

# Perilaku Perkuatan Pelat dengan Tiang Tunggal pada Tanah Lempung Ekspansif

*The Behavior of Slab Reinforcement with A Single Pile on Expansive Clay*

**Adi Septian Arifin, Willis Diana**

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

**Abstrak.** Tidak semua perkerasan jalan dibangun di atas tanah yang baik, salah satu jenis tanah yang tidak baik adalah tanah ekspansif (*expansive soil*). Tanah ekspansif merupakan jenis tanah yang memiliki potensi pengembangan dan penyusutan yang besar diakibatkan adanya perubahan kadar air, penurunan kapasitas dukung tanah, dan tekanan pengembangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa perilaku deformasi pelat dan pelat dengan perkuatan tiang terhadap pembebanan dan pengembangan tanah dasar, analisis modulus reaksi *subgrade*. Pada sistem perkerasan jalan, kapasitas dukung tanah biasanya dinyatakan dengan parameter koefisien reaksi *subgrade*. Pengaruh perkuatan pelat dengan menggunakan tiang akan menyebabkan perubahan nilai koefisien reaksi *subgrade*. Penelitian ini merupakan pemodelan laboratorium yang difokuskan untuk menentukan perilaku pelat dengan tiang tunggal terhadap pembebanan dan pengembangan tanah dasar dan analisis nilai koefisien reaksi tanah dasar ( $k_v$ ) pada pelat dan pelat yang diperkuat dengan tiang berbentuk silinder berdimensi panjang 10 cm dan 20 cm dengan diameter 4 cm. Hasil pengamatan dan analisis penurunan benda uji I kondisi keras sebesar  $1,135 \times 10^{-4}$  m dengan nilai  $k_v$   $4,405 \times 10^4$  kN/m<sup>3</sup>, benda uji II kondisi keras sebesar  $5,700 \times 10^{-4}$  m dengan nilai  $k_v$  sebesar  $3,860 \times 10^4$  kN/m<sup>3</sup>, dan benda uji III kondisi keras sebesar  $5,100 \times 10^{-4}$  m dengan nilai  $k_v$  sebesar  $3,529 \times 10^4$  kN/m<sup>3</sup> pada beban 50 kg dapat disimpulkan bahwa perkuatan pelat dengan tiang tunggal dapat mengurangi penurunan. Nilai pengembangan pada tanah sebesar 11,88 cm, sedangkan pada pelat sebesar 12,11 cm jika dibandingkan tanpa perkuatan tiang tunggal. Tiang tersebut mampu mereduksi penurunan sebesar 40,48 % pada kondisi keras dan 53,15 % pada kondisi lunak.

Kata kunci: tanah lempung ekspansif, pelat dengan tiang tunggal, penurunan, koefisien reaksi tanah dasar, pengembangan

**Abstract.** Not all rigid pavement built on the good subgrade. Expansive soils are one of the types of problematic soil. Expansive soils are a type of soil that has swelling and shrinkage potential caused by soil's water content, decrease in soil bearing capacity, and swelling pressure. Slab reinforcement with a single pile is one to improve the pavement by spreading the load to the subgrade. The aim of this study is to analyse slab and slab with single pile deformation behaviour due to loading and subgrade swelling and analyse modulus of subgrade reaction. On the road pavement system, soil bearing capacity definite as modulus of subgrade reaction. Slab reinforcement with a pile will change the behaviour of slab with a single pile on loading and subgrade swelling and analyse the modulus of the subgrade reaction value. This research is a laboratory modeling that focused to determine the value of modulus of subgrade reaction ( $k_v$ ) with a slab using 10 cm and 20 cm length cylindrical pile with a diameter of 4 cm. This study has identified and analysis results vertical displacement for specimen one in the amount of  $1,135 \times 10^{-4}$  m on fine conditions with the value of  $k_v$   $4,405 \times 10^4$  kN/m<sup>3</sup>, specimen two in the amount of  $5,700 \times 10^{-4}$  m on fine conditions with the value of  $k_v$   $3,860 \times 10^4$  kN/m<sup>3</sup>, and specimen three in the amount of  $5,100 \times 10^{-4}$  m on fine conditions with the value of  $k_v$   $3,529 \times 10^4$  kN/m<sup>3</sup> show that single pile reinforcement can reduce slab vertical displacement. In summary, these results show that the swelling decrease in the amount of 11,88 cm on soil and 12,11 cm on slab compared to a slab without single pile reinforcement. The piles were able to reduce vertical displacement in the amount of 40,48% on fine conditions and 53,15% on bad conditions.

Keywords: expansive clay, slab with single pile, vertical displacement, modulus of subgrade reaction, swelling.

## 1. Pendahuluan

Struktur perkerasan berfungsi untuk mendistribusikan beban kendaraan melalui

sistem lapisan material yang diletakan di atas tanah dasar sehingga melindungi tanah dasar dari tekanan yang berlebihan, dan pengaruh

buruk perubahan cuaca (Hardiyatmo, 2017a). Tanah dasar pada sistem perkerasan jalan harus mampu menopang beban lalu lintas di atasnya. Tidak semua perkerasan jalan dibangun di atas tanah yang baik, salah satu jenis tanah yang tidak baik adalah tanah ekspansif (*expansive soil*). Tanah lempung ekspansif diketahui sebagai bahaya serius bagi bangunan dan industri infrastruktur (Dafalla dkk., 2017). Tanah yang dapat mengalami perubahan volume jika terjadi perubahan kadar air adalah tanah ekspansif. Tanah ekspansif mengalami pengembangan dan akan mengangkat fondasi atau bangunan di atasnya (Diana dkk., 2017). Daya dukung tanah ekspansif cukup rendah sehingga perlu adanya perkuatan. Fondasi tiang sangat membantu dalam menjaga keamanan bangunan seperti menyebarkan beban ke tanah dasar (Xiao dkk., 2011).

Lempung ekspansif dikategorikan mempunyai potensi pengembangan (*swell potential*) sangat tinggi pada saat terjadinya perubahan kadar air. *Montmorillonite* merupakan salah satu mineral lempung yang paling banyak menimbulkan masalah, salah satunya potensi pengembangan (Hardiyatmo, 2017b). Hatmoko dan Lulie, (2007) menyatakan bahwa semakin banyak kandungan mineral *montmorillonite* di dalam tanah maka potensi terjadinya pengembangan semakin besar, didapat dari hubungan antara kandungan *montmorillonite* dengan batas-batas *atterberg*. Jika kandungan *montmorillonite* semakin banyak maka batas cair dan batas plastisnya tinggi, sedangkan untuk batas susutnya akan semakin rendah.

Penggunaan tiang merupakan salah satu metode yang tepat untuk menyebarkan beban dari *superstructure* ke tanah dasar (Khodair dan Abdel-mohti, 2014). Beberapa penelitian terdahulu mengenai perkuatan pelat dengan tiang telah dilakukan studi model laboratorium dan analitis oleh Loahardjo dkk. (2013), Puri dkk. (2014), Puri dkk. (2011), Diana dkk. (2017), Puri. (2015), Puri dan Mildawati (2019), dan Kalantari. (2012). Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan tiang mampu menyebarkan beban serta mereduksi penurunan dan menahan pengembangan yang terjadi.

Penelitian ini merupakan pemodelan laboratorium dengan penggunaan teknik tiang

tunggal untuk mengurangi deformasi di pelat akibat pembebanan yang terjadi pada tanah lempung ekspansif. Penelitian ini difokuskan untuk menentukan nilai  $k_v$  pada tiang berbentuk silinder berdimensi panjang 10 cm, 20 cm dengan diameter 4 cm dan tanpa tiang atau hanya pelat saja dan perilaku penurunan pelat dan pelat dengan perkuatan akibat pengaruh pengembangan tanah dasar.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh pemasangan tiang pada deformasi pelat dan besarnya nilai koefisien reaksi *subgrade* pada tanah lempung kondisi keras (kering) dan setelah mengembang (lunak) pada tanah lempung ekspansif.

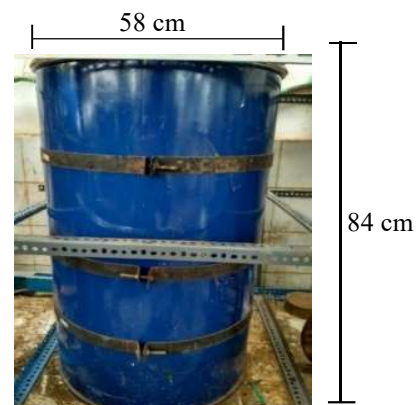
Manfaat penelitian ini untuk menambah wawasan tentang metode perkuatan pelat dengan tiang tunggal dan bahan pertimbangan dalam memilih stabilisasi tanah lempung ekspansif.

## 2. Metode Penelitian

### *Alat dan Bahan*

Penelitian ini menggunakan alat dan bahan yang telah disediakan di Laboratorium Geoteknik Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Peralatan yang digunakan untuk pengujian adalah wadah benda uji, *magnetic dial gauge*, alat pembebanan dan alat pemadat konvensional.

Wadah benda uji berbentuk silinder yang terbuat dari besi dengan diameter 58 cm dan tinggi 84 cm. Pada dasar wadah benda uji diberi pasir dengan ketebalan 30 cm sebagai lantai kerja. Diantara pasir dan tanah terdapat plastik tebal. Bentuk wadah ditunjukkan pada Gambar 1

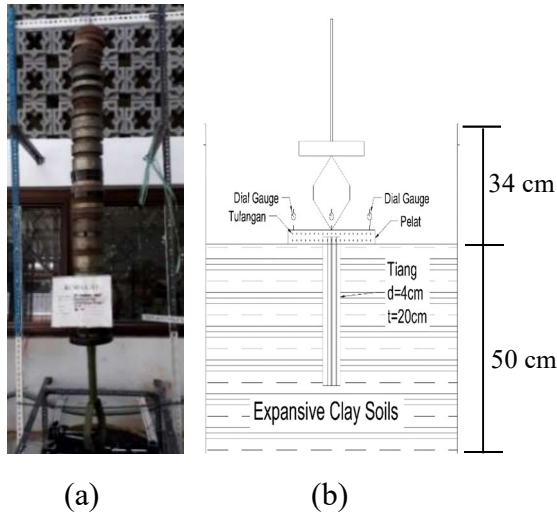


Gambar 1 Wadah benda uji

*Magnetic dial gauge* digunakan untuk mengukur pengembangan dan penyusutan yang

terjadi. Dial gauge memiliki ketelitian 0,01 mm.

Pembebanan dilakukan menggunakan alat yang terbuat dari pipa besi dan dimodifikasi sedemikian rupa. Dalam pengujian, alat pembebanan diikat dengan rangka baja di bagian atas dan diharapkan posisi yang selalu tegak lurus dengan benda uji. Bentuk alat pembebanan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 (a) Alat pembebanan (b) sketsa pembebanan

Pemadat konvensional digunakan untuk memadatkan tanah dalam wadah pengujian. Pemadatan tanah dilakukan sebanyak 5 lapisan dengan masing-masing setiap ketebalan 10 cm dipadatkan. Alat seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Alat Pemadat Konvensional

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan yang telah dipersiapkan untuk pengujian seperti tanah, mortar dan tulangan

Tanah yang digunakan pada penelitian ini yaitu tanah lempung ekspansif berasal dari Ngawi, Jawa Timur. Pengujian *index properties* tanah dilakukan sebelum pengujian utama untuk mengetahui sifat asli dari tanah. Seperti

yang terdapat pada Tabel 1. Tanah yang dipakai merupakan tanah yang memiliki ukuran butir < 4,75 mm (lolos saringan No.4).

Tabel 1 Hasil pengujian sifat-sifat geoteknik tanah

| Variabel   | Hasil |
|--|-------|
| Berat Jenis, Gs                                    | 2,69  |
| Batas-batas konsistensi:                           |       |
| Batas Cair, LL (%)                                 | 95,8  |
| Batas Plastis, PL (%)                              | 29,13 |
| Batas susut (%)                                    | 10,9  |
| Indeks Plastis, PI (%)                             | 66,66 |
| Fraksi lolos saringan no.200 (%)                   | 89,98 |
| Klasifikasi USCS                                   | CH    |
| Klasifikasi AASTHO                                 | A-7-6 |
| Berat volume kering maksimum, (kN/m <sup>2</sup> ) | 12,82 |
| Kadar air optimum, OMC (%)                         | 14,90 |
| Aktivitas tanah, A                                 | 3,07  |
| Tekanan Pengembangan (kPa)*                        | 140   |
| Persen pengembangan tanah (%)*                     | 13,56 |

\*Data sekunder (Diana dkk., 2017)

Bahan mortar yang digunakan terdiri dari semen, agregat halus, dan air. *Wiremesh* digunakan sebagai tulangan pada pelat mortar. Bahan untuk membuat mortar dan tulangan.

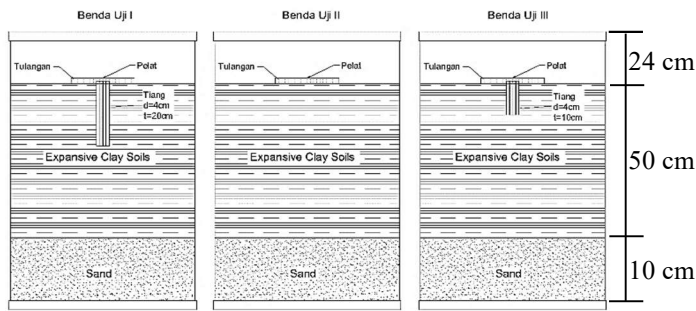
Benda uji yang digunakan pada penelitian ini terdapat dalam Tabel 2

Tabel 2 Rekapitulasi benda uji

| Benda Uji | Model Pelat Lingkaran | Model Tiang         |              |
|-----------|-----------------------|---------------------|--------------|
|           | Diameter pelat (cm)   | Diameter tiang (cm) | Panjang (cm) |
| I         | 20                    | 4                   | 20           |
| II        | 20                    | 4                   | 10           |
| III       | 20                    | -                   | Tanpa Tiang  |

### Tahapan Penelitian

Pemodelan benda uji tersusun dari pasir, tanah, dan pelat dengan dan tanpa tiang. Seperti pada Gambar 4. Pemancangan tiang *precast* dilakukan dengan sistem *preboring* kemudian tanah disekitar tiang dipadatkan kembali seperti semula. Disekitar wadah benda uji dipasang rangka baja untuk menopang alat pembebanan agar posisi alat pembebanan tegak lurus dengan pelat benda uji.



Gambar 4 Sketsa benda uji

**Prosedur Pengujian Utama Benda Uji**

Pembebanan benda uji dalam kondisi tanah kering (keras) dilakukan dengan dua cara yaitu *loading* (penambahan beban) dengan interval beban 10 kg sampai 190 kg kemudian diikuti dengan *unloading* (pengurangan beban). Pada benda uji dipasang tiga buah *magnetic dial gauge* yaitu tengah, kanan, dan kiri pelat, seperti yang terlihat pada Gambar 5. Pembacaan dilakukan setiap satu menit hingga penurunan yang terjadi tidak lebih dari 0,03 mm.



Gambar 5 Pemasangan *magnetic dial gauge*

Pembasahan pada tanah benda uji dilakukan secara rutin setiap hari dengan volume yang konsisten, maksud dari hal ini ialah pemberian volume air paling maksimum sampai tanah lempung ekspansif jenuh/terendam. Volume air yang diberikan pada penelitian ialah sepuluh liter perhari. Pada pembasahan tanah volume air maksimum hanya mencapai lima puluh liter dikarenakan kenaikan permukaan pelat tidak lagi signifikan dan tanah berada pada kondisi jenuh air. Sebelum pembasahan dilakukan, jarak muka tanah dan pelat dari titik acuan diukur terlebih dahulu. Seperti yang terlihat pada Gambar 6. Pengukuran tinggi atau jarak berfungsi untuk mengetahui besar pengembangan tanah ketika tanah diberi air. Seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 6 Pengukuran tinggi awal muka tanah dan pelat



Gambar 7 Pengukuran tinggi pengembangan muka tanah dan pelat setiap pemberian air

Pembebanan benda uji dalam kondisi tanah basah (*wet*). Masalah tanah ekspansif adalah pada perubahan kandungan kadar air, sehingga perlu dilakukan pengujian pembebanan pada tanah basah. Proses pengujian pembebanan yang dilakukan sama seperti pada proses pembebanan pada tanah kering (*dry*).

**Analisis Data**

Hasil data yang didapatkan dari pengujian ini adalah nilai koefisien reaksi tanah dasar ( $K_v$ ) pada kondisi kering dan basah dengan *loading* dan *unloading* beban. Selain itu, hasil pengamatan perilaku pengembangan berupa nilai tinggi pengembangan, sedangkan hasil lendutan berupa nilai penurunan. Bowles (dalam Hartono., 2013) menyatakan bahwa koefisien reaksi *subgrade* merupakan hubungan konseptual antara tekanan dan lendutan. Persamaan dasar 1 menghitung nilai tersebut adalah sebagai berikut:

$$K_v = \frac{p}{\delta} \dots\dots\dots(1)$$

dengan,

- $k_v$  = koefisien reaksi *subgrade* (kN/m<sup>3</sup>)
- $p$  = tekanan (kN/m<sup>2</sup>)
- $\delta$  = lendutan pelat (m)

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Kadar Air Benda Uji

Kadar air merupakan salah satu parameter untuk menentukan kembang-susut yang terjadi pada tanah lempung ekspansif. Swelling pada tanah ekspansif terjadi pada kondisi pembasahan (*wetting*). Hasil pengamatan ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hubungan kadar air dengan derajat kejenuhan dan penurunan

| Benda uji | Kadar air (50 liter; kedalaman 10-20 cm) | Derajat kejenuhan (Sr) (%) |
|-----------|--|----------------------------|
| III       | 84,1 %                                   | 243,3                      |
| II        | 81,9 %                                   | 236,9                      |
| I         | 79,6 %                                   | 229                        |

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa penurunan berbanding lurus dengan kadar air benda uji dan derajat kejenuhan. Derajat kejenuhan menunjukkan tanah dalam kondisi kering, jenuh, atau terendam. Berdasarkan analisa dapat diketahui jika tanah dalam kondisi sangat jenuh. Tanah lempung ekspansif mulai kehilangan daya dukung ketika kadar air atau tingkat kejenuhan dari tanah meningkat. Hal tersebut berpengaruh terhadap nilai penurunan yang terjadi seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.

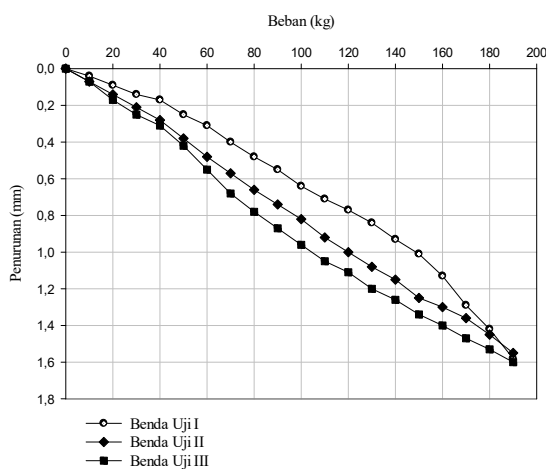
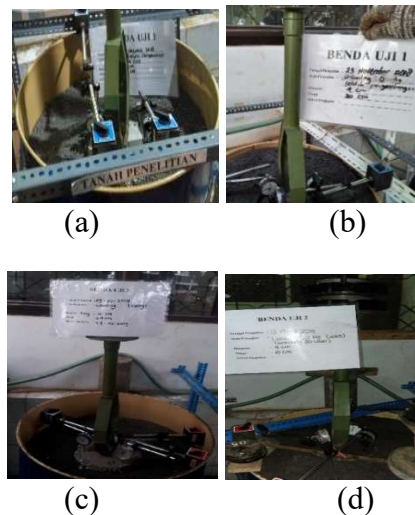
#### Pengaruh Pemasangan Tiang Terhadap Pembebanan

Tiang yang digunakan pada benda uji I dan II berupa tiang yang terbuat dari campuran

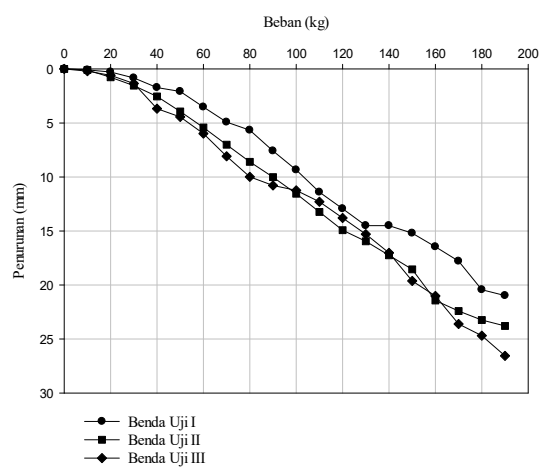
mortar dan diberi tulangan. Tiang dipasang pada tengah pelat, diharapkan mampu menopang beban secara langsung. Penurunan yang terjadi pada kondisi keras dan lunak seperti pada Gambar 8 dan Gambar 9.

Berdasarkan hasil tersebut tiang efektif digunakan untuk mereduksi penurunan pelat tersebut. Hasil pengujian tersebut juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Puri dkk. (2011) dan Diana dkk. (2016) yang menyatakan bahwa pelat tanpa perkuatan memiliki nilai penurunan yang tinggi.

Berdasarkan analisis pengamatan terhadap benda uji I, II, dan III pada beban 0 kg sampai 190 kg di tengah pelat (beban sentris) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Penurunan akibat pembebanan disajikan pada Gambar 11 (kondisi keras) dan Gambar 12 (kondisi lunak).



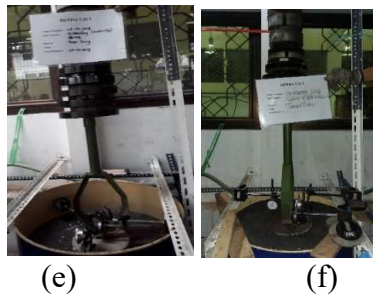
Gambar 8 Hubungan penurunan dengan beban kondisi keras



Gambar 9 Hubungan penurunan dengan beban kondisi lunak

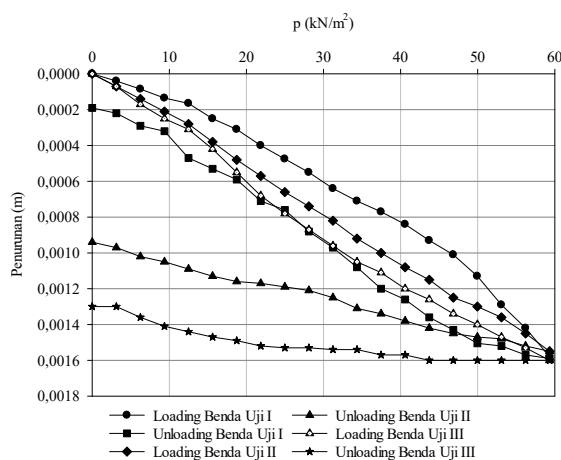
Tabel 5 Hasil uji pembebanan pelat dengan tiang tunggal dan tanpa tiang tunggal

| Benda Uji         | Kondisi | Beban (kg) | Tekanan (kN/m <sup>2</sup> ) | Loading Beban Penurunan (m) | Reduksi Penurunan (%) |
|-------------------|---------|------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| III (Tanpa Tiang) | Keras   | 50         | 15,613                       | $4,200 \times 10^{-4}$      | 0                     |
|                   | Lunak   | 50         | 15,613                       | $4,440 \times 10^{-3}$      | 0                     |
| II (Tiang 10 cm)  | Keras   | 50         | 15,613                       | $3,800 \times 10^{-4}$      | 9,52                  |
|                   | Lunak   | 50         | 15,613                       | $3,930 \times 10^{-3}$      | 11,49                 |
| I (Tiang 20 cm)   | Keras   | 50         | 15,613                       | $2,500 \times 10^{-4}$      | 40,48                 |
|                   | Lunak   | 50         | 15,613                       | $2,080 \times 10^{-3}$      | 53,15                 |



Gambar 10 Pengamatan benda uji akibat pembebanan pada kondisi kering dan lunak (a) (b) benda uji I, (c) (d) benda uji II, dan (e) (f) benda uji III.

Hasil analisis benda uji III pada kondisi keras dan lunak untuk *loading* dan *unloading* beban memiliki nilai penurunan yang tinggi dan sebaliknya untuk benda uji I memiliki nilai penurunan yang rendah, seperti pada Tabel 4. Hasil pengujian tersebut juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Puri dkk. (2011) yang menyatakan bahwa pelat tanpa perkuatan memiliki nilai penurunan yang tinggi. Hal ini menunjukkan perilaku bahwa pelat tetap kontak dengan tanah dimana penurunan yang tinggi ada pada pelat tanpa perkuatan.



Gambar 11 Hubungan antara tekanan dengan lendutan pada pelat tanpa dan tiang tunggal pada kondisi keras.

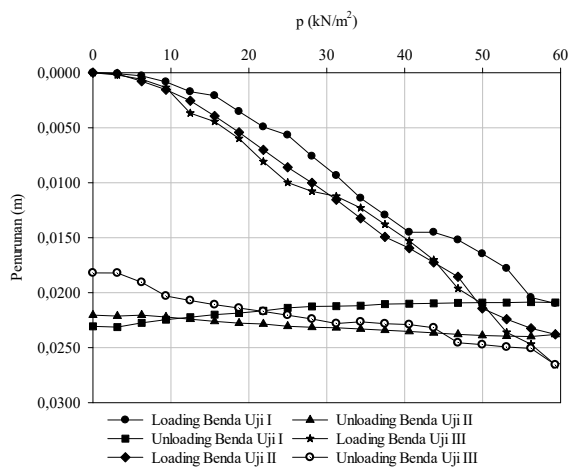
Tabel 4 Hasil uji pembebanan 190 kg

| Benda Uji | Displacement maksimum akibat pembebanan 190 kg |          |
|-----------|--|----------|
|           | Keras (m)                                      | Lunak(m) |
| III       | 0,00160  | 0,02656  |
| II        | 0,00155  | 0,02379  |
| I         | 0,00158  | 0,02098  |

### Pengaruh Panjang Tiang

Hasil analisis benda uji I, benda uji II dan benda uji III dengan kondisi keras dan lunak pada *loading* beban 50 kg atau tekanan sebesar 15,613 kN/m<sup>2</sup> terdapat pada Tabel 5.

Reduksi penurunan dari benda uji I, benda uji II, dan benda uji III berbanding lurus. Pada pengujian ini didapatkan nilai penurunan pada pelat tanpa tiang sebesar  $4,200 \times 10^{-4}$  m untuk kondisi keras dan  $4,440 \times 10^{-3}$  m untuk kondisi lunak. Dengan tiang 10 cm didapatkan nilai penurunan sebesar  $3,800 \times 10^{-4}$  m pada kondisi keras dan  $3,930 \times 10^{-3}$  m pada kondisi lunak. Tiang 20 cm didapatkan nilai penurunan sebesar  $2,500 \times 10^{-4}$  m pada kondisi keras dan  $2,080 \times 10^{-3}$  m pada kondisi lunak. Ketiga hasil tersebut menunjukkan penurunan terbesar yaitu



Gambar 12 Hubungan antara tekanan dengan lendutan pada pelat tanpa dan tiang tunggal pada kondisi lunak

pada pelat tanpa tiang dan penurunan terkecil pada pelat dengan tiang 20 cm. Pelat dengan tiang 20 cm mampu mereduksi penurunan sebesar 40,48 % pada kondisi keras dan 53,15 % pada kondisi lunak. Hasil pengujian tersebut juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Diana dkk. (2016) Hal ini membuktikan bahwa semakin panjang kedalaman tiang yang digunakan akan semakin baik untuk mereduksi penurunan yang terjadi. Kontribusi tiang dalam mendukung beban lebih besar pada kondisi lunak dari pada kondisi keras.

### Pengembangan

Tanah lempung ekspansif memiliki potensi pengembangan yang tinggi ketika adanya perubahan kadar air. Hasil pengamatan tinggi pengembangan pada pelat dan tanah seperti ditampilkan pada Tabel 6. Pada pengujian ini didapatkan nilai pergerakan ke atas pelat pada benda uji III sebesar 14,42 cm dan kenaikan tanah sebesar 14,61 cm. Benda uji II didapatkan nilai pergerakan ke atas pelat sebesar 12,42 cm dan kenaikan tanah sebesar 13,66 cm. Benda uji I didapatkan nilai pergerakan ke atas pelat sebesar 12,11 cm dan kenaikan tanah sebesar 11,88 cm. Ketiga hasil tersebut menunjukkan nilai pengembangan terbesar yaitu pada benda uji III dan pengembangan terkecil pada benda uji I. Hasil pengujian tersebut juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Diana dkk., (2017) membuktikan bahwa nilai pengembangan yang tinggi pada pelat tanpa perkuatan. Gaya angkat akibat tekanan pengembangan ditahan oleh berat sendiri pelat. Pada pelat dengan perkuatan memiliki nilai tahanan yang lebih besar dikarenakan adanya gesekan antara struktur tiang dengan lapisan tanah, sehingga nilai modulus reaksi tanah dasar mengalami kenaikan.

Tabel 6 Pengembangan benda uji

| Benda Uji | Pergerakan keatas pelat (cm) | Kenaikan permukaan tanah (cm) |
|-----------|------------------------------|-------------------------------|
| III       | 14,42                        | 14,61                         |
| II        | 12,42                        | 13,66                         |
| I         | 12,11                        | 11,88                         |

### Analisis Nilai Koefisien Reaksi Tanah Dasar

Hasil analisis benda uji I, benda uji II dan benda uji III dengan kondisi keras dan lunak pada *loading* beban terdapat pada Tabel 7. Benda uji I, benda uji II, dan benda uji III berbanding lurus dengan nilai  $k_v$ . Hasil pengujian tersebut juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Diana dkk. (2016) Hal ini membuktikan bahwa semakin Panjang kedalaman tiang yang digunakan akan semakin baik untuk mereduksi penurunan yang terjadi.

### 4. Kesimpulan

Diperoleh bahwa perkuatan pelat dengan tiang tunggal dapat mengurangi penurunan dan pengembangan tanah lempung ekspansif, sebagai berikut.

Pemasangan tiang pada pelat mampu menurunkan nilai pengembangan pelat dan tanah untuk masing-masing benda uji. Nilai pengembangan pada tanah sebesar 11,88 cm sedangkan pada pelat sebesar 12,11 cm jika dibandingkan tanpa perkuatan tiang tunggal.

Penurunan terbesar terjadi pada pelat tanpa tiang dan penurunan terkecil pada pelat dengan tiang 20 cm. Benda uji I mampu mereduksi penurunan sebesar 40,48 % pada kondisi keras dan 53,15 % pada kondisi lunak. Nilai  $k_v$  pada kondisi lunak sebesar  $3,073 \times 10^3 \text{ kN/m}^3$  lebih kecil dibandingkan pada saat kondisi keras sebesar  $4,405 \times 10^4 \text{ kN/m}^3$ .

Tabel 7 Hasil uji pembebanan pelat dengan tiang tunggal dan tanpa tiang tunggal

| Benda Uji         | Kondisi | Tekanan (kN/m <sup>2</sup> ) | Loading Beban          |                                  |
|-------------------|---------|------------------------------|------------------------|----------------------------------|
|                   |         |                              | Penurunan (m)          | Nilai $K_v$ (kN/m <sup>3</sup> ) |
| III (Tanpa Tiang) | Keras   | 18                           | $5,100 \times 10^{-4}$ | $3,529 \times 10^4$              |
|                   | Lunak   | 45,69                        | $1,873 \times 10^{-2}$ | $2,439 \times 10^3$              |
| II (Tiang 10 cm)  | Keras   | 22                           | $5,700 \times 10^{-4}$ | $3,860 \times 10^4$              |
|                   | Lunak   | 35,65                        | $1,400 \times 10^{-2}$ | $2,546 \times 10^3$              |
| I (Tiang 20 cm)   | Keras   | 5                            | $1,135 \times 10^{-4}$ | $4,405 \times 10^4$              |
|                   | Lunak   | 33,50                        | $1,090 \times 10^{-2}$ | $3,073 \times 10^3$              |

## 5. Daftar Pustaka

- 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), 04017084-1–8.
- Diana, W., Hardiyatmo, H. C., & Suhendro, B. 2016. Small-scale experimental investigation on the behaviour of nailed slab system in expansive soil. *AIP Conference Proceedings*, 1755, 21 July 2016, 060002-1-060002–060007.
- 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. 2017a. *Perancangan Perkerasan Jalan & Penyelidikan Tanah* (2nd ed.). Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 2017b. *Tanah Ekspansif Permasalahan dan Penanganan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hartono, E. 2013. Uji Beban dan Analisis Lendutan Model Pelat Fleksibel yang Didukung Tiang-Tiang pada Tanah Pasir. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 16(1), 65–75.
- Hatmoko, J. T., & Lulie, Y. 2007. UCS Tanah Lempung Ekspansif yang Distabilisasi dengan Abu Ampas Tebu dan Kapur. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), 64–77.
- Kalantari, B. 2012. Foundations on Expansive Soils: A Review Foundations on Expansive Soils: A Review. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4(18), 3231–3237.
- 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.
- Puri, A. 2015. Studi paramterik perkerasan jalan beton sistem pelat terpaku pada tanah dasar lunak. *Proceedings ACES (Annual Civil Engineering Seminar), Pekanbaru, 2015, Vol 1*, 305–313.
- Puri, A., Hardiyatmo, H. C., Suhendro, B., & Rifa'i, A. 2011. Studi Eksperimental Lendutan Pelat yang Diperkuat Tiang-tiang Friksi Pendek pada Lempung Lunak. *Prosiding PIT (Pertemuan Ilmiah Tahunan) XIV HATTI, Yogyakarta, 10-11 February, 2011*, 317–321.
- Puri, A., & Mildawati, R. 2019. Investigasi Numerik Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku terhadap Variasi Dimensi Struktur. *BENTANG*, 7(1), 1–7.
- Puri, A., Rifa'i, A., Suhendro, B., & Hardiyatmo, H. C. 2014. Behavior Of Nailed-Slab System On Soft Clay Due To Repetitive Loadings By Conducting Full. *The 17 Th FSTPT International Symposium, Jember, 22-24 Agustus, 2014*, 739–750.
- Xiao, H., Zhang, C., Wang, Y., & Fan, Z. 2011. Pile-Soil Interaction in Expansive Soil Foundation: Analytical Solution and Numerical Simulation. *International Journal of Geomechanics*, 11(3), 159–166.