



## Pengaruh Tinggi Muka Air Terhadap Deformasi Tanah Terlikuefaksi

A. Beddu<sup>a\*</sup>, Rahainun<sup>a</sup>, I. Fadliah<sup>a</sup>, A. Rahaya<sup>a</sup> dan H. Setiawan<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Jl. Soekarno-Hatta Km 9, Palu 94118, Indonesia

\* Corresponding author's e-mail: [arifin.b@untad.ac.id](mailto:arifin.b@untad.ac.id)

Received: 22 August 2022; revised: 28 August 2022; accepted: 29 August 2022

**Abstract:** Liquefaction occurs in saturated loose sandy soils that experience an increase in pore water pressure due to the propagation of earthquake waves to the ground surface. This phenomenon raises various questions such as how the groundwater level can affect the occurrence of liquefaction events at different earthquake strengths. The purpose of this study was to determine the effect of groundwater level on liquefaction-prone soils at different seismic peak acceleration values and the effect of relative density ( $D_r$ ) values on liquefaction-prone soils with variations in groundwater level and earthquake acceleration. In this study, a sample of Jono Oge sand soil was used from the occurrence of liquefaction that met the gradation criteria. The soil was separated through the #8 sieve and retained #100. The modeling technique is carried out with several variables such as the ratio of groundwater level (Hw/Hs) of 25%, 50%, 75%, and 90%, relative density ( $D_r$ ) 30%-40% and 40%-50%, and at different peak accelerations of 0.3g and 0.4g. The modeling test uses a sieve shaker for earthquake vibrations. The results of the study show that the difference in groundwater level affects the subsidence of liquefied soil where the settlement will be more greater in the ratio of the groundwater level (Hw/Hs) and the peak acceleration is greater and vice versa, the difference in relative density ( $D_r$ ) also affects the magnitude of the settlement where the lower the  $D_r$  value for Hw/Hs and the greater the peak acceleration, the greater the settlement will be occur.

**Keywords:** *liquefaction, ground water level, relative density, peak ground acceleration*

**Abstrak:** Likuefaksi terjadi pada tanah pasir lepas jenuh air yang mengalami peningkatan tekanan air pori akibat perambatan gelombang gempa ke permukaan tanah. Fenomena ini menimbulkan berbagai pertanyaan seperti bagaimana tinggi muka air tanah dapat mempengaruhi terjadinya peristiwa likuefaksi pada kekuatan gempa yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh tinggi muka air tanah terhadap tanah rentan likuefaksi pada nilai percepatan puncak gempa yang berbeda dan pengaruh nilai kerapatan relatif ( $D_r$ ) terhadap tanah rentan likuefaksi dengan variasi muka air tanah dan percepatan puncak gempa. Dalam penelitian ini digunakan sampel tanah pasir Jono Oge dari bekas terjadinya likuefaksi yang memenuhi kriteria gradasi. Dilakukan pemisahan tanah lolos saringan #8 dan tertahan #100. Teknik pemodelan dilakukan dengan beberapa variabel seperti perbandingan tinggi muka air tanah (Hw/Hs) sebesar 25%, 50%, 75% dan 90%, kerapatan relatif ( $D_r$ ) 30%-40% dan 40%-50%, serta pada percepatan puncak gempa yang berbeda yakni 0,3g dan 0,4g. Pengujian pemodelan menggunakan alat *sieve shaker* untuk getaran gempa. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan tinggi muka air tanah berpengaruh pada penurunan tanah terlikuefaksi dimana penurunan akan semakin besar terjadi pada perbandingan tinggi muka air tanah (Hw/Hs) dan percepatan puncak gempa yang lebih besar begitu pula sebaliknya, perbedaan kerapatan relatif ( $D_r$ ) juga mempengaruhi besarnya penurunan dimana semakin rendah nilai  $D_r$  pada Hw/Hs serta percepatan puncak gempa yang lebih besar, akan semakin besar pula penurunan yang terjadi.

**Kata kunci:** *likuefaksi, tinggi muka air tanah, kerapatan relatif ( $D_r$ ), percepatan puncak gempa*

### 1. Pendahuluan

Likuefaksi adalah peristiwa alam dimana tanah kehilangan daya dukungnya disebabkan guncangan tiba-tiba yang mengakibatkan peningkatan tekanan air pori, kemudian tanah akan kehilangan kekuatan gesernya secara drastis dan menyebabkan daya dukung tanah menurun sehingga tidak dapat menopang bangunan di atasnya. Kejadian ini berkaitan dengan kondisi pasir jenuh yang memiliki kepadatan lepas atau sedang, dimana muka air tanah berada dekat dengan lapisan permukaan.

Pemahaman mengenai pengaruh tinggi muka air ini penting karena akan menjadi penentu besarnya tekanan air pori tambahan selama guncangan gempa [1-3] bahwa pengurangan kekakuan tanah yang mengalami likuefaksi karena penurunan tegangan efektif dapat dicerminkan oleh percepatan pada uji eksitasi sinusoidal maupun uji eksitasi gempa dan dapat dikaitkan dengan baik terhadap pembangkitan tekanan air pori berlebih.

Faktor berikutnya yang mempengaruhi kondisi likuefaksi adalah kepadatan relatif, merupakan parameter penting untuk dipertimbangkan ketika mengevaluasi likuefaksi, beberapa penulis sebelumnya menunjukkan hubungan yang nyata antara kerapatan relatif yang berhubungan dengan besarnya penurunan pasca likuefaksi [4-6] pada sejumlah penelitian menggunakan uji triaksial untuk mempelajari potensi likuefaksi dan pembangkitan tekanan air pori dengan berbagai parameter seperti kerapatan relatif.

Sementara besarnya percepatan puncak di permukaan gempa merupakan faktor kunci pembebanan dinamis pada uji likuefaksi, dalam pengujian berbasis laboratorium uji dinamis dalam mengkaji fenomena likuefaksi berada pada kisaran kondisi percepatan 0,15g, 0,30 g, dan 0,40 g dimana interaksi antara karakteristik dinamis, seperti amplitudo percepatan, arah lonjakan percepatan sebagai variabel yang menentukan [7-9].

Berdasarkan uraian di atas dapat kita ketahui pentingnya merumuskan hubungan muka air tanah yang mempengaruhi fenomena likuefaksi, yang berkaitan dengan kerapatan relatif dan percepatan gempa yang mana akan terus mengeksplorasi pemahaman tentang likuefaksi itu sendiri.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Material Pasir

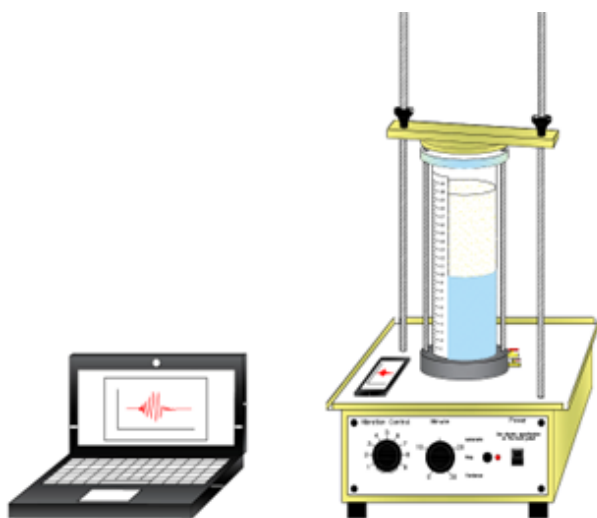
Sampel tanah pasir yang akan digunakan pada penelitian ini berasal dari bekas terjadinya *sand boil* yang berada di Desa Jono Oge, Kabupaten Sigi-Biromaru, Provinsi Sulawesi Tengah (Tabel 1).

**Tabel 1.** Sifat fisik tanah

No	Uji Sifat Fisik Tanah	Satuan	Nilai
1	Ukuran Efektif ( $D_{10}$ )	mm	0.18
2	Ukuran Efektif ( $D_{30}$ )	mm	0.3
3	Ukuran Efektif ( $D_{60}$ )	mm	0.5
4	Persen Lolos Saringan No. #4	%	99.97
5	Persen Lolos Saringan No. #200	%	0.46
6	Koefisien Keseragaman		1.02
7	Koefisien Gradasi		2.8
8	Berat Jenis		2.67
9	Indeks Plastisitas	%	NP
10	Berat Isi Lapangan	g/cm <sup>3</sup>	1.87
11	Kadar Air Lapangan	%	5
12	Derajat Kejenuhan	%	26
13	Berat Maksimum	g/cm <sup>3</sup>	1.39
14	Berat Isi Minimum	g/cm <sup>3</sup>	1.6
15	Kerapatan Relatif Desain	%	44

### 2.2. Peralatan

Digunakan sejumlah peralatan diantaranya adalah *sieve shaker*, tabung *chamber acrylic* dan *accelerometer* (Gambar 1).



**Gambar 1.** Skematik peralatan pengujian [10]

### 2.3. Penyiapan Benda Uji

Terlebih dulu sampel tanah asli yang telah diuji sifat fisik tanahnya akan dipisahkan butir kasar dan butir

halusnya dengan menggunakan saringan, yaitu lolos #8 dan tertahan #100, yang bertujuan untuk mengunci variabel material yang akan digunakan, meminimalisir penyimpangan dan untuk menguji ciri khas dari pasir Jono Oge itu sendiri.

Tanah yang telah dipisahkan secara gradasi diambil untuk menetapkan berat volume, Tinggi rencana pengamatan terlebih dahulu ditentukan, lalu dihitung volumenya, dari hubungan volume tersebut ditetapkan kebutuhan berat pasir untuk mendapatkan kepadatan relatif desain. Setelah melakukan pengujian sifat fisik tanah dan pengambilan berat volume maka akan diperoleh nilai  $GS$ ,  $\gamma_{dmak}$  dan  $\gamma_{dmin}$

Untuk mengetahui berapa massa pasir dan massa air yang akan digunakan pada tiap-tiap kepadatan relatif desain, maka dilakukan perhitungan menggunakan hubungan Pers. 1-7 [11-15].

$$\gamma_{dmak} = \left( \frac{GS \cdot \gamma_w}{1 + e_{min}} \right) \tag{1}$$

$$\gamma_{dmin} = \left( \frac{GS \cdot \gamma_w}{1 + e_{mak}} \right) \tag{2}$$

$$DR_{renc.} = \frac{e_{mak} - e}{e_{mak} - e_{min}} \tag{3}$$

$$\gamma_{drenc.} = \left( \frac{\gamma_{satrencana}}{1 + w} \right) \tag{4}$$

$$\gamma_{satrenc.} = \gamma_{drencana} + \left( \frac{e}{1 + e} \right) \cdot \gamma_w \tag{5}$$

$$m_{drenc.} = \frac{m_{satrencana}}{1 + w} \tag{6}$$

$$m_{wrenc.} = m_{satrencana} - m_{drencana} \tag{7}$$

dimana:

$\gamma_{dmak}$  = Berat isi kering maksimum (gram/cm<sup>3</sup>)

$\gamma_{dmin}$  = Berat isi kering minimum (gram/cm<sup>3</sup>)

$\gamma_{drenc.}$  = Berat isi kering rencana (gram/cm<sup>3</sup>)

$\gamma_{satrenc.}$  = Berat isi jenuh (gram/cm<sup>3</sup>)

$GS$  = Berat Jenis

$\gamma_w$  = Berat satuan isi air (gram/cm<sup>3</sup>)

$e$  = Angka pori

$e_{mak}$  = Angka pori maksimum

$e_{min}$  = Angka pori minimum

$DR_{renc.}$  = Kerapatan relatif rencana

$m_{drenc.}$  = Massa tanah rencana (gram)

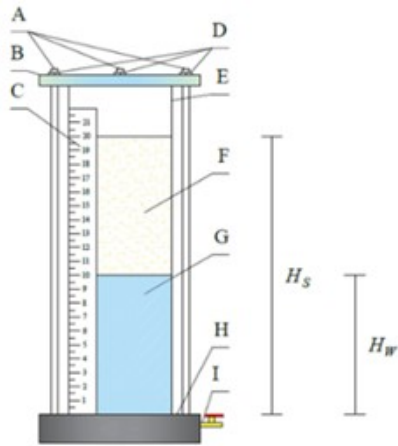
$m_{wrenc.}$  = Massa air rencana (gram)

Lapisan pasir dibuat dengan teknik pengisian basah, dengan cara mengisi air ke dalam *chamber* pengujian terlebih dahulu sampai ketinggian tertentu, sebelum pasir secara perlahan-lahan dituangkan menggunakan corong plastik, dengan mengatur tinggi jatuh sesuai dengan tinggi yang direncanakan untuk mencapai lapisan pasir dengan kerapatan yang seragam.

### 2.4. Skematik Pengujian

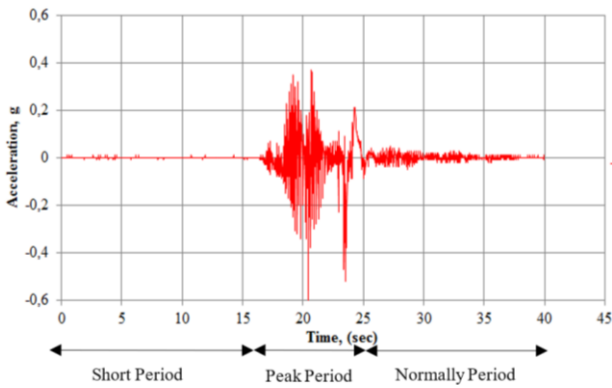
Tabung *Chamber* berdiameter 10 cm dengan tinggi pengamatan atau tebal pasir ( $H_s$ ) sebesar 20 cm yang telah terdapat mistar pembacaan penurunan diisi air dan pasir sesuai kondisi yang akan diujikan selanjutnya diletakkan di atas alat *sieve shaker*, dan kemudian dikencangkan dengan

penjepit vertikal. Kerapatan relatif yang diuji adalah dalam rentang masing-masing 30-40% dan 40-50%; dengan perbandingan ( $H_w/H_s$ ) berturut adalah 25;50;75 dan 90 (Gambar 2).

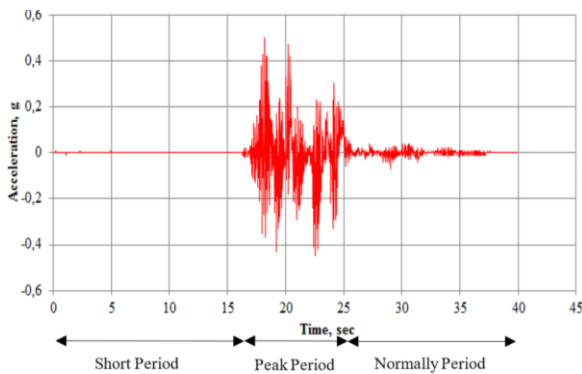


**Gambar 2.** Detail tabung Chamber (A = Stang pengunci; B = Penutup tabung; C = Mistar pembacaan penurunan; D = Baut; E = Tabung Chamber; F = Pasir kering; G = Pasir jenuh; H = Alas tabung; I = Keran in-outlet;  $H_s$ = Tinggi pasir;  $H_w$ = Tinggi air [13])

Adapun pola getaran yang dikenakan pada pengujian ini adalah sesuai pengaturan getaran pada *sieve shaker* diatur sesuai skema percepatan yang telah ditetapkan yaitu percepatan puncak untuk 0,3 g dan 0,4 g (Gambar 3 dan Gambar 4).



**Gambar 3.** Pola getaran yang digunakan dengan percepatan puncak 0,3g

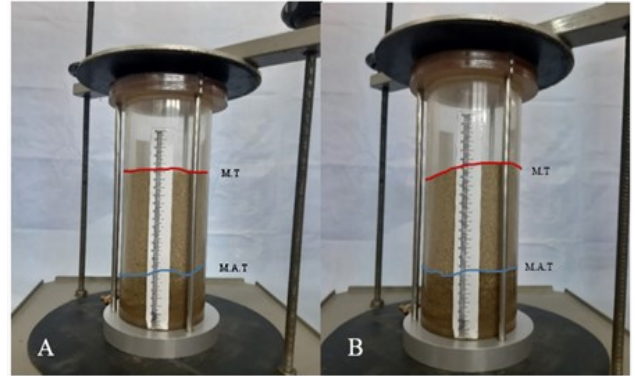


**Gambar 4.** Pola getaran yang digunakan dengan percepatan puncak 0,4g

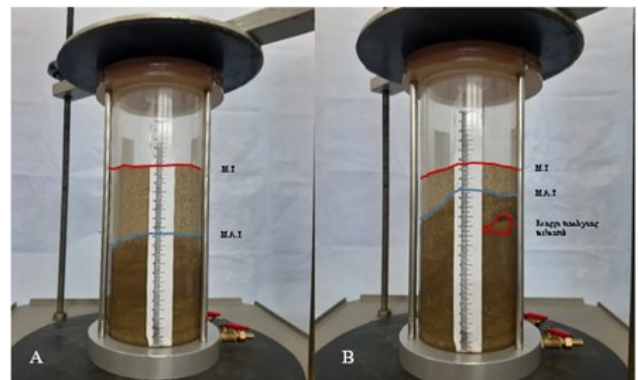
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Pola Deformasi vertikal

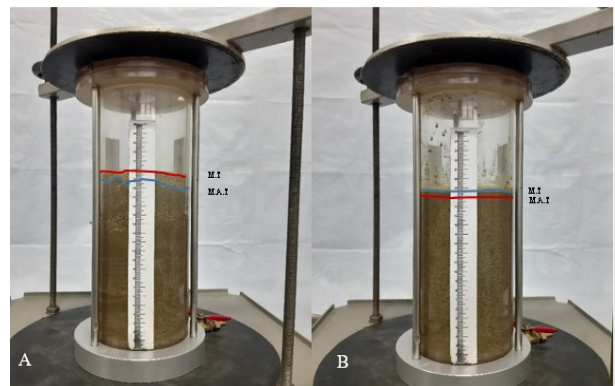
Pengamatan secara visual terhadap perilaku tanah terlihat efaksi dengan membandingkan hasil-hasil dokumentasi sebelum dan sesudah pengujian, juga membandingkan hasil uji satu variabel dengan hasil uji variabel lainnya, dengan ini diperoleh beberapa perilaku-perilaku tanah yang menarik yaitu sebagai berikut seperti pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7.



**Gambar 5.** Hasil Pengujian untuk  $D_r$ rencana = 30-40%,  $H_w/H_s$  = 25%, percepatan puncak 0,3g; (A) Sebelum pengujian dan (B) Sesudah pengujian



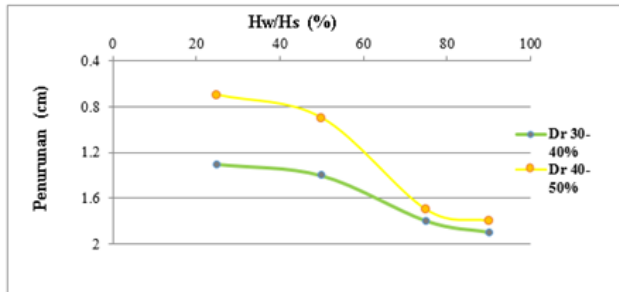
**Gambar 6.** Hasil Pengujian Untuk  $D_r$ rencana = 30-40%,  $H_w/H_s$  = 25%, percepatan puncak 0,3g; (A) Sebelum pengujian dan (B) Sesudah pengujian



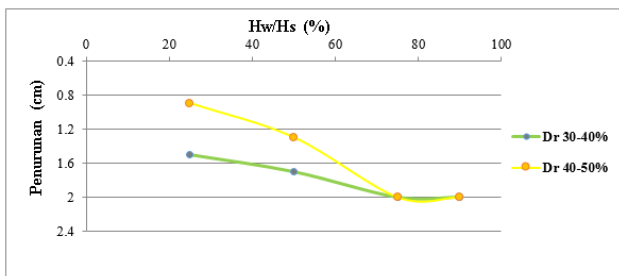
**Gambar 7.** Hasil Pengujian Untuk  $D_r$ rencana = 30-40%,  $H_w/H_s$  = 75%, percepatan puncak 0,3g; (A) Sebelum pengujian dan (B) Sesudah pengujian.

3.2. Deformasi dan Kerapatan Relatif, DR

Setelah melakukan pengujian pemodelan secara keseluruhan adapun hasil data yang didapatkan dari pengujian pemodelan ini adalah sebagai berikut: Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Hasil pengujian untuk  $DR_{rencana}$  30-40% dan 40-50% ditinjau berdasarkan percepatan puncak gempa = 0,3g



Gambar 9. Hasil pengujian untuk  $Dr_{rencana}$  30-40% dan 40-50% ditinjau berdasarkan percepatan puncak gempa = 0,4g

Dengan membandingkan Gambar 7 dan Gambar 8 dapat dinyatakan bahwa nilai kerapatan relatif mempengaruhi besarnya penurunan yang terjadi, semakin kecil nilai  $Dr$  yang diujikan maka akan semakin besar nilai penurunan yang terjadi begitu juga sebaliknya.

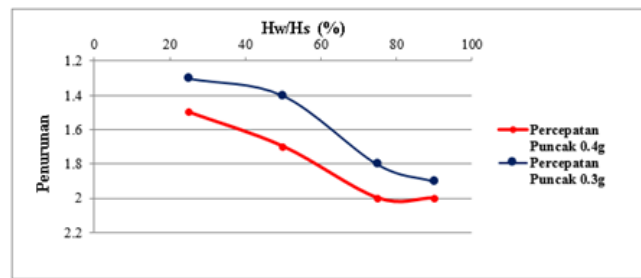
3.3. Model Distribusi Variabel Percepatan Gempa

Berdasarkan Gambar 10 dan Gambar 11 terlihat bahwa besarnya percepatan puncak gempa juga mempengaruhi besarnya penurunan yang terjadi, dari tiap-tiap pengujian yang dilakukan pada umumnya semakin kecil nilai percepatan puncak gempa yang diujikan maka akan semakin kecil pula nilai penurunan yang terjadi.

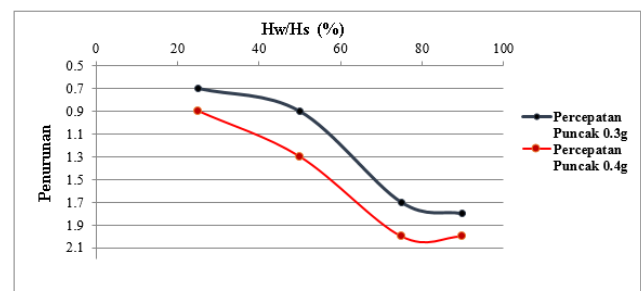
3.4. Model Distribusi Variabel perbandingan muka air tanah ( $H_w/H_s$ )

Dengan membandingkan Gambar 10 dan Gambar 11 dapat dinyatakan bahwa perbedaan perbandingan muka air tanah ( $H_w/H_s$ ) memiliki pengaruh signifikan yang berbanding lurus terhadap penurunan tanah terlikuefaksi dari hasil pengujian terlihat bahwa semakin besar perbandingan muka air tanah ( $H_w/H_s$ ) yang diujikan maka semakin tinggi pula penurunan yang terjadi begitu pula sebaliknya, hal ini dikarenakan pada  $H_w/H_s = 25\%$  ketebalan tanah jenuh lebih rendah dibandingkan dengan  $H_w/H_s = 50\%$ ,  $75\%$  dan  $90\%$  dimana tanah yang jenuh ini setelah diberikan getaran segera mengalami kehilangan

kekuatan gesernya menyebabkan berkurangnya daya dukung tanah kemudian terjadi penurunan dan air yang sebelumnya memenuhi rongga tanah berangsur-angsur naik ke permukaan.



Gambar 10. Hasil pengujian untuk percepatan puncak = 0,3g dan 0,4g ditinjau berdasarkan nilai  $Dr_{rencana} = 30-40\%$



Gambar 11. Hasil pengujian untuk percepatan puncak = 0,3g dan 0,4g ditinjau berdasarkan nilai  $Dr_{rencana} = 40-50\%$

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan tinggi muka air tanah berpengaruh pada tanah terlikuefaksi, dimana nilai penurunan terbesar yaitu 2,0 cm terjadi pada perbandingan tinggi muka air tanah ( $H_w/H_s$ ) 75% dan 90% dan percepatan puncak gempa 0.4g. Hal ini menunjukkan semakin besar nilai percepatan puncak gempa yang lebih besar semakin besar pula penurunan yang terjadi, begitu pula sebaliknya.

Perbedaan kerapatan relatif ( $Dr$ ) juga memengaruhi besarnya penurunan, nilai penurunan terbesar yaitu 2,0 cm tercatat pada pengujian dengan nilai kerapatan relatif ( $Dr$ ) 40-50% pada tinggi muka air ( $H_w/H_s$ ) 75% dan 90% serta percepatan puncak gempa 0.4g. Hal ini menunjukkan semakin besar nilai kerapatan relatif ( $Dr$ ) pada perbandingan muka air tanah serta percepatan puncak yang lebih besar, maka semakin besar pula penurunan yang terjadi, begitu pula sebaliknya

Daftar Pustaka

[1] Y.Y. Ko and C.H. Chen, "On the Variation of Mechanical Properties of Saturated Sand During Liquefaction Observed in Shaking Table Tests," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 129, no. 1, p. 105946, 2020.

[2] R.E.S. Moss, T.R. Honnet, and J.S. Jacobs, "Large-Scale Liquefaction and Postliquefaction Shake Table

- Testing,” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 146, no. 12, p. 04020138, 2020.
- [3] W.Y. Hung, C.J. Lee, and L.M. Hu, “Study of the Effects of Container Boundary and Slope on Soil Liquefaction by Centrifuge Modeling,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 113, no. 1, p. 682, 2018.
- [4] J. Liu, “Influence of Fines Contents on Soil Liquefaction Resistance in Cyclic Triaxial Test,” *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 38, no. 5, p. 4735, 2020.
- [5] K. Ishihara, K. Harada, W.F. Lee, C.C. Chan, and A.M.M. Safiullah, “Post-liquefaction Settlement Analyses Based on the Volume Change Characteristics of Undisturbed and Reconstituted Samples,” *Soils and Foundations*, vol. 56, no. 3, p. 533, 2016.
- [6] T.G. Sitharam, B.V. Ravishankar, and S.M. Patil, “Liquefaction and Pore Water Pressure Generation in Sand: Cyclic Strain Controlled Triaxial Tests,” *International Journal of Geotechnical Earthquake Engineering*, vol. 3, no. 1, p. 57, 2012.
- [7] W. Liu, W. Chen, Q. Wang, J. Wang, and G. Lin, “Effect of Pre-Dynamic Loading on Static Liquefaction of Undisturbed Loess,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 130, no. 1, p. 105915, 2020.
- [8] S. Mittal and R. Chauhan, “Liquefaction Behavior of Reinforced Saturated Sand Under Dynamic Conditions,” *International Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 7, no. 1, p. 109, 2019.
- [9] R. Sukkarak, W. Tanapalungkorn, S. Likitlersuang, and K. Ueda, “Liquefaction Analysis of Sandy Soil During Strong Earthquake in Northern Thailand,” *Soils and Foundations*, vol. 61, no. 5, p. 1302, 2021.
- [10] L.Z. Mase, “Studi Kehandalan Metode Analisis Likuifaksi Menggunakan SPT Akibat Gempa 8,6 Mw, 12 September 2007 di Area Pesisir Kota Bengkulu,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 25, no. 1, p. 53, 2018
- [11] H.B. Seed and M. Idris, “Simplified Procedure for Evaluation Soil Liquefaction Potential” *Journal of Soil Mechanics and Foundation, Division, ASCE*, vol. 97, no.9, p. 1249, 1971.
- [12] P.K. Roberson and B.H. Wride, *Cyclic Liquefaction and the Evaluation Based on the SPT and CPT*, Newyork: Proceedings, 1989.
- [13] E. Soebowo, *Studi Geologi, Geofisika dan Kebencanaan Pasca Gempabumi Jogjakarta*, Jakarta: Pusat Penelitian Geoteknologi - LIPI, 2006 .
- [14] E. Soebowo, A. Tohari, and D. Sarah, “Potensi Likuifaksi Akibat Gempabumi Berdasarkan Data CPT Dan N-SPT di Daerah Patalan Bantul, Yogyakarta”, *Indonesian Journal of Geology and Mining*, vol. 19, no. 2, p. 25, 2009.
- [15] H.G. Putra, A. Hakam, and D. Lastaruna, “ Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Pengujian Sondir (Studi Kasus Gor Haji Agus Salim Dan Lapai, Padang)”, *Jurnal Rekayasa Sipil*, vol. 5, no. 1, p. 11, 2009.

*This page is intentionally left blank*