

Pengaruh Tahanan Ujung Tiang dan Faktor Aman Terhadap Lendutan Pelat Terpaku Tiang Tunggal Pada Lempung Lunak

P. Anas¹, O. Ferly², M. Roza³

¹Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Riau, Indonesia

²Mahasiswa Program Sarjana Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Riau, Indonesia

E-mail: anaspuri@eng.uir.ac.id¹, ferlyoktavia@student.uir.ac.id², rozamildawati@eng.uir.ac.id³

ABSTRAK: Perkerasan Sistem Pelat Terpaku merupakan salah satu alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan konstruksi jalan yang melalui tanah lunak. Kenaikan kapasitas dukung tanah dasar akibat pengaruh dukungan tiang-tiang pada pelat akan mengurangi kebutuhan tebal perkerasan beton dan memperkaku sistem perkerasan. Kapasitas dukung tiang tersebut kontribusi dari tahanan ujung dan tahanan gesek. Lazimnya tahanan ujung diabaikan untuk tiang berada pada tanah lunak. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh tahanan ujung tiang dan faktor aman (SF) terhadap lendutan pelat terpaku tiang tunggal. Dimensi struktur pelat terpaku dan data material mengacu pada Puri (2017). Pelat terpaku tiang tunggal mempunyai ukuran pelat 120 cm x 120 cm, tebal 15 cm, diperkuat dengan tiang bulat beton masif tunggal diameter 20 cm, dan panjang tiang 150 cm. Sistem ini dibebani dengan pembebanan tekan sentris. Perhitungan lendutan dan gaya dalam pelat menggunakan metode BoEF (*Beam on Elastic Foundation*), berdasarkan tambahan modulus reaksi tanah dasar ekuivalen yang dibandingkan dengan lendutan hasil pengamatan. Hasil analisis menunjukkan bahwa besaran faktor aman mempengaruhi nilai lendutan hitungan. Peningkatan SF cenderung meningkatkan lendutan hitungan. Penggunaan $SF = 1,0$ sudah memadai. Perhitungan lendutan dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b > 0$) lebih baik dibanding tanpa memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b = 0$). Momen pelat memberikan perbedaan tidak signifikan untuk hitungan tanpa atau dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang.

Keywords: perkerasan kaku, pelat terpaku, diameter tiang, reaksi *subgrade*, lendutan pelat.

1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan di atas tanah lunak sering dibangun menggunakan perkerasan kaku. Lapis perkerasan tersebut langsung menumpu pada tanah dasar lunak atau di atas lapis fondasi jalan. Perkerasan jalan terletak pada tanah dasar yang tidak stabil seperti lempung lunak atau tanah ekspansif, banyak menimbulkan masalah pada kinerja jangka panjang perkerasan (Hardiyatmo, 2014). Perkerasan jalan yang terletak pada tanah dasar lunak atau ekspansif, sering mengalami deformasi yang berlebihan oleh beban kendaraan berat, sedangkan menurut Hardiyatmo (2012), 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. Perkerasan jalan tidak hanya menerima beban siklik oleh kendaraan, namun juga menerima beban akibat temperatur yang membuat perkerasan jalan mengalami momen lentur bolak-balik (Puri, 2015).

Sistem Pelat Terpaku (*Nailed Slab System*) yang ditemukan oleh Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M. Eng., DEA. (2008) adalah suatu perkerasan beton bertulang (tebal antara 12 - 20 cm) yang didukung oleh tiang-tiang mini (panjang 150 - 200 cm dan diameter 15 - 20 cm). Tiang-tiang dan pelat beton dihubungkan secara monolit dengan bantuan tulangan-tulangan. Interaksi antara pelat beton-tiang-tanah disekitarnya menciptakan suatu perkerasan yang lebih kaku, yang lebih tahan terhadap deformasi tanah-dasar. Sistem ini merupakan salah satu alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan konstruksi jalan yang melalui tanah lunak. Sistem Pelat Terpaku cocok digunakan untuk perkerasan yang tanah dasarnya dipengaruhi oleh penurunan tidak seragam, karena interaksi tanah-tiang-pelat membuat pelat lebih kaku, sehingga mengurangi terjadinya beda penurunan permukaan perkerasan (menciptakan permukaan perkerasan beton yang selalu rata) (Hardiyatmo, (2016). Pelat berfungsi ganda yaitu sebagai struktur perkerasan sekaligus sebagai *pile cap*, sedangkan tiang-tiang selain berguna untuk menaikkan daya dukung tanah-dasar, juga menjaga agar pelat beton tetap kontak dengan baik pada lapis pondasi bawah.

Perancangan Pelat Terpaku dapat menggunakan Metode Hardiyatmo Modifikasi (Puri, dkk., 2012). Metode ini merupakan salah satu metode dalam menentukan nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen, dan merupakan modifikasi dari metode Hardiyatmo (2011). Oleh karena tiang berada pada tanah lunak dan dimensi tiang kecil maka tahanan ujung diabaikan (Hardiyatmo, 2011; Puri, dkk. 2012, Puri, 2015). Menurut Hardiyatmo (2011), penurunan pelat beban lebih besar dari pada penurunan atau perpindahan relatif

tanah dan tiang, karena penurunan relatif tanah dan tiang kecil maka tahanan gesek tiang belum sepenuhnya optimum, sehingga digunakan pendekatan faktor perpindahan tiang (α) dalam menentukan modulus reaksi *subgrade* (Δk). Menurut Puri, dkk (2012), sulit untuk menentukan faktor perpindahan tiang (α), serta mengusulkan sebuah pendekatan dengan mempertimbangkan penurunan toleransi perkerasan kaku. Dalam menentukan kapasitas dukung tiang diizinkan biasanya diambil 1/2,5 kapasitas ultimit. Nilai 2,5 adalah faktor aman, dengan mengambil $\alpha = 1/SF = 1/2,5$ dengan asumsi perpindahan kepala tiang sama dengan penurunan toleransi perkerasan pelat kaku ($\delta_p = \delta_a$; maka $\beta = 1 / \delta_a$).

Analisis variasi faktor aman pada modulus reaksi *subgrade* ekuivalen untuk model skala penuh Pelat Terpaku satu baris tiang dengan pembebanan tekan sentris telah dilakukan Puri (2017). Sistem tersebut berada pada media tanah lempung lunak. Belum dilakukan analisis penerapan variasi faktor aman pada Pelat Terpaku tiang tunggal dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang. Penelitian ini akan menerapkan nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') dengan pendekatan variasi faktor aman pada nilai tambahan modulus reaksi *subgrade* (Δk) dan pengaruh tahanan ujung tiang.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Modulus Reaksi *Subgrade* Ekuivalen (k')

Modulus reaksi *subgrade* ekuivalen merupakan salah satu cara analisis yang digunakan pada perkerasan sistem pelat terpaku. Modulus reaksi *subgrade* ekuivalen adalah modulus reaksi akibat adanya tiang-tiang beserta pelat. Nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') diperoleh dengan menjumlahkan nilai modulus reaksi *subgrade* tanah (k) dan nilai tambahan dari modulus reaksi dari tiang tunggal (Dk). Hardiyatmo (2011) mengusulkan metode penentuan tambahan modulus Dk . Puri, dkk, (2012b) menyederhanakan metode yang diusulkan oleh Hardiyatmo tersebut dengan mempertimbangkan penurunan izin dari perkerasan. Istilah modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') digunakan untuk membedakan modulus reaksi *subgrade* klasik (yaitu dari uji beban pelat standar) dan modulus *subgrade* pelat yang sudah dipengaruhi oleh dimensi pelat yang lebih lebar dan perlawanan kelompok tiang yang mendukung pelat.

Pada sistem pelat terpaku, pendekatan penentuan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') didefinisikan sebagai modulus reaksi *subgrade* yang memperhatikan kontribusi tiang dalam menahan gesekan perpindahan vertikal pelat ditentukan sebagai berikut

(Hardiyatmo, 2011; Dewi, 2009; Puri, et.al., 2011b, 2012a dalam Puri, dkk, 2013):

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

dengan :

k' = modulus reaksi *subgrade* ekuivalen pelat terpaku (kN/m³)

k = modulus reaksi *subgrade* dari tanah (kN/m³)

Δk = tambahan modulus reaksi *subgrade* karena adanya tiang (kN/m³)

2.2 Reaksi Subgrade

Koefisien reaksi *subgrade* adalah hubungan konseptual antara tekanan tanah dengan defleksi (Bowles, 1982 dalam Muhi, 2007). Salah satu besaran yang dapat digunakan dalam analisis lendutan pelat adalah koefisien reaksi tanah dasar. Rumus dasar perhitungan nilai koefisien *subgrade* (k_v) untuk pelat kaku adalah:

$$k_v = \frac{q}{\delta} \quad (2)$$

dengan:

q = tekanan tanah (kN/m²)

δ = lendutan yang terjadi (m)

Menurut Puri, dkk (2013), koefisien reaksi tanah dasar arah vertikal (k_v) dapat digunakan dalam hitungan lendutan. Koefisien ini ditentukan sebagai tekanan fondasi (q) yang dibagi dengan penurunan yang bersesuaian (δ) dari tanah di bawahnya. Dengan kata lain, reaksi tanah dasar tidak lain adalah distribusi reaksi tanah (q) di bawah struktur fondasi rakit guna melawan beban fondasi. Reaksi *subgrade* terdistribusi tidak linier akibat beban merata fondasi. Pada lempung, distribusi reaksi tanah berbentuk cembung dengan reaksi maksimum di sekitar pinggir fondasi dan reaksi yang lebih kecil pada tengah-tengah fondasi.

Modulus reaksi *subgrade* dari uji beban pelat (k) biasanya menggunakan pelat lingkaran dan harus dikoreksi terhadap ukuran dan bentuk pelat dari pelat terpaku (Puri, dkk, 2012). Koreksi ukuran dan bentuk pelat mengacu pada metode Das (2011) seperti pada persamaan berikut:

Koreksi terhadap ukuran pelat dinyatakan sebagai :

$$k_v = k_{0,3} \left[\frac{0,3}{B} \right] \quad (3)$$

Koreksi terhadap bentuk pelat dinyatakan sebagai :

$$k_v = \frac{k(B \times B) \left(1 + \frac{0,5B}{L} \right)}{1,5} \quad (4)$$

dengan:

k = modulus reaksi tanah dasar dengan lebar B (kN/m³),

$k_{0,3}$ = modulus reaksi tanah dasar pelat beban 0,3 m x 0,3 m (kN/m³),

B = lebar pelat (m),

$k_{(B \times B)}$ = modulus reaksi tanah dasar pelat beban $B \times B$ (kN/m³),

L = panjang pelat (m).

2.3 Modulus Reaksi Subgrade Ekuivalen Metode Hardiyatmo Modifikasi

Metode Hardiyatmo (2011) menggunakan pendekatan reduksi tahanan tiang dalam penentuan D_k . Perpindahan relatif antara tanah dan tiang, dan reduksi tahanan tiang telah diperhitungkan. Untuk keperluan desain praktis, penentuan reduksi tahanan tiang sulit diperhitungkan. Puri, dkk, (2012a) mengusulkan suatu pendekatan dalam penentuan tambahan modulus reaksi *subgrade* dengan menggunakan penurunan izin/toleransi pelat perkerasan. Tambahan

modulus reaksi *subgrade* karena memperhitungkan tahanan ujung tiang (Q_b) dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$\Delta k = \frac{0,4(Q_s + Q_b)}{\delta a A_{PS}} \quad (5)$$

atau,

$$\Delta k = \frac{0,4(f_s A_s + f_b A_b)}{\delta a A_{PS}} \quad (6)$$

Sehingga modulus reaksi *subgrade* ekuivalen dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang dapat dihitung dengan:

$$k' = k + \frac{0,4(f_s A_s + f_b A_b)}{\delta a A_{PS}} \quad (7)$$

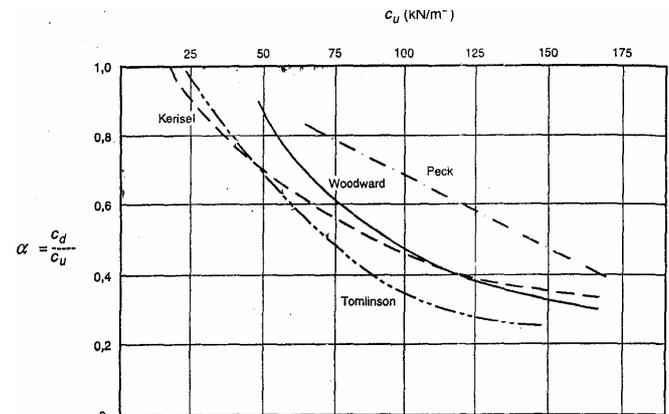
Untuk pelat terpaku yang berada di atas tanah lunak, maka tahanan ujung tiang diabaikan. Dalam hal ini tambahan modulus reaksi *subgrade* karena adanya tiang di bawah pelat ditentukan (Puri, dkk, 2012a; Puri, 2015) sebagai berikut:

$$\Delta k = \frac{0,4 a_d c_u A_s}{\delta a A_{PS}} \quad (8)$$

Sehingga modulus reaksi *subgrade* ekuivalen dapat dihitung dengan :

$$k' = k + \frac{0,4 a_d c_u A_s}{\delta a A_{PS}} \quad (9)$$

Faktor adhesi a_d dapat ditentukan berdasarkan kurva Tomlinson pada Grafik McClelland (1974) dengan menggunakan nilai c_u (Gambar 1).



Gambar 1. Faktor adhesi untuk tiang pancang pada tanah lempung (McClelland, 1974)

Mobilisasi perlawanan gesek tiang masih dalam zona elastis (Puri, dkk (2012). Menurut aturan praktis dalam menentukan kapasitas dukung tiang diizinkan biasanya diambil pada 1/2,5 kapasitas ultimit. Dimana 2,5 adalah faktor aman (SF). Dengan mengambil $\alpha = 1/SF = 1/2,5$ dengan asumsi perpindahan kepala tiang sama dengan penurunan toleransi perkerasan pelat kaku ($\delta_p = \delta_a$; maka $\beta = 1/\delta_a$). Oleh karena itu, tambahan modulus reaksi *subgrade* karena adanya tiang dibawah pelat dimodifikasi dengan (Puri, dkk. 2012) :

$$\Delta k = \frac{f_s A_s}{2,5 \delta a A_{PS}} \quad (10)$$

Dan persamaan (3.10) tersebut ditulis menjadi (Puri, 2015) :

$$\Delta k = \frac{f_s A_s}{SF \delta a A_{PS}} \quad (11)$$

Sehingga modulus reaksi *subgrade* ekuivalen dapat dihitung dengan :

$$k' = k + \frac{f_s A_s}{SF \delta_a A_{ps}} \quad (12)$$

Dengan f_s : tahanan gesek satuan tiang (kN/m²), $f_s = a_d \cdot c_u$; a_d : faktor adhesi, c : kohesi (kN/m²), δ_a : toleransi penurunan pelat perkerasan kaku sebesar 5 (mm), A_s : luas selimut tiang (m²), A_{ps} : luasan zona pelat yang didukung oleh satu tiang (m²), $A_{ps} = s^2$, s : jarak antar tiang (m), dan 2,5 : nilai faktor aman (SF).

Di lapangan sistem ini diaplikasikan untuk perkerasan kaku bertulang menerus (CRCP). Untuk menjaga agar pelat beton tidak mengalami regangan tarik berlebihan maka lendutan toleransi (δ_a) maksimum 5 mm atau 1/256 bentangnya (Puri, 2015). Balok lantai biasanya dibatasi hingga lendutan maksimum 1/360 bentangnya agar menghindari keretakan pada beton menurut Singer (1985).

3. Metode Penelitian

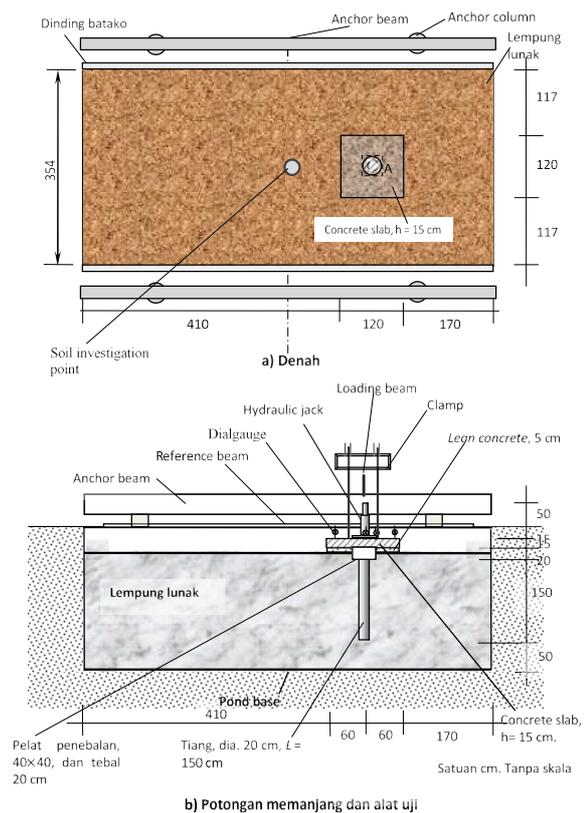
3.1 Metode Pengumpulan Data

Penelitian dilakukan menggunakan data sekunder hasil uji skala penuh Sistem Pelat Terpaku tiang tunggal pada lempung lunak (Puri, 2017). Gambar 2 adalah skema uji dengan sifat-sifat tanah dan beton ditunjukkan pada Tabel 1. Kolam uji berukuran 7 m x 3,54 m x 2,5 m yang diisi lempung lunak setebal 2,15 m. Pelat terpaku tiang tunggal terdiri atas satu buah tiang masif beton bertulang berdiameter 0,20 m dan panjang 1,5 m. Tiang ini terhubung secara monolit pada pelat beton bertulang di atasnya. Pelat berukuran 1,2 m x 1,2 m dengan tebal 0,15 m dimana di bawah pelat juga diberi lantai kerja setebal 0,05 m. Penjelasan konstruksi dan metode pelaksanaan uji Pelat Terpaku dapat merujuk pada Puri (2017).

3.2 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dimulai dengan pengumpulan data sekunder hasil uji skala penuh Sistem Pelat Terpaku tiang tunggal pada lempung lunak (Puri, 2017), kemudian perhitungan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') menggunakan Metode Hardiyatmo Modifikasi dengan variasi faktor aman. Selanjutnya, perhitungan berdasarkan lendutan pengamatan (Puri, 2015) sebagai lendutan izin ($\delta_a = \delta_s$).

Perhitungan lendutan dan gaya dalam menggunakan metode BoEF (*Beam on Elastic Foundation*) dengan bantuan program "BoEF.xls" Program Version 1.4 dengan meng-input nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k'). Hasil analisis berupa lendutan pelat dan gaya dalam berupa momen. Dari pembahasan dapat disimpulkan pola lendutan akibat penerapan nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') Metode Hardiyatmo Modifikasi dengan pendekatan variasi faktor aman, serta membandingkan pola lendutan perhitungan saat $Q_b = 0$ dan $Q_b > 0$ berdasarkan lendutan pengamatan (Puri, 2017) sebagai lendutan izin ($\delta_a = \delta_s$) dan lendutan izin maksimum ($\delta_a = 5$ mm). Lebih jelasnya tahapan-tahapan penelitian dirangkum ke dalam sebuah bagan alir sebagaimana Gambar 3.



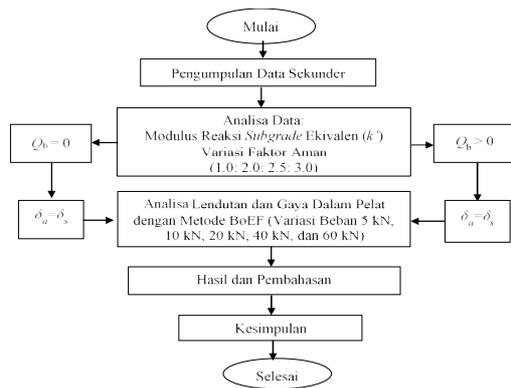
Gambar 2. Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Tiang Tunggal (Puri, 2017).

3.3 Cara Analisis

Analisis dilakukan semi-manual yang didasari pada perkerasan pelat terpaku tiang tunggal, perhitungan nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') dengan tambahan modulus reaksi *subgrade* (Δk) Metode Hardiyatmo Modifikasi sebagaimana Persamaan (1) dan (8), dan perhitungan lendutan dan gaya dalam dilakukan dengan bantuan program "BoEF.xls" Program Versi 1.4.

Table 1 Sifat-sifat Lempung dan Beton (Puri, 2017)

No.	Parameter	Unit	Rerata
A. Lempung Lunak			
1.	Berat Spesifikasi, G_s	-	2,55
2.	Batas-batas Konsistensi :		
	- Batas Cair, LL	%	88,46
	- Batas Plastis, PL	%	28,48
	- Batas Susut, SL	%	9,34
	- Indeks Plastisitas, PI	%	59,98
	- Indeks Cair, LI	%	0,36
3.	Kadar Air, w	%	54,87
4.	Kadar Lempung	%	92,93
5.	Kandungan Pasir	%	6,89
6.	Berat Volume Basah, γ	kN/m ³	16,32
7.	Berat Volume Kering, γ_d	kN/m ³	10,90
8.	Kuat Geser <i>Undrained</i> , S_u		
	- Tak Terganggu	kN/m ³	20,14
	- <i>Remolded</i>	kN/m ³	11,74
9.	CBR	%	0,83
10.	Klasifikasi Tanah :		
	- AASHTO	-	A-7-6
	- USCS	-	CH
B. Beton			
11.	Pelat beton bertulang :		
	- Kuat tekan	MPa	29,21
	- Kuat tarik	kPa	3,13
12.	Kuat tekan beton tiang	MPa	17,4
13.	Kuat tekan lantai kerja	MPa	14,5

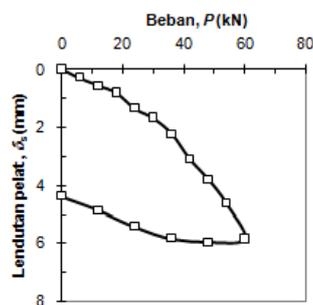


Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pembebanan

Beban yang digunakan sebesar 5 kN, 10 kN, 20 kN, 40 kN dan 60 kN mengacu pada Puri (2017). Hubungan beban dan lendutan pelat diberikan pada Gambar 4. Perhitungan berdasarkan lendutan pengamatan sebagai lendutan izin ($\delta_a = \delta_s$) ditinjau pada pembebanan tengah pelat.



Gambar 4. Hubungan P- \square Pelat Terpaku tiang tunggal (Puri, 2017)

4.2. Nilai k' dan Δk

Penyederhanaan hitungan untuk BoEF dilakukan sebagai berikut: (a) lantai kerja diabaikan, guna desain pada zona lebih aman, (b) pelat penebalan/pelat konektor juga diabaikan. Perhitungan Δk dengan 2 cara perhitungan yaitu menggunakan lendutan pengamatan sebagai lendutan izin ($\delta_a = \delta_s$). Berdasarkan data yang diketahui, dilakukan perhitungan nilai Δk untuk $Q_b = 0$ (Persamaan (11)) dan untuk $Q_b > 0$ (Persamaan (6)), kemudian perhitungan nilai k' dengan Persamaan (1). Hasil dari perhitungan disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Nilai Δk dan k' Tanpa Memperhitungkan Tahanan Ujung Tiang ($Q_b = 0$)

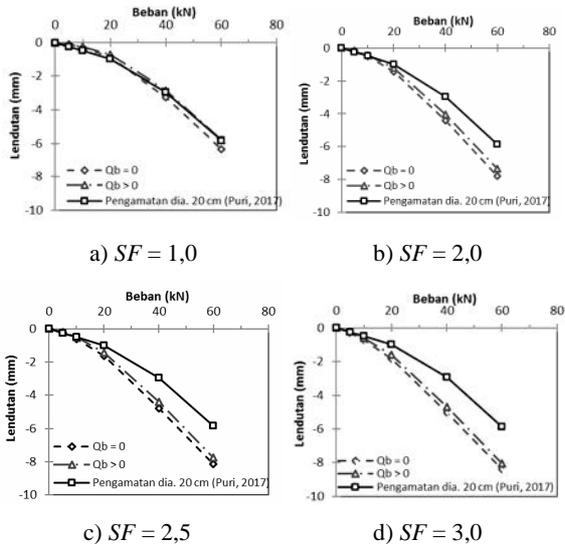
Beban (kN)	Modulus Reaksi Subgrade (kN/m ²)	SF			
		1,0	2,0	2,5	3,0
5	Δk	54441,80	27220,90	21776,72	18147,27
	k'	58941,80	31720,90	26276,72	22647,27
10	Δk	27620,37	13810,19	11048,15	9206,79
	k'	32120,37	18310,19	15548,15	13706,79
20	Δk	13402,76	6701,38	5361,11	4467,59
	k'	17902,76	11201,38	9861,11	8967,59
40	Δk	4470,62	2235,31	1788,25	1490,21
	k'	8970,62	6735,31	6288,25	5990,21
60	Δk	2248,28	1124,14	899,31	749,43
	k'	6748,28	5624,14	5399,31	5249,43
	k'	9870,67	7185,33	6648,27	6290,22

Tabel 3 Nilai Δk dan k' dengan Memperhitungkan Tahanan Ujung Tiang ($Q_b > 0$)

Beban (kN)	Modulus Reaksi Subgrade (kN/m ²)	SF			
		1,0	2,0	2,5	3,0
5	Δk	70774,35	35387,17	28309,74	23591,45
	k'	75274,35	39887,17	32809,74	28091,45
10	Δk	35906,48	17953,24	14362,59	11968,83
	k'	40406,48	22453,24	18862,59	16468,83
20	Δk	17423,59	8711,80	6969,44	5807,86
	k'	21923,59	13211,80	11469,44	10307,86
40	Δk	5811,81	2905,90	1169,11	974,25
	k'	10311,81	7405,90	5669,11	5474,25
60	Δk	2922,76	1461,38	1169,11	974,25
	k'	7422,76	5961,38	5669,11	5474,25
	k'	11173,05	7836,53	7169,22	6724,35

4.3. Hubungan Beban dan Lentutan

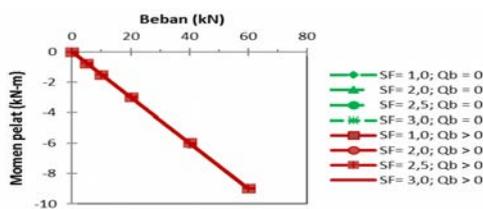
Hasil perhitungan berdasarkan lentutan pengamatan sebagai lentutan izin ($\delta_a = \delta_s$) ditinjau pada pembebanan di tengah pelat diberikan pada Gambar 5. Gambar ini memberikan hasil hitungan dengan variasi SF dan Q_b . Terlihat bahwa lentutan tanpa memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b = 0$) lebih besar dibanding lentutan dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b > 0$), dan semua lentutan hitungan lebih besar daripada lentutan pengamatan sebagaimana Puri (2017). Terhadap SF, tampak bahwa hasil hitungan cenderung over-estimated dengan bertambahnya nilai SF baik untuk $Q_b = 0$ maupun $Q_b > 0$. Hasil lentutan hitungan untuk SF = 1,0 sudah sangat mendekati pengamatan.



Gambar 5. Hubungan $P-\delta$ untuk variasi SF dan pengaruh Q_b untuk $\delta_a = \delta_s$.

4.4. Momen Pelat

Pengaruh SF dan Q_b terhadap momen pelat diberikan pada Gambar 6. Terlihat bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara momen tanpa memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b = 0$) dengan momen saat memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b > 0$).



Gambar 6. Pengaruh SF dan tahanan ujung tiang terhadap momen pelat untuk $\delta_a = \delta_s$

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Hasil analisis menunjukkan bahwa besaran faktor aman mempengaruhi nilai lentutan hitungan. Peningkatan SF cenderung meningkatkan lentutan hitungan. Penggunaan faktor aman SF = 1,0 sudah memadai.
2. Perhitungan lentutan dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b > 0$) lebih baik dibanding tanpa memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b = 0$).
3. Momen pelat memberikan perbedaan tidak signifikan untuk hitungan tanpa memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b = 0$) dibanding dengan hitungan yang memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b > 0$).

4. DAFTAR PUSTAKA

- Afriliyani, N., Puri, A., Ardiansyah, R. (2017). "Penerapan Modulus Reaksi Subgrade Ekuivalen Metode Puri, dkk (2012) dalam Perhitungan Lentutan Pelat pada Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi". Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP) 2017, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Pekanbaru, 9 Februari 2017, pp. 29-35.
- Agustin, D.R., Puri, A., Ardiansyah, R. Perhitungan Lentutan Perkerasan Jalan Sistem Cakar Ayam Modifikasi dengan Variasi Faktor Aman pada Tambahan Modulus Reaksi Subgrade. *J. Saintis, Vol 17 No. 1, 2017*, pp. 15-23. <http://journal.uir.ac.id/index.php/saintis/article/view/1761>.
- Das, B.M. (2011). Principle of Foundation Engineering, 7ed., Stamford: Cengage Learning
- Dewi, D.A. (2009). Kajian Pengaruh Tiang Tunggal Terhadap Nilai Koefisien Reaksi Subgrade Ekuivalen Pada Uji Beban Skala Penuh, *Tesis*, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- 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 Ekuivalen untuk Struktur Pelat Fleksibel, sub mitted in *Dinamika Teknik*.
- Hardiyatmo, H.C. (2011). "Method to Analyze the Deflection of the Nailed-Slab System". *International Journal of Civil and Environmental Engineering IJCEE-IJENS*. Volume 11 Number 4, pp.22-28.
- Muhu, H.L.Y., 2007, "Kajian Lentutan Pada Sistem Cakar Ayam Akibat Variasi Lebar Pelat (Model Sistem Cakar Ayam dari Pelat Baja)", Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan, UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- Puri, A., 2015, "Perilaku Sistem Pelat Terpaku Pada Tanah Lunak", Disertasi, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana UGM Yogyakarta, Indonesia
- Puri, A. (2017). "Developing the Curve of Displacement Factor for Determination The Additional Modulus of Subgrade Reaction on Nailed-slab Pavement System". *International Journal of Technology (IJTech)*, Vol. 8 No. 1 (2017)124-133. ISSN2086-9614. <http://ijtech.eng.ui.ac.id/article/view/232>.
- Puri, A., 2017, " Effect of Safety Factors on The Calculated Deflection of 1-Pile Row Full Scale Nailed-Slab Pavement System Resting on Soft Clay Due to Concentric Loadings, ICoSET & ICoSEEH UIR 2017, Pekanbaru.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2013, "Penerapan Metode Analisis Lentutan Pelat Terpaku Pada Model Skala Penuh dan Komprasi dengan Uji Pembebanan", *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTeKS7)*, Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta, 24-26 October 2013, pp. G201-G211.
- 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. <http://ijens.org/IJCEE%20Vol%2012%20Issue%2003.html>.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., Rifa'i, A., 2015, "Perilaku Perkerasan Sitem Pelat Terpaku Pada Tanah Dasar Lempung Lunak", *Prosiding Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) 2015*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 12 Nopember 2015, ISSN 2477-0086, pp. 7-17.
- Young, W.C., Budynas, R.G. *Roark's Formula for Stress and Strain*. 7th ed., McGraw-Hill, New York, (2002).