

# Simulasi Potensi Likuifaksi Pada Skala Kecil Dilaboratorium

Arief Alihudien<sup>1</sup>, Ermanu Azizul Hakim<sup>2</sup>, (TNR 11)

Program studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah, Jl. Karimata 49 Jember (TNR 9)

<sup>2</sup> Program Profesi Insinyur, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Raya Tlogomas 246 Malang (TNR 9)

Kontak Person:081234816024

Nama Mahasiswa Arief Alihudien(TNR 9)

Alamat Institusi ; Jalan karimata 49 jember Indonesia(TNR 9)

E-mail: [ariefalihudien@unmuhjember.ac.id](mailto:ariefalihudien@unmuhjember.ac.id) (TNR 9)

## Abstrak (TNR 11)

*Abstrak Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan potensi likuifaksi pada material pasir dalam skala laboratorium untuk memahami perilaku tanah yang dapat menyebabkan kerusakan struktural akibat fenomena likuifaksi. Likuifaksi terjadi ketika tanah jenuh air kehilangan kekuatan dan berperilaku seperti cairan akibat getaran seismik. Dalam eksperimen ini, sampel pasir jenuh air ditempatkan dalam wadah silinder dan diberikan getaran dengan menggunakan alat shaker untuk mensimulasikan efek gempa. Parameter yang diamati mencakup perubahan kepadatan, deformasi tanah, serta tekanan pori selama dan setelah getaran. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kedalaman tertentu, tekanan pori meningkat tajam, mengurangi kohesi antar butiran pasir dan menyebabkan penurunan kekuatan tanah, hal ini bisa dilihat dari kenaikan tekanan pori dan otomatis penurunan tegangan efektif tanah. Hasil ini memberikan wawasan tentang kondisi yang memicu likuifaksi dan pentingnya desain struktur yang mempertimbangkan potensi ini. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan mitigasi risiko terhadap bencana likuifaksi di daerah rawan gempa.*

**Kata kunci:** Simulasi, Likuifaksi, Laboratorium

## 1. PENDAHULUAN

Likuifaksi adalah fenomena yang terjadi pada tanah jenuh air ketika tanah tersebut kehilangan kekuatan strukturalnya akibat getaran atau guncangan yang terjadi, seperti yang disebabkan oleh gempa bumi. Fenomena ini terjadi ketika tekanan pori dalam tanah meningkat sehingga kohesi antar butiran tanah berkurang, mengakibatkan tanah berperilaku seperti cairan. Likuifaksi dapat menyebabkan kerusakan signifikan pada struktur bangunan, jalan, jembatan, dan infrastruktur lainnya, terutama di daerah dengan kandungan pasir tinggi yang jenuh air.

Perilaku tanah pasir yang mengalami likuifaksi akibat gempa bumi telah diteliti, termasuk simulasi menggunakan shaking table test oleh beberapa peneliti. Pathak dkk. (1) telah meneliti pengaruh variasi kepadatan tanah dan percepatan getaran gempa terhadap ketahanan tanah pasir terhadap likuifaksi dengan menggunakan uji shaking table satu arah. Chen dkk. (2) menggunakan shaking table dengan beban gempa dua arah, hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan shaking table dua arah menghasilkan potensi likuifaksi yang lebih besar dibandingkan dengan shaking table satu arah. Varghese dan Latha (3) menggunakan shaking table satu arah untuk melihat ketahanan tanah terhadap likuifaksi dengan variasi kepadatan tanah, percepatan getaran, dan frekuensi. Perilaku fondasi di daerah seismik akan terpengaruh secara signifikan jika likuifaksi terjadi. Kekakuan dan kekuatan tanah akan berkurang akibat peningkatan tekanan air pori. Kerusakan yang sering terjadi pada pondasi tiang pancang selama gempa bumi telah memberikan kita pemahaman mengenai mekanisme interaksi pondasi tiang pancang dengan tanah selama likuifaksi. Chen dkk.(4) Sebuah shaking table digunakan untuk mengamati pengaruh pengurangan kekakuan tanah akibat likuifaksi terhadap deformasi lateral pondasi tiang tunggal

Pada banyak kejadian gempa besar, terutama di daerah rawan gempa, fenomena likuifaksi telah terbukti menyebabkan kerusakan yang luas. Oleh karena itu, memahami dan menganalisis potensi likuifaksi sangat penting untuk perencanaan dan desain struktur bangunan di daerah tersebut. Salah satu cara untuk mempelajari fenomena likuifaksi adalah melalui simulasi eksperimen di laboratorium, yang memungkinkan peneliti untuk mengontrol variabel-variabel yang berpengaruh dan mengamati perilaku tanah dalam kondisi yang lebih terkontrol.

Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan potensi likuifaksi pada tanah pasir jenuh air dalam skala laboratorium dengan menggunakan shaker untuk mensimulasikan getaran gempa. Dengan

melakukan simulasi ini, diharapkan dapat diperoleh wawasan yang lebih mendalam mengenai kondisi yang memicu terjadinya likuifaksi serta faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan tanah. Selain itu, eksperimen ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tekanan pori, perubahan kepadatan tanah, dan deformasi yang terjadi selama simulasi getaran.

Studi laboratorium ini dapat berkontribusi pada pengembangan teknik mitigasi risiko yang lebih baik dan lebih efektif untuk mengurangi dampak likuifaksi di daerah yang berisiko tinggi. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang mekanisme likuifaksi, perencana dan insinyur dapat merancang solusi yang lebih tepat untuk melindungi infrastruktur dan keselamatan masyarakat di daerah rawan bencana gempa..

## **2. METODE PENELITIAN**

Metodologi Penelitian Simulasi Potensi Likuifaksi Skala Kecil di Laboratorium. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan potensi likuifaksi pada tanah pasir jenuh air dalam skala kecil di laboratorium. Likuifaksi adalah fenomena yang terjadi ketika tanah jenuh air kehilangan kekuatannya akibat getaran, yang menyebabkan tanah berperilaku seperti cairan. Simulasi ini akan dilakukan pada model tanah pasir yang disiapkan dalam wadah uji untuk mengamati respons tanah terhadap getaran yang mensimulasikan efek gempa. Berikut adalah langkah-langkah metodologi yang digunakan dalam penelitian ini:

### **2.1. PERSIAPAN SAMPEL TANAH**

#### **2.1.1. Pemilihan Jenis Tanah.**

Pasir alami yang memiliki distribusi ukuran butiran yang seragam dipilih sebagai sampel. Pasir ini dipilih karena sifatnya yang sering ditemukan di area rawan likuifaksi dan memiliki koefisien gesekan yang rendah.

#### **2.1.2. Pengolahan Sampel Pasir.**

Pasir akan dicuci untuk menghilangkan kotoran dan bahan organik, kemudian dikeringkan dan disaring untuk memastikan ukurannya seragam. Sampel pasir selanjutnya akan dicampur dengan air hingga mencapai kondisi jenuh (saturated), di mana seluruh pori di dalam tanah terisi air.

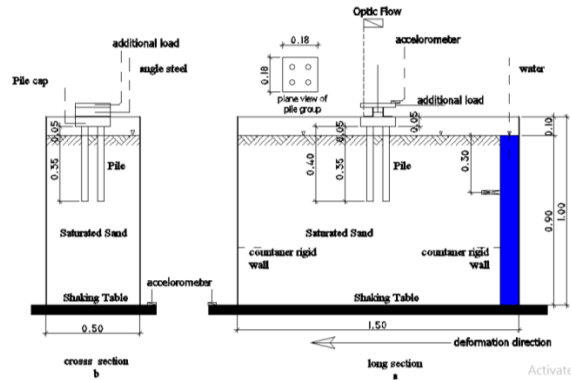
#### **2.1.3. Persiapan Kadar Air**

Sampel pasir akan disiapkan pada kadar air yang cukup untuk mensimulasikan kondisi tanah yang terjenuh sepenuhnya. Penentuan kadar air dilakukan berdasarkan berat jenis tanah dan volume air yang digunakan untuk memastikan tanah berada pada kondisi jenuh.

#### **2.1.4. Setup Alat dan Peralatan Uji**

##### **a. Wadah Uji (Container).**

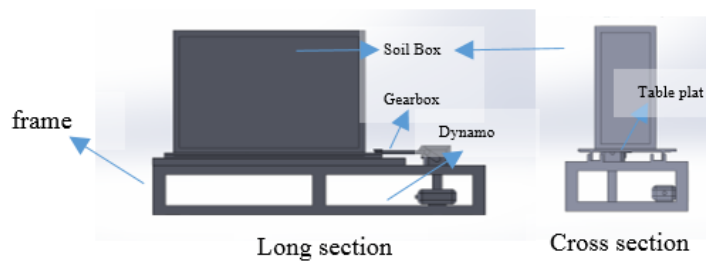
Sampel tanah dimasukkan ke dalam wadah uji berbentuk kotak dengan tinggi sekitar 100 cm lebar 50 cm dan panjang 150 cm. Wadah ini dirancang untuk menahan tekanan tanah selama eksperimen dan memungkinkan pengamatan visual serta pengukuran selama simulasi. Wadah harus transparan untuk memudahkan pengamatan selama proses getaran.



Gambar 1 Rigid Container Model a. Cross Section b. Long section (unit in meters)

b. Shaker Getaran (Vibration Table)

Alat shaker digunakan untuk mensimulasikan getaran gempa. Shaker ini memberikan getaran horizontal pada sampel tanah dengan berbagai frekuensi dan amplitudo yang dapat disesuaikan. Shaker bekerja untuk mensimulasikan efek seismik yang dapat memicu potensi likuifaksi pada tanah.



Gambar 2. Shaking table schematic

c. Sensor Tekanan Pori (Pore Pressure Transducers)

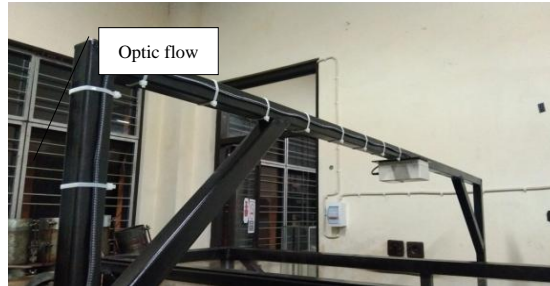
Sensor tekanan pori akan dipasang pada kedalaman tertentu dalam sampel untuk mengukur perubahan tekanan air dalam pori tanah selama eksperimen. Peningkatan tekanan pori merupakan indikator penting dari terjadinya likuifaksi.



Gambar 3 Soil pore water pressure test equipment

d. Sensor Deformasi dan Pergerakan (Displacement Sensors)

Alat pengukur pergerakan tanah (baik vertikal maupun horizontal) akan dipasang untuk mendeteksi deformasi pada tanah selama eksperimen. Sensor ini penting untuk mengukur perubahan bentuk tanah dan pergerakannya selama diberi getaran. Pengukuran deformasi dilakukan pada struktur pondasi yang dipasang pada permukaan tanah, berupa pondasi tiang panjang.



**Gambar 4.** Placement of optic Flow Sensor on Rigid Container

#### 2.1.5. Prosedur Eksperimen

a. Pemasangan Sampel Tanah

Setelah pasir dicampur dengan air dan mencapai kondisi jenuh, sampel tanah dimasukkan secara bertahap ke dalam wadah uji. Setiap lapisan tanah ditambahkan dengan ketebalan sekitar 2–3 cm, kemudian dipadatkan secara ringan untuk menghindari kompresi berlebih yang bisa mempengaruhi hasil eksperimen.

b. Penempatan Sensor

Sensor tekanan pori dipasang pada kedalaman tertentu (misalnya pada kedalaman 30 cm dari permukaan tanah) untuk mengukur perubahan tekanan pori di berbagai lapisan tanah. Sensor deformasi dipasang di permukaan dan di kedalaman tertentu untuk mengukur pergerakan tanah selama eksperimen.

c. Pemberian Getaran (Simulasi Gempa)

Setelah semua instrumen terpasang, shaker digunakan untuk memberikan getaran horizontal pada sampel tanah. Getaran ini akan dimulai dengan frekuensi rendah dan amplitudo kecil, kemudian secara bertahap ditingkatkan untuk mensimulasikan peningkatan intensitas gempa. Durasi dan frekuensi getaran disesuaikan dengan standar gempa yang relevan untuk tujuan penelitian ini.

d. Pemantauan dan Pengukuran

Selama pemberian getaran, perubahan tekanan pori dan deformasi tanah akan dipantau secara terus-menerus menggunakan sensor yang telah dipasang. Data dari sensor tekanan pori akan mencatat perubahan tekanan air dalam pori tanah, sedangkan sensor deformasi akan merekam pergerakan tanah pada arah vertikal dan horizontal.

e. Variabel yang Diamati

Beberapa variabel utama yang diamati dalam eksperimen ini adalah:

(a) Tekanan Pori : Pengukuran perubahan tekanan air dalam pori tanah selama getaran sangat penting untuk menentukan potensi terjadinya likuifaksi. Tekanan pori yang meningkat secara signifikan menandakan bahwa tanah berisiko kehilangan kekuatan dan stabilitasnya.

(b) Deformasi Tanah : Pergerakan tanah (baik vertikal maupun horizontal) akan diukur untuk menentukan sejauh mana tanah mengalami pergeseran atau kompresi. Deformasi yang besar dan cepat dapat mengindikasikan terjadinya likuifaksi.

Kepadatan Tanah : Perubahan kepadatan tanah selama eksperimen juga akan diamati. Tanah yang mengalami penurunan kepadatan atau peningkatan kompresi dapat menunjukkan bahwa tanah kehilangan stabilitasnya akibat peningkatan tekanan pori.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Material

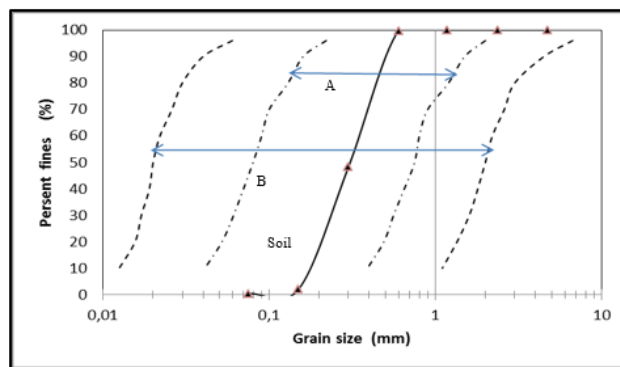
##### 3.1.1 Sampel tanah

Material tanah yang digunakan adalah tanah pasir dari Pantai Puger-Jember, Indonesia. Pengambilan sampel tanah pasir dilakukan dengan cara mengambil dalam kondisi terganggu. Selanjutnya di laboratorium dilakukan uji gradasi (ASTM D1140), uji berat jenis (ASTM D854-14), dan uji kepadatan relatif (ASTM D2049). Hasil uji karakteristik tanah dapat dilihat pada Tabel 1. Sampel tanah diklasifikasikan sebagai tanah yang berpotensi mengalami likuifaksi berdasarkan batas-batas gradasi butiran tanah menurut Tsuchida [18] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

**Table 1.** Soil Sample Properties

| No | Parameter                      | Nilai |
|----|--------------------------------|-------|
| 1  | Effective Diameter $D_{10}$    | 0,18  |
| 2  | Average Diameter $D_{50}$      | 0,3   |
| 3  | $D_{30}$                       | 0,18  |
| 4  | $D_{60}$                       | 0,35  |
| 5  | Uniformity Coefficient $C_u$   | 1,94  |
| 6  | Coeffisient Of Gradation $C_c$ | 1,43  |
| 7  | Fines Contend                  | 0,12  |
| 8  | PI                             | NP    |
| 9  | $\gamma_d$ min                 | 1,379 |
| 10 | $\gamma_d$ mak                 | 1,74  |
| 11 | $e$ min                        | 0,618 |
| 12 | $e$ maks                       | 0,104 |

Source. Laboratory experiment results(5)

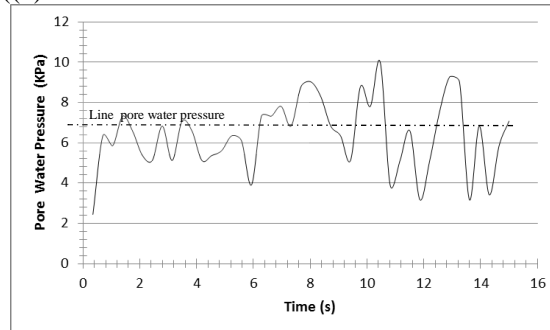


Gambar5. Kurva distribusi ukuran butiran Pasir Puger Jember dan batas-batas pada kurva gradasi (A- Batas-batas untuk sebagian besar tanah yang dapat dicairkan, B-Batas-batas untuk tanah yang berpotensi dapat dicairkan) yang memisahkan tanah yang dapat dicairkan dan yang tidak dapat dicairkan(5)

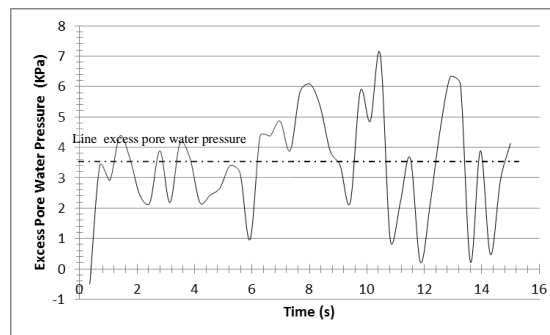
#### 3.2 Hasil Pengukuran Tekanan Air Pori

Seperti yang dilakukan beberapa peneliti sebelumnya seperti Chen dkk. (2). Untuk mengetahui potensi terjadinya likuifaksi pasir, maka dilakukan pengamatan awal terhadap peningkatan tegangan air pori dan kelebihan tekanan air pori yang terjadi di dalam tanah akibat getaran yang ditimbulkan. Hasil pengamatan terhadap peningkatan tekanan air pori disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Gambar 6 menunjukkan grafik antara waktu dan perubahan tekanan air pori. Perubahan tekanan air pori rata-rata dari hasil pembacaan adalah 7 KN/m<sup>2</sup>. Gambar 7 menyajikan hasil pengamatan tekanan air pori berlebih yang terjadi pada tanah akibat getaran. Tekanan air pori berlebih rata-rata adalah 3,5 KN/m<sup>2</sup>. Tekanan air pori berlebih memungkinkan terjadinya likuifaksi.

Pengamatan ini identik dengan pengamatan likuifaksi yang dilakukan oleh Liu et al (6) dengan menggunakan shaking table pada berbagai kedalaman. Dalam melakukan percobaan Liu et al (6) shaking table digetarkan dengan percepatan getar rata-rata sebesar 0.2g. Adapun dari percobaan yang telah dilakukan, tekanan air pori berlebih yang didapatkan pada kedalaman 0,2 m adalah 2,5 KPa, sedangkan pada kedalaman 0,5 m adalah 5 KPa. Hal ini menunjukkan bahwa investigasi yang dilakukan oleh penulis terhadap excess pore water pressure mendekati hasil yang dilakukan oleh Liu dkk. ((6))



**Gambar 6.** Time history of pore water pressure readings in the soil(5)

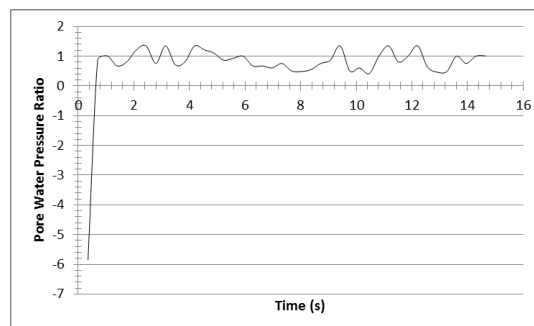


**Gambar 7.** Time history of excess pore water pressure readings in the soil (5)

Untuk menggali lebih jauh informasi potensi likuifaksi, kita dapat mencari rasio tekanan air pori (PPR). Rasio tekanan air pori (PPR) didefinisikan dalam persamaan (1).

$$PPR = \frac{\Delta P_w}{P'_{t_0}} = \frac{P' - P'_{t_0}}{P'_{t_0}} \quad (1)$$

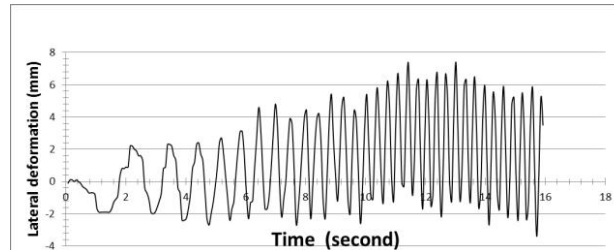
Di mana  $\Delta P_w$  adalah tekanan air pori berlebih,  $P'$  adalah tegangan efektif rata-rata dan  $P'_{t_0}$  adalah tegangan efektif rata-rata awal (yaitu pada awal analisis dinamis). Dalam kasus di mana tegangan total konstan, tanah dicairkan ketika PPR sama dengan 1,0. Varghese dan Latha (3) juga telah menganalisis potensi likuifaksi tanah dengan mendapatkan nilai rasio tekanan air pori. (PPR). Gambar 8. Riwayat waktu rasio tekanan air pori berlebih. Grafik tersebut menyatakan bahwa PPR sekitar satu. Hal ini mengindikasikan bahwa tanah memiliki tingkat likuifaksipenuh.



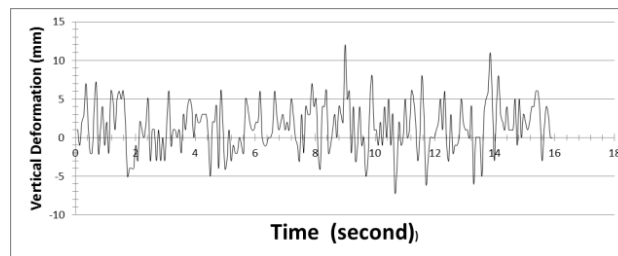
**Gambar 8** Time history of excess pore water pressure ratio (5)

### 3.4. Hasil Pengukuran Deformasi Vertikal dan Lateral

Aliran optik bertanggung jawab untuk mengamati pergerakan vertikal dan lateral pile cap. Pengamatan ini disajikan pada Gambar 9 dan Gambar 10. Pengamatan ini juga dilakukan oleh Chen dkk. (2) untuk mendapatkan jumlah perpindahan pada ujung atas pondasi tiang. Gambar 17 mengamati deformasi lateral pile cap, sedangkan Gambar 18 deformasi vertikal pile cap. Percepatan getaran lateral tanah dasar sebesar 0,08 g menyebabkan deformasi lateral pile cap maksimum sebesar 6 mm. Untuk deformasi vertikal pile cap akibat getaran lateral pada percepatan 0,08g pada tanah dasar didapatkan sebesar 12 mm.

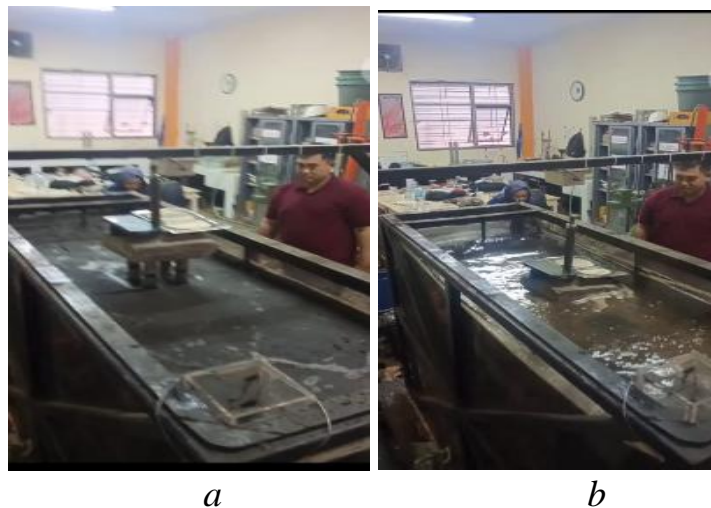


Gambar 9. Time history of deformation lateral readings on the pile cap(5)



Gambar 10. time history of deformation vertical readings on the pile cap(5)

Gambar. 11 adalah gambar grafis dari pembacaan deformasi lateral yang terjadi selama 30 detik. Deformasi lateral maksimum adalah 0,006 m. Hasil pengamatan deformasi ini hampir mendekati hasil analisis numerik.



Gambar 11. a -View of the pile foundation before soil vibration; b -view of the foundation after soil vibration and settlement due to liquefaction for 30 seconds

#### 4. KESIMPULAN

Simulasi beban gempa yang menyebabkan likuifaksi tanah dengan menggunakan shaking table dapat diamati dengan menggunakan Pore Water Pressure yang dipasang di dalam tanah. Deformasi lateral dan vertikal tanah melalui pemasangan pondasi tiang dapat terekam dengan baik melalui pemasangan Optic Flow Sensor di atas pondasi tiang. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan mengatur kepadatan tanah, dan percepatan gempa, untuk mendapatkan gambaran stabilitas tanah saat terjadi likuifaksi.

#### Daftar Notasi

Contoh penulisan notasi dapat diuraikan dengan keterangan sebagai berikut :

- PPR : rasio tekanan air pori .  
 $\Delta P_w$  : tekanan air pori berlebih  
 $P'$  : tegangan efektif rata-rata  
 $P'_0$  : tegangan efektif rata-rata awal  
 $D_{10}$  : Diameter butiran Dengan 10 Persen Lolos  
 $D_{50}$  : Diameter butiran Dengan 50 Persen lolos  
 $C_c$  : Koefisien Gradasi  
 $C_u$  : Koefisien Keseragaman  
 $\gamma_{d \min}$  : Berat Volume kering Minimum  
 $\gamma_{d \max}$  : Berat Volume Kering tanak Maksimum  
 $e_{\min}$  : Angka Pori Minimum  
 $e_{\max}$  : Angka Pori Maksimum

#### REFERENSI

1. Pathak SR, Dalvi RS, Katdare AD. Earthquake Induced Liquefaction using Shake Table Test. Fifth Int Conf Recent Adv Geotech Earthq Eng Soil Dyn. 2010;8.
2. Chen CH, Chen CH, Ueng TS, Ko YY. Changes of Pile Behavior in Liquefiable Soil during Liquefaction Process under 1G Shaking Table Test. 2015;(November).
3. Varghese RM, Madhavi Latha G. Shaking table tests to investigate the influence of various factors on the liquefaction resistance of sands. Nat Hazards. 2014;73(3):1337–51.
4. Youssouf T, Yu T, Abdramane D, Cyriaque AO, Youssouf D. Force performance analysis of pile behavior of the lateral load. Infrastructures. 2019;4(2):1–21.
5. Alihudien A, Zaika Y, Suryo EA. Mathematical Modelling of Engineering Problems 1g Modelling of Lateral Deformation of  $2 \times 2$  Short Pile Group Foundations in Liquefied. 2024;11(8):2170–80.
6. Du YJ, Horpibulsuk S, Wei ML, Suksiripattanapong C, Liu MD. Modeling compression behavior of cement-treated zinc-contaminated clayey soils. Soils Found. 2014;54(5):1018–26.