

# Perilaku Deformasi Pelat Dengan Perkuatan Tiang Pada Tanah Lempung Ekspansif

*Behaviour Deformation of Plates with Piles Reinforcement on Expansive Clay Soil*

**Syifa Salsabila Fauziah, Willis Diana**

*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** Perkerasan kaku yang terletak pada tanah lempung ekspansif sering mengalami deformasi yang tidak seragam akibat dari kembang susut tanah. Masalah ini dapat menyebabkan kerusakan dan keretakan pada struktur jalan. Solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan memodelkan struktur pelat dengan perkuatan kelompok tiang pendek. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji perilaku model pelat terhadap pembebanan dan kembang susut tanah dasar. Dimensi dari model pelat adalah  $70 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$  menggunakan variasi panjang tiang sebesar 20 cm dan 10 cm dengan diameter 4 cm. Untuk menentukan dampak dari pengembangan tanah adalah melakukan proses pembasahan pada tanah dasar. Hasil dari penelitian ini berupa lendutan pada struktur pelat. Lendutan pada pelat tanpa tiang sebesar 0,53 mm sedangkan lendutan pada pelat dengan panjang tiang 20 cm sebesar 0,31 mm. Pada kondisi tanah basah nilai lendutan lebih besar dibandingkan kondisi tanah kering. Struktur pelat dengan perkuatan tiang dapat mereduksi kenaikan dan nilai lendutan pelat akibat pembebanan.

Kata-kata kunci : tanah lempung ekspansif, kondisi kering-basah, perkuatan tiang, tiang-tiang pendek

**Abstract.** Rigid pavements are located on expansive clay soil often had an uneven deformation because of the swelling shrinkage soil. That problem will cause the damages and cracks on the structure of road pavement. Therefore the solution to solve this problem is modeling structure with a plate reinforcement system using the group of mini piles. This research was conducted to examine the behavior of the model due to the loading and swelling shrinkage of subgrades. The dimension of plate models are  $70 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$  using length variation of piles are 20 cm and 10 cm with 4 cm diameters. To determine the impact of soil swelling is by the wetting process on the subgrade. The results of this research are deflection on the plate structure. The deflection value of the plate without pile is large than deflection on the plate. The deflection on the plate without piles is 0,53 mm, plates with the piles length 20 cm are 0,31 mm. On the wet condition the deflection values are larger than dry conditions. Pile reinforcement can reduce plate deflection due to load, reduce heave of the structure.

Keywords : expansive clay soil, dry-wet conditions, pile reinforcement, nailed slab system.

## 1. Pendahuluan

Perkerasan jalan yang terletak di tanah lempung ekspansif sering mengalami deformasi yang berlebihan yang disebabkan oleh beban kendaraan berat maupun penurunan konsolidasi akibat berat timbunan. Selain itu, tanah dasar dapat mengalami gerakan naik turun yang disebabkan karena kembang susut

tanah dibawahnya oleh berubahnya musim. Akibat dari kembang susut tanah dasar yang tidak seragam yaitu perkerasan menjadi bergelombang tidak teratur dan mengalami retak-retak. Oleh karena itu, sistem perkerasan jalan harus dirancang lebih tahan lama, agar tidak mengalami kerusakan prematur akibat pengaruh lingkungan. Permasalahan yang

sering terjadi pada pembangunan struktur di Indonesia yaitu pada saat pembangunan jalan yang berada di atas tanah lempung ekspansif. Bangunan dan infrastruktur yang berada di tanah lempung ekspansif dapat mengalami bahaya yang serius Dafalla dkk. (2017). Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang memiliki sifat kembang susut yang besar dan perilakunya sangat dipengaruhi oleh air. Menurut Hardiyatmo (2016), perkerasan jalan mengalami kerusakan oleh beban kendaraan lebih besar dibandingkan dengan rencana awal, volume kendaraan (terutama untuk kendaraan berat) lebih tinggi dibandingkan dengan rencana awal, perkerasan yang terlalu tipis. Solusi untuk perkerasan jalan yang tahan terhadap pengaruh air dan beban berlebihan adalah perkerasan jalan menggunakan Sistem Cakar Ayam Modifikasi dan Sistem Pelat Terpaku. Sistem Pelat Terpaku dan Sistem Cakar Ayam bila digunakan pada tanah dasar lempung ekspansif, dapat memberikan ketahanan jangka panjang dan menjaga kerataan permukaan perkerasan terhadap pengaruh kembang-susut tanah.

Puri dan Mildawati, (2019) menganalisis bahwa sistem pelat terpaku dapat menghasilkan suatu sistem komposit yang diperoleh melalui interaksi tanah dengan struktur dari komponen pelat beton bertulang, tiang, dan tanah diantara tiang. Hardiyatmo, (2011) menganalisis lendutan disepanjang pekat dengan metode Sistem Pelat Terpaku dengan cara uji pembebanan menunjukkan bahwa lendutan tanpa tiang lebih besar dibandingkan dengan pelat yang diperkuat dengan tiang, baik untuk beban statis maupun dinamis. Puri dan Mildawati, (2019) menganalisis menggunakan metode elemen hingga Plaxis 3D menunjukkan bahwa semakin besar diameter dan panjang tiang maka lendutan semakin berkurang. Puri dkk. (2011) menganalisis pelat yang diperkuat oleh tiang – tiang friksi yang pendek menunjukkan bahwa kekakuannya meningkat seiring penambahan jumlah baris tiang dan lebih kaku dibandingkan dengan pelat tanpa tiang. Xiao dkk. (2011),meningkatkan panjang tiang dapat mengurangi pemindahan tiang, tetapi jika terlalu panjang, perpindahan menjadi kurang sensitif terhadap panjang tiang.Khodair, (2014),analisis *finite difference* (FD) dan *finite*

*element* (FE) menunjukkan bahwa perbedaan besarnya momen lentur dan *displacement* berkurang dengan meningkatnya tanah lempung yang mengelilingi tiang. Loardharjo dkk. (2013),kadar air mempengaruhi kuat geser tanah sampel, kuat geser tanah meningkat jika kadar air menurun sebaliknya kuat geser menurun jika kadar air meningkat. Diana, (2017),adanya tiang dapat mereduksi kenaikan antara pelat dan tanah-dasar. Mohamedzein (2006) menganalisis menggunakan metode elemen hingga. Yuliet dkk. (2011) melakukan penelitian potensi pengembangan berupa aktivitas pengembangan, tekanan pengembangan, dan persentase pengembangan.

Dalam studi ini, pengaruh penambahan beban terhadap deformasi dan pengaruh panjang tiang terhadap pengembangan pada tanah lempung ekspansif dapat dianalisis dengan pengujian pembebanan dan pengembangan pada pelat dan tanah dengan sistem kering-basah. Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan cara melakukan pengujian secara langsung yang dilakukan di Laboratorium Geoteknik Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dengan menggunakan 3 buah sampel pelat yang berbeda yaitu pelat tanpa tiang, pelat dengan tiang diameter 4 cm dan tinggi 20 cm, serta pelat dengan tiang diameter 4 cm dan tinggi 10 cm.

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji perilaku model pelat terhadap pembebanan dan kembang susut tanah dasar.

## 2. Alat dan Bahan

Pada penelitian ini, alat yang digunakan yaitu *dial gauge* untuk mengukur penurunan yang terjadi pada pelat memanjang saat diberikan beban dengan ketelitian 0,01 mm/menit, kotak pengujian dengan panjang 300 cm, lebar 50 cm, dan tinggi 80 cm, terbuat dari besi,dan dibagian depan ditutup dengan kaca, alat pembebanan terbuat dari pipa besi yang dimodifikasi sedemikian rupa sehingga dapat menaruh beban sebanyak 190 kg, serta alat pemadatan konvensional untuk memadatkan tanah dalam kotak pengujian.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu tanah lempung ekspansif yang berasal dari Ngawi, Jawa Timur. Bahan mortar yang

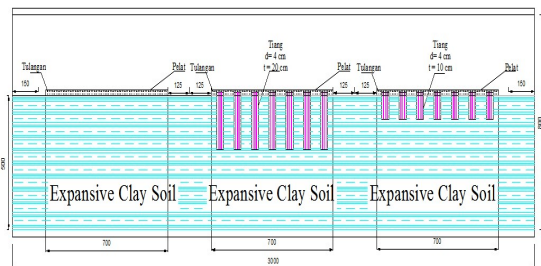
terdiri dari semen, agregat halus dan air, serta *wiremesh* untuk tulangan pada pelat mortar, tiang beton dengan diameter 4 cm, dan pelat mortar dengan panjang 70 cm, lebar 30 cm, dan tebal 2 cm. Rekapitulasi variasi benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Rekapitulasi variasi benda uji

| No. | Dimensi Pelat (cm) | Panjang Tiang (cm) | Diameter Tiang (cm) | Jumlah Tiang | Kondisi      |
|-----|--------------------|--------------------|---------------------|--------------|--------------|
| 1   | 70×30×2            | Pelat Tanpa Tiang  |                     |              | Kering Basah |
| 2   | 70×30×2            | 20                 | 4                   | 21           | Kering Basah |
| 3   | 70×30×2            | 10                 | 4                   | 21           | Kering Basah |

### 3. Tahapan Penelitian

Persiapan pengujian utama dilakukan dengan cara mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Persiapan dilanjutkan dengan melakukan pemadatan tanah. Pemadatan tanah dilakukan sebanyak 5 *layer*, dengan tinggi setiap *layer* yaitu 10 cm. Kepadatan tanah di lapangan mencapai nilai 90 – 95 %. Setelah itu, membuat *bekisting* pelat berukuran panjang 70 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 2 cm. Pemasangan tiang *precast* dilakukan dengan sistem *preboring* kemudian tanah disekitar tiang dipadatkan kembali seperti semula. Pemasangan *bekisting* dilakukan apabila tanah sudah padat, kemudian mortar dituang ke dalam *bekisting* pelat di atas tiang yang telah tertanam. *Wiremesh* dimasukkan sebelum mortar dituangkan ke dalam *bekisting* berfungsi sebagai tulangan agar kekakuan yang harus monolit apabila terjadi lendutan perubahan tiang dan pelat secara bersamaan. Pemodelan benda uji tersusun dari tanah dan pelat dengan dan tanpa tiang. Seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Pemodelan benda uji

### Tahapan Pengujian Utama

Pengujian pembebanan dilakukan dengan pemasangan alat seperti alat pembebanan diikat dengan rangka baja di bagian atas sehingga diharapkan posisi alat dengan benda uji selalu tegak lurus, pada benda uji dipasang 5 buah *dial gauge* yang disimpan di 2 tepi kiri, tengah, dan 2 tepi kanan pelat, seperti yang dilihat pada Gambar 2. Total beban yang diberikan sebesar 190 kg dengan interval 10 kg. Pembacaan dilakukan setiap satu menit hingga penurunan yang terjadi tidak lebih dari 0,03 mm.



Gambar 2 Pemasangan *dial gauge*

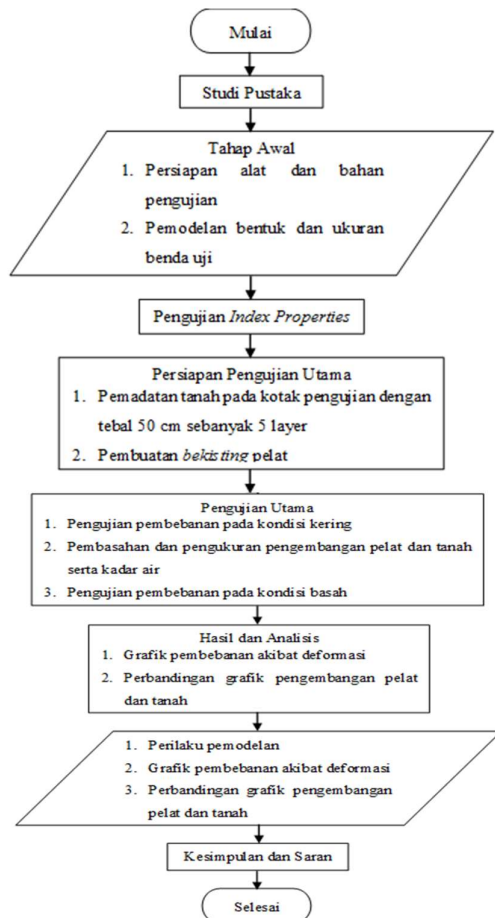
Pembasahan pada kotak pengujian dilakukan dengan cara menyiramkan air menggunakan *spray* agar air dapat merata ke seluruh bagian kotak pengujian. Kotak pengujian setiap hari digenangi air dengan volume penambahan air setiap hari sebesar 20 liter. Hal tersebut diharapkan agar mampu melihat perilaku dari tanah lempung ekspansif. Pembasahan dilakukan sampai volume penambahan air mencapai 400 liter atau selama 20 hari. Pada saat tersebut penambahan volume tanah sudah tidak signifikan lagi. Setelah itu, mengukur *displacement* pelat akibat pengembangan tanah dasar atau pergerakan pelat ke atas (*upward movement*) akibat pengembangan tanah lempung ekspansif. Pembasahan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Pembasahan pelat dan tanah

Tahapan terakhir yaitu pembebanan benda uji pada kondisi basah. Pengujian pembebanan pada kondisi basah dilakukan sama seperti pengujian pembebanan pada kondisi kering. Pengujian pembebanan dilakukan setelah pembasahan selama 20 hari

atau pada volume air 400 liter. Selain itu, pembebanan dapat dilakukan ketika tanah sudah jenuh air/terendam. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Bagan alir penelitian

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### Hasil Pengujian *Index Properties*

Tabel 2 merupakan hasil pengujian *index properties* tanah yang berfungsi untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari tanah yang digunakan untuk pengujian utama. Hasil kadar air awal yang diperoleh untuk tanah lempung ekspansif sebesar 15,3 % dengan berat jenis sebesar 2,69. Hasil pengujian batas cair dan batas plastis sebesar 95,80% dan 29,13% dengan indeks plastisitas sebesar 66,66%. Pengujian distribusi ukuran butir tanah dilakukan dengan menggunakan dua metode analisis yaitu analisis saringan dan analisis hidrometer. Pada pengujian distribusi ukuran butir tanah diperoleh untuk persen fraksi butiran lolos saringan no.200 sebesar 89,65%, pada klasifikasi *USCS* termasuk kedalam

kategori *CH* yaitu *C* untuk lempung inorganik dan *H* untuk plastisitas tinggi, serta pada klasifikasi *AASHTO* termasuk kedalam kategori A-7-6.

Tabel 2 Hasil pengujian *index properties*

| Uraian  | Nilai |
|---|-------|
| Kadar air awal (%)                                | 15,3  |
| <i>Specific Gravity</i> (Gs)                      | 2,69  |
| Batas cair, <i>LL</i> (%)                         | 95,80 |
| Batas plastis, <i>PL</i> (%)                      | 29,13 |
| Batas susut, <i>SL</i> (%)                        | 10,90 |
| Indeks Plastisitas, <i>PI</i> (%)                 | 66,66 |
| Persen fraksi butiran lolos saringan no.200 (%)   | 89,65 |
| Klasifikasi <i>AASHTO</i>                         | A-7-6 |
| Klasifikasi <i>USCS</i>                           | CH    |
| Berat volume kering maksimum (kN/m <sup>3</sup> ) | 13,64 |
| Kadar air optimum (%)                             | 14,9  |
| Tekanan pengembangan (KPa)                        | 140   |
| Persen pengembangan (%)                           | 13,56 |
| Aktifitas tanah, <i>A</i>                         | 3,70  |

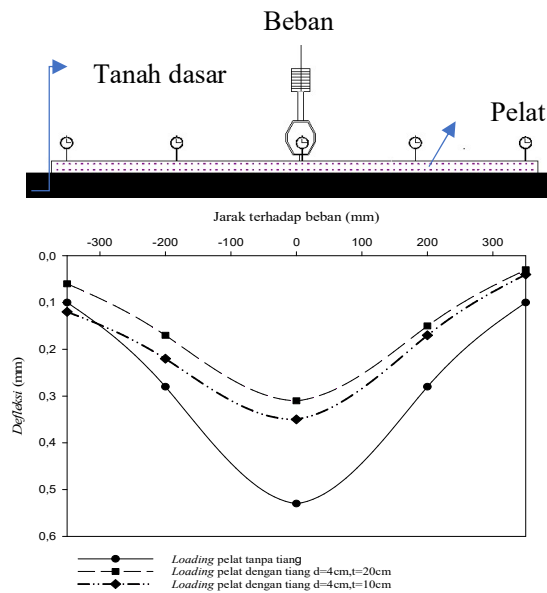
##### Hasil Uji Pembebanan Model Pelat Terpaku

Pengujian pembebanan bertujuan untuk mengetahui perilaku pelat terhadap pembebanan, serta membandingkan perilaku sebelum pengembangan (kondisi kering) dan setelah pengembangan (kondisi basah). Pengujian pembebanan dilakukan dengan cara beban diletakan di tengah – tengah pelat dengan beban 0 kg sampai 190 kg, sehingga didapatkan nilai *defleksi* yang diukur dari jarak beban ke titik tinjauan. Pada pengujian untuk setiap kali penambahan beban dan *defleksi* ditentukan pada saat kecepatan penurunan mencapai 0,03 mm/menit (ASTM D 1195). Hasil pengujian pembebanan pada saat *loading* pada beban 190 kg terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil pengaruh penambahan beban (P=190 kg) terhadap *defleksi* pelat pada kondisi kering

| Benda Uji | <i>Defleksi</i> pada <i>loading</i> beban (mm) |      |      |      |      |
|-----------|--|------|------|------|------|
|           | Jarak terhadap beban (mm)                      |      |      |      |      |
|           | -350   | -200 | 0    | 200  | 350  |
| 1         | 0,10   | 0,28 | 0,53 | 0,28 | 0,10 |
| 2         | 0,06   | 0,17 | 0,31 | 0,15 | 0,03 |
| 3         | 0,12   | 0,22 | 0,35 | 0,17 | 0,04 |

Dari ketiga benda uji tersebut dapat dibandingkan untuk mengetahui perbedaan *defleksi* yang terjadi pada ketiga benda uji tersebut.



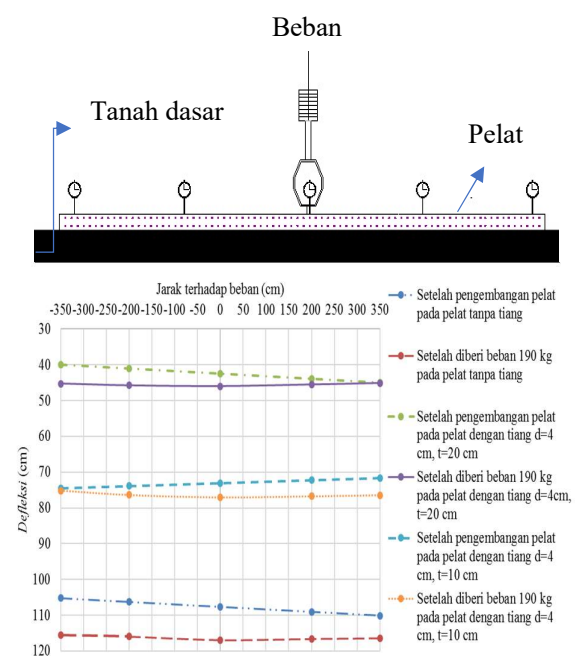
Gambar 5 Grafik perbandingan *defleksi* dengan jarak terhadap beban pada ketiga benda uji pada beban (P=190 kg) kondisi kering

Pada Gambar 5 dapat disimpulkan bahwa *defleksi* pada pelat tanpa tiang lebih besar dibandingkan pelat dengan tiang d=4cm, t=20 cm, dan perbedaan panjang pada tiang dapat menyebabkan *defleksi* yang terjadi pada pelat dengan tiang d=4cm, t=20 cm lebih kecil dibandingkan pelat dengan tiang d=4cm, t=10cm. Hasil pengujian tersebut dapat dikatakan bahwa penambahan tiang dapat memperkecil lendutan yang dialami oleh pelat serta menambah kekuatan pelat dalam menahan beban. Adanya dukungan dari tiang dan komponen gesekan tiang dengan tanah disekitarnya, sehingga semakin panjang tiang gesekan semakin besar. Hasil dari persentase reduksi *defleksi* karena pengaruh pemasangan atau perkuatan pelat untuk *defleksi* tepat dibawah beban sebesar 41,5 %.

Tabel 4 Hasil pengaruh penambahan beban (P=190 kg) terhadap *defleksi* pelat pada kondisi basah

| Benda Uji | <i>Defleksi</i> pada loading beban (mm) |      |      |      |      |
|-----------|---|------|------|------|------|
|           | Jarak terhadap beban (mm)               |      |      |      |      |
|           | -350                                    | -200 | 0    | 200  | 350  |
| 1         | 5,47                                    | 5,87 | 6,89 | 6,56 | 6,35 |
| 2         | 0,23                                    | 0,74 | 0,95 | 0,50 | 0,09 |
| 3         | 0,69                                    | 1,90 | 2,56 | 2,26 | 1,97 |

Dari ketiga benda uji tersebut dapat dibandingkan untuk mengetahui perbedaan *defleksi* yang terjadi pada ketiga benda uji tersebut.



Gambar 6 Grafik perbandingan *defleksi* dengan jarak terhadap beban pada ketiga benda uji pada beban (P=190 kg) kondisi basah

Pada Gambar 6 dapat disimpulkan bahwa *Defleksi* pada pelat tanpa tiang lebih besar dibandingkan pelat dengan tiang d=4cm, t=20 cm, dan perbedaan panjang pada tiang dapat menyebabkan *defleksi* yang terjadi pada pelat dengan tiang d=4cm, t=20 cm lebih kecil dibandingkan pelat dengan tiang d=4cm, t=10cm. Hasil pengujian tersebut dapat dikatakan bahwa penambahan tiang dapat memperkecil lendutan yang dialami oleh pelat serta menambah kekuatan pelat dalam menahan beban, dikarenakan beban yang diberikan mampu disebarkan keseluruhan tiang yang ada. Semakin panjang kedalaman tiang yang digunakan semakin baik untuk mereduksi penurunan yang terjadi. Hasil peningkatan pengujian kondisi basah lebih besar dibandingkan dengan kondisi kering. Pada pelat tanpa tiang pada bagian tepi – tepi pelat (bagian terjauh dari pusat beban) ikut turun, sedangkan pada pelat dengan tiang pada bagian tepi pelat penurunan lebih kecil dibandingkan pada pusat beban. Hasil dari persentase reduksi *defleksi* karena pengaruh pemasangan atau perkuatan pelat untuk *defleksi* tepat dibawah beban sebesar 86,2 % untuk pelat dengan tiang panjang 20 cm, dan untuk pelat dengan tiang panjang 10 cm, reduksinya sebesar 62,8 %.

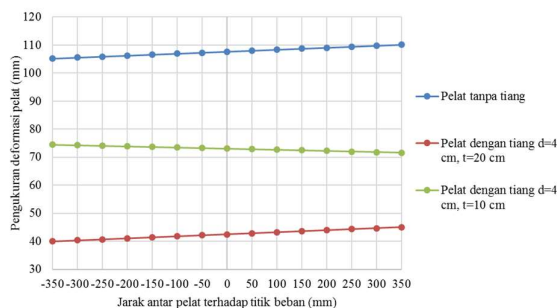
### Hasil Pengaruh Panjang Tiang terhadap Pengembangan Tanah

Proses pembasahan pada tanah yang mendukung pelat dilakukan setiap hari dan dilakukan pengukuran pengembangan pada pelat sebanyak 105 titik dan 10 titik untuk tanah. Grafik pengaruh panjang tiang terhadap *displacement* pada pelat akibat pembasahan tanah dapat dilihat pada Gambar 7. Benda uji I pelat tanpa tiang, deformasi maksimum yang terjadi sebesar 132,18 mm dan deformasi terendah sebesar 108,38 mm, Benda uji II pelat dengan tiang diameter 4 cm dan tinggi 20 cm, deformasi maksimum yang terjadi sebesar 80,40 mm dan deformasi terendah sebesar 54,60 mm, Benda uji III pelat dengan tiang diameter 4 cm dan tinggi 10 cm, deformasi maksimum yang terjadi sebesar 108,31 mm dan deformasi terendah sebesar 79,43 mm. Tabel 5 menunjukkan rekapitulasi deformasi maksimum dan minimum pelat yang terjadi pada 3 benda uji.

Tabel 5 *Displacement* pelat pada sistem pelat terpaku

| No. | Ukuran Pelat<br>30 cm × 70 cm × 2<br>cm |                        | <i>Displacement</i> Pelat<br>(mm) |                 |
|-----|---|------------------------|-----------------------------------|-----------------|
|     | Panjang Tiang<br>(cm)                   | Diameter Tiang<br>(cm) | Nilai Terendah                    | Nilai Tertinggi |
| 1   | 0                                       | 0                      | 108,38                            | 132,18          |
| 2   | 20                                      | 4                      | 54,60                             | 80,40           |
| 3   | 10                                      | 4                      | 79,43                             | 108,31          |

Berdasarkan tabel 5 diperoleh *displacement* pelat pada sistem pelat dengan tiang – tiang pendek ketiga benda uji dapat dilihat pada Gambar 7.



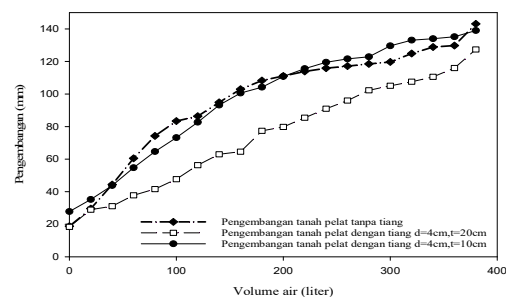
Gambar 7 Perbandingan deformasi (*upward movement*) model pelat akibat pengembangan tanah dasar tanah

Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa *displacement* akibat pembasahan tanah dasar pada pelat tanpa tiang lebih besar

dibandingkan dengan pelat dengan tiang  $d = 4$  cm,  $t = 20$  cm, pelat tanpa tiang lebih kecil dibandingkan pelat dengan tiang  $d = 4$  cm,  $t = 10$  cm, serta pelat dengan tiang  $d = 4$  cm,  $t = 20$  cm lebih kecil dibandingkan dengan pelat dengan tiang  $d = 4$  cm,  $t = 10$  cm. Dari hasil penelitian disimpulkan pelat dengan tiang – tiang pendek mampu menjaga kontak yang baik dan mampu menahan pengembangan tanah. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Diana dkk,(2017) membuktikan bahwa nilai pengembangan yang tinggi pada pelat tanpa perkuatan. Hal ini disebabkan oleh perubahan kadar air yang signifikan sehingga merubah struktur tanah. Penelitian ini menunjukkan bahwa perpindahan tanah di sekitar tiang tidak seragam. Peningkatan terjadi disekitar tiang dengan jarak yang paling terjauh. Gaya angkat dipengaruhi oleh tekanan pengembangan, tiang berfungsi untuk menahan gaya angkat, semakin panjang tiang gaya angkat semakin kecil. Hasil dari persentase reduksi *upward movement* dari pelat akibat pemasangan tiang sebesar 49,6 %.

Pembasahan benda uji akan memicu pengembangan pada tanah, pelat akan mengalami *displacement* ke atas akibat mengembangnya tanah dasar. Pembasahan tersebut dapat menyebabkan permukaan tanah yang tidak tertutupi pelat akan mengembang, akibatnya bagian tepi – tepi pelat dan ujung pelat terangkat. Perkuatan pada tiang mampu menahan pelat dan mereduksi *displacement* ke atas pelat. Gaya perlawanan yang terjadi diperoleh dari berat sendiri tiang, berat sendiri pelat, dan tahanan gesek tiang.

Dari ketiga benda uji tersebut dapat dibandingkan untuk mengetahui perbedaan pengembangan tanah yang terjadi pada ketiga benda uji tersebut.



Gambar 8 Perbandingan pengembangan tanah yang terjadi pada sistem pelat terpaku kondisi basah

Pada Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa pengembangan pada pelat tanpa tiang lebih besar dibandingkan pelat dengan tiang  $d=4\text{cm}$ ,  $t=20\text{ cm}$ , dan perbedaan panjang pada tiang dapat menyebabkan pengembangan yang terjadi pada pelat dengan tiang  $d=4\text{cm}$ ,  $t=20\text{ cm}$  lebih kecil dibandingkan pelat dengan tiang  $d=4\text{cm}$ ,  $t=10\text{cm}$ .

## 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang perilaku pembebanan pelat dengan perkuatan tiang pada tanah lempung ekspansif didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian pembebanan diperoleh nilai *defleksi* model pelat tanpa tiang lebih besar dibandingkan model pelat dengan tiang, karena penambahan tiang pada struktur pelat dapat mereduksi deformasi sehingga pelat menjadi kaku dalam menahan beban. Nilai *defleksi* yang dihasilkan pada benda uji pelat tanpa tiang sebesar 0,53 mm serta pelat dengan tiang  $d=4\text{cm}$ ,  $t=20\text{cm}$  sebesar 0,31 mm.
2. Pada kondisi tanah basah pengembangan pelat menghasilkan deformasi sebesar 108,38 mm pada model pelat tanpa tiang, 54,60 mm pada model pelat dengan tiang. Sehingga, deformasi yang dihasilkan pada model pelat tanpa tiang lebih besar dibandingkan model pelat dengan tiang.

## 6. Daftar Pustaka

- Arbianto, R., Susilo, B., & Surjandari, N. S. 2009. Studi Korelasi Indeks Plastisitas dan Batas Susut terhadap Perilaku Mengembang Tanah.
- Dafalla, M., Al-Shamrani, M., & Al-Mahbashi, A. 2017. Expansive Soil Foundation Practice in a Semiarid Region. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 31(5), 04017084.
- 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(32), 134-141.
- Diana, W., Hartono, E., & Widiyanti, A. 2017. Pengaruh Kadar Air Awal Dan Surcharge Pressure Pada Uji Karakteristik Pengembangan Tanah Ekspansif. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 23(2), 124-132.
- Hardiyatmo, H. C. 2011. Method to Analyze the Deflection of the Nailed-slab System. *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, 11(4), 22-28.
- Hardiyatmo, H. C. 2010. Method Calculations For The Deflections, Moments And Shears on Cakar Ayam System to Design Concrete Road Pavements. *Dinamika Teknik Sipil*, 10(1), 27-33.
- Hardiyatmo, H. C. 2017. Tanah Ekspansif :Permasalahan dan Penanganan. Cetakan ke-2. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Houston, S. L., Dye, H. B., Zapata, C. E., Walsh, K. D., & Houston, W. N. 2009. Study of expansive soils and residential foundations on expansive soils in Arizona. *Journal of performance of constructed facilities*, 25(1), 31-44.
- Khodair, Y., & Abdel-Mohti, A. 2014. Numerical analysis of pile-soil interaction under axial and lateral loads. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 8(3), 239-249.
- Loahardjo, L., Goni, R. S., Tjandra, D., & Suwono, J. I. 2013. Studi Mengenai Kapasitas Friksi Tiang Pada Tanah Lempung Ekspansif yang Ditinjau dari Kadar Air Tanah, Waktu, dan Material. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 2(2). 1-8.
- Mohamedzein, Y. E., 2006. Finite Element Analysis of Piers in Expansive Soils. Dalam: *Expansive Soils Recent Advances in Characterization and Treatment*. London: Taylor & Francis Group, pp. 231-243.
- Puri, A., Hardiyatmo, C. H., Suhendro, B., & Rifa'i, A. 2011. Studi Eksperimental Lendutan Pelat yang Diperkuat Tiang-tiang Friksi Pendek pada Lempung Lunak. *Prosiding PIT XIV HATTI*.
- Puri, A., & Mildawati, R. 2019. Investigasi Numerik Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku terhadap Variasi Dimensi Struktur. *Bentang*, 7(1), 1-7.
- Skempton, A. W. 1953. *The Colloidal "Activity" of Clays*. V.1(P I), 57-61.
- Sorochan, 1991. *Construction of Buildings on Expansive Soils*. Brookfield: A.A.

- Balkema Publishers.
- Wardani, S. P. R., dan Muntohar, A. S., 2018. *Prinsip – prinsip Perbaikan Tanah*. Revisi ke-1. Yogyakarta: LP3M UMY.
- Wijanarko, S. A., Setiawan, B., & Djarwanti, N. 2018. Pengaruh Penambahan Kolom Tanah Semen Terhadap Perpindahan Vertikal Tanah Dasar Ekspansif Saat Kondisi Mengembang. *Matriks Teknik Sipil*, 6(1). 43-48.
- Xiao, H. B., Zhang, C. S., Wang, Y. H., & Fan, Z. H. 2011. Pile-soil interaction in expansive soil foundation: Analytical solution and numerical simulation. *International journal of geomechanics*, 11(3), 159-166.
- Yuliet, R., Hakam, A., & Febrian, G. 2011. Uji Potensi Mengembang Pada Tanah Lempung Dengan Metoda Free Swelling Test (Studi Kasus: Tanah Lempung Limau Manih – Kota Padang). *Jurnal Rekayasa Sipil*, 7(1), 25–36.