

Perhitungan Lendutan Perkerasan Jalan Sistem Cakar Ayam Modifikasi dengan Variasi Faktor Aman Pada Tambahan Modulus Reaksi *Subgrade*

Dinda Rosita Agustin¹, Anas Puri², Rony Ardiansyah³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik sipil, Universitas Islam Riau

²Pengajar Program Studi Teknik sipil, Universitas Islam Riau

³Pengajar Program Studi Teknik sipil, Universitas Islam Riau

¹dindaragustin@gmail.com; ²anaspuri@eng.uir.ac.id;

³ronyardiansyahuir@gmail.com

Abstrak

Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) merupakan sistem perkerasan yang digunakan pada tanah lunak yang dapat meratakan lendutan yang terjadi, karena pelat-cakaryang kaku. Sistem CAM ini merupakan pengembangan dari sistem Cakar Ayam (CA) yang telah diusulkan oleh Prof. Sedyatmo. Beberapa cara analisa lendutan CAM telah banyak dikembangkan. Pada makalah ini akan diterapkan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen metode Puri, dkk (2012) untuk menghitung lendutan sistem CAM, dimana nilai faktor aman divariasikan. Input lendutan pada metode tersebut digunakan lendutan pengamatan. Lendutan pelat dihitung menggunakan metode BoEF (*Beams on Elastic Foundation*). Hasil hitungan lendutan kemudian divalidasi dengan lendutan pengamatan. Hasil analisis menunjukkan bahwa besaran faktor aman mempengaruhi nilai lendutan hitungan. Lendutan hitungan meningkat dengan peningkatan faktor aman. Faktor aman 1,0 sudah mencukupi untuk analisis oleh karena lendutan hitungan sangat mendekati pengamatan. Lendutan hitungan didasarkan pada tinjauan satu baris cakar, sedangkan lendutan pengamatan adalah untuk 3 baris cakar. Dengan demikian hasil hitungan pada zona aman. Metode hitungan menggunakan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen dapat digunakan untuk perencanaan perkerasan sistem CAM.

Kata kunci : Cakar Ayam Modifikasi, lendutan, modulus reaksi *subgrade* ekuivalen, faktor aman

Abstract

Modified Cakar Ayam system (CAM) is a system of pavement used on soft soil that can distribute settlement uniformly because the stiffness of the system. CAM is a development of the system Cakar Ayam (CA) which was proposed by Prof. Sedyatmo. Some analysis methods of CAM deflection has been developed. This paper will apply the equivalent modulus of subgrade reaction from Puri, et al (2012) method to calculate the deflection. The safety factor (SF) was varied. Slab deflections input in analysis were based on obserbed deflections. Deflection was calculated by Beam on Elastic Foundation method and then validated by obserbed deflections. Results show that SF's values can influence the calculated deflections. Calculated deflection tends to increase by increasing the SF. SF = 1,0 was sufficiently for analysis because calculated deflections were closed to obserbed deflections. Calculated deflections were based on single-pile row and the obserbed deflections were based on three pile rows. Hence, the calculated deflections were on safety zone. The calculation method by using equivalent modulus of subgrade reaction can be used for prelemeniry design of CAM system.

Keywords: Modified Cakar Ayam, deflection, equivalent modulus of subgrade reaction, safety factor

1. PENDAHULUAN

Di Indonesia, banyak ditemui daerah yang memiliki tanah-dasar (*subgrade*) yang terletak pada tanah yang relatif lunak atau tanah ekspensif. Dalam bidang teknik sipil, tanah mempunyai peranan penting dan salah satu unsur yang berpengaruh pada setiap struktur yang akan dibangun baik pada struktur bangunan maupun struktur perkerasan.

Metode perancangan perkerasan jalan yang telah ada, umumnya diasumsikan bahwa tanah-dasar dalam kondisi stabil, sehingga tebal komponen struktur perkerasan hanya didasarkan pada daya dukung tanah-dasar yang dinyatakan oleh nilai CBR atau modulus reaksi *subgrade* vertikal. Perancangan menjadi tidak tepat bila ternyata tanah-dasar saat dibebani beban lalu-lintas mengalami penurunan yang berlebihan (akibat tanah fondasi yang lunak).

Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) merupakan salah satu sistem yang dapat menyelesaikan masalah tersebut. Melihat keberhasilan penggunaan Sistem Cakar Ayam Prof. Sedyatmo (1961) dan Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) yang telah dipatenkan oleh Prof. Ir. Bambang Suhendro, Msc, Ph.D, Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng., DEA, Ir. Mariyadi Darmokumoro.

Melihat keberhasilan pada penggunaan perkerasan CAM, Hardiyatmo (2008) mengusulkan perkerasan beton "Sistem Pelat Terpaku". Analisa ini menggunakan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (Hardiyatmo, 2009, 2011; Puri, dkk. 2012; Somantri, 2013; Puri, 2015) maupun metode elemen hingga (Somantri, 2013; Puri, 2015). Menurut Puri, dkk (2012), tambahan modulus reaksi subgrade (Δk) berdasarkan penurunan toleransi. Untuk merancang kebutuhan, sulit untuk menentukan faktor reduksi perlawanan tiang (α). Menurut Puri, dkk (2012), unit

memobilisasi perlawanan poros tiang masih dalam zona elastis. Menurut aturan praktis dalam menentukan kapasitas bantalan tiang diijinkan yang biasanya diambil pada 1/2.5 kapasitas ultimate, lebih jauh lagi, faktor pengurangan perlawanan tiang didekati oleh 1/2.5. Hal lain yang harus dipertimbangkan adalah penurunan toleransi perkerasan pelat kaku (δa).

Pada penelitian ini akan dilihat variasi faktor aman pada Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) dalam menentukan nilai tambahan modulus reaksi *subgrade*, kemudian akan dilihat pola lendutan pada masing-masing variasi faktor aman.

1.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa cara analisa lendutan pada perkerasan CAM telah dilakukan oleh Suhendro (1992), mengembangkan prosedur atau Metode Analisis sistem Cakar Ayam dengan metode matematik nonlinier 3-Dimensi, yaitu dengan menggunakan metode elemen hingga.

Hardiyatmo, dkk (1999), mengusulkan penyelesaian untuk analisis lendutan, momen dan gaya lintang yang terjadi pada pelat sistem Cakar Ayam dengan menggunakan pendekatan metoda *Beam on Elastic Foundation* (BoEF) yang dikembangkan oleh Hetenyi untuk hitungan balok pada fondasi elastik. Muhu (2007) melakukan pengamatan terhadap kajian lendutan akibat variasi lebar cakar 10 cm dan 30 cm pada sistem tanpa cakar dan pada sistem dengan cakar dengan perbandingan kondisi pembebanan yang sama dan tekanan kontak yang sama. Dan dilakukan perhitungan lendutan menggunakan metode BoEF, dimana hasil pada perhitungan metode BoEF yang didapat dibandingkan dengan hasil data pengamatan langsung di laboratorium.

Hardiyatmo (2010) melakukan penelitian metode hitungan lendutan, momen dan gaya lintang sistem cakar ayam untuk

perancangan perkerasan jalan beton yang terdiri dari satu deret cakar dengan dimensi pelat 7,5 m x 2,5 m. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga (SAP 2000). Setiawan (2015) menganalisis lendutan yang terjadi pada perkerasan sistem CAM melalui pengamatan dan dengan metode elemen hingga menggunakan program SAP 2000 v.11.

1.2 Landasan Teori

Dalam perancangan Sistem Pelat Terpaku dibutuhkan nilai modulus reaksi tanah-dasar akibat pengaruh dukungan tiang. Modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') didefinisikan sebagai modulus reaksi tanah-dasar yang memperhatikan kontribusi tiang dalam menahan perpindahan vertikal pelat yang dinyatakan oleh persamaan (Hardiyatmo, 2010):

$$k' = k + \Delta k \quad (1)$$

Dimana k' : modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (kN/m^3), k : modulus reaksi *subgrade* (kN/m^3), Δk : kenaikan modulus reaksi *subgrade* akibat pemasangan tiang (kN/m^3).

Menurut Puri, dkk (2012), mobilisasi perlawanan gesek tiang masih dalam zona elastis. Menurut aturan praktis dalam menentukan kapasitas dukung tiang diizinkan biasanya diambil pada 1/2,5 kapasitas ultimit. Dimana 2,5 adalah faktor aman (SF). Oleh karena itu, tambahan modulus reaksi *subgrade* karena adanya tiang dibawah pelat dapat ditentukan dengan (Puri, dkk., 2012):

$$\Delta k = \frac{f_s A_s}{2,5 \delta_a A_{ps}} \quad (2)$$

dimana a_d : faktor adhesi (*non dimensional*), c_u : kohesi *undrained* (kN/m^2), A_s : luas selimut tiang (m^2), δ_a : toleransi penurunan (m), A_{ps} : luasan zona pelat yang didukung oleh satu tiang (m^2) = s^2 dan s : jarak antar tiang (m). Adapun konstanta 2,5 adalah SF .

Selanjutnya Persamaan (2) dapat ditulis menjadi (Puri, 2015)

$$\Delta k = \frac{f_s A_s}{SF \delta_a A_{ps}} \quad (3)$$

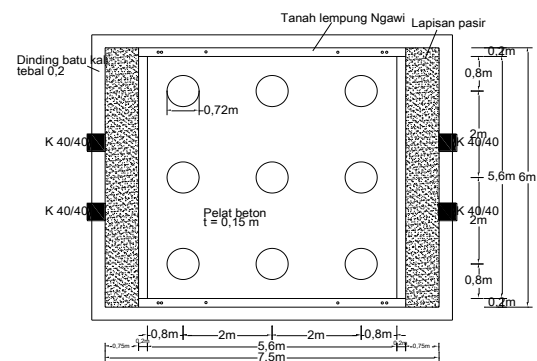
Perhitungan lendutan menggunakan metode BoEF (*Beam on Elastic Foundation*) dengan menggunakan formula-formula Roaks (Young dan Budynas, 2002) dengan input nilai k' .

2. METODE PENELITIAN

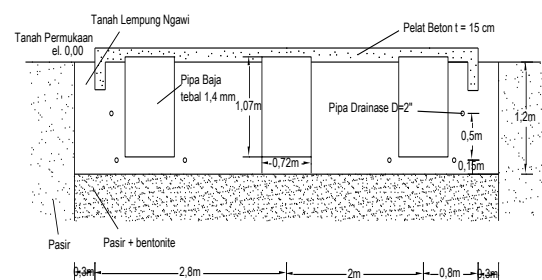
2.1 Objek Penelitian

Objek yang digunakan pada penelitian ini (Gambar 1) adalah model skala penuh perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) dari pelat pelat beton ukuran 6,0 m x 6,0 m tebal pelat 0,15 m (Setiawan, 2015).

Pipa cakar yang digunakan merupakan pipa cakar baja diameter 0,72 m dengan tinggi 1,07 m dan tebal 1.4 mm terletak di bawah pelat beton.



a) Denah



b) Tampang Samping

Gambar 1. Dimensi perkerasan sistem Cakar Ayam Modifikasi (Setiawan, 2015)

Tabel 1. *Properties* tanah lempung lunak Ngawi dan beton (Setiawan, 2015)

No	<i>Properties</i>	Besaran	Satuan
1	Kohesi (c)	15	kN/m ²
2	Modulus reaksi <i>subgrade</i> vertikal, k_v	5.498,4	kN/m ³
3	Mutu beton, f_c pada 28 hari	32,16	MPa
4	Klasifikasi tanah menurut USCS	CH	

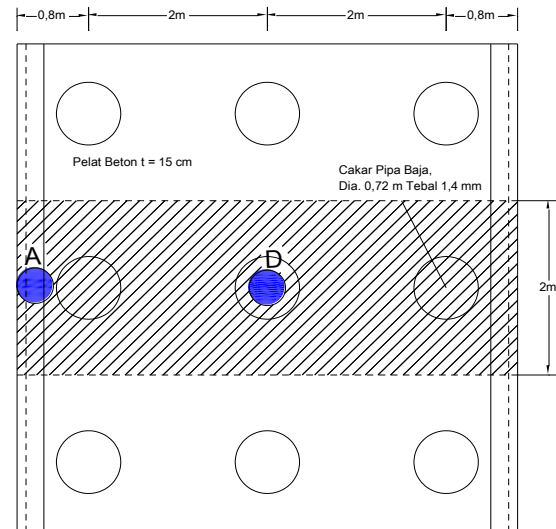
2.2 Cara analisis

Penggunaan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen pada Sistem Pelat Terpaku akan diaplikasikan pada Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) untuk menghitung lendutan dan gaya dalam dengan objek penelitian uji coba model skala penuh lapangan Setiawan (2015). Modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') yang didefinisikan sebagai modulus reaksi tanah-dasar yang memperhatikan kontribusi tiang dalam menahan gerakan perpindahan vertikal pelat.

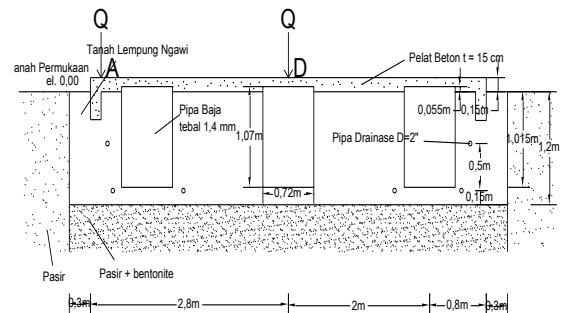
Dalam penelitian ini akan digunakan Metode Puri (2012), yang divariasi dengan 5 faktor aman (1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0). Perhitungan model skala penuh hanya ditinjau satu baris, dimana lebar pelat diambil sama dengan jarak cakar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2a.

Tahapan perhitungan menggunakan BoEF disederhanakan sebagai berikut: (a) lantai kerja diabaikan, guna desain pada zona lebih aman, (b) hal yang sama pada pelat penebalan/pelat konektor juga diabaikan.

Perhitungan pada penelitian ini dilakukan dengan cara menggunakan lendutan pengamatan (Setiawan, 2015) sebagai nilai lendutan izin ($\delta_a = \delta_s$). Lendutan izin pengamatan yang diambil dari lendutan beban repetitif setelah pembasahan (Setiawan, 2015).



a) Tinjauan satu baris cakar



b) Potongan melintang

Gambar 2. Denah tinjauan satu baris cakar dan potongan melintang CAM untuk analisis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Hitungan Lendutan Berdasarkan Lendutan Pengamatan sebagai Lendutan Izin

Perhitungan menggunakan nilai k_v yang telah diketahui dari uji beban pelat sebesar 5.498,4 kN/m³ yang kemudian dikoreksi dengan bentuk dan ukuran pelat dengan metode Das (2011), diperoleh nilai k_v menjadi 1.282,96 kN/m³. Konstruksi terletak pada tanah lempung Ngawi. Untuk nilai kohesi (c) = 15 kN/m², berdasarkan kurva Tomlinson pada Grafik Mc Clelland (1974) diperoleh faktor adhesi $a_d = 1,0$. Kemudian didapat tahanan gesek satuan ultimit $f_s = 15$ kN/m². Dari dimensi cakar dan pelat pada Gambar (2), selimut tiang (A_s) = 2,419 m² dan luas pelat yang

didukung tiang tunggal (A_{PS}) = 4 m². Kemudian diambil variasi faktor aman (1, 1,5, 2, 2,5, 3) pada metode Puri, dkk (2012) dalam menentukan tambahan modulus reaksi *subgrade* (Δk). Dengan mengambil lendutan pengamatan sebagai nilai lendutan izin ($\delta_s \approx \delta_a$) dan mengambil variasi faktor aman, maka menambah variasi nilai tambahan modulus reaksi *subgrade* (Δk) seperti pada Tabel.2 dan Tabel.3. Dengan menambah k dengan Δk didapat nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k').

Hasil perhitungan dengan lendutan pengamatan dengan variasi faktor aman (1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0) dan variasi beban (20 kN, 40 kN, 60 kN, 100 kN) kemudian dianalisis menggunakan program BoEF.

Tabel 2. Modulus reaksi *subgrade* ekuivalen satu baris cakar dengan $\delta_s \approx \delta_a$ titik A

Q (kN)	δ_s (mm)	Faktor Aman	Δk (kN/m ³)	k' (kN/m ³)
20	0,558	1	16256,7	26309,52
		1,5	10837,8	18181,16
		2	8128,36	14116,98
		2,5	6502,69	11678,47
		3	5418,91	10052,80
40	1,195	1	7591	13310,94
		1,5	5060,67	9515,44
		2	3795,50	7617,69
		2,5	3036,40	6479,04
		3	2530,33	5719,93
60	1,970	1	4604,69	8831,48
		1,5	3069,80	6529,14
		2	2302,35	5377,96
		2,5	1841,88	4687,26
		3	1534,90	4226,79
100	3,774	1	2688,57	5957,295
		1,5	1792,38	4613,01
		2	1344,29	3940,87
		2,5	1075,43	3537,58
		3	3268,73	3268,73

Tabel 3. Modulus reaksi *subgrade* ekuivalen satu baris cakar dengan $\delta_s \approx \delta_a$ di titik D

Q (kN)	δ_s (mm)	Faktor Aman	Δk (kN/m ³)	k' (kN/m ³)
20	0,558	1	23684,73	24967,69

		1,5	15789,82	17072,78
		2	11842,36	13125,32
		2,5	9473,89	10756,85
		3	7894,91	9177,87
		40	1,195	1
		1,5	9801,46	11084,42
		2	7351,09	8634,05
		2,5	5880,87	7163,83
		3	4900,73	6183,69
		60	1,970	1
		1,5	7190,84	8473,80
		2	5393,13	6676,09
		2,5	4314,51	5597,47
		3	3595,42	4878,38
		100	3,774	1
		1,5	4185,12	5468,08
		2	3138,84	4421,80
		2,5	2511,07	3794,03
		3	2092,56	3375,52

3.1.1 Beban di Titik A (Tepi Pelat dengan Koperan)

Hasil hitungan lendutan akibat beban di tepi pelat disajikan pada Tabel 4, 5, 6, dan 7 berturut-turut untuk beban 20 kN, 40 kN, 60 kN, dan 100 kN. Distribusi lendutan sepanjang pelat diberikan pada Gambar 3 sampai 6.

Tabel 4. Lendutan Hitungan Akibat Beban Tepi Sebesar 20 kN

Faktor Aman	Lendutan (mm)		Selisih (%)
	Pengamatan	Hitungan	
1,0	-0,558	-0,639	15
1,5		-0,883	58
2,0		-1,100	97
2,5		-1,298	133
3,0		-1,478	165

Lendutan hitungan akibat beban di tepi sebesar 20 kN dengan variasi faktor aman diberikan pada Tabel 4. Lendutan pada faktor aman 1,0 paling kecil dibanding faktor aman lainnya. Walaupun memiliki lendutan yang lebih kecil dari variasi faktor aman yang lainnya, namun lendutan pada faktor aman 1,0 masih lebih besar 15% dibanding lendutan pengamatan. Sementara selisih terbesar dari variasi

faktor aman yaitu 165% untuk faktor aman 3,0. Distribusi lendutan sepanjang pelat diberikan pada Gambar 3. Pola lendutan sudah mengikuti pola lendutan pengamatan, namun terlihat seluruh pelat mengalami penurunan.

Tabel 5. Lendutan Hitungan Akibat Beban Tepi Sebesar 40 kN

Faktor Aman	Lendutan (mm)		Selisih (%)
	Pengamatan	Hitungan	
1,0	-1,195	-2,046	71
1,5		-2,722	128
2,0		-3,286	175
2,5		-3,768	215
3,0		-4,185	250

Tabel 6. Lendutan Hitungan Akibat Beban Tepi Sebesar 60 kN

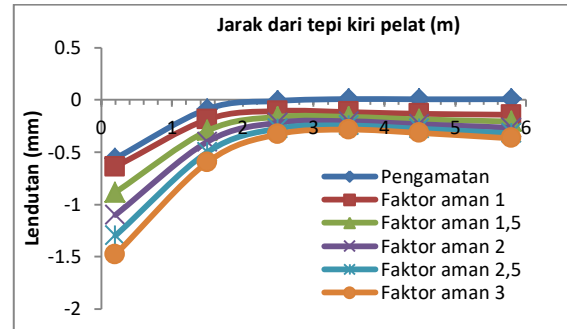
Faktor Aman	Lendutan (mm)		Selisih (%)
	Pengamatan	Hitungan	
1,0	-1,970	-4,145	110
1,5		-5,339	171
2,0		-6,278	219
2,5		-7,039	257
3,0		-7,673	290

Tabel 7. Lendutan Hitungan Akibat Beban Tepi Sebesar 100 kN

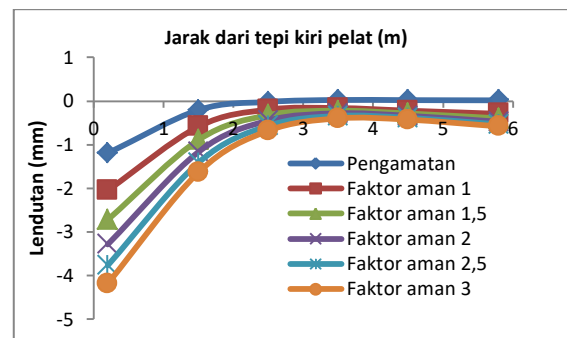
Faktor Aman	Lendutan (mm)		Selisih (%)
	Pengamatan	Hitungan	
1,0	-3,774	-9,204	144
1,5		-11,369	201
2,0		-12,947	243
2,5		-14,152	275
3,0		-15,106	300

Selisih lendutan hitungan untuk faktor aman 1,0 dengan lendutan pengamatan sebesar 71 % pada beban 40 kN (Tabel 5). Sementara selisih terbesar dari variasi faktor aman yaitu yaitu 250 % dengan faktor aman 3,0. Hasil yang serupa juga diperoleh untuk beban lainnya. Lendutan terendah pada faktor aman terkecil, dan cenderung meningkat dengan peningkatan faktor aman. Hingga beban 60 kN, seluruh pelat mengalami penurunan, kecuali untuk

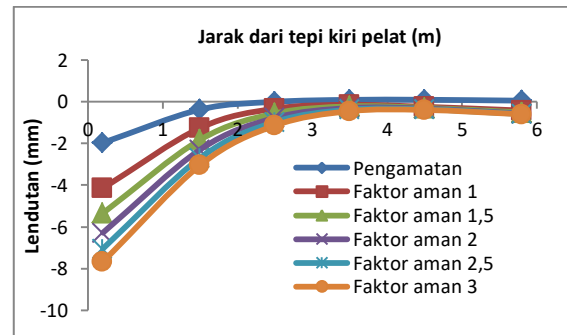
beban 100 kN hanya pelat yang lebih dekat pada beban yang mengalami penurunan. Akan tetapi tidak terjadi jungkitan pelat.



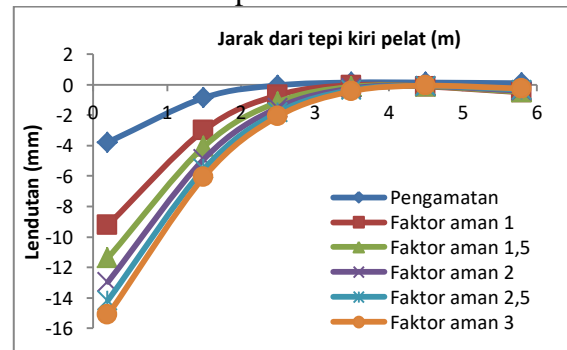
Gambar 3. Lendutan sepanjang pelat akibat beban tepi sebesar 20 kN.



Gambar 4. Lendutan sepanjang pelat akibat beban tepi sebesar 40 kN.



Gambar 5. Lendutan sepanjang pelat akibat beban tepi sebesar 60 kN.



Gambar 6. Lendutan sepanjang pelat akibat beban tepi sebesar 100 kN.

3.1.2 Beban di Titik D (Tengah Pelat)

Hasil hitungan lendutan akibat beban di tengah pelat disajikan pada Tabel 8, 9, 10, dan 11 berturut-turut untuk beban 20 kN, 40 kN, 60 kN, dan 100 kN. Distribusi lendutan sepanjang pelat diberikan pada Gambar 7 sampai 10.

Tabel 8. Lendutan Hitungan Akibat Beban di Tengah Sebesar 20 kN

Faktor Aman	Lendutan (mm)		Selisih (%)
	Pengamatan	Hitungan	
1	-0,383	-0,34	-11
1,5		-0,475	24
2		-0,599	56
2,5		-0,715	88
3		-0,824	115

Tabel 9. Lendutan Hitungan Akibat Beban di Tengah Sebesar 40 kN

Faktor Aman	Lendutan (mm)		Selisih (%)
	Pengamatan	Hitungan	
1	-0,617	-0,784	27
1,5		-1,068	73
2		-1,322	114
2,5		-1,551	151
3		-1,758	185

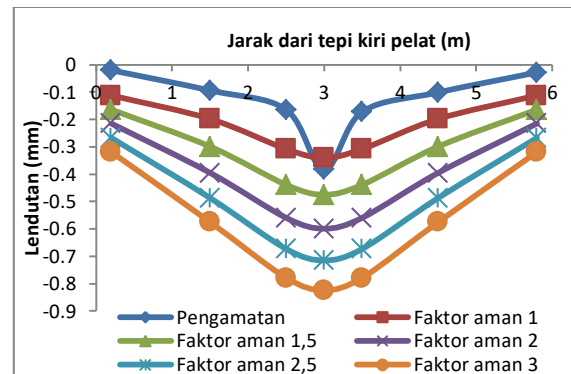
Lendutan hitungan akibat beban di tepi sebesar 20 kN dengan variasi faktor aman diberikan pada Tabel 8. Lendutan pada faktor aman 1,0 paling kecil dibanding faktor aman lainnya dan *under-estimated* sebesar 11%. Sementara selisih terbesar dari variasi faktor aman yaitu 115% untuk faktor aman 3,0. Distribusi lendutan sepanjang pelat diberikan pada Gambar 7. Pola lendutan sudah mengikuti pola lendutan pengamatan, namun terlihat seluruh pelat mengalami penurunan.

Tabel 10. Lendutan Hitungan Akibat Beban di Tengah Sebesar 60 kN

Faktor Aman	Lendutan (mm)		Selisih (%)
	Pengamatan	Hitungan	
1	-0,841	-1,34	59 %
1,5		-1,803	114 %
2		-2,2	162 %
2,5		-2,548	203 %
3		-2,856	240 %

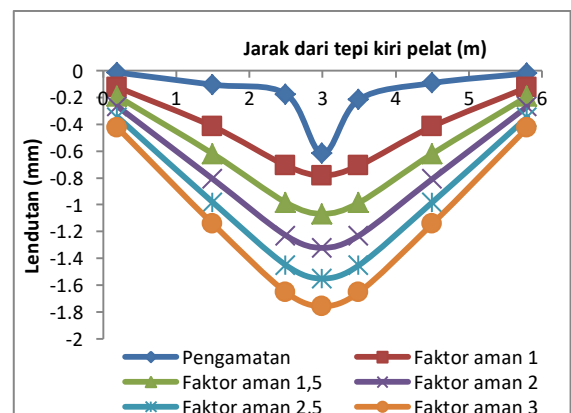
Tabel 11. Lendutan Hitungan Akibat Beban di Tengah Sebesar 100 kN

Faktor Aman	Lendutan (mm)		Selisih (%)
	Pengamatan	Hitungan	
1	-1,445	-2,988	107
1,5		-3,891	169
2		-4,62	220
2,5		-5,226	262
3		-5,74	297

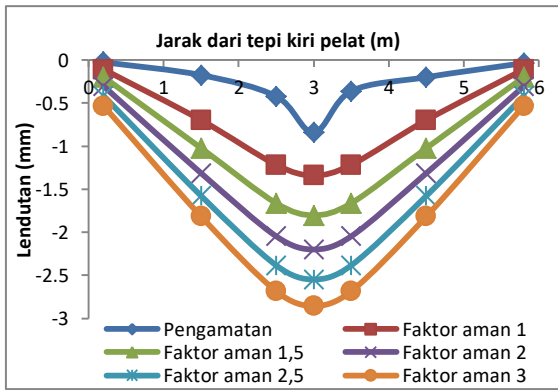


Gambar 7. Lendutan sepanjang pelat akibat beban di tengah sebesar 20 kN.

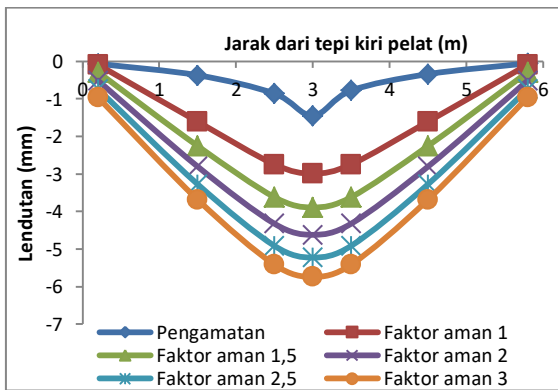
Selisih lendutan hitungan untuk faktor aman 1,0 dengan lendutan pengamatan sebesar 27 % pada beban 40 kN (Tabel 9). Sementara selisih terbesar dari variasi faktor aman yaitu yaitu 185 % dengan faktor aman 3,0. Hasil yang serupa juga diperoleh untuk beban lainnya. Lendutan terendah pada faktor aman terkecil, dan cenderung meningkat dengan peningkatan faktor aman. Hingga beban 100 kN, seluruh pelat mengalami penurunan. Akan tetapi tidak terjadi jangkitan pelat.



Gambar 8. Lendutan sepanjang pelat akibat beban di tengah sebesar 40 kN.



Gambar 9. Lendutan sepanjang pelat akibat beban di tengah sebesar 60 kN.



Gambar 10. Lendutan sepanjang pelat akibat beban di tengah sebesar 100 kN.

Berdasarkan seluruh hasil hitungan lendutan yang ada terlihat bahwa lendutan hitungan pada beban di tepi mengalami *over-estimated* yang lebih besar dibanding akibat beban di tengah pelat.

4. KESIMPULAN

Dari hasil lendutan perhitungandan pengamatan dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi faktor aman mempengaruhi hasil hitungan lendutan, dimana lendutan hitungan semakin besar dengan semakin besarnya faktor aman. Hal tersebut sudah sesuai dengan kenyataan.
2. Pola lendutan hitungan sudah sesuai dengan pengamatan.
3. Lendutan hitungan untuk beban di tepi cenderung lebih *over-estimated* dibanding untuk beban di tengah pelat.

DAFTAR PUSTAKA

- Suhendro, B., 2006, Sistem cakar ayam modifikasi sebagai alternatif solusikonstruksi jalan diatas tanah lunak,dari buku 60 tahun RepublikIndonesia, Jakarta, Indonesia
- Muhu, H.L.Y., 2007, Kajian Lendutan Pada Sistem Cakar Ayam AkibatVariasi Lebar Pelat (Model SistemCakar Ayam Dari Pelat Baja),*Skripsi*, Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan, UGM,Yogyakarta, Indonesia.
- Suhendro, B., dan Hardiyatmo, H.C., 2010sistem perkerasan Cakar AyamModifikasi (CAM) sebagaialternatif solusi konstruksi sebaialternatif solusi konstruksi jalan di atas tanah lunak, Ekspansif, dantimbunan, *Prosiding Seminar danPameran sehari 2010 inovasi baruteknologi jalan dan jembatan*, DPD HPJI Jatim, Surabaya, 31 Maret 2010.
- Hardiyatmo, H.C., 2011, Method toanalyze the deflection of the nailed-slab system, *International Journal of Civil and Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, Volume 11 Number 4, pp.22-28.
- Puri, A., 2015, Perilaku Perkerasan Kaku Sistem Pelat Terpaku pada Lempung Lunak, *Disertasi*, Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2012a, Determining Additional Modulus of Subgrade Reaction Based on Tolerable Settlement for The Nailed-Slab System Resting on Soft Clay, *International Journal of Civil and Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, Vol. 12 No. 03, pp 32-40
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., danRifa'i, A.,2013, Penerapan Metode Analisis Lendutan Pelat Terpaku Pada Model Skala Penuh dan Komprasi Dengan Uji

Pembebanan, *Konferensi Nasional Teknik Sipil* 7
(KoNTeKS7) Universitas Negeri
Sebelas Maret, Surakarta, 24-26 Oc-
tober 2013, pp. G201-G211

Setiawan, B., 2015, Perilaku Sistem
Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah
Ekspansif, *Disertasi*, Program
Studi Teknik Sipil, Program
Pascasarjana UGM, Yogyakarta,
Indonesia.