

Analisa Lendutan Pelat Dengan Perkuatan Tiang pada Tanah Dasar Lempung Ekspansif Metode Boef

Beam on elastic foundation Deflection Analysis of the Pile Reinforced Plate

Asih Susanti, Willis Diana

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Tanah ekspansif merupakan istilah tanah dengan potensi pengembangan dan penyusutan yang besar apabila mengalami perubahan kadar air. Tanah lempung ekspansif yang menjadi lapis dasar sebuah bangunan maupun perkerasan jalan dapat menyebabkan masalah struktur di atasnya, seperti mengalami retak dan penurunan yang tidak seragam. Tiang dipilih menjadi salah satu alternatif untuk sistem perkuatan pada perkerasan kaku. Tiang yang digunakan tidak difungsikan sebagai perbaikan tanah, melainkan perkuatan. Analisa lendutan pelat dilakukan pada pemodelan pelat berukuran $70 \times 30 \times 2$ cm dan variasi kedalaman pemancangan tiang 10 dan 20 cm dengan diameter 4 cm. Lendutan dianalisa menggunakan metode *Beam on elastic foundation*. Tujuan analisa numeris dilakukan ialah untuk validasi lendutan yang terjadi di laboratorium. Pada penelitian ini, lendutan dianalisa menggunakan berbagai nilai modulus reaksi tanah dasar (k_v) untuk menghasilkan lendutan yang mendekati lendutan di laboratorium. Nilai k_v yang digunakan ialah k_v koreksi, k_v pengamatan, dan k_v analisa balik. Hasil analisa pada keadaan basah pelat tanpa tiang memiliki k_v 32525,36 kN/m³ berasal dari 4 kali k_v koreksi dan 11,77 kali k_v pengamatan, pelat dengan tiang 10 cm sebesar 212202,381 kN/m³ berasal dari pengamatan, dan pelat dengan tiang 20 cm sebesar 665902,141 kN/m³ berasal dari 65 kali k_v koreksi dan 17,11 kali k_v pengamatan. Sedangkan pada tanah kering, k_v pelat dengan tanpa tiang sebesar 823529,412 kN/m³ berasal dari 1 kali k_v koreksi dan 2,31 k_v pengamatan, k_v tiang 10 cm sebesar 1929824,561 kN/m³ berasal dari 15 kali k_v koreksi dan 23,56 kali k_v pengamatan, dan k_v tiang 20 cm sebesar 1468428,781 kN/m³ berasal dari 7,5 kali k_v koreksi dan 12,5 kali k_v pengamatan. Berdasarkan hasil analisa, metode *Beam on Elastic Foundation* dapat digunakan untuk validasi lendutan yang terjadi.

Kata kunci : pelat dengan perkuatan tiang, modulus reaksi tanah dasar, lendutan, metode *Beam on elastic foundation*.

Abstract. *Expansive soil is a term of soil with a large potential for swelling and shrinkage when it experiences changes in water content. Pevement build on expansive clay which becomes the base layer of a building or pavement can cause structural problems on it, such as experiencing cracks and non-uniform decreases. Piles are chosen as one alternative for rigid pavement reinforcement systems. The piles is not soil improvement, but reinforcement. Plate deflection analysis was carried out on plate modeling measuring $70 \times 30 \times 2$ cm and variations in the depth of erection of piles 10 and 20 cm in diameter 4 cm. Deflection is analyzed using the Beam on elastic foundation method. The purpose of the numerical analysis is to validate deflection that occurs in the laboratory. In this study, deflection was analyzed using various subgrade modulus reaction values (k_v) to produce deflection which approached deflection in the laboratory. The value of k_v used is k_v correction, k_v observation, and k_v back analysis. The results for wet analysis plate without piles have k_v 32525,36 kN / m³ from 4x k_v corection and 11,77x k_v of result, plate with piles length of 10 cm of 212202,381 kN / m³ 25x k_v correction and 20,77 k_v of result, and plate with 20 cm piles of 665902,141 kN / m³ 65x k_v correction and 17,11x k_v of result. Whereas in dry soil, the value of k_v plate without piles equal to 823529,412 kN / m³ 1x k_v correction and 2,31 k_v of result, k_v plate with piles 10 cm is 1929824,561 kN / m³ 15x k_v correction and 23,56x k_v of result, and k_v plate with piles 20 cm is 1468428,781 kN / m³ 7,5x k_v correction and 12,5x k_v of result. Based on the results of the analysis, Beam on Elastic Foundation method can validasion deflection result.*

Key words : nailed slab system, modulus of subgrade reaction, Beam on elastic foundation Method

1. Pendahuluan

Tanah lempung ekspansif masih menjadi masalah dalam dunia konstruksi di Indonesia. Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang mudah sekali mengalami pengembangan dan penyusutan apabila mengalami perubahan kadar air. Tanah ini jika diberi beban, mudah mengalami keruntuhan ketika dalam kondisi lunak. Dalam pekerjaan jalan raya, pelat perkerasan kaku yang berada di atas tanah dasar lempung ekspansif mudah mengalami lendutan yang tidak merata, sehingga terjadi retak di berbagai sisi. Tiang sebagai sistem perkuatan diperkenalkan Hardiyatmo untuk mengganti pondasi cakar ayam. Tiang digunakan untuk mengurangi lendutan yang terjadi. Lendutan dapat dianalisa dengan metode *beam on elastic foundation* dengan memanfaatkan nilai modulus reaksi tanah dasar. Lendutan yang dianalisa berada dalam dua kondisi, yaitu kondisi tanah kering dan kondisi tanah basah.

Farouk & Farouk (2014) melakukan pengujian pada pondasi bangunan. Analisa dengan berbagai nilai k_v menunjukkan lendutan lebih besar ketika nilai modulus reaksi tanah dasar (k_v) semakin kecil. Lendutan tersebar, semakin jauh dari pusat beban, lendutan semakin kecil. Naeini & Taherabadi (2015) melakukan analisa lendutan menggunakan *software* ABAQUS, perbandingan analisa numerik dengan lendutan di lapangan, dan pengujian plate loading test. Hasil pemodelan menunjukkan nilai lendutan yang lebih besar dari pengujian in situ. Farouk & Farouk (2014) melakukan analisa dengan memperhatikan daya dukung tanah saja dan analisa dengan penambahan nilai k_v . Analisa dengan mempertimbangkan nilai k_v memberikan hasil yang lebih mendekati pengujian yang sebenarnya.

Puri (2017) melakukan pengujian lendutan pada pelat terpaku. Penambahan tiang memberikan penambahan k_v , nilai k_v yang bertambah, menghasilkan lendutan yang semakin kecil. Dengan kata lain, semakin panjang tiang yang digunakan, maka lendutan semakin kecil. Puri (2013) melakukan pengujian pada pelat terpaku dan analisa numeris dengan metode *beam on elastic foundation*. Analisa menunjukkan

hasil, semakin dalam pemancangan dan pendek jarak tiang, lendutan semakin kecil. Nilai modulus reaksi tanah dasar, berbanding terbalik dengan lendutan yang terjadi. Diana, dkk., (2017) memberikan hasil pada sistem pelat terpaku bahwa lendutan semakin besar pada pelat tanpa tiang. Puri, dkk (2014) juga melakukan pengujian pada sistem pelat terpaku, penggunaan tiang memberikan efek ketika dilakukan unloading, lendutan kembali ke nol.

Penelitian mengenai modulus elastisitas dan modulus reaksi tanah dasar dibandingkan dengan nilai California bearing ratio (CBR) dan metode elemen hingga dilakukan Putri, dkk., (2012). Respon tekanan-perpindahan tanah dalam cetakan CBR disimulasikan menggunakan model Cosmosworks FEM di mana tanah, plunger beban, dan cetakan baja CBR. Korelasi Modulus Elastisitas (E) dengan California Bearing Ratio (CBR) dikembangkan berdasarkan sifat elastis dari sampel tanah. Dengan menggunakan nilai E, modulus reaksi tanah dasar dapat dihitung dan juga sebaliknya. CBR diharapkan menyederhanakan upaya dalam penentuan modulus reaksi tanah dasar yang digunakan dalam desain pondasi, struktur tanah interaksi, desain formasi jalan raya dll.

Marto, dkk. (2012) melakukan analisa perbandingan modulus reaksi tanah dasar menggunakan *software* PLAXIS dengan analisa numeris Terzaghi. Hasil analisa menunjukkan kedua modulus reaksi tanah dasar memiliki nilai yang hampir sama. Selain itu, analisa Terzaghi dibandingkan dengan analisa k_v dengan dan tanpa memperhatikan muka air tanah. Penelitian menunjukkan k_v Terzaghi memiliki nilai yang kecil.

Moayed & Janbaz (2015) melakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh ukuran tiang terhadap nilai modulus reaksi tanah dasar. Penurunan yang terjadi menunjukkan nilai lendutan sebanding dengan beban yang diberikan. Berdasarkan pengujian juga dapat diketahui bahwa k_v Terzaghi memiliki nilai yang lebih besar seiring dengan bertambahnya dimensi tiang yang digunakan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa lendutan pelat dengan metode *Beam on Elastic Foundation* menggunakan variasi nilai modulus reaksi tanah dasar (k_v). Variasi yang digunakan ialah k_v koreksi dari tiang tunggal, k_v pengamatan dari pelat tiang berkelompok, dan k_v analisa balik dari k_v koreksi

2. Dasar Teori

Analisa lendutan memerlukan data berupa modulus elastisitas pelat (E_c) dan nilai modulus reaksi tanah dasar (k_v). Modulus elastisitas adalah rasio dari tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan (Rompas dkk., 2015). Nilai modulus elastisitas beton merupakan nilai kekuatan beton yang diberi gaya tegak lurus serat beton (Suarnita, 2011). Pemberian beban menghasilkan hubungan antara tegangan dan regangan beton. Modulus elastisitas beton dapat dianalisa dengan Persamaan 1.

$$E = \frac{Qa}{24\delta} (3l^2 - a^2) \dots\dots\dots(1)$$

dengan,

- E = modulus elastisitas (kN/m²),
- Q = beban (kN),
- l = panjang pelat (m),
- I = momen inersia penampang (m⁴),
- δ = lendutan balok (m),
- a = jarak dari titik beban ke tumpuan.

Hardiyatmo (2011) menyatakan bahwa modulus reaksi tanah dasar didefinisikan sebagai modulus reaksi tanah-dasar yang mempertimbangkan kontribusi tiang dalam menahan gaya vertikal yang menyebabkan perpindahan pelat yang dinyatakan oleh Persamaan 2:

$$k' = k + \Delta k \dots\dots\dots(2)$$

Dimana k' : modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (kN/m³), k = modulus reaksi *subgrade* (kN/m³), dan Δk = kenaikan modulus reaksi *subgrade* akibat pemasangan tiang (kN/m³). Modulus reaksi *subgrade* (k') yang bekerja pada pelat dipengaruhi oleh gaya antar tanah dengan pelat dan gaya yang diakibatkan tiang-tiang mini yang dipasang. Pemasangan tiang-tiang menambah koefisien reaksi *subgrade* (Δk).

Analisa lendutan dilakukan dengan metode *Beam on Elastic Foundation*.

Hetenyi (1974) memaparkan jika lendutan pada sebuah pelat di atas tanah dasar dapat dianalisa dengan menganggap jika pelat dan tanah dasar memiliki sifat elastis. Sifat elastis dari tanah menyebabkan ketika pelat mengalami penurunan, maka tanah akan menahan gaya tekan tersebut, dan ketika pelat mengalami kenaikan, maka tanah akan menahan gaya tarik. Sifat ini menyebabkan tanah dianggap mengikuti hukum Hooke. Ketika sebuah pelat diberi beban di tengah bentang dan pelat dianggap memiliki panjang terbatas (*finite beam*), maka lendutan pada sembarang titik didapatkan dari persamaan 3

$$\delta = \frac{P\lambda}{k} \frac{1}{\sinh^2 \lambda l - \sin^2 \lambda l} \left\{ \begin{array}{l} \cosh \lambda x \cdot \cos \lambda(1-x) + (\cos \lambda x \cdot \cosh \lambda(1-x) + \\ \sinh \lambda x \cdot \cos \lambda(1-x) + \sin \lambda x \cdot \sinh \lambda(1-x) + \\ 2 \cosh \lambda x \cdot \cos \lambda x \end{array} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

dengan,

- δ = lendutan (m)
- P = beban titik (kN)
- l = panjang balok (m)
- x = jarak beban ke titik tinjauan (m)
- I = momen inersia (m⁴)
- λ = faktor kekakuan

sedangkan lendutan pada tengah bentang dapat dianalisa dengan persamaan 4

$$\delta = \frac{P\lambda}{2} \frac{\cosh^2 \lambda l + \cos^2 \lambda l + 2}{\sinh^2 \lambda l + \sin^2 \lambda l} \dots\dots\dots(4)$$

dengan,

- δ = lendutan (m)
- P = beban titik (kN)
- l = panjang balok (m)
- I = momen inersia (m⁴)
- x = jarak beban ke titik tinjauan (m)
- λ = faktor kekakuan.

3. Metode Penelitian Tanah

Pengujian *index properties* tanah dilakukan pada tanah lempung Ngawi, Jawa Timur. Sifat-sifat fisik tanah diuji berdasarkan standar uji masing-masing pengujian dengan hasil ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1 *Index properties* tanah

Jenis Pengujian	Standar	Nilai
Berat Jenis	ASTM D 854	2,69
Gradasi	ASTM D 422	
Fraksi lolos saringan 200		88,06
Klasifikasi USCS		CH
Klasifikasi AASTHO		A-7-6
Batas-batas atterberg		

Batas cair (%)	ASTM D 4318	95,8
Batas plastis (%)	ASTM D 4318	29,13
Lanjut halaman 4 Lanjutan Tabel 3		
Batas susut (%)	ASTM D 4318	10,9
Indeks plastisitas PI (%)		66,66
Berat volume kering maksimum, (kN/m ³)		13,64
Kadar air optimum, OMC (%)	ASTM D 698	14,9
Aktifitas tanah	ASTM D 698	3,7
Tekanan pengembangan (kPa)		140
Persen pengembangan (%)		13,56

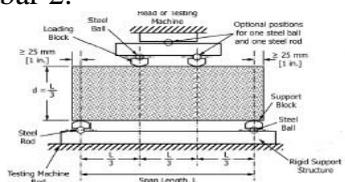
Pelat dan Tiang

Pelat yang digunakan berupa pelat beton bertulang dengan dimensi 70 cm × 30 cm × 2 cm. Campuran beton berupa mortar dengan fas 0,3. Tulangan yang digunakan dua lapis dan terbuat dari *wire mesh* dimensi 1 mm. Pelat ini merupakan pemodelan skala kecil dari jalan dengan perkerasan kaku.

Tiang yang digunakan berupa tiang dengan diameter 4 cm. Panjang tiang bervariasi, yaitu 10 dan 20 cm. Tiang berupa beton bertulang, dengan jumlah tulangan tiga buah. Tulangan menggunakan kawat galvanis diameter 3 mm.

Modulus Elastisitas Pelat

Menurut Thimoseko (dalam Chandra, 2011), modulus elastisitas beton adalah gaya yang diperlukan untuk menghasilkan suatu lendutan. Modulus elastisitas beton dilakukan dengan cara menguji lendutan pelat dengan metode *third point load* berdasarkan ASTM C78-15a. Mekanisme pengujian ditunjukkan pada Gambar 1 dengan pengujian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1 Pengujian third point load



Gambar 2 Uji lentur beton

Pengujian menggunakan campuran mortar dengan fas 0,3 dan tulangan dimodelkan menggunakan *wire mesh* 1 mm sebanyak dua lapis. Pelat benda uji berukuran 70 cm × 10 cm × 2 cm. Benda uji diletakkan di atas dua tumpuan yang diasumsikan sebagai tumpuan sendi. Jarak tumpuan dari tepi adalah 5 cm. Kemudian pada bagian atas tengah diberi besi sebagai tempat dudukan beban seperti ditunjukkan gambar 2. Pembacaan lendutan dilakukan pada tiga titik, yaitu ¼ bentang, ½ bentang, dan ¾ bentang sehingga didapat lendutan rata-rata. Pengujian dilakukan hingga benda uji patah.

Beam on Elastic Foundation

Beam on Elastic Foundation dianalisa dengan program yang dibuat oleh Alex Tomanovic, P.E.. Analisa lendutan dengan metode ini membutuhkan data masukan berupa dimensi pelat, modulus elastisitas pelat dengan nilai 55809 MPa., dan modulus reaksi tanah dasar.

Semua data ini dimasukkan ke dalam program. Selain data-data tersebut, data beban juga diperlukan karena lendutan terjadi ketika ada beban di atasnya. Beban yang dimasukkan berupa beban titik yang berada di pusat pelat. Beban diberikan setiap 10 kg hingga mencapai 190 kg. Metode ini, akan memberikan nilai lendutan di setiap titik hingga mencapai 101 titik. Nilai gaya geser dan momen juga akan ditampilkan oleh program ini.

4. Hasil dan Pembahasan

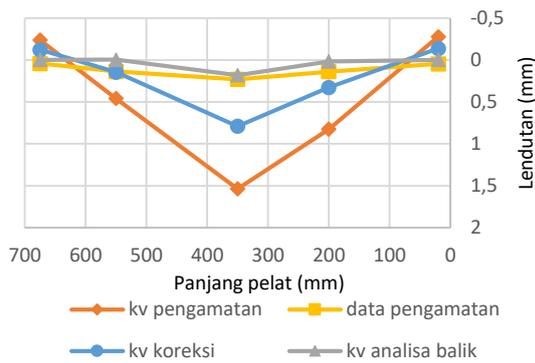
Pengujian elastisitas beton

Hasil pengujian modulus elastisitas beton satu (E_{c1}) sebesar 57.363.666,17 kN/m², beton dua memiliki nilai modulus elastisitas (E_{c2}) sebesar 32.402.169,84 kN/m², dan modulus elastisitas tiga (E_{c3}) sebesar sebesar 14.388.811,67 kN/m². Modulus elastisitas

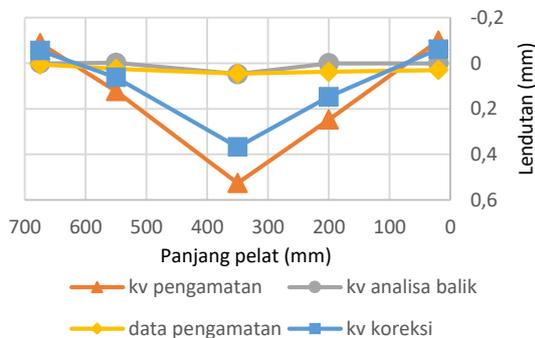
maksimum sebesar 57.363.666,17 kN/m² atau 55809 MPa. Pelat satu mulai kehilangan elastisitasnya pada beban 0,922 kN, pelat dua kehilangan sifat elastis mulai beban 0,628 kN, dan pelat tiga mulai kehilangan sifat elastis pada beban 0,206 kN.

Modulus reaksi tanah dasar kondisi kering

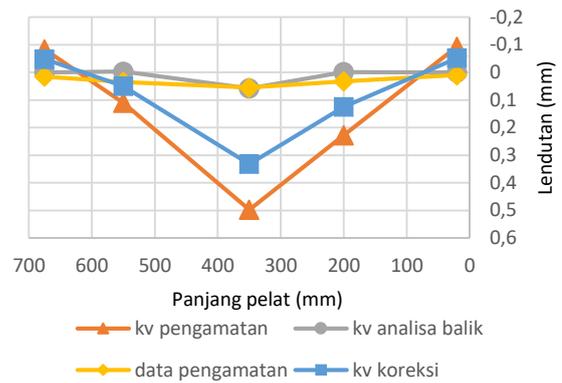
Lendutan dianalisa dengan tiga k_v yang berbeda, k_v koreksi, k_v pengamatan, dan k_v analisa balik. K_v koreksi merupakan k_v yang didasarkan pada k_v pelat dengan tiang tunggal yang dikonversi ke pelat dengan tiang berkelompok. K_v koreksi merupakan perbandingan sebanding dengan lebar pelat yang ditinjau. k_v pengamatan merupakan k_v hasil hitungan dari sistem pelat terpaku, sedangkan k_v analisa balik didapatkan dari k_v koreksi yang dikalikan dengan konstanta tertentu. Gambar 3 menunjukkan lendutan yang terjadi pada pelat tanpa tiang, Gambar 4 menunjukkan lendutan pada pelat dengan tiang 10 cm, dan Gambar 5 untuk pelat dengan tiang 20 cm dengan beban 50 kg.



Gambar 3 Lendutan pelat tanpa tiang pada tanah kering



Gambar 4 Lendutan pelat dengan tiang 10 cm pada tanah kering



Gambar 5 Lendutan pelat dengan tiang 10 cm pada tanah kering

Ketiga lendutan baik pada pelat tanpa tiang yang ditunjukkan pada Gambar 3, pelat dengan tiang 10 cm yang ditunjukkan Gambar 4, dan pelat dengan tiang 20 cm yang ditunjukkan Gambar 5 menunjukkan hasil analisa lendutan dengan k_v koreksi maupun k_v pengamatan memberikan nilai yang jauh dari lendutan hasil pengamatan di laboratorium, hal inilah yang mendasari dilakukannya analisa balik pada k_v koreksi. Hasil analisa dengan k_v analisa balik menunjukkan nilai lendutan yang mendekati pengujian di laboratorium.

Berdasarkan hasil analisa maupun pengamatan, lendutan terbesar terjadi di bawah bentang. Nilai k_v terbesar terjadi pada tiang dengan panjang 10 cm dan turun pada tiang dengan panjang 20 cm. penurunan nilai k_v juga menyebabkan lendutan yang terjadi semakin besar, hal ini dikarenakan k_v merupakan parameter daya dukung tanah, sehingga ketika k_v turun, maka lendutan akan naik.

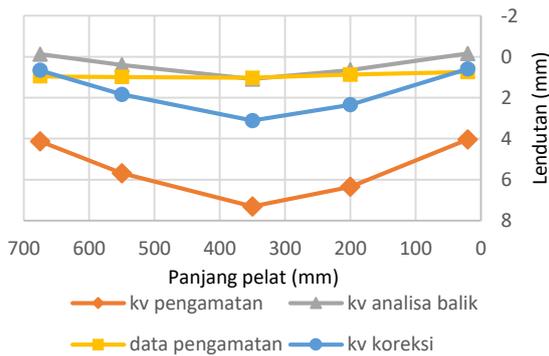
Tabel 2 menunjukkan hubungan besar nilai lendutan dan k_v yang digunakan. Nilai k_v yang digunakan berupa k_v analisa balik dari k_v koreksi. Berdasarkan hasil analisa seperti ditunjukkan Tabel 2, lendutan memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan lendutan pengamatan Berdasarkan Tabel 2, lendutan hasil analisa dan pengamatan mendekati sama. Hal ini menunjukkan bahwa metode *beam on elastic foundation* dapat digunakan untuk validasi lendutan hasil pengamatan di laboratorium.

Tabel 2 Tabel nilai kv dan lendutan kondisi tanah kering

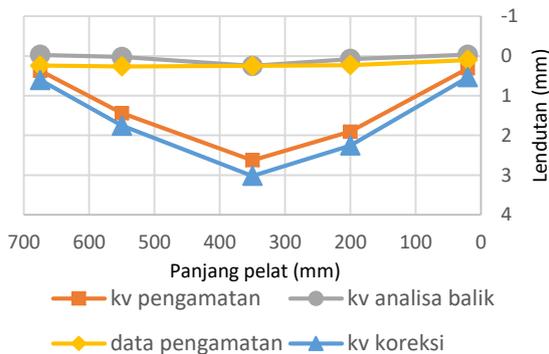
Parameter	K_v (kN/m ³)	Δk (kN/m ³)	Lendutan analisa (mm)	Lendutan pengamatan (mm)	Selisih lendutan (%)
Pelat tanpa tiang	823529,412		0,09	0,09	0
Pelat tiang 10 cm	1929824,561	1106295,15	0,047	0,045	4,44
Pelat tiang 20 cm	1468428,781	644899,37	0,058	0,055	6

Modulus reaksi tanah dasar kondisi basah

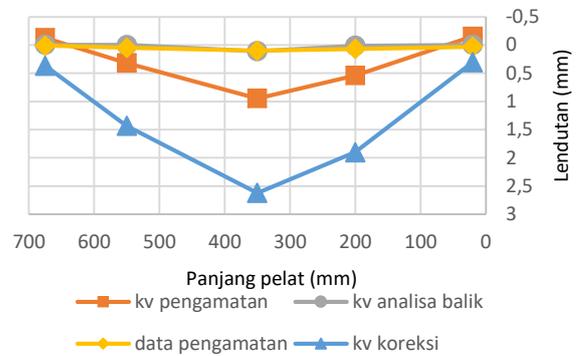
Lendutan pelat yang terjadi di atas tanah basah memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan lendutan pelat di atas tanah kering. Nilai modulus reaksi tanah dasar pada analisa ini sama seperti modulus reaksi tanah dasar pada pelat di atas tanah lempung ekspansif kering. Seperti pada pelat di atas tanah kering, analisa lendutan yang dihasilkan dengan menggunakan modulus reaksi tanah dasar koreksi dan pengamatan memiliki nilai yang jauh berbeda, sehingga memerlukan analisa balik untuk menghasilkan lendutan mendekati lendutan di laboratorium.



Gambar 6 Lendutan pelat tanpa tiang pada tanah basah



Gambar 7 Lendutan pelat dengan tiang 10 cm pada tanah basah



Gambar 8 Lendutan pelat dengan tiang 20 cm pada tanah basah

Gambar 6 menunjukkan lendutan hasil analisa memiliki sifat linear, asumsi ini menghasilkan nilai lendutan yang semakin kecil ketika titik tinjauan semakin jauh dari beban yang bekerja. Gambar 6. menunjukkan lendutan di tengah bentang berhimpit, hal ini menunjukkan jika lendutan hasil analisa memiliki nilai yang sama dengan lendutan hasil pengamatan.

Pelat dengan tiang panjang 10 cm yang ditunjukkan Gambar 7 dan pelat dengan tiang 20 cm seperti ditunjukkan Gambar 8 memiliki nilai modulus reaksi tanah dasar yang lebih besar dari pelat tanpa tiang juga menunjukkan nilai lendutan hasil pengamatan di laboratorium mendekati sama dengan hasil analisa. Ketika analisa menunjukkan bahwa pelat bersifat elastis, ini terlihat dari grafik yang mendekati garis lurus dari sisi tengah ke ujung-ujungnya. Sifat elastis ini membuat lendutan yang terjadi memiliki perbedaan yang cukup signifikan antara titik di bawah beban dan titik yang jauh dari beban. Nilai modulus reaksi tanah dasar analisa balik dan lendutan yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4. Tabel 4 menunjukkan bahwa hasil analisa menunjukkan bahwa metode *beam on elastic foundation* dapat digunakan untuk validasi lendutan hasil pengamatan di laboratorium

Tabel 3 Tabel nilai kv dan lendutan kondisi tanah basah

Parameter	Kv (kN/m ³)	Δk (kN/m ³)	Lendutan (mm)	Lendutan pengamatan (mm)	Selisih lendutan (%)
Pelat tanpa tiang	32525,36		1,09	1,3	5,83
Pelat tiang 10 cm	212202,381	179677,021	0,25	0,25	0
Pelat tiang 20 cm	665902,141	633376,78	0,11	0,1	10

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah diuraikan pada bab sebelumnya tentang analisa lendutan dengan metode Beam on Elastic Foundatin dengan variasi pelat tanpa tiang, pelat engan tiang 10 cm, dan pelat dengan tiang 20 cm dan variasi kv berupa kv koreksi, kv analisa balik, dan kv pengamatan. Maka didapatkan hasil sebagai berikut ini.

- Berdasarkan hasil analisa, pelat yang berada di atas tanah dasar lempung ekspansif kering mempunyai k_v analisa balik dan lendutan untuk pelat tanpa tiang 823529,412 kN/m³, dengan lendutan analisa sebesar 0,09 mm dan selisih dengan pengamatan 0%. Pada pelat dengan tiang 10 cm, kv bernilai 212202,381 kN/m³, dengan lendutan analisa sebesar 0,047 mm dan selisih dengan pengamatan 4,44%. Pelat dengan tiang 20 cm memiliki nilai kv 665902,141 kN/m³, dengan lendutan analisa sebesar 0,058 mm dan selisih dengan pengamatan 6%.
- Berdasarkan Berdasarkan hasil analisa, pelat yang berada di atas tanah dasar lempung ekspansif kering mempunyai k_v analisa balik dan lendutan untuk pelat tanpa tiang 32525,36 kN/m³, dengan lendutan analisa sebesar 1,09 mm dan selisih dengan pengamatan 5,83%. Pada pelat dengan tiang 10 cm, kv bernilai 1929824,561 kN/m³, dengan lendutan analisa sebesar 0,25 mm dan selisih dengan pengamatan 0%. Pelat dengan tiang 20 cm memiliki nilai kv 1468428,781 kN/m³, dengan lendutan analisa sebesar 0,11 mm dan selisih dengan pengamatan 10%.
- Hasil analisa menunjukkan hasil lendutan yang cenderung mendekati pengamatan di laboratorium, sehingga metode *beam on elastic foundation* dapat digunakan untuk validasi penurunan yang terjadi.

6. Daftar Pustaka

- Diana, W., Hardiyatmo, H. C., & Suhendro, B. 2016, July. Small-scale experimental investigation on the behaviour of nailed slab system in expansive soil. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1755, No. 1, p. 060002). AIP Publishing.
- Diana, W., Hardiyatmo, H. C., & Suhendro, B. 2017. Effect of pile connections on the performance of the nailed-slab system on the expansive soil. *International Journal of Geomate*, 12(2), 134-141.
- Farouk, H., & Farouk, M. 2014, June. Effect of elastic soil structure interaction on modulus of subgrade reaction. In *Geo-Hubei 2014 International Conference on Sustainable Civil Infrastructure China Three Gorges University American Society of Civil Engineers*.
- Hardiyatmo, H. C. 2011. Method to Analyze the Deflection of the Nailed-slab System. *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, 11(4), 22-28.
- Hetenyi. 1974. *Beam on Elastic Foundation*. Michigan University Studies. Michigan.
- Marto, A., Latifi, N., Janbaz, M., Kholghifard, M., Khari, M., Alimohammadi, P., & Banadaki, A. D. 2012. Foundation Size Effect on Modulus of Subgrade Reaction on Sandy Soils. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 17, 2523-2530.
- Moayed, R. Z., & Janbaz, M. 2008. Foundation size effect on modulus of subgrade reaction in clayey soil. *Electronic Journal of geotechnical Engineering*, 13, 1-8.
- Naeini, S. A., Ziaie Moayed, R., & Allahyari, F. 2014. Subgrade reaction modulus (Ks) of clayey soils based on field tests. *Journal of Engineering Geology*, 8(1), 2021.
- Naeini, S. A., & Taherabadi, E. 2015. Numerical And Theoretical Study of Plate Load Test to Define Coefficient of Subgrade Reaction. *Journal of*

- Geotechnical and Transportation Engineering*, 1(2), 2.
- Puri, A. 2017. Developing the curve of displacement factor for determination the additional modulus of sub grade reaction on nailed-slab pavement system. *International Journal of Technology*, 1, 1117-1126.
- Puri, A., Hardiyatmo, H. C., Suhendro, B., & Rifa'i, A. 2012. 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*, 12(03), 32-40.
- Puri, A., Hardiyatmo, H. C., Suhendro, B., & Rifa'i, A. 2013, November. Behavior of Fullscale nailed-slab System with Variation on Load Positions. In *The 1 st International Conference on Infrastructures Development (ICID)* (pp. 26-36).
- Puri, A., Hardiyatmo, H. C., Suhendro, B., & Rifa'i, A. 2014. Behavior of Nailed-slab System on Soft Clay Due to Repetitive Loadings by Conducting Full Scale Test. In *The 17th FSTPT International Symposium* (pp. 739-750).
- Putri, E. E., Rao, N. S. V. K., & Mannan, M. A. 2012. Evaluation of modulus of elasticity and modulus of subgrade reaction of soils using CBR test. *Journal of Civil Engineering Research*, 2(1), 34-40.
- Rompas, G. P., Pangouw, J. D., Pandaleke, R., & Mangare, J. B. 2013. Pengaruh pemanfaatan abu ampas tebu sebagai substitusi parsial semen dalam campuran beton ditinjau terhadap kuat tarik lentur dan modulus elastisitas. *Jurnal Sipil Statik*, 1(2).
- Suarnita, I. W. 2011. Kuat Tekan Beton dengan Aditif Fly Ash Ex. PLTU Mpanau Tavaeli. *Smartek*, 9(1).