perbandingan hasil pengamatan CAM Waru dan analisis CAM, serta Sistem Pelat Terpaku untuk beban sentris

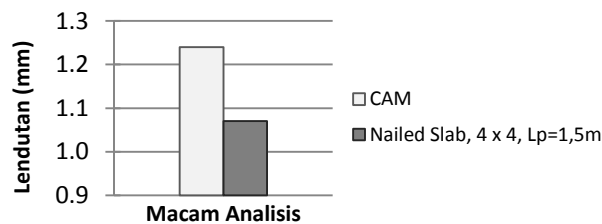
Pada Gambar 6 ditunjukkan distribusi lendutan pada pelat. Sistem CAM dan Pelat Terpaku menunjukkan perilaku yang sama dimana keduanya membuat pelat tetap kontak dengan tanah (tidak terdapat *displacement* negatif), dimana lendutan minimum mendekati nol. Lendutan minimum pada perkerasan kaku konvensional sebesar 0,11 mm. Akan distribusi lendutan pada Sistem CAM dan Pelat Terpaku cenderung terkonsentrasi di sekitar beban. Dengan demikian keawetan pelat pada Sistem CAM dan Pelat Terpaku

diharapkan menjadi lebih terjaga. Pada Sistem CAM memberikan perbandingan momen positif dan negatif yang relatif seimbang ( $M_{\min} = 5 \times M_{\max}$ ,  $M_{\max} = 1,43 \text{ kNm/m}$ ), sedangkan pada Sistem Pelat Terpaku momen negatif lebih dominan ( $M_{\min} = 10 \times M_{\max}$ ,  $M_{\max} = 0,92 \text{ kNm/m}$ ) sehingga diperlukan luasan tulangan negatif yang sedikit lebih besar. Namun momen negatif Sistem Pelat Terpaku terkonsentrasi pada luasan lebih kecil di sekitar beban.



Gambar 6. Distribusi lendutan akibat beban sentris  $Q = 40 \text{ kN}$ ; a) Sistem CAM Waru ( $S_{\max} = 0,68 \text{ mm}$ ,  $S_{\min} = 0,016 \text{ mm}$ ), b) Sistem Pelat Terpaku  $4 \times 4$  tiang ( $S_{\max} = 0,54 \text{ mm}$ ,  $S_{\min} = 0,005 \text{ mm}$ )

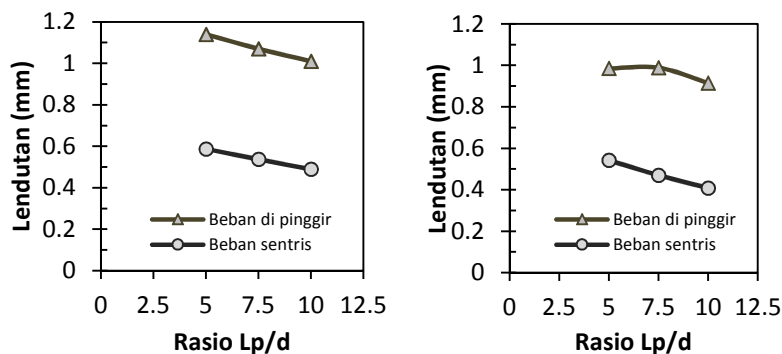
**Beban di tepi.** Beban dengan intensitas 0 kN, 10 kN, 20 kN, dan 40 kN diberikan pada ujung pinggir pelat, tepatnya pada jarak 10 cm dari pinggir pelat. Hasil analisis lendutan diberikan pada Gambar 7. Terlihat bahwa lendutan CAM (1,24 mm dengan lendutan minimum 0,00 mm) sedikit lebih besar dibanding Pelat Terpaku (1,07 mm dengan lendutan minimum 0,011 mm). Pada Sistem CAM memberikan perbandingan momen positif dan negatif yang relatif seimbang ( $M_{\max} = 3,96 \text{ kNm/m}$ ,  $M_{\min} = -3,40 \text{ kNm/m}$ ), sedangkan pada Sistem Pelat Terpaku momen juga relatif seimbang ( $M_{\max} = 3,43 \text{ kNm/m}$ ,  $M_{\min} = -5,43 \text{ kNm/m}$ ) sehingga diperlukan luasan tulangan negatif yang sedikit lebih besar.



Gambar 7. Perbandingan hasil analisis CAM dan Sistem Pelat Terpakupada beban di tepi,  $Q = 40 \text{ kN}$

### C. Pengaruh Panjang dan Jarak Tiang pada Sistem Pelat Terpaku

Pada bagian ini akan diberikan bagaimana pengaruh rasio panjang-diameter tiang ( $L_p/d$ ) terhadap lendutan Sistem Pelat Terpaku. Ditinjau rasio  $L_p/d$  sebesar 5; 7,5 dan 10, dimana diameter tiang sebesar  $d = 20 \text{ cm}$  sehingga panjang tiang masing-masing sebesar 1,00 m, 1,50 m, dan 2,00 m. Rasio  $L_p/d$  yang semakin besar menghasilkan lendutan yang semakin kecil (Gambar 8), oleh karena *interface* tiang semakin luas sebagai akibat dari semakin panjangnya tiang, sehingga tahanan tiang juga bertambah. Hal ini berlaku untuk kedua macam pembebanan, yaitu beban sentris dan beban di tepi.



a).  $4 \times 4$  tiang

b).  $5 \times 5$  tiang

Gambar 8. Hubungan lendutan terhadap rasio  $L_p/d$  pada Sistem Pelat Terpaku

Pengaruh jarak antar tiang  $s$  dengan rasio  $s/d$  sebesar 5 dan 6,25 untuk  $L_p = 1,50$  m, bahwa semakin kecil rasio  $s/d$  maka lendutan pelat semakin berkurang, oleh karena jarak antar tiang semakin rapat.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dan analisis sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut

1. Telah ditunjukkan dengan analisis numerik bahwa kinerja perkerasan Sistem Pelat Terpaku ( $4 \times 4$  tiang dan  $5 \times 5$  tiang) pada lebar pelat yang sama memberikan kinerja yang cenderung lebih baik dibanding Sistem CAM. Lendutan pelat pada perkerasan Sistem Pelat Terpaku cenderung lebih rendah dibanding Sistem CAM. Hal yang sama juga terjadi pada distribusi momen pelat.
2. Pada perkerasan Sistem Pelat Terpaku, penambahan panjang tiang ataupun pengurangan jarak antar tiang akan meningkatkan kinerja sistem dimana lendutan semakin berkurang.
3. Bilamana jalan akan dibangun melintasi tanah dasar lunak yang cukup tebal sedangkan jalan tersebut cukup panjang, tentu perlu material timbunan yang banyak untuk membangun badan jalan. Jika dilakukan penggantian material dimana tanah dasar digali maka bekas galian akan terbentuk seperti kanal yang tentunya memerlukan material timbunan yang banyak pula. Di sisi lain, material galian menimbulkan masalah baru yang juga harus ditangani. Untuk itu perkerasan jalan beton dengan Sistem Pelat Terpaku dapat menjadi alternatif yang lebih ekonomis. Ekonomis dari segi pembangunan dan perawatannya serta diharapkan mempunyai usia layan yang lebih panjang.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini adalah bagian dari penelitian yang didanai oleh Lembaga Penelitian Universitas Islam Riau pada Tahun Anggaran 2012.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Dewi, D.A., 2009, Kajian Pengaruh Tiang Tunggal Terhadap Nilai Koefisien Reaksi Subgrade Ekvivalen pada Uji Beban Skala Penuh, *Tesis*, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta.
- Firdiansyah, A., 2010, Evaluasi Dimensi Sistem Cakar Ayam Akibat Pengaruh Variasi Letak Beban dan Kondisi Tanah, *Tesis*, Magister Program Pengelolaan Sarana Prasarana (MPSP) UGM, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2008, Sistem "Pelat Terpaku" (*Nailed Slab*) Untuk Perkuatan Pelat Beton Pada Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*), *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Tepat Guna dalam Penanganan Sarana-prasarana*, MPSP JTSL FT UGM., pp. M-1—M-7.
- Hardiyatmo, H.C., 2009, Metoda Hitungan Pelat dengan Menggunakan Modulus Reaksi Tanah Dasar Ekvivalen untuk Struktur Pelat Fleksibel, sub mitted in *Dinamika Teknik*.
- Hardiyatmo, H.C., 2010, *Perancangan Sistem Cakar Ayam Modifikasi untuk Perkerasan Jalan Raya*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2011, Method to Analyze the Deflection of the Nailed-slab System, *International Journal of Civil and Environmental Engineering IJJCE-IJENS*, Vol. 11 No. 4, pp. 22-28.
- Nasibu, R., 2009, Kajian Modulus Reaksi Tanah Dasar Akibat Pengaruh Tiang (Uji Beban pada Skala Penuh, *Tesis*, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- Puri, A., Hardiyatmo, C. H., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2011a, Studi Eksperimental Lendutan Pelat yang Diperkuat Tiang-tiang Frikksi Pendek pada Lempung Lunak, *Prosiding PIT XIV HATTI*, Yogyakarta.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., and Rifa'i, A., 2012b, Application of The Additional Modulus of Subgrade Reaction to Predict The Deflection of Nailed-slab System Resting on Soft Clay Due to Repetitive Loadings, *Proc. of 16<sup>th</sup> Annual Scientific Meeting (PIT) HATTI*, Jakarta, pp. 217-222.



- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., and Rifa'i, A., 2013a, Pile Spacing and Length Effects Due To the Additional Modulus of Subgrade Reaction of the Nailed-Slab System on the Soft Clay, *Proc. of 13<sup>th</sup> International Symposium on Quality in Research (QiR)*, Yogyakarta, 25-28 June 2013, pp. 1032-1310.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., and Rifa'i, A., 2013b, Deflection Analysis of Nailed-slab System which Reinforced by Vertical Wall Barrier under Repetitive Loading, *Proc. the 6<sup>th</sup> Civil Engineering Conference in Asian Region (CECAR6)*, Jakarta, 20-22 August 2013, pp. TS6-10—TS6-11.
- Suhendro, B., 2006, *Sistem Cakar Ayam Modifikasi sebagai Alternatif Solusi Konstruksi Jalan di Atas Tanah Lunak*, Saduran dari Buku 60 Tahun Republik Indonesia, Jakarta.
- Suhendro, B., dan Hardiyatmo, H.C., 2010, Sistem Perkerasan Cakar Ayam Modifikasi (CAM) sebagai Alternatif Solusi Konstruksi Jalan di Atas Tanah Lunak, Ekspansif, dan Timbunan, *Prosiding Seminar dan Pameran Sehari 2010 Inovasi Baru Teknologi Jalan dan Jembatan*, DPD HPJI Jatim, Surabaya.
- Taa, P.D.S., 2010, Pengaruh Pemasangan Kelompok Tiang Terhadap Kenaikan Pelat dalam Sistem Nailed-Slab yang Terletak di Atas Tanah Dasar Ekspansif, *Tesis*, Prog.S2 Teknik SipilUGM, Yogyakarta.