

Turnitin Originality Report

PENERAPAN METODE ANALISIS LENDUTAN PELAT TERPAKU PADA MODEL SKALA PENUH DAN KOMPARASI DENGAN UJI PEMBEBANAN (274G) by Anas Puri



From artikel (Dosen)

- Processed on 10-Sep-2019 16:20 +08
- ID: 1170104771
- Word Count: 5022

Similarity Index

94%

Similarity by Source

Internet Sources:

94%

Publications:

13%

Student Papers:

18%

sources:

1

90% match (Internet from 11-Jun-2017)

<http://sipil.ft.uns.ac.id/konteks7/prosiding/274G.pdf>

2

4% match (student papers from 20-Feb-2018)

[Submitted to Syiah Kuala University on 2018-02-20](#)

3

1% match (Internet from 31-Jul-2016)

<https://www.scribd.com/document/193040752/Konteks7-V1>

paper text:

3PENERAPAN METODE ANALISIS LENDUTAN PELAT TERPAKU PADA MODEL SKALA PENUH DAN KOMPARASI DENGAN UJI PEMBEBANAN (274G) Anas Puri¹, Hary C. Hardiyatmo², Bambang Suhendro², dan Ahmad Rifa'i²

1Jurusan

1Teknik Sipil, Universitas Islam Riau (UIR), Jl. Kaharuddin Nasution 113 Pekanbaru Kandidat Doktor Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281 Email: anaspuri@yahoo.com ²Jurusan **Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika 2 Kompleks UGM, Bulak Sumur, Yogyakarta 55281, E-mail: harychristady@yahoo.com;**

bbsuhendro@yahoo.com; ahmad.rifai@tsipil.ugm.ac.id **ABSTRAK Sistem Pelat Terpaku** bukanlah metode perbaikan tanah melainkan salah satu alternatif metode meningkatkan kinerja perkerasan kaku pada tanah lunak. Tiang-tiang yang dipasang di bawah pelat berfungsi sebagai pengaku pelat sehingga beban dapat disebar lebih luas ke tanah lunak. Selain itu, tiang berfungsi pula sebagai angkur yang akan membuat pelat tetap kontak dengan tanah sehingga pumping dapat dihindari dan durabilitas perkerasan menjadi lebih panjang. Pada makalah ini disajikan perhitungan semi-manual pada perencanaan skala penuh Pelat Terpaku dan selanjutnya divalidasikan dengan hasil uji pembebanan. Untuk menghitung lendutan pelat digunakan teori balok di atas fondasi elastis dengan menggunakan modulus reaksi subgrade ekuivalen. Hasil hitungan lendutan ini dibandingkan dengan hitungan metode elemen hingga dan pengamatan. Dapat disimpulkan bahwa metode penentuan tambahan modulus reaksi subgrade dan modulus reaksi subgrade ekuivalen dapat digunakan untuk perencanaan Pelat Terpaku dengan hasil desain pada zona aman, lebih praktis dalam penggunaannya, dan tidak memakan banyak waktu. Kata kunci: Pelat Terpaku, lendutan, modulus reaksi subgrade 1. **PENDAHULUAN** Sistem Pelat Terpaku (Nailed-slab System) merupakan salah satu alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan konstruksi jalan yang melalui tanah lunak. Sistem ini terdiri atas pelat beton bertulang dan tiang-tiang mikro yang dipasang di bawah pelat tersebut. Hubungan pelat dan tiang dibuat monolit. Pada bagian kedua ujung pelat dapat pula diperkuat dengan pelat koperan (vertical concrete wall barrier) yang fungsi utamanya untuk mereduksi lendutan akibat beban di pinggir perkerasan. Sistem ini direkomendasikan menggunakan pile cap tipis (tebal 12 cm hingga 25 cm), dan penggunaan pile cap tipis akan menguntungkan bagi tanah lunak (Hardiyatmo dan Suhendro, 2003). Tiang-tiang mikro pendek (short micropiles) berdiameter 12 cm – 20 cm dengan panjang 1,0 m – 1,5 m, dan jarak antar tiang berkisar antara 1 m – 2 m (Hardiyatmo, 2008). Jadi pelat tersebut berfungsi ganda yaitu sebagai struktur perkerasan sekaligus sebagai pile cap. Tipikal konstruksi Sistem Pelat Terpaku seperti Gambar 1. Tiang-tiang dipasang berbaris pada arah lebar dan panjang jalan (Gambar 1a). Tiang-tiang tersebut berada di bawah pelat beton bertulang dan hubungan pelat dan tiang dibuat monolit (Gambar 1b). Sejumlah studi tentang sistem ini meliputi studi analitis dan model laboratorium (Hardiyatmo, 2008, 2009, 2011; Taa, 2010; Puri, et.al., 2011a, 2011b, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b), dan skala 1:1 namun terbatas pada tiang tunggal untuk lempung kaku (Nasibu, 2009; Dewi, 2009), dan uji skala penuh (Puri, et.al., 2013c), namun belum ada aplikasi lapangan. Perlu digaris-

koefisien tersebut (k_v) dengan lebar pelat (B). 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. Pada Sistem Pelat Terpaku, pendekatan penentuan modulus reaksi subgrade ekuivalen ditentukan sebagai (Hardiyatmo, 2011; Dewi, 2009; Puri, et.al., 2011b, 2012a): $k' = k + \Delta k$ (1) Dimana k : modulus reaksi subgrade dari tanah (kN/m^3) dan Δk : tambahan modulus reaksi subgrade karena adanya tiang (kN/m^3). Dengan mempertimbangkan tiang tunggal yang terhubung dengan pelat lingkaran yang berada di atas tanah, Hardiyatmo (2011) mengusulkan Persamaan (2) untuk penentuan nilai Δk .

$$= \frac{1}{2} \delta \delta_0 2 A_s 2 s (a d c u + p_0 K_d \tan \phi_d)$$

(2) Dimana δ_0 : perpindahan relatif antara tanah dan tiang (m), δ : defleksi pada permukaan pelat (m), A_s : luas selimut tiang (m^2), s : jarak antar tiang (m), $a d$: faktor adhesi (non-dimensional), $c u$: kohesi undrained (kN/m^2), p_0 : tekanan overburden efektif rerata sepanjang tiang (kN/m^2), K_d :

ϕ_d : sudut gesek antara tanah-tiang

1 koefisien tekanan tanah lateral tanah di sekitar tiang, dan ϕ_d : sudut gesek antara tanah-tiang

(?).

1 Hardiyatmo (2011) juga telah memberikan hubungan antara δ_0/δ dan defleksi pelat dari model tiang berdiameter 4 cm. Hasil analisisnya menunjukkan bahwa defleksi prediksi cenderung over-estimate pada beban sentris, dan under-estimate pada beban ujung (edge load). Mengacu pada Puri, et.al. (2011b) bahwa secara umum defleksi prediksi sedikit under estimate dibandingkan dengan defleksi pengamatan. Metode Hardiyatmo (2011) menggunakan pendekatan reduksi tahanan tiang dalam penentuan Δk . Perpindahan relatif antara tanah dan tiang, dan reduksi tahanan tiang telah diperhitungkan. Untuk keperluan desain praktis, penentuan reduksi tahanan tiang sulit dilakukan. Puri, et.al. (2012a) mengusulkan suatu pendekatan dalam penentuan tambahan modulus reaksi subgrade dengan menggunakan penurunan izin/ toleransi pelat perkerasan. 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 sebagai (Puri, et.al., 2012a)

$$\Delta k = 0.4ad \text{ cu As (3) } \delta a \text{ Aps}$$

1 Sehingga modulus reaksi subgrade ekivalen dapat dihitung dengan (Puri, et.al., 2012a) k

$$' = k + 0.4ad \text{ cu As}$$

1 $\delta a \text{ Aps}$ (4) Dimana ?? : modulus reaksi subgrade ekivalen pelat terpaku (kN/ m³), k : modulus reaksi subgrade tanah (kN/

m³), ad : faktor adhesi (non-dimensional), cu : kohesi undrained (kN/m²) , δa :

1 toleransi penurunan (tolerable settlement) pelat perkerasan kaku (m), As: luas selimut tiang

(m²), Aps :

1 luasan zona pelat yang didukung oleh satu tiang

(m²), Aps = s²

1 (Hardiyatmo, 2011), dan s : jarak antar tiang (m). Adapun tahanan friksi ultimit tiang dinyatakan dengan persamaan klasik f s

$$= ad \text{ cu} + p_0' K d \text{ tg}\phi d$$

1 Dan khusus untuk tahanan friksi ultimit tiang pada lempung jenuh dinyatakan dengan f s = a d c u (5) (6) Untuk lempung lunak atau lempung terkonsolidasi normal, faktor adhesi dapat diambil sebesar 1,0 (Flemming, et.al, 2009; Wai, et.al., 2006). Selain itu, modulus reaksi subgrade dari uji beban pelat (k) biasanya menggunakan pelat lingkaran dan mesti dikoreksi terhadap bentuk pelat dari pelat terpaku (Puri, et.al., 2012a). Lebih detail tentang penurunan Persamaan (3) dan (4) dapat diacu pada Puri, et.al. (2012a). 3. ANALISIS DEFLEKSI

1Usaha yang telah dilakukan guna menghitung lendutan, momen, dan gaya geser akibat beban yang bekerja pada pelat terpaku adalah dengan menggunakan teori balok di atas fondasi elastis (beams on elastic foundation-BoEF) sebagaimana telah ditunjukkan oleh Hardiyatmo (2009, 2011), Taa (2010) dan Puri, et.al. (2011b, 2012a), dimana formula-formula yang diberikan Hetenyi (1974) telah digunakan. Defleksi akibat beban terpusat (Gambar 2a) bila dihitung dengan Formula Roark (Young dan Budynas, 2002) untuk balok di atas fondasi elastis dengan panjang terbatas adalah sebagai

$$y = y_{AF1} + \theta_2 \beta a F_2 + 2EM\beta a^2 F_3 + 4ERIA\beta^3 F_4 - W 4EI\beta^3 Fa^4 \quad (7)$$

1Dimana untuk kedua ujung bebas, nilai $RA = 0$ dan $MA = 0$ dan nilai θ_A dan y_A adalah $W C_2 Ca^2$

$$- 2C_3 Ca^1 \theta_A = 2EI\beta^2 \quad (8) \quad C_{11} y_A = 2EI\beta^3 W C_4 Ca^1 - C_3 Ca^2 \quad C_{11} \quad (9)$$

1Sedangkan akibat beban momen (Gambar 2b) besar defleksi adalah

$$y = y_{AF1} + \theta_2 \beta a F_2 + 2EM\beta a^2 F_3 + 4ERIA\beta^3 F_4 + 2EM\beta^0 a^2 Fa^3 \quad (10)$$

1Dimana untuk kedua ujung bebas, nilai $RA = 0$ dan $MA = 0$ dan nilai θ_A dan y_A adalah

$$- M_0 C_3 Ca^4 + C_2 Ca^1 \theta_A = EI\beta C_{11} y_A = 2EM\beta^0 2C_3 Ca^1 - C_4 Ca^4$$

1C₁₁ Adapun untuk Persamaan (7) sampai dengan (12), nilai-nilai lainnya adalah $F_1 = \cosh \beta x \cos \beta x$ $F_2 = \cosh \beta x \sin \beta x + \sinh \beta x \cos \beta x$ $F_3 = \sinh \beta x \cos \beta x$ $F_4 = \cosh \beta x \sin \beta x - \sinh \beta x \cos \beta x$ $Fa_3 = \sinh \beta (x?a) \sin \beta (x?a)$ $Fa_4 = \cosh \beta (x?a) \sin \beta (x?a) - \sinh \beta (x?a) \cos \beta (x?a)$ $C_2 = \cosh \beta l \sin \beta l + \sinh \beta l \cos \beta l$ $C_3 = \sinh \beta l \cos \beta l$ $C_4 = \cosh \beta l \sin \beta l - \sinh \beta l \cos \beta l$ $Ca_1 = \cosh \beta (l ? a) \cos \beta (l ? a)$ $Ca_2 = \cosh \beta (l ? a) \sin \beta (l ? a) + \sinh \beta (l ? a) \cos \beta (l ? a)$ $Ca_4 = \cosh \beta (l ? a) \sin \beta (l ? a) - \sinh \beta (l ? a) \cos \beta (l ? a)$ $C_{11} = \sinh 2\beta l - \sin 2\beta l \quad (11)$

(12)

1(13a) (13b) (13c) (13d) (13e) (13f) (13g) (13h) (13i) (13j) (13k) (13l) (13m)
Dimana W : beban terpusat (kN), β : fleksibilitas balok, $\beta = \sqrt[4]{\frac{Bk}{4EI}}$, k : modulus reaksi subgrade (kN/ m² /m), B : $4EI$ lebar balok (m), E : modulus elastisitas

balok (kN/m^2), I : momen inersia balok (m^4), a : jarak beban terhadap tepi kiri balok (sebagaimana dijelaskan pada Gambar 2), x : jarak titik yang ditinjau terhadap tepi kiri balok (m), dan l : panjang balok (m). a) Beban terpusat b) Beban momen Gambar 2. Balok di atas fondasi elastis dengan panjang terbatas (Young dan Budynas, 2002) Untuk Sistem Pelat Terpaku, nilai k_0 diganti dengan nilai ?? yang dihitung dengan Persamaan (4). Besarnya defleksi total pada titik yang ditinjau diperoleh dengan cara superposisi defleksi akibat beban terpusat dan akibat momen. Dalam hal ujung-ujung pelat diperkuat dengan koperan (Gambar 3a), maka dilakukan pendekatan dengan menggantikan reaksi koperan dalam bentuk momen lawan (Gambar 3b). Besaran momen ini (yang merepresentasikan koperan) ditentukan dengan menggunakan metode yang diusulkan Hardiyatmo dan Suhendro (2003). Besaran momen lawan yang termobilisasi dihitung sebagai berikut (lihat juga Gambar 3c) M

$$=Phy = H3\theta khB \quad (14)$$

1Dimana M : momen lawan oleh koperan (kNm), Ph : gaya lateral tanah yang termobilisasi di depan koperan (kN), y : lengan momen (m), H : tinggi koperan (m), θ : sudut rotasi dinding koperan(?), kh : koefisien reaksi subgrade arah

horizontal (kN/m^3), dapat didekati dengan $kh = nk_v$,

1n : faktor pengali empiris, k_v : koefisien reaksi subgrade arah vertical (kN/m^3), dan B : lebar koperan (m). Hasil hitungan menggunakan BoEF dibandingkan pula dengan pengamatan. Koperan a. Kondisi sebenarnya $M+$ $M- k' k' k' k' k' b$. Model pendekatan y Koperan H $M- Ph=0,5H2\theta khB \theta$

$$ph = H\theta kh$$

1c. Momen lawan koperan Gambar 3. Model pendekatan untuk Pelat Terpaku dengan koperan di kedua ujung pelat 4. PRELIMINARY DESIGN MODEL SKALA PENUH PELAT TERPAKU Rencana Ukuran Pelat Terpaku dan Properties Material Model skala penuh Pelat Terpaku akan dibangun dengan ukuran pelat 6,0 m ? 3,6 m dengan tebal 0,15 m. Ukuran panjang dan lebar pelat ini menyesuaikan dengan lahan yang tersedia di halaman Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Gadjah Mada untuk uji skala penuh. Di bawah pelat akan terpasang tiga baris tiang dengan ukuran tiang diameter 0,20 m

dan panjang 1,50 m. Panjang tiang ini diambil dengan mempertimbangkan kedalaman lempung lunak yang dapat disediakan di kolam uji yang berukuran 7,0 m x 3,7 m x 2,50 m. Untuk meningkatkan kekakuan hubungan pelat dengan tiang maka antara pelat dan kepala tiang diberi pelat penebalan 0,40 m x 0,40 m dan tebal 0,20 m. Selain itu, guna mereduksi defleksi pelat bagian pinggir perkerasan, maka bagian tersebut diperkuat dengan struktur koperan berukuran tinggi 0,50 m dan tebal 0,125 m. Berdasarkan ukuran pelat rencana di atas, maka dipilih jarak antar tiang sebesar 1,20 m, sehingga terdapat 15 tiang dimana masing-masing baris tiang terdiri 5 buah tiang. Selengkapnya rencana model skala penuh Pelat Terpaku disajikan pada Gambar 4. Lantai kerja ditambahkan di bawah pelat untuk alas kerja saat pembesian, agar pekerjaan pembesian menjadi lebih mudah, bersih dan rapi. Adapun lempung lunak yang akan digunakan pada kolam uji adalah sama dengan Puri, et.al. (2012a). Properties lempung lunak dan beton yang akan digunakan disajikan pada Tabel 1 dan 2. Koefisien reaksi subgrade diperoleh sebesar 15,000 kPa/m, didasarkan pada uji beban pelat pada uji model dengan ukuran pelat berdiameter 30 cm.

1 Lempung lunak Pelat beton bertulang, h = 15 cm
 60 120 360 Tiang beton, dia. 20 cm 120 60 50 60 120 120 120 120 a) Denah Pelat konektor, 40 cm

?

140 cm x 20 cm CL Pelat beton, h = 15 cm

60 50 Lean concrete, 5 cm Koperan, d = 12,5 cm 15 50 Lempung lunak 20 150

150 Pasir sedang 50 Tiang beton, 600 50 dia. 20 cm, L = 150 cm b) Tampang lintang Satuan cm. Tanpa skala Gamb. 4. Rencana model skala penuh Pelat Terpaku representasi seksi perkerasan kaku dengan 3 baris tiang Tabel 1. Properties tanah No. Properties tanah Simbol Lempung Ngawi Satuan 1 Kohesi undrained c_u 22,5 kN/m² 2 Berat volume bulk γ 14 kN/m³ 3 Berat volume jenuh γ_{sat} 17 kN/m³ 4 Modulus Young E 2.600 kN/m² 5 Rasio Poisson ν' 0,35 - Tahapan Perhitungan Pada perhitungan ini ada dua tinjauan yang akan dilakukan, yaitu tinjauan Sistem Pelat Terpaku dengan satu baris tiang dimana lebar pelat adalah sama dengan jarak antar tiang (s) dan tinjauan sesuai dengan dimensi rencana untuk 3 baris tiang. Tahapan perhitungan menggunakan BoEF dilakukan sebagai berikut: (a) estimasi nilai

modulus reaksi subgrade tanah. Desain pada zona lebih aman dimana lantai kerja diabaikan sekalipun pada pelaksanaan digunakan

1) lantai kerja, (b) koreksi nilai modulus subgrade terhadap bentuk dan dimensi pelat pada pelat terpaku, (c) tentukan penurunan toleransi perkerasan beton, maksimum 5 mm, (d) hitung tambahan modulus reaksi subgrade, (e) selanjutnya hitung modulus reaksi subgrade ekivalen, (f) hitung momen lawan ujung pelat untuk pelat yang mempunyai koperan (g) hitung defleksi pelat dan gaya dalam dengan menggunakan modulus reaksi subgrade ekivalen, dan bandingkan defleksi maksimum pada titik beban dengan penurunan toleransi, (h) desain yang baik bilamana defleksi hitungan tidak melebihi penurunan toleransi yang ditentukan, (i) rencanakan penulangan pelat. Tabel 2. Properties beton rencana No. Parameter Simbol Lantai kerja Tiang Pelat dan Koperan Satuan 1 Berat volume bulk γ 22 24 24 kN/ m³ 2 Kuat tekan karakteristik f_c' 14,5 18,7 29 kN/ m² 3 Modulus Young E 1,79 x

107 2,03 x 10⁷ 2,53 x 10⁷ kN/m²

14 Modulus geser G 5,42 x 10⁶ 8,8 x 10⁶ 1,1 x 10⁷ kN/ m² 5 Rasio Poisson ν 0,20 0,15 0,15 - Perhitungan modulus reaksi subgrade ekivalen Rencana model skala penuh pada Gambar 2 selanjutnya hanya ditinjau satu baris saja sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5a dimana lebar pelat diambil sama dengan jarak antar tiang. Selain itu, penyederhanaan hitungan untuk BoEF dilakukan sebagai berikut (Gambar 5b): (a) lantai kerja diabaikan pada perhitungan, sehingga perhitungan lebih aman, (b) hal yang sama pada pelat penebalan/ pelat konektor juga diabaikan. Oleh karena pelat penebalan diabaikan, maka panjang tiang disesuaikan menjadi 1,70 m (panjang tiang rencana 1,50 m ditambah tebal pelat penebalan 0,20 m), dan (c) dinding koperan direpresentasikan dengan momen lawan. Lempung Tiang beton, dia. 20 cm Pelat beton, h = 15 cm 120 60 60 50 60 120 120 120 120 60 50 a) Denah satu baris tiang CL Pelat beton, h = 15 cm 15 170 Lempung lunak 50 Pasir sedang 50 Tiang beton, 600 50 dia. 20 cm, L = 170 cm

1) Satuan cm. Tanpa skala b) Cross section Gambar 5. Penyederhanaan hitungan Pelat Terpaku satu baris tiang

1 **Modulus reaksi subgrade tanah sudah diperoleh sebesar 15,000 kPa/m (Puri, et.al., 2012a). Setelah dilakukan koreksi terhadap ukuran dan bentuk pelat rencana (mengacu pada Das, 2011), maka diperoleh modulus reaksi subgrade rencana sebesar $k = 3.300$ kPa/m. Pada kasus ini (lempung lunak Ngawi), pendekatan yang lebih baik untuk estimasi modulus reaksi subgrade jika menggunakan Persamaan Biot (1937). Penggunaan Metode AASHTO (1993) cenderung sangat over-estimated, sedang persamaan lain seperti Vesic dan Saxena (1974), Ullitdz (1987), dan Khazanovich, et.al (2001) cenderung sangat under-estimated. Untuk lempung yang sama namun dengan kohesi undrained (c_u) = 21 kPa, Hardiyatmo (2011) memperoleh nilai faktor adhesi (a_d) sebesar = 0,76. Maka untuk kohesi undrained (c_u) = 22,5 kPa, diperoleh faktor adhesi (a_d) sebesar = 0,81. Selanjutnya diperoleh tanah gesek satuan ultimit (f_{su}) = 18,32 kN/ m². Berdasarkan dimensi tiang dan pelat (Gambar 5) maka didapat luas selimut tiang (A_s) = 1,07 m², luas pelat yang didukung tiang (A_{ps}) = 1,44 m², dan dengan mengambil lendutan toleransi (δ_a) = 0,005 m (5 mm), maka diperoleh tambahan modulus reaksi subgrade (Δk) = 1.086,66 kPa/m. Dengan menjumlah k dan Δk , didapat modulus reaksi subgrade ekivalen untuk beban sentris sebesar $k' = 4.386,66$ kPa/m dan dibulatkan menjadi 4.400 kPa/m. Untuk beban ujung, mengingat lendutan ujung pelat dapat tereduksi mencapai 50% bila menggunakan koperan, sedangkan nilai k' meningkat antara 1,25-1,85 kali nilai k' Pelat Terpaku tanpa koperan (Puri, et.al., 2011b), maka selanjutnya diambil faktor penyesuaian sebesar 1,5 karena adanya koperan. Dengan demikian diperoleh untuk beban ujung $k' = 1,5 \times 4.386,66 = 6.580$ kPa/m. Kedua nilai k' ini digunakan untuk analisis menggunakan BoEF. Guna melihat sejauh mana perbedaan desain berdasarkan satu baris tiang terhadap rencana model skala penuh 3 baris tiang, maka analisis untuk 3 baris tiang juga dilakukan. Oleh karena itu nilai modulus reaksi subgrade tanah akibat adanya m baris tiang (dimana lebar pelat bertambah) perlu disesuaikan. Tabel 3 merangkum nilai k' untuk Pelat Terpaku 1 dan 3 baris tiang. Hasil analisis lendutan diberikan pada bagian 5. Tabel 3. Modulus reaksi subgrade ekivalen untuk tinjauan m baris tiang**

Lokasi beban

11 baris tiang, $m = 1$ 3 baris tiang, $m = 3$ Δk (kPa/m) k' (kPa/m) Δk (kPa/m) k' (kPa/m) Sentris 1.086,7 4.400,0 1.086,7 12.966,7 Ujung 1.086,7 6.580,0 1.086,7 19.450,0 Perhitungan momen lawan Persamaan (14) digunakan untuk

menentukan besaran momen lawan di ujung pelat sebagai representasi adanya struktur koperan. Salah satu besaran yang harus ditentukan adalah sudut rotasi dinding koperan (θ). Semakin besar beban yang bekerja maka semakin besar pula momen lawan yang termobilisasi, dengan demikian semakin besar pula sudut θ . Untuk mendapatkan besarnya nilai θ yang sesuai dilakukan trial-error. Pada kasus ini diperoleh nilai θ yang sesuai sebesar 0,5°. Kemudian diambil nilai

kh = kv

1 ($n = 1,0$) dengan pertimbangan bahwa tinggi koperan yang kecil hanya 0,50 m. Besarnya momen lawan yang dikerahkan dapat berbeda-beda antara ujung kiri dan ujung kanan pelat bergantung posisi beban terpusat P. Untuk beban P sentris, besar momen lawan antara ujung kiri dan ujung kanan adalah sama (kecuali berbeda tanda), sedangkan ketika beban berada di ujung kiri pelat (P ujung) maka momen lawan pada ujung yang terdekat dengan beban berubah tanda menjadi negatif (-) dan pada ujung lainnya harus direduksi. Pada kasus ini momen lawan ujung kanan diambil sebesar 1/3-nya untuk 1 baris tiang dan 1/6 untuk 3 baris tiang. Besaran momen lawan tersebut dirangkum pada Tabel 4.

1 Tabel 4. Nilai momen lawan (kNm) menurut posisi beban W Jumlah baris
 Beban W sentris Beban W ujung kiri tiang, m M ujung kiri M ujung kanan M
 ujung kiri M ujung kanan 1 baris 6,55 -6,55 -6,55 -2,18 3 baris 19,30 -19,30
 -19,30 -3,26 5. KOMPARASI LENDUTAN HITUNGAN RENCANA DENGAN
 PENGAMATAN Konstruksi Pelat Terpaku sebagaimana rencana Gambar 2
 telah dibangun pada Oktober 2012 di lokasi Eksperimental Lapangan
 Laboratorium Mekanika Tanah UGM dan sejumlah uji pembebanan juga telah
 dilakukan. Gambar 6 memperlihatkan foto pelaksanaan dan pengujian model
 skala penuh Pelat Terpaku. Lempung lunak di kolam uji mempunyai kohesi
 undrained 20 kPa dan kadar air 50,5%. Pelat menggunakan tulangan wire
 mesh diameter 10 mm (ulir) dengan jejaring 100 cm x 100 cm (D10-100), dan
 tulangan tiang 6D8 dengan sengkang spiral D6-125. Tulangan pelat didesain
 menggunakan momen hasil hitungan 3 baris tiang yang besarnya sekitar
 50% momen untuk satu baris tiang. Mutu beton pelat 29,2 MPa dan tiang 17,4
 MPa (lebih rendah dari rencana).

untuk 3 baris tiang terlihat bahwa hasil hitungan BoEF berdasarkan k' sangat mendekati pengamatan kecuali pada beban sentris masih under-estimate, namun lendutan-lendutan maksimum tidak melampaui lendutan toleransi 5 mm. Jadi perencanaan Pelat Terpaku berdasarkan tinjauan 3 baris tiang dengan menggunakan modulus reaksi subgrade ekivalen sangat memadai dan hasil desain lebih aman. Pada Gambar 7 dan 8 juga disajikan kurva lendutan analisis untuk Pelat Terpaku tanpa koperan. Tampak bahwa keberadaan koperan dapat mereduksi lendutan secara signifikan untuk beban ujung dan kurang signifikan pada beban sentris. Perilaku ini juga teramati pada uji model skala kecil (Puri, et.al., 2011b, 2013b). 6.

KESIMPULAN Preliminary design model skala penuh Pelat Terpaku dan pelaksanaan konstruksi beserta uji pembebanannya telah dilakukan. Beberapa hal penting dapat disimpulkan berdasarkan hasil hitungan dan pengamatan yang telah dibahas sebelumnya antara lain a) metode penentuan tambahan modulus reaksi subgrade dan modulus reaksi subgrade ekivalen dapat digunakan untuk perencanaan Pelat Terpaku dengan hasil desain pada zona aman, lebih praktis dalam penggunaannya, dan tidak memakan banyak waktu, b) desain didasarkan atas tinjauan terhadap satu baris tiang menghasilkan perencanaan lebih aman. Untuk lebih efisien, dapat pula ditinjau terhadap beberapa baris tiang, c) langkah hitungan yang telah diberikan dapat diterapkan pada preliminary design Pelat Terpaku, d) untuk Pelat Terpaku yang memakai koperan, modulus reaksi subgrade ekivalen untuk beban ujung dapat diberikan faktor penyesuaian sebesar 1,5 dengan cara mengalikannya, e) tulangan pelat dapat ditentukan dengan menggunakan 50% momen hasil hitungan untuk satu baris tiang, namun tetap memperhatikan luasan dan jarak tulangan minimum perlu. DAFTAR PUSTAKA AASHTO, 1993, Guide for Design of Pavement Structure, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, USA. Das, B.M., 2011, Principles of Foundation Engineering, 7th ed., Engage Learning, Australia. Dewi, D.A., 2009, Kajian Pengaruh Tiang Tunggal Terhadap Nilai Koefisien Reaksi Subgrade Ekivalen pada Uji Beban Skala Penuh, Tesis, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta, Indonesia. Eng-Tips Forums, 2006, Tolerable Settlement of Rigid Pavement, 26 April 2006, <http://www.eng-tips.com/viewthread.cfm?qid=152937 &page=3>, accessed by 11 July 2011. Fleming, K., Weltman, A., Randolph, M., dan Elson, K., 2009, Piling Engineering, 3rd Ed., Taylor & Francis, New York, USA. 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, Metode Hitungan Lendutan Pelat dengan Menggunakan Modulus Reaksi Tanah Dasar Ekuivalen untuk Struktur Pelat Fleksibel, *Dinamika Teknik Sipil*, Vol.9 No.2, pp. 149-154. Hardiyatmo, H.C., 2011, Method to Analyze the Deflection of the Nailed Slab System, *IJCEE-IJENS*, Vol 11. No. 4, pp. 22-28. Hardiyatmo, H.C. dan Suhendro, B., 2003, Fondasi Tiang dengan Pile Cap Tipis sebagai Alternatif untuk Mengatasi Problem Penurunan Bangunan di Atas Tanah Lunak, *Laporan Komprehensif Penelitian Hibah Bersaing IX Perguruan Tinggi*, Lembaga Penelitian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia.

1Hetenyi, M., 1974, *Beams on Elastic Foundation: Theory with applications in the fields of civil and mechanical engineering*, The Univerrcity of Michigan Press, Ann Arbor. 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 Defleksi Pelat yang Diperkuat dengan Tiang-tiang Friksi Pendek pada Lempung Lunak, *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan ke-14 (PIT) HATTI*, HATTI, Yogyakarta, 10-11 Februari, pp. 317-321. Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2011b, Kontribusi Koperan dalam Mereduksi Lendutan Sistem Pelat Terpaku pada Lempung Lunak, *Prosiding Konferensi Geoteknik Indonesia ke-9 dan Pertemuan Ilmiah Tahunan ke-15 (KOGEI IX & PIT XV) HATTI*, HATTI, Jakarta, 7-8 Desember 2011, pp. 299-306. 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, *IJCEE-IJENS*, Vol. 12 No. 3, pp. 32-40. Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan 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, *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan ke-16 (PIT) HATTI*, Jakarta, 4 December, pp. 217-222. Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan 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 13th International Symposium on Quality in Research (QiR)*, Yogyakarta, 25-28 June 2013, pp. 1032-1310. Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2013b, Deflection Analysis of Nailed-slab System which Reinforced by Vertical Wall Barrier under Repetitive Loadings, *Proc. the 6th Civil*

2Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7) Universitas Sebelas Maret (UNS) - Surakarta, 24-26 Oktober 2013 G - 207 G - 208 Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7) Universitas Sebelas Maret (UNS) - Surakarta, 24-26 Oktober 2013 Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7) Universitas Sebelas Maret (UNS) - Surakarta, 24-26 Oktober 2013 G - 209 G - 210 Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7) Universitas Sebelas Maret (UNS) - Surakarta, 24-26 Oktober 2013 Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7) Universitas Sebelas Maret (UNS) - Surakarta, 24-26 Oktober 2013 G

- 211