

# STUDI POTENSI LIKUIFAKSI TIMBUNAN PASIR DENGAN GRADASI UKURAN BUTIRAN DIATAS TANAH LUNAK

Putra Hasibuan<sup>(1)</sup>, Agus Ika Putra<sup>(2)</sup>, S.A. Nugroho<sup>(3)</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293

Email: [putra.hasibuan@student.unri.ac.id](mailto:putra.hasibuan@student.unri.ac.id)

<sup>2</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293

Email: [agusip@eng.unri.ac.id](mailto:agusip@eng.unri.ac.id)

<sup>3</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293

Email: [nugroho.sa@eng.unri.ac.id](mailto:nugroho.sa@eng.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*The island of Sumatra is the region with the highest quake intensity. Earthquakes in Aceh, Nias, Mentawai, and Padang caused a wave of vibration in the surrounding area. In Pekanbaru many buildings are built on peat soil with sand as an embankment. Liquefaction potentially occur in the earthquake propagation zone. Liquefaction is the transformation of soil state from solid to liquid. Liquefaction potential can be analyzed based on field test and laboratory test. Laboratory test was conducted using a one-way shaking table. Vibrating table moves in a horizontal and opposite direction in a vertical direction. The acceleration variations used are 0.25g and 0.32g. Peat soil thickness used 10 cm. Sand embankment thickness used 15 cm with gradation variation and water level as high as embankment thickness. Distributed load used 40kg/m<sup>2</sup>. Evaluation of liquefaction potential by analyzing soil surface settlement observation, excess pore water pressure and effective vertical stress. The measurement of pore water pressure was measured using 0.5 mm diameter glass pipe. Soil settlement measured by using ruler. The results of the test show that along with increasing acceleration, the bigger soil settlement and pore water increment will be. Grain size is very influential on the occurrence of liquefaction potential. The test results shows that the fine graded sand had maximum settlement and excess pore water pressure so that it has the most extreme effective vertical stress. Well graded sand tends to stable but on 0,32g acceleration it has effective vertical stress value less than zero.*

**Keywords :** *liquefaction, excess pore water pressure, shaking table, grain size*

## I. PENDAHULUAN

Indonesia terletak daerah rawan gempa bumi karena dilalui oleh jalur pertemuan 3 lempeng tektonik, yaitu: lempeng Hindia-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Jalur pertemuan lempeng berada di laut sehingga apabila terjadi gempa bumi besar dengan kedalaman dangkal maka akan berpotensi menimbulkan kerusakan pada bangunan gedung maupun rumah warga.

Gempa yang terjadi di Aceh, Nias dan Padang merupakan sebuah fenomena alam yang menyebabkan banyaknya bangunan

rusak. Salah satu penyebab rusaknya struktur bangunan akibat adanya getaran pada daerah tersebut. Perambatan gelombang tersebut dapat mengakibatkan terjadinya potensi likuifaksi yang menyebabkan terjadinya penurunan fondasi pada bangunan.

Likuifaksi merupakan proses hilangnya kekuatan tanah yang disebabkan peningkatan tegangan air pori akibat adanya beban siklis atau getaran. Likuifaksi yang terjadi dapat menyebabkan kerusakan-kerusakan pada bangunan. Peristiwa likuifaksi akibat getaran gempa menimbulkan permasalahan pada

ketersediaan air bersih dan kerusakan bangunan dan infrastruktur jalan dan jembatan. Jenis tanah sangat berpengaruh terhadap terjadinya likuifaksi. Sedimen pasir, pasir kelanauan dan lanau kepasiran diklasifikasikan sebagai sedimen atau tanah yang rentan terhadap potensi terjadinya likuifaksi. Hal-hal lain yang berpotensi terjadinya likuifaksi adalah, ukuran diameter butiran, bentuk butiran dan lain-lain.

Pan dan Megawati (2007) menyebutkan kota Pekanbaru dan Palembang yang berada pada kawasan dengan zona gempa yang lebih rendah dari pada Jakarta dan Medan berdasarkan peta zona gempa Indonesia, namun melalui simulasi yang dilakukan menyimpulkan Pekanbaru dan Palembang lebih beresiko terhadap terjadinya kerusakan-kerusakan akibat perambatan gelombang gempa. Hal ini dikarenakan Pekanbaru dan Palembang berada lebih dekat dengan area patahan yang sering menyebabkan terjadinya gempa dibandingkan Jakarta dan Medan.

Provinsi Riau merupakan salah satu provinsi yang terletak di daerah rambatan gempa. Dengan banyaknya bangunan di Provinsi Riau, khususnya Kota Pekanbaru diatas tanah gambut dengan timbunan tanah pasir. Tanah gambut beresiko mengalami masalah seperti kerusakan pada struktur bangunan akibat kelongsoran ataupun penurunan fondasi.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### Studi literatur

Likuifaksi merupakan suatu fenomena tanah dalam kondisi jenuh yang mengalami naiknya tekanan air pori akibat adanya getaran atau ledakan, sehingga menyebabkan hilangnya daya dukung tanah. Likuifaksi umumnya terjadi pada tanah non kohesif (pasir) yang jenuh air. Gempa yang terjadi di Nias dan Padang pada lapisan pasir menyebabkan terjadinya likuifaksi. Beberapa peneliti menyatakan bahwa gradasi ukuran butiran pasir sangat mempengaruhi terjadinya potensi

likuifaksi. Pasir bergradasi buruk atau seragam cenderung mengalami potensi likuifaksi lebih besar dari pada pasir bergradasi baik.

Ketua Tim Kajian Likuifaksi dan Sumber Daya Air Pusat Penelitian (Puslit) Geoteknologi LIPI, Adrin Tohari (2007) menyatakan bahwa nilai percepatan gempa yang menyebabkan likuifaksi adalah kecepatan gempa lebih dari 0,1g dan kekuatan gempa bermagnitudo diatas 5,0.

Peristiwa terjadinya likuifaksi dapat dianalisis berdasarkan parameter tanah yang didapatkan dari lapangan maupun laboratorium. Parameter laboratorium yang dipakai adalah kerapatan relatif ( $D_r$ ), Specific gravity, emaks (angka pori maksimum) dan emin (angka pori minimum). Bahaya likuifaksi dapat diminimalisir dengan memperbaiki sifat-sifat tanah dan kondisi yang berkaitan dengan tegangan, deformasi, dan tekanan air pori.

Hasmar (2007) meneliti potensi likuifaksi pasir Kali Krasak, Daerah Istimewa Yogyakarta. Konsep pembebanan yang dilakukan yaitu dengan memodelkan pengujian dengan variasi beban siklik. Hasil dari penelitian Hasmar menunjukkan bahwa beban siklik (N) 20 siklik dan 32 siklik berpotensi memicu likuifaksi pasir Kali Krasak.

Aldi (2011) dalam penelitiannya memodelkan pengujian menggunakan meja getar dengan variasi beban dan percepatan getar. Hasil dari penelitian Aldi menunjukkan bahwa penambahan beban dapat memperlambat proses penurunan muka tanah akibat likuifaksi dan juga mengakibatkan perubahan kepadatan yang tinggi. Penambahan beban mempengaruhi kecepatan kenaikan air pori maksimum dan kecepatan penurunan tegangan vertikal efektif tanah, beban yang besar dapat memperlambat kenaikan air pori dan penurunan tegangan vertikal efektif pada tanah.

Versariany (2012) mengevaluasi potensi likuifaksi dengan mensimulasikan

fenomena likuifaksi dengan membuat model fisik skala laboratorium menggunakan alat uji shaking table, dengan kajian pengaruh gradasi, ukuran butiran, dan kandungan air pada pasir terhadap potensi likuifaksi. Hasil dari penelitian Vesariany menunjukkan bahwa pasir halus bergradasi buruk pada kondisi terendam penuh lebih berpotensi likuifaksi dibandingkan dengan pasir sedang, pasir kasar, dan pasir gradasi baik.

Mase, L. Z. (2013) melakukan studi eksperimental potensi likuifaksi pasir Kali Opak Imogiri menggunakan alat shaking table. Pengujian dilakukan dengan memodelkan percepatan maksimum gempa di kawasan Kali Opak Imogiri yaitu 0,3g, 0,35g, dan 0,4g dengan frekuensi getaran sebesar 1,6 Hz serta waktu penggetaran selama 32 detik. Hasil analisis menunjukkan bahwa potensi likuifaksi terjadi untuk setiap pembebanan. Keseluruhan nilai  $r_u$  hasil pengujian bernilai  $\geq 1$ . Penambahan beban dinamik akan memperbesar  $r_u$  dan memperbesar durasi likuifaksi.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini meliputi beberapa pengujian dan langkah yang dilakukan dalam pelaksanaannya seperti studi literatur, meninjau lokasi, pengambilan sampel, pengujian properties tanah, persiapan alat, persiapan sampel, dan pengujian pemodelan meja getar satu arah.

#### Persiapan Benda Uji

Tanah gambut yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari daerah Rimbo Panjang, Kabupaten Kampar. Sampel tanah gambut merupakan sampel tanah yang terganggu yang dibawa dari lokasi (*quarry*) ke Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Riau. Sampel tanah gambut sebelum digunakan dilakukan pengujian sifat karakteristik. Pengujian karakteristik tanah gambut mengacu pada standard ASTM yang dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Standard Pengujian Properties Tanah Gambut

No.	Jenis Pengujian	Maksud/Tujuan	Standar
1.	Berat Volume Tanah, $\gamma$	Menentukan Berat Volume Tanah	ASTM D-2937
2.	<i>Specific Gravity</i> , $G_s$	Menentukan Massa (Berat Jenis) Suatu Tanah	ASTM D-854
3.	Kadar Abu dan Kadar Organik	Menentukan Kadar Abu dan Kadar Organik	ASTM D-2974
4.	Kadar serat	Menentukan kadar serat	ASTM D-1997

Tanah pasir yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari daerah Air Hitam KM 6, Kota Pekanbaru. Sampel tanah pasir merupakan sampel tanah yang dibawa dari lokasi (*quarry*) ke Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Riau untuk mengetahui sifat karakteristiknya. Pengujian sifat karakteristik tanah pasir mengacu pada ASTM. Beberapa pengujian laboratorium untuk menentukan sifat fisik tanah gambut dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2** Standard Pengujian Properties Tanah Pasir

No.	Jenis Pengujian	Maksud/Tujuan	Standar
1.	Berat Volume Tanah, $\gamma$	Menentukan Berat Volume Tanah	ASTM D-2937
2.	<i>Specific Gravity</i> , $G_s$	Menentukan Massa (Berat Jenis) Suatu Tanah	ASTM D-854
3.	Analisa Saringan	Menentukan Distribusi Ukuran Butiran Tanah	ASTM D-2487

#### Pengujian Pemodelan

Sebelum melakukan pengujian pemodelan laboratorium, dilakukan pengujian karakteristik tanah (gambut dan

pasir). Pengujian pemodelan dengan meja getar satu arah antara lain sebagai berikut:

1. Memasukkan tanah gambut kedalam bak uji meja getar sampai pada ketebalan 10 cm.
2. Gambut yang sudah dimasukkan ke dalam bak uji diisi dengan pasir sebagai timbunannya. Mengisi bak uji dengan pasir secara hati-hati di atas tanah gambut dengan ketebalan lapisan pasir 15 cm sesuai dengan variasi gradasi pasir (pasir kasar, pasir sedang, pasir halus dan *well graded*).
3. Meletakkan pipa kaca pengukur kenaikan air pori ditengah tebal timbunan pasir yaitu sedalam 7,5 cm.
4. Memberikan beban merata sebesar 40 kg/m<sup>2</sup> diatas pemodelan bak uji.
5. Pengujian meja getar satu arah digerakkan menggunakan mesin induksi 220 V/50 Hz yang dihubungkan dengan pulley.
6. Pengambilan data dari pengujian meja getar satu arah dilakukan pengamatan secara manual dalam membaca kenaikan air pori dan penurunan tanah.
7. Pengamatan pengujian dilakukan selama 120 detik dengan membaca kenaikan air pori, penurunan tanah total.

#### Analisis Data

Dari hasil penelitian ini melingkupi sifat karakteristik tanah (gambut dan pasir), grafik kenaikan air pori, grafik penurunan tanah total yang disusun juga dalam bentuk tabel. Potensi likuifaksi dianalisis dari hasil pembacaan kenaikan air pori, penurunan tanah total dan tanah gambut. Hasil pengujian akan dianalisis kemudian diambil kesimpulan dan saran yang akan digunakan untuk penelitian selanjutnya.

Analisis data yang akan dilakukan adalah:

1. Data hasil pengujian pemodelan setiap variasi gradasi di plot ke dalam grafik waktu vs penurunan tanah dan waktu vs kenaikan air pori.
2. Analisis potensi likuifaksi yang terjadi dengan menghitung nilai tegangan

vertikal efektif pada setiap variasi gradasi pasir.

3. Potensi likuifaksi setiap variasi gradasi diplotkan ke dalam grafik waktu vs tegangan vertikal efektif.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Properties Tanah Gambut

Hasil uji properties tanah gambut asli disajikan pada **Tabel 3**. Berdasarkan ASTM D 4427-92 klasifikasi tanah gambut asli yang digunakan pada penelitian ini adalah *Sapric-peat soil* (gambut matang).

**Tabel 3.** Hasil Uji Properties Tanah Gambut Asli

Jenis Pengujian	Satuan	Hasil
Kadar Air, w	%	442,933
Berat Volume Basah, $\gamma_b$	kN/m <sup>3</sup>	1,011
<i>Specific Gravity</i> , Gs	-	1,48
Kadar Abu, Ac	%	0,797
Kadar Organik, Oc	%	99,203
Kadar Serat	%	1,183

Dari hasil pengujian kadar serat, maka tanah gambut termasuk jenis *Sapric-peat soil* (gambut matang). Berdasarkan pengujian kadar abu, maka tanah gambut diklasifikasikan tanah gambut dengan kadar abu rendah. Sedangkan dari pengujian kadar air maka tanah gambut diklasifikasikan menjadi tanah gambut moderat.

### Properties Tanah Pasir

Hasil uji properties dan *quality control* tanah pasir disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5. Tanah pasir dibedakan berdasarkan pasir gradasi buruk (pasir kasar, pasir sedang dan pasir halus) dan pasir gradasi baik.

**Tabel 4.** Hasil Uji Properties Tanah Pasir

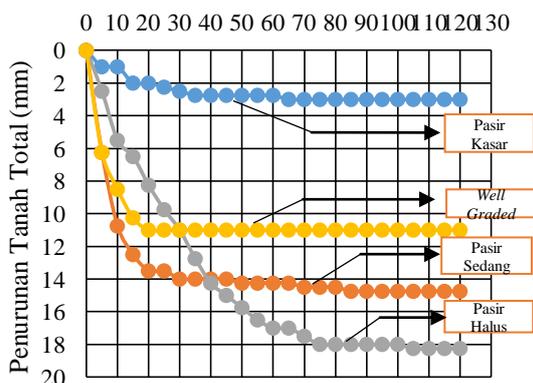
No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1	Pasir gradasi Buruk a. Pasir Kasar % Kerikil	0

% Pasir	100
% Lanau/Lempung	0
Cu (koefisien keseragaman)	1,55
Cc (koefisien gradasi)	0,91
b. Pasir Sedang	
% Kerikil	0
% Pasir	100
% Lanau/Lempung	0
Cu (koefisien keseragaman)	1,69
Cc (koefisien gradasi)	0,88
c. Pasir Halus	
% Kerikil	0
% Pasir	100
% Lanau/Lempung	0
Cu (koefisien keseragaman)	2,01
Cc (koefisien gradasi)	1,07
2. Pasir Gradasi Baik	
% Kerikil	0
% Pasir	100
% Lanau/Lempung	0
Cu (koefisien keseragaman)	6,79
Cc (koefisien gradasi)	1,73

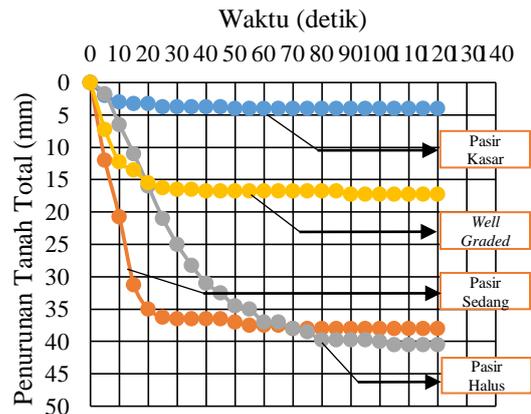
### Hasil Pengujian Meja getar Satu Arah

Pengukuran penurunan tanah total diamati dari pengujian masing-masing variasi gradasi yaitu pasir kasar dan pasir baik. Pembacaan penurunan tanah total dan kenaikan air pori dari 2 pengamatan dalam satu kali pengujian.

#### a. Penurunan Muka Tanah



**Gambar 1.** Penurunan Tanah Percepatan 0,25g



**Gambar 2.** Penurunan Tanah Percepatan 0,32g

Pengamatan penurunan muka tanah dilakukan secara manual. Setiap pengujian dilakukan minimal sebanyak 2 kali dengan mengamati 2 titik pengamatan.

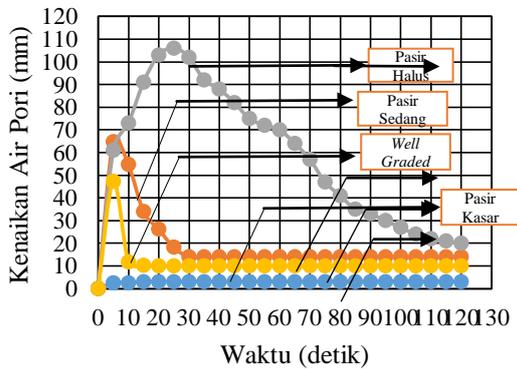
Pembacaan penurunan muka tanah dengan mengamati setiap 5 detik selama 120 detik pada setiap variasi gradasi. Dari hasil variasi percepatan menunjukkan bahwa semakin besar percepatan maka penurunannya juga semakin besar. Semakin kecil butiran maka penurunannya juga semakin besar. Sedangkan pasir gradasi baik jauh lebih stabil daripada pasir dengan gradasi buruk.

Hasil pengujian untuk variasi percepatan dan gradasi pasir, menunjukkan bahwa pasir gradasi buruk, pasir halus mengalami penurunan tanah total maksimum dari pada pasir sedang dan pasir kasar. Sedangkan pada pasir gradasi baik menunjukkan penurunan tanah terjadi sangat cepat. Vesariany, R. (2012) menyatakan bahwa pasir gradasi baik mempunyai kecenderungan lebih cepat stabil dibandingkan pasir gradasi buruk. Hal ini dipengaruhi oleh bentuk butiran pasir gradasi baik lebih bervariasi sehingga butiran lebih kecil bisa mengisi rongga pori tanah dan mengurangi rongga pori, oleh karena itu cenderung lebih cepat stabil dibandingkan dengan tanah gradasi buruk.

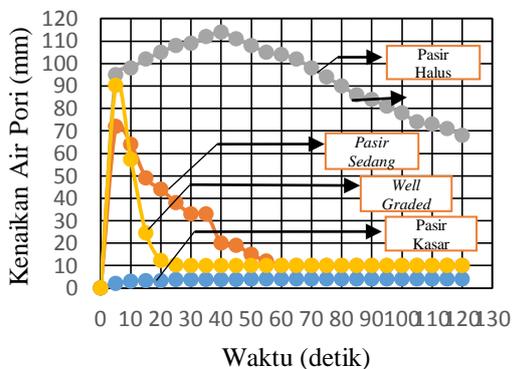
#### b. Kenaikan air pori

Kenaikan air pori diamati secara manual dengan meninjau pipa pengukur

kenaikan air pori. Pembacaan kenaikan air pori dilakukan dengan mengamati dua pipa pengukur kenaikan air pori dalam setiap pengujian masing-masing variasi gradasi pasir.



**Gambar 3.** Grafik Kenaikan Air Pori Percepatan 0,25g



**Gambar 4.** Grafik Kenaikan Air Pori Percepatan 0,32g

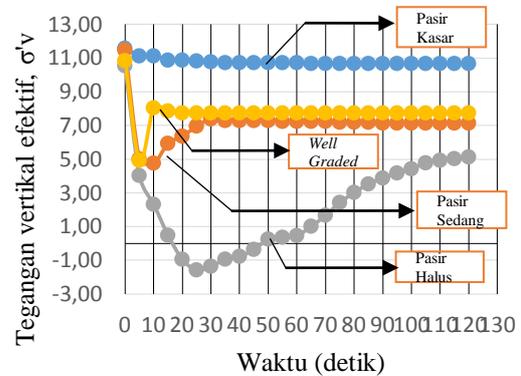
Kenaikan air pori maksimum juga dimiliki pasir halus dibandingkan pasir sedang dan kasar. Pasir halus memiliki nilai kenaikan air pori maksimum dibandingkan dengan pasir gradasi baik.

Pembacaan naiknya tekanan air pori dengan mengamati setiap 5 detik selama 120 detik pada setiap variasi gradasi. Dari hasil variasi percepatan menunjukkan bahwa semakin besar percepatan maka kenaikan air pori juga semakin besar. Pada gambar 4 dan menunjukkan bahwa kenaikan air pori lebih besar dan lebih lama pada percepatan 0,32g dibandingkan 0,25g. Kenaikan air pori tertinggi terjadi pada

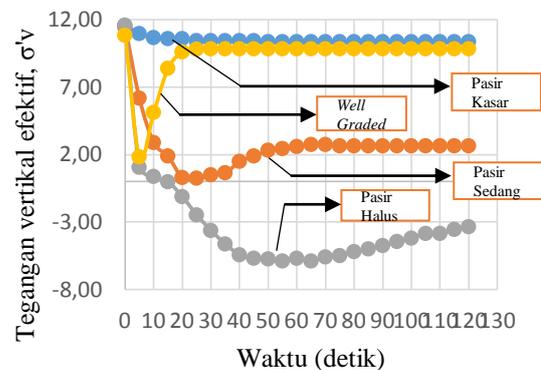
pasir halus gradasi buruk pada 0,25g sebesar 106 mm dan 0,32g sebesar 114 mm.

### c. Perhitungan Tegangan Vertikal Efektif, $\sigma'_v$

Nilai tegangan vertikal efektif dipengaruhi oleh tegangan total tanah dan tegangan air pori. Semakin bertambahnya nilai tegangan air pori maka tegangan vertikal efektif akan semakin kecil.



**Gambar 7.** Grafik Tekanan Vertikal Efektif,  $\sigma'_v$  percepatan 0,25g



**Gambar 8.** Grafik Tekanan Vertikal Efektif,  $\sigma'_v$  percepatan 0,32g

Saat dilakukan pengujian meja getar satu arah, tanah akan mengalami penurunan sedangkan air pori akan meningkat. Nilai tegangan total tanah dapat dihitung pada ketinggian 7,50 cm dari permukaan tanah. Ketinggian didapat dari posisi letak pipa pengukur kenaikan air pori yang terletak pada ketinggian setengah dari tebal tanah timbun pasir. Sedangkan nilai tegangan air pori akan bertambah seiring dengan bertambahnya waktu. Pada kondisi tanah kehilangan kekuatannya, nilai tegangan

vertikal efektif akan sama dengan nol bahkan dalam kondisi ekstrem nilai tegangan vertikal efektif akan bernilai negatif.

#### **d. Penurunan Tanah Gambut**

Hasil pengujian meja getar satu arah pada setiap masing-masing variasi gradasi dan percepatan mengakibatkan berubahnya perilaku tanah gambut sebagai tanah dasar. Hasil penurunan tanah gambut menunjukkan bahwa semakin besar percepatan maka lendutan tanah gambut akan semakin besar.

Hasil dari tegangan vertikal efektif menunjukkan kekuatan tanah yang menurun selama pengujian. Hasil tegangan vertikal efektif dapat melihat potensi likuifaksi yang terjadi pada timbunan tanah pasir dengan tanah gambut sebagai tanah dasar. Dalam penelitian ini potensi likuifaksi dilihat pada timbunan tanah pasir. Namun pada tanah gambut hanya melihat waktu yang paling kritis ketika diberi beban *cyclic* dengan menganalisis tegangan vertikal efektif sama dengan nol ataupun negatif.

#### **V. Kesimpulan**

Kesimpulan dari hasil pembahasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Semakin kecil diameter butiran tanah maka akan semakin besar penurunan total yang akan terjadi. Hal ini ditunjukkan dari hasil penurunan muka tanah bahwa pasir gradasi buruk, pasir halus lebih besar mengalami penurunan dibandingkan dengan pasir sedang, pasir kasar, dan pasir gradasi baik.
2. Hasil pengukuran kenaikan air pori terhadap waktu menunjukkan bahwa pasir halus mengalami kenaikan air pori paling besar dari pada pasir sedang dan kasar. Pasir gradasi baik mengalami kenaikan air pori yang sangat cepat dan cenderung lebih stabil setelahnya.
3. Hasil pengukuran penurunan muka tanah dan kenaikan air pori menunjukkan bahwa semakin besar percepatan maka penurunan muka tanah akan semakin besar dan kenaikan air pori juga semakin besar.

4. Hasil perhitungan tegangan vertikal efektif tanah menunjukkan bahwa pasir gradasi buruk cenderung mengalami potensi likuifaksi. Semakin besar percepatan maka nilai tegangan vertikal efektif akan semakin kecil. Pada pasir halus, nilai tegangan vertikal efektif tanah lebih kecil dari nol. Hal ini menunjukkan bahwa pasir gradasi buruk, pasir halus mengalami likuifaksi. Percepatan 0,25g pada pasir sedang cenderung lebih stabil sedangkan pada percepatan 0,32g mengalami potensi likuifaksi. Pada pasir kasar tidak mengalami likuifaksi. Sedangkan pada pasir gradasi baik cenderung lebih stabil tetapi saat awal mendapatkan beban akan mengalami tegangan vertikal efektif tanah yang signifikan.

#### **VI. Saran**

Pada pengujian selanjutnya agar mendapatkan hasil yang cukup baik, penulis menyarankan :

1. Percepatan yang digunakan agar lebih kecil dari 0,25g dan lebih besar dari 0,32g.
2. Pengujian dilakukan beberapa kali agar mendapat sebaran data yang lebih lengkap, sehingga pola pengamatan dapat ditentukan.
3. Pengamatan sebaiknya menggunakan teknologi sensor atau digital agar mempermudah mendapatkan data yang cukup akurat.

#### **VII. DAFTAR PUSTAKA**

- Gunawan, R. P. (2012). Evaluasi Potensial Likuifaksi Pesisir Pantai Kreueng Raya Aceh Besar Provinsi Aceh. *Jurnal Teknik Sipil*, 12.
- Hasmar, H. A. (2007). *Evaluasi Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Tektonik Lapisan Pasir Jenuh Air dengan Metode Shaking Table (Studi Kasus pada Lapisan Pasir Kali Krasak Yogyakarta)*.

Yogyakarta: Universitas Islam  
Indonesia.

- Hendri Gusti Putra, A. H. (2009). ANALISA POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA PENGUJIAN SONDIR (STUDI KASUS GOR HAJI AGUS SALIM DAN LAPAI, PADANG). *JURNAL REKAYASA SIPIL*, 12.
- Jarayanih. ((2011)). *Geologi dan Studi Potensi Likuifaksi Daerah Srihardono dan Sekitarnya Kecamatan Pundong Kabupaten Bantul Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta*. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran".
- Mase, L. Z. (2013). Studi Eksperimental Potensi Likuifaksi di Kali Opak Imogiri Menggunakan Alat Shaking Table. *Research Gate*, <https://www.researchgate.net/publication/309783143>, 8.
- Muri, A. (2011). *Variasi Beban dan Percepatan Getar untuk Potensi Likuifaksi pada Pasir dengan Uji Model Laboratorium*. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Nugroho, S. A. (2012). Stabilisasi Tanah Gambut Riau Menggunakan Tanah Campuran Non Organik dan Semen Sebagai Bahan Timbun Jalan (Studi Kasus Daerah Tembilahan dan Sungai Pakning). *Dinamika TEKNIK SIPIL/Vol. 12*, 6.
- Pan, T. K. Megawati. 2007. *Potential Seismic Hazard of Sumatra, The Malay Peninsula dan Singapore. Proceeding 4<sup>th</sup> International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. Paper No. 1279*.
- Vesariany, R. (2012). *Potensi Likuifaksi pada Pasir ditinjau dari Gradasi, Ukuran Butiran, dan Kandungan Air dengan Uji Model Laboratorium*. Pekanbaru: Universitas Riau.