

POTENSI LIKUIFAKSI PADA TANAH TIMBUNAN PASIR DIATAS TANAH GAMBUT DENGAN VARIASI BERAT BEBAN MELALUI UJI MODEL LABORATORIUM

Oki Chandra¹⁾, Agus Ika Putra²⁾, Muhamad Yusa²⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : oki.chandra@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Five major earthquakes with magnitudes of more than 8 have affected Sumatra island 250 years ago (Natawidjaja, 2007). Riau province in the middle of Sumatra island is quite prone to get the impact of earthquake. The propagation of these earthquake waves causes geotechnical problems such as liquefaction. Liquefaction research has been done but the liquefaction potential in sand embankment on peat soil has never been done. The peatland in Riau Province is 3.9 million hectares out of 8.7 million hectares of Riau. So that many buildings in the Riau Province is above the peat land bankfilled with sand. This study uses a laboratory model of shaking table with speeds of 0.25 g and 0.32 g. A 0.5x1.0 meter acrylic box is installed on a shaking table and filled with 10 cm thick peat soil, then bankfilled it with 15 cm thick of sand. The peat soil and sand embankment are saturated, then the load is evenly distributed with variations of 40 kg/m², 80 kg/m², and 120 kg/m². Evaluation of liquefaction potential is based on observation of the increment of pore water pressure measured by installing two vertically bankfilled pipe with a depth of 7.5 cm. On the sides of the acrylic box is also installed two rulers to observe the soil settlement. The results of this study indicate that as the given load increased, soil settlement and increase of pore water also increased. The weight of the load is also directly proportional with soil vertical pressure and pore water pressure ratio value.

Keywords: liquefaction, sand, peat soil, pore water pressure, shaking table

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan teori lempeng tektonik, lapisan terluar bumi terpecah menjadi beberapa lempeng tektonik besar dan kecil. Lempeng tektonik adalah segmen keras kerak bumi yang mengapung diatas astenosfer yang cair dan panas sehingga lempeng tektonik ini dapat bergerak dan saling bersinggungan satu sama lain.

Indonesia terletak di antara pertemuan 3 lempeng bumi terbesar yaitu lempeng Hindia Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Lempeng Hindia-Australia bergerak ke utara menunjam kebawah Pulau Sumatera yang merupakan bagian dari Lempeng Eurasia dengan kecepatan 50–60 mm/tahun dengan sekitar 12° (Natawidjaja, 2003). Proses pergerakan lempeng ini menyebabkan pulau Sumatera cukup rawan terjadi gempa bumi, termasuk Kota Pekanbaru yang berada ditengah-tengah pulau Sumatera. Perambatan gelombang gempa ini dapat menyebabkan masalah geoteknik seperti likuifaksi.

Likuifaksi disebabkan peningkatan tegangan air pori akibat adanya getaran. Meningkatnya tegangan air pori menyebabkan tegangan efektif tanah menurun, sehingga tanah tidak mampu menahan beban diatasnya. Likuifaksi terjadi pada tanah pasir yang jenuh air, penelitian likuifaksi sudah

banyak dilakukan untuk tanah pasir, tetapi likuifaksi tanah pasir diatas tanah gambut belum pernah diteliti.

Menurut Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian luas gambut di 3 pulau besar Indonesia adalah 14,9 juta ha. Terutama Provinsi Riau yang memiliki luas wilayah 8.7 juta hektar, 3,9 juta ha-nya adalah lahan gambut. Banyak pembangunan di Provinsi Riau berada diatas tanah gambut yang terdapat dilahan basah seperti cekungan, rawa dan pantai. Lahan ini sepanjang tahun atau dalam waktu yang lama dalam setahun selalu jenuh air (water logged) atau tergenang air, jika lahan ini ditimbun dengan pasir maka sebagian tanah pasir akan terendam air sehingga berpotensi terjadi likuifaksi jika terjadi gempa.

Untuk melihat potensi bahaya likuifaksi timbunan pasir diatas tanah gambut maka perlu dilakukan penelitian melalui model laboratorium. Karena bangunan memiliki berat struktur yang berbeda-beda, maka pada pengujian ini tebal mevariasikan berat beban.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Likuifaksi dapat didefinisikan sebagai perubahan material granular dari bentuk padat menjadi seperti bersifat cair akibat dari naiknya tekanan air pori yang menyebabkan tegangan efektif menurun. Liou (1976) mendefinisikan, bahwa

likuifaksi adalah proses berubahnya tanah granular jenuh dari keadaan padat menuju keadaan berperilaku cair akibat kenaikan tekanan air pori. Seed et al (1975) mendefenisikan, bahwa likuifaksi adalah proses perubahan kondisi tanah pasir yang jenuh air menjadi cair akibat meningkatnya tekanan air pori yang harganya menjadi sama dengan tekanan total oleh sebab terjadinya beban dinamik, sehingga tegangan efektif tanah menjadi nol.

Likuifaksi umumnya terjadi pada tanah yang jenuh air dimana seluruh rongga-rongga dari tanah dipenuhi oleh air. Sebelum mengalami getaran, tekanan air pada suatu tanah secara relatif rendah. Namun, pada saat tanah mengalami getaran, tekanan air dalam tanah meningkat, partikel tanah tertekan oleh air sehingga mempengaruhi kepadatan tanah. Peningkatan tekanan air dalam tanah membuat partikel-partikel tanah dapat bergerak dengan mudah. Setelah digerakkan oleh air, partikel tanah kehilangan kekuatan atau daya dukungnya, sehingga daya dukung tanah sepenuhnya berasal dari tegangan air pori. Kondisi ini membuat butiran pasir benar-benar mengapung bebas dalam air dan tidak lagi memiliki kestabilan sehingga beban-beban struktur bangunan yang berada diatas tanah akan mengalami penurunan pondasi atau bahkan amblas ke dalam tanah.

Tanaka et al, (1991) mengemukakan bahwa bahaya likuifaksi ini dapat ditanggulangi dengan dua teknik yaitu memperbaiki sifat-sifat tanah dan memperbaiki kondisi yang berkaitan

dengan tegangan, deformasi, dan tekanan air pori. Dari penelitian terdahulu, diketahui bahwa peristiwa likuifaksi dan sebaran kerusakan akibat likuifaksi pada umumnya hanya terjadi pada daerah yang terbentuk oleh lapisan sedimen granular yang jenuh air dengan kepadatan yang rendah, dan kemungkinan pergerakan seismik di permukaan melebihi nilai batas ambang tertentu (Seed dan Idriss, 1971). Peristiwa likuifaksi pada lapisan tanah dipengaruhi oleh sifat keteknikan tanah, kondisi lingkungan geologi dan karakteristik gempabumi. Beberapa faktor yang harus dipertimbangkan antara lain ukuran butir, muka air tanah dan percepatan getaran tanah maksimum (Seed dan Idriss, 1971).

Faktor-faktor yang mempengaruhi potensi terjadinya likuidasi adalah:

A. Posisi letak permukaan air tanah

Tanah yang memiliki permukaan air tanah dekat dengan permukaan tanah memiliki kondisi yang berpotensi terjadinya likuifaksi. Potensi terjadinya likuifaksi akan berubah-ubah seiring perubahan letak permukaan air tanah. Secara umum, analisis likuifaksi menggunakan sejarah tingkatan permukaan air tanah tertinggi, kecuali apabila terdapat informasi lain yang menandai adanya suatu tingkat yang lebih tinggi atau lebih rendah.

B. Jenis tanah

Ishihara (1985) mengatakan bahwa tanah yang telah diketahui akan beresiko untuk terjadinya likuifaksi selama gempa bumi dapat

ditemui di dalam lapisan tanah yang terdiri butiran pasir kecil hingga butiran pasir medium serta pasir yang berisi debu yang berplastis rendah. Namun terkadang, terjadi juga kasus-kasus likuifaksi pada tanah yang berkerikil.

Pada umumnya, likuifaksi berpotensi terjadi pada kebanyakan jenis tanah di bumi. sesuai pemaparan diatas, jenis tanah yang rentan terhadap likuifaksi adalah tanah yang bersifat tidak berplastisitas (*non-pasticity*) atau tanah yang berplastisitas rendah (*low plasticity*). Daya tahan terhadap likuifaksi jika diurutkan dari yang paling kecil hingga yang paling besar, maka akan diperoleh data sebagai berikut :

- 1) Pasir bersih
- 2) Pasir berlanau tidak berplastis
- 3) Lanau tidak berplastis
- 4) Kerikil-kerikil

Menurut seed *et al* (1983) berdasarkan pada uji laboratorium dan uji lapangan, mayoritas tanah kohesif tidak akan terlikuifaksi jika terjadi gempa bumi. namun pada tahun 1999, dengan menggunakan kriteria Seed dan Idriss tersebut, Youd dan Gilstrap mengemukakan bahwa tanah kohesif dapat terlikuifaksi jika memenuhi tiga kriteria. Ketiga kriteria yang dimaksud antara lain sebagai berikut :

- 1) Jumlah butiran partikel yang lebih kecil dari 0,005 mm harus kurang dari 15% berat kering tanah tersebut.
- 2) Tanah harus mempunyai suatu batas cair (LL) yang kurang dari 35% ($LL < 35\%$)

- 3) Kadar air (w), tanah harus lebih besar dari 0,9 dari batas cair tanah tersebut ($w > 0,9LL$)

C. Kerapatan relatif (*relative density*)

Berdasarkan uji lapangan, tanah dengan nilai kohesi yang rendah dan memiliki rapat relatif yang rendah memiliki potensi likuifaksi yang tinggi. Kenaikan tegangan air pori pada pasir lepas yang tidak berplastisitas pada saat terjadi gempa akan lebih cepat dibandingkan dengan pasir padat.

Kerapatan relatif tanah (D_r) dapat diperoleh melalui perbandingan suatu tanah dengan kondisi lepas dan padatnya. Kerapatan relatif tanah dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.8 diatas.

D. Gradasi tanah

Tanah dengan gradasi seragam cenderung kurang stabil dibandingkan dengan tanah yang bergradasi baik. Butiran-butiran tanah dengan gradasi baik yang lebih kecil mengisi rongga-rongga yang ada sehingga ruang-ruang pori tanah dapat terisi oleh air. Hal ini dapat mengurangi tekanan air pori pada saat terjadi getaran pada tanah, khususnya getaran yang disebabkan oleh gempa.

E. Tegangan vertikal total (σ_v)

Tegangan vertikal total adalah tegangan pada lapisan tanah yang diakibatkan oleh beban dari tanah yang ada di atasnya tanpa memperhitungkan tegangan air pori (u) yang diakibatkan oleh air. Semakin jauh kedalaman suatu tanah maka semakin besar pula tegangan

vertikal totalnya. Tegangan vertikal total dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_v = \sum (\gamma \cdot h)$$

Dengan :

σ_v = Tegangan vertikal total (kN/m²)

γ = Berat isi lapisan tanah (kN/m³)

h = Tebal lapisan tanah (m)

F. Tegangan vertikal efektif (σ'_v)

Tegangan vertikal efektif adalah tegangan pada lapisan tanah yang diakibatkan oleh beban dari tanah yang ada di atasnya dengan memperhitungkan tegangan air pori yang diakibatkan oleh air (u). Tegangan air pori mengurangi tekanan yang berasal dari beban tanah. Tegangan vertikal efektif dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma'_v = \sigma_v - u$$

Dengan :

σ'_v = Tegangan vertikal efektif (kN/m²)

σ_v = Tegangan vertikal total (kN/m²)

u = Tegangan air pori (kN/m²)

Peningkatan air pori pada suatu nilai tertentu akan menyebabkan nilai ketahanan geser antar butiran tanah menurun secara perlahan hingga pada suatu nilai tegangan geser pada tanah jenuh. Apabila tekanan air pori terus meningkat hingga mencapai nilai batas maksimum dimana ketahanan geser antar butir pasir menjadi nol, maka tanah jenuh tersebut akan mencair.

G. Percepatan di batuan dasar (*Peak Ground Acceleration*)

Percepatan gempa pada batuan dasar dapat ditentukan dengan

menggunakan fungsi atenuase. Fungsi atenuase adalah suatu fungsi yang menggambarkan korelasi antara intensitas gerakan tanah setempat (a), magnitudo gempa (M) serta jarak dari suatu titik dalam daerah sumber gempa (r). Fungsi atenuase sangat bergantung pada kondisi alam di suatu tempat sehingga fungsi atenuase yang berlaku pada suatu tempat belum tentu berlaku pada tempat yang lain.

H. Percepatan di permukaan tanah (*Peak Horizontal Acceleration*)

Perhitungan percepatan gempa di permukaan tanah pada suatu lokasi harus dilakukan dengan menganalisa lapisan tanah pada lokasi tersebut. Percepatan gempa di permukaan tanah akan dipengaruhi secara langsung oleh perubahan percepatan gempa di batuan dasar.

I. Cyclic Stress Ratio (CSR)

CSR merupakan nilai perbandingan antara tegangan geser rata-rata yang diakibatkan oleh gempa dengan tegangan vertikal efektif di tiap lapisan. Besarnya nilai CSR sangat dipengaruhi oleh nilai faktor reduksi. Semakin kecil nilai faktor reduksi maka akan semakin kecil nilai CSR sehingga potensi terjadinya likuifaksi akan semakin kecil. Selain itu, nilai CSR pada suatu lapisan tanah juga sangat dipengaruhi oleh nilai percepatan gempa.

J. Pembebanan

Selain beberapa faktor yang telah disebutkan diatas, berdasarkan penelitian terdahulu berat beban pada tanah juga mempengaruhi terjadinya

likuifaksi dan besarnya dampak yang diakibatkan oleh likuifaksi. Varghes dan Latha, (2015) di dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa peningkatan beban dapat mereduksi potensi terjadinya likuifaksi. Muri, (2010) melakukan pengujian pada tanah pasir jenuh air dengan model laboratorium berupa meja getar dengan memvariasikan berat beban dan kecepatan meja getar mendapatkan kesimpulan bahwa,

- 1) Hasil pengukuran penurunan muka tanah terhadap waktu menunjukkan bahwa semakin bertambah besar beban maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penurunan maksimum akibat likuifaksi cenderung semakin lama. Hasil pengujian penurunan muka tanah juga menunjukkan bahwa semakin bertambah besar beban maka penurunan maksimum dan kepadatan akibat likuifaksi yang terjadi cenderung semakin besar.
- 2) Hasil pengukuran kenaikan air pori terhadap waktu menunjukkan bahwa semakin bertambah besar beban maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kenaikan air pori maksimum cenderung semakin lama. Hasil pengukuran kenaikan air pori maksimum juga menunjukkan bahwa semakin bertambah besar beban maka kenaikan air pori maksimum juga cenderung semakin kecil.
- 3) Hasil perhitungan tegangan vertikal efektif tanah menunjukkan bahwa semakin

bertambah besar beban maka waktu yang dibutuhkan tanah untuk kehilangan daya dukungnya cenderung semakin lama.

Menurut Soelarno et al, sebagaimana dikutip oleh Zulfikar (2008) dan Reza et al (2012) menjelaskan bahwa likuifaksi adalah suatu gejala perubahan sifat tanah yaitu, dari sifat *solid* ke sifat *liquid*. Perubahan sifat ini dapat disebabkan oleh berbagai jenis pembebanan sebagai berikut ini.

- 1) Diakibatkan oleh pembebanan *monotonic* yang biasanya terjadi pada tanah lempung yang mengalami tekanan dari gaya rembesan air atau arus pasang sehingga menimbulkan gejala *quick clay*, sebagai akibatnya tanah lempung kehilangan kekuatan gesernya yang dikenal dengan nama *static liquefaction*.
- 2) Diakibatkan oleh pembebanan *cyclic* yang biasanya terjadi pada tanah pasir jenuh air yang mengalami getaran gempa sehingga pasir kehilangan daya dukungnya yang dikenal dengan *cyclic liquefaction*.
- 3) Diakibatkan oleh pembebanan yang bersifat *shock wave* yang biasa terjadi pada tanah pasir kering berbutir halus yang mengalami getaran gempa yang bersifat *shock wave* atau getaran dari bom sehingga menimbulkan gejala *fluidization* yang berupa longsoran tanah yang dikenal dengan nama *impact liquefaction*

K. Rasio tekanan vertikal tanah dan air pori (ru)

Potensi likuifaksi dapat ditentukan berdasarkan nilai rasio tekanan vertikal tanah dan air pori. nilai ru dapat diperoleh menggunakan persamaan 2.22 berikut :

$$ru = \frac{\Delta u}{\sigma v}$$

Salah satu penelitian terdahulu yang menggunakan konsep ini adalah Gupta (1977) yang melakukan penelitian potensi likuifaksi tanah menggunakan meja getar. Menurut Gupta (1977), likuifaksi dapat terjadi apabila peningkatan tekanan air pori sama dengan atau lebih dari tegangan efektif tanah. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan Yoshimi dan Tokimatsu (1977) dan Liu dan Qiao (1984), menyarankan bahwa nilai $ru=0,6$ dapat dijadikan kondisi kritis terjadinya likuifaksi.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan bak getar satu arah dengan mengunci ketebalan tanah gambut dan timbunan pasir, dan memvariasikan berat beban. Evaluasi potensi likuifaksi didasarkan pada pengamatan kenaikan tekanan air pori dan penurunan tanah.

A. Lokasi

Pengujian karakteristik tanah dan pengujian pemodelan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Riau Pekanbaru, Riau.

B. Peralatan dan Bahan Model Penelitian

- 1) Bak Uji
Dinding bak uji terbuat dari bahan *acrylic* dengan ketebalan 0,5 cm. Dimensi bak uji, panjang 100 cm, lebar 50 cm, dan tinggi 50 cm. Bak uji dipasang diatas meja getar satu arah.
- 2) Meja Getar Satu Arah
Meja getar dibuat menggunakan bahan dasar baja yang dihubungkan menggunakan las dan baut. Meja getar satu arah merupakan model dari gerakan siklik dinamik dari terjadinya tegangan geser pada lapisan tanah pada saat terjadi gempa bumi.
- 3) Beban Pengujian
Beban pengujian yang digunakan berbahan baja dengan berat 40 kg/m², 80 kg/m², 120kg/m².
- 4) Sampel Tanah Gambut
Tanah gambut yang dipakai berasal dari daerah Kampar. Sampel tanah berupa tanah terganggu yang dibawa dari lokasi pengambilan sampel ke laboratorium. Sebelum dipakai untuk pengujian, sampel tanah diuji terlebih dahulu, baik karakteristik maupun sifat fisiknya.
- 5) Sampel Tanah Pasir
Sampel tanah pasir yang dipakai berupa pasir sedang yang lolos saringan nomor 10

dan tertahan saringan nomor 20.

C. Variasi Pengujian

Jumlah total pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah tiga variasi berat beban dan dua variasi percepatan. Setiap pengujian dilakukan sebanyak 2 kali, dengan rincian pengujian seperti yang terlihat di Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Variasi Pengujian

Percepatan	Berat Beban (kg/m ²)		
	40	80	120
0,25g	A1	A2	A3
0,32g	B1	B2	B3

D. Pengujian Pemodelan dengan Menggunakan Meja Getar Satu Arah

Langkah-langkah pengujian pemodelan laboratorium menggunakan meja getar satu arah antara lain sebagai berikut :

- 1) Sebelum pengujian dilakukan, pengujian quality control dilakukan terlebih dahulu. Beberapa parameter yang diperoleh dari hasil pengujian antara lain kadar air, berat volume dan specific gravity.
- 2) Pengujian ini dimulai dengan mengisi bak uji dengan tanah gambut setebal 10 cm yang kemudian dijenuhkan dengan menggunakan air.
- 3) Bak kemudian diisi dengan tanah pasir dengan ketebalan 15 cm kemudian dijenuhkan dengan menggunakan air.
- 4) Memasukan 2 pipa kaca secara vertikal ditengah-tengah

permukaan timbunan pasir sedalam setengah dari kedalaman timbunan pasir.

- 5) Pengamatan dilakukan secara manual, baik pembacaan ketinggian air pori, maupun pembacaan penurunan muka tanah.
- 6) Pengujian dilakukan selama 120 detik dengan pembacaan ketinggian air pori dan pembacaan penurunan muka tanah dilakukan setiap 5 detik.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Karakteristik dan Sifat Fisik Tanah

Pengujian karakteristik dan sifat fisik tanah terdiri dari dua yaitu tanah pasir sebagai tanah timbunan dan tanah gambut sebagai tanah dasar dalam pengujian meja getar.

1) Hasil Pengujian Karakteristik dan Sifat Fisik Tanah Pasir

Penelitian ini menggunakan tanah pasir yang digunakan sebelumnya pada penelitian Rudy Suryadi (2016) tentang Pengaruh Beban Vertikal Terhadap Daya Dukung Lateral Fondasi Tiang. Hasil analisa ukuran butiran metode mekanik pada penelitian tersebut ditunjukkan pada Tabel 2. dibawah ini.

Tabel 2. Hasil pengujian propertis

Pengujian	Nilai
Kadar Air (w)	0,071 %
Berat Jenis (Gs)	2,649
D10	0,190 mm
D30	0,324 mm
D60	0,563 mm
Coefficient of uniform (Cu)	2,96
Coefficient of curvature (Cc)	0,98

Sumber : Rudy Suryadi, 2016

tanah pasir

Dari hasil pengujian propertis pada Tabel 4.1 diatas, didapat nilai $C_u = 2,96$ dan $C_c = 0,98$ maka berdasarkan klasifikasi tanah ASTM D2487 termasuk dalam klasifikasi pasir *poorly graded sand* (SP).

2) Hasil Pengujian Karakteristik dan Sifat Fisik Tanah Gambut

Tanah gambut yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Rimbo Panjang Kabupaten Kampar, Riau. Hasil uji karakteristik dan sifat fisik tanah gambut dapat dilihat pada Tabel 3. berikut :

Tabel 3. Hasil uji karakteristik tanah gambut

Karakteristik Tanah	Satuan	Hasil
Kadar Air, w	gr/cm ³	442,933
Berat Volume		
Basah, γ_b	kN/m ³	1,011
Berat Jenis, Gs		1,48
Kadar Abu, Ac	%	0,797
Kadar Organik, Oc	%	99,203
Kadar Serat	%	1,183

Sumber : Hasil pengujian

Sesuai dengan ASTM D 4427-92 tanah gambut dapat diklasifikasikan berdasarkan kadar serat (Tabel 4.), dan berdasarkan kadar abu (Tabel 5.).

Tabel 4. Klasifikasi gambut berdasarkan kadar serat

Klasifikasi	Keterangan
<i>Fibric</i>	bila kadar serat lebih besar dari 67%
<i>Hemic</i>	bila kadar serat antara 33-67%
<i>Sapric</i>	bila kadar serat lebih kecil dari 33%

Sumber : ASTM D 4427-92

Tabel 5. Klasifikasi gambut berdasarkan kadar abu

Klasifikasi	Keterangan
<i>Low Ash</i>	bila kadar abu $\leq 5\%$
<i>Medium Ash</i>	bila kadar abu antara 5 – 15%
<i>High Ash</i>	bila kadar abu $\geq 15\%$

Sumber : ASTM D 4427-92

Dari hasil pengujian karekteristik dan sifat fisik tanah gambut pada Tabel 3, didapat nilai kadar serat sebesar 1,183 dan kadar abu sebesar 0,797. Maka berdasarkan Tabel 4. dan Tabel 5. tanah gambut yang digunakan pada pengujian ini tergolong *sapric low ash* (kadar abu rendah).

B. Jumlah Siklis Getaran (N Siklik)

Lama pengujian adalah 120 detik, pengukuran kenaikan air pori dan penurunan tanah dilakukan setiap 5 detik. Jika waktu pembacaan dirubah ke jumlah siklis dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Jumlah siklis getaran

Detik	N Siklik	
	0,25 g	0,32 g
0	0	0
5	21	27
10	42	54
15	63	81
20	84	108
25	105	135
30	126	162
35	146	189
40	167	216
45	188	243
50	209	270
55	230	297
60	251	324
65	272	351
70	293	378
75	314	405
80	335	432
85	356	459
90	377	486
95	397	514

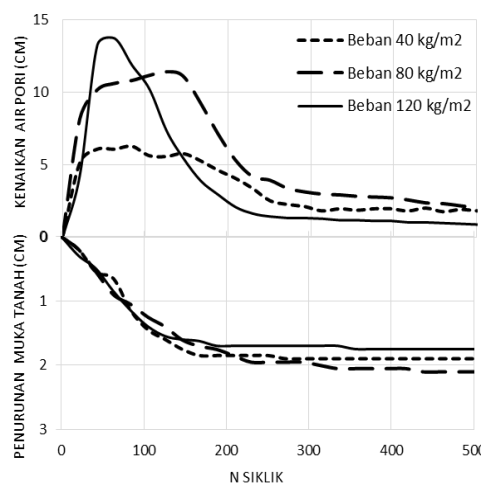
100	418	541
105	439	568
110	460	595
115	481	622
120	502	649

C. Hasil Uji Permodelan Likuifaksi menggunakan Meja Getar 1 Arah

Hasil pengujian menggunakan meja getar mendapat data penurunan muka tanah dan kenaikan air pori. Dari data tersebut dapat dihitung tegangan efektif dan rasio tegangan vertikal dengan air pori (u).

1) Penurunan Muka Tanah Dan Kenaikan Air Pori

Berikut adalah hasil penurunan muka tanah dan kenaikan air pori yang ditampilkan berdasarkan masing-masing variasi percepatan. Gambar 1 untuk percepatan 0,25g dan Gambar 2 untuk 0,32g.



Gambar 1. Grafik hasil pengukuran penurunan muka tanah dan kenaikan air pori percepatan 0,25g

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa penurunan tanah terbesar terjadi pada variasi pengujian berat beban 80 kg/m², dengan penurunan maksimum sebesar 2,10 cm.

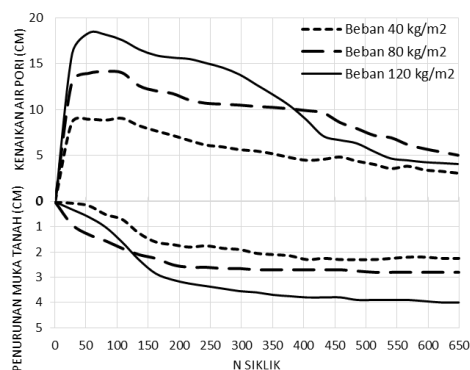
Sementara untuk variasi pengujian berat beban 120 kg/m² justru mengalami penurunan yang paling kecil, dengan nilai penurunan maksimum 1,75 cm. Sedangkan variasi pengujian berat beban 40 kg/m² mengalami penurunan maksimum sebesar 1,90 cm. Muri (2010) didalam penelitiannya menyatakan bahwa besarnya penurunan tanah berbanding lurus dengan penambahan beban. Hasil penelitian tersebut juga sesuai dengan penurunan maksimum variasi pengujian berat beban 80 kg/m² yang lebih besar dibandingkan dengan berat beban 40 kg/m². Sehingga dapat disimpulkan, hasil penurunan tanah pada variasi pengujian berat beban 120 kg/m² terjadi kesalahan dalam proses pengujian.

Pada Gambar 1. dapat dilihat pengujian dengan beban 40 kg/m², puncak kenaikan air pori terjadi pada jumlah siklis ke 84 yaitu 6,30 cm dari elevasi timbunan tanah pasir. Kemudian terus mengalami penurunan hingga ketinggian 2,15 cm pada siklis ke 293. Dari siklis ke 293 hingga ke detik 502 kenaikan air pori stabil yaitu pada rentang 2,15 cm sampai 1,80 cm.

Pada beban 80 kg/m² puncak kenaikan air pori terjadi pada n siklis ke 126 yaitu pada ketinggian 11,4 cm. Kemudian turun drastis sampai ketinggian 3,95 cm pada n siklis ke 251. Mulai pada siklis ke 251 tekanan air pori mengalami penurunan yang tidak terlalu drastis, dan pada pada siklis ke 502 tekanan air pori berada pada ketinggian minimum yaitu 2,05 cm.

Pada beban 120 kg/m^2 puncak kenaikan air pori terjadi pada siklus ke 63 yaitu pada ketinggian 13,7 cm. Dari siklus ke 63 tekanan air pori mengalami penurunan drastis hingga pada siklus ke 230 tekanan air pori berada pada ketinggian 1,65 cm. Kemudian dari siklus ke 230 hingga pengujian selesai tekanan air pori relatif stabil dari 1,45 cm pada siklus ke 251, hingga 0,9 cm pada siklus ke 502.

Dari hasil pembacaan grafik tekanan air pori pada Gambar 1. di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin besar variasi berat beban pengujian, maka semakin tinggi pula kenaikan air pori maksimum yang terjadi. Yaitu, kenaikan air pori maksimum pada beban 40 kg/m^2 setinggi 6,30 cm, beban 80 kg/m^2 setinggi 11,40 cm, dan beban 120 kg/m^2 setinggi 13,70 cm. Penambahan berat beban juga berbanding lurus dengan kecepatan tekanan air pori menuju maksimum.



Gambar 2. Grafik hasil pengukuran penurunan muka tanah dan kenaikan air pori percepatan $0,32g$

Penurunan muka tanah pada pengujian dengan variasi kecepatan $0,32g$ seperti pada Gambar 2. menunjukkan bahwa, pengujian dengan berat beban 40 kg/m^2

mengalami penurunan maksimum sebesar 2,25 cm, beban 80 kg/m^2 sebesar 2,80 cm, dan beban 120 kg/m^2 sebesar 4,00 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa besar penurunan yang terjadi pada likuifaksi berbanding lurus dengan berat beban.

Pada Gambar 2. dapat dilihat pengujian dengan beban 40 kg/m^2 , tekanan air pori langsung naik drastis pada siklus 0 sampai siklus ke 27 yaitu pada ketinggian 8,55 cm. Kemudian tekanan air pori stabil hingga ketinggian maksimum 9,00 cm pada siklus ke 108. Dari detik siklus ke 108 tekanan pori terus mengalami penurunan sampai pada ketinggian 3,05 cm pada waktu siklus ke 649.

Pada beban 80 kg/m^2 sama dengan variasi pengujian beban 40 kg/m^2 , tekanan air pori langsung naik drastis pada siklus 0 sampai siklus ke 27 yaitu setinggi 12,95 cm. Kemudian relatif stabil sampai ketinggian maksimum 14,10 cm pada siklus ke 81. Mulai pada siklus ke 81 tekanan air pori terus mengalami penurunan, dan pada pada siklus ke 649 tekanan air pori berada pada ketinggian minimum yaitu 5,00 cm.

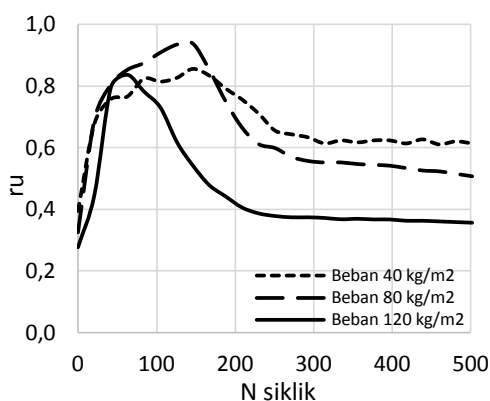
Pada beban 120 kg/m^2 juga mengalami kenaikan air pori drastis pada siklus 0 sampai siklus ke 27 yaitu pada ketinggian 16,10 cm. Dari siklus ke 27 langsung mencapai ketinggian maksimum pada siklus ke 54 yaitu setinggi 18,35 cm. Kemudian dari siklus ke 54 hingga pengujian selesai tekanan air terus mengalami penurunan sampai 4,05 cm pada siklus ke 649.

Berdasarkan hasil pembacaan grafik tekanan air pori variasi percepatan 0,32g seperti pada Gambar 4.3 di atas. Yaitu, kenaikan air pori maksimum pada beban 40 kg/m² setinggi 9,00 cm, beban 80 kg/m² setinggi 14,10 cm, dan beban 120 kg/m² setinggi 18,35 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar berat beban pada tanah maka semakin tinggi pula tekanan air pori maksimum yang terjadi.

2) Rasio Tekanan Vertikal Tanah dengan Tekanan Air Pori (r_u)

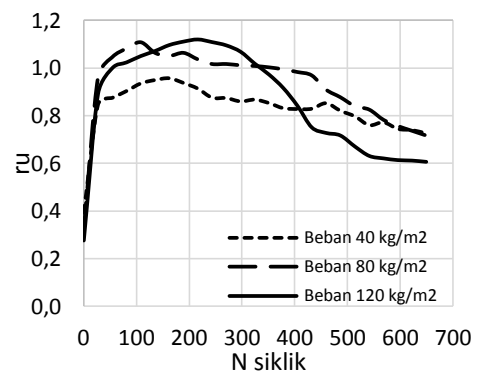
Rasio tekanan vertikal tanah dengan tekanan air pori didasarkan pada hasil penelitian Yoshimi dan Tokimatsu (1977) dan Liu dan Qiao (1984), yang menyarankan bahwa nilai $r_u=0,6$ dapat dijadikan kondisi kritis terjadinya likuifaksi.

Hasil perhitungan nilai rasio tekanan vertikal tanah dengan tekanan air pori (r_u) pada pengujian variasi percepatan 0,25g dapat dilihat pada Gambar 3. dan untuk percepatan 0,32g pada Gambar 4.



Gambar 3. Grafik rasio tekanan vertikal tanah dengan tekanan air pori (r_u) pada pengujian variasi percepatan 0,25g

Hasil rasio tekanan vertikal tanah dengan tekanan air pori (r_u) pada pengujian variasi percepatan 0,25g seperti yang pada Gambar 3. menunjukkan bahwa, variasi beban 80 kg/m² memiliki rasio tekanan vertikal tanah dengan tekanan air pori (r_u) maksimum paling besar yaitu 0,94 pada siklus ke 146. Sedangkan hasil pengujian dengan variasi beban 120 kg/m² hanya memiliki r_u maksimum sebesar 0,84 pada siklus ke 63 dan variasi beban 40 kg/m² dengan r_u maksimum 0,86 pada siklus ke 146. Berdasarkan nilai r_u maksimum pada hasil pengujian ini, maka pengujian dengan beban 80 kg/m² memiliki potensi likuifaksi paling besar dibandingkan dengan beban 40 kg/m² dan 120 kg/m². Akan tetapi dari hasil keseluruhan pada pengujian variasi percepatan 0,25g ini, nilai rasio tekanan vertikal tanah dengan tekanan air pori (r_u) maksimum setiap variasi beban lebih besar dari 0,6. Nilai ini sudah



memenuhi syarat terjadinya likuifaksi.

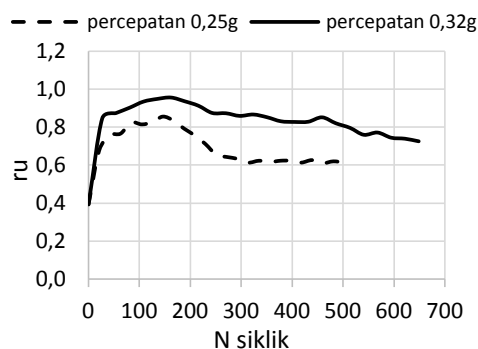
Gambar 4. Grafik rasio tekanan vertikal tanah dengan tekanan air pori (r_u) pada pengujian variasi percepatan 0,32g

Sedangkan pada pengujian dengan percepatan 0,32g seperti pada Gambar 4. menunjukkan bahwa,

semua variasi berat beban pada saat rentang siklis 27 sampai dengan 649 memiliki nilai ru lebih besar dari 0,8. Sehingga dapat disimpulkan bahwa seluruh variasi berat beban pada kecepatan 0,32g terjadi likuifaksi. Nilai ru maksimum pada variasi berat beban 40 kg/m^2 yaitu sebesar 0,96 pada saat siklis ke 162, beban 80 kg/m^2 sebesar 1,11 pada saat siklis ke 108, dan beban 120 kg/m^2 sebesar 1,12 pada saat siklis ke 2,16. Dari hasil ru maksimum tersebut, maka bisa disimpulkan bahwa pengujian dengan berat beban terbesar memiliki potensi likuifaksi tertinggi.

3) Nilai ru pada variasi berat beban yang sama dengan percepatan berbeda

Nilai ru setiap variasi pembebanan yang sama pada pengujian dengan percepatan yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 5. untuk beban 40 kg/m^2 , Gambar 6. untuk beban 80 kg/m^2 , Gambar 7.

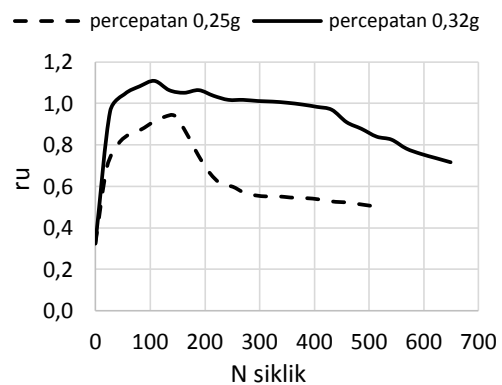


untuk beban 120 kg/m^2 .

Gambar 5. Grafik ru vs n siklik variasi beban 40 kg/m^2

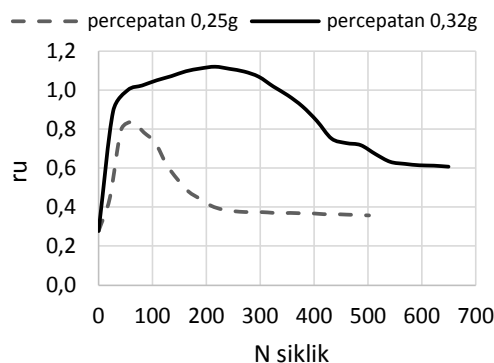
Pada Gambar 5. dapat diketahui bahwa rasio tekanan vertikal tanah dengan tekanan air pori (ru) untuk beban 40 kg/m^2

memiliki nilai yang lebih tinggi pada pengujian dengan percepatan 0,32g dibandingkan dengan percepatan 0,25g. Pada percepatan 0,32g memiliki rasio tekanan vertikal tanah dengan tekanan air pori (ru) maksimum 0,96 sedangkan untuk percepatan 0,25g hanya 0,86. Hasil ini membuktikan bahwa semakin besar percepatan meja getar maka semakin besar pula rasio tekanan vertikal tanah dengan tekanan air pori (ru) maksimum.



Gambar 6. Grafik ru vs n siklik variasi beban 80 kg/m^2

Nilai rasio tekanan vertikal tanah dengan tekanan air pori (ru) pada Gambar 4.9 menunjukkan pola grafik yang sama dengan Gambar 6. bahwa percepatan yang besar juga menghasilkan nilai ru yang tinggi. Nilai ru maksimum untuk beban 40 kg/m^2 pada percepatan 0,25g adalah 0,94 dan percepatan 0,32g adalah 1,11.



Gambar 7. Grafik ru vs n siklik variasi beban 120 kg/m^2

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa nilai rasio tekanan vertikal tanah dengan tekanan air pori (ru) untuk beban 120 kg/m^2 juga memiliki pola yang sama dengan grafik pada Gambar 4.8 dan Gambar 7. Nilai ru maksimum pada percepatan 0,25g adalah 0,84 dan percepatan 0,32g sebesar 1,12.

Dari hasil nilai rasio tekanan vertikal tanah dengan tekanan air pori (ru) pada variasi beban yang sama dan percepatan berbeda disimpulkan bahwa percepatan meja getar sangat berpengaruh terhadap likuifaksi. Semakin besar percepatan meja getar maka semakin besar pula nilai ru yang didapat.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengukuran kenaikan air pori terhadap n siklis menunjukkan bahwa semakin besar berat beban pada tanah maka kenaikan air pori

maksimum yang terjadi semakin besar.

2. Hasil pengukuran penurunan muka tanah terhadap n siklis menunjukkan semakin besar berat beban, tanah cenderung memerlukan waktu yang lebih cepat untuk mencapai penurunan maksimum.
3. Hasil perbandingan variasi percepatan getar menunjukkan bahwa semakin besar percepatan getar yang terjadi mengakibatkan kenaikan air pori dan penurunan muka tanah yang lebih besar.
4. Hasil perbandingan variasi percepatan dengan beban yang sama menunjukkan bahwa semakin besar percepatan meja getar maka semakin besar nilai ru yang didapat.
5. Hasil rasio tekanan vertikal tanah dengan tekanan air pori menunjukkan bahwa semakin besar berat beban dan percepatan meja getar maka semakin besar pula potensi terjadinya likuifaksi.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, agar penelitian selanjutnya memperoleh hasil yang lebih baik, maka disarankan :

1. Pengamatan pada pengujian menggunakan peralatan atau teknologi sensor atau digital, baik untuk mengamati kenaikan air pori maupun penurunan tanah sehingga diperoleh data yang lebih akurat.
2. Melakukan pengujian *Quality Control* tanah sebelum dan

sesudah pengujian pada meja getar.

3. Agar sebaran data yang didapat lebih lengkap, perulangan pengujian sebaiknya dilakukan lebih banyak lagi sehingga pola pengamatan dapat ditentukan lebih mudah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldi, M. (2011). *Variasi Beban dan Percepatan Getar untuk Potensi Likuifaksi pada Pasir dengan Uji Model Laboratorium*. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Gunawan, R. P. (2012). *Evaluasi Potensial Likuifaksi Pesisir Pantai Kreueng Raya Aceh Besar Provinsi Aceh*. Jurnal Teknik Sipil, 12.
- Ishihara, K., Yamasaki, A. and Haga, K. 1985. *Liquefaction of Ko consolidated sand under cyclic rotation of principal stress direction with lateral constraint*. Soils and Foundations, 25(4), pp. 63-74.
- Jarayanih. ((2011)). *Geologi dan Studi Potensi Likuifaksi Daerah Srihardono dan Sekitarnya Kecamatan Pundong Kabupaten Bantul Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta*. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran".
- Liu, H., Qiao, T., 1984, *Liquefaction Potential of Saturated Sand Deposits Underlying Foundation of Structure*, Proceedings 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, California, Vol. 3, pp. 199-206.
- Natawidjaja, D. H. (2007). *Gempabumi dan Tsunami di Sumatra dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup Yang Aman Dari Bencana Alam*.
- Seed, H. B., Idriss, I. M., and Arango, I., (1983), *Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data*, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 109, No. GT3 [online], USA. Seed, H. B., and Idriss, I. M., (1971), *Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential*, Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 97 (9) [online], 1249-1273.
- Siahaan, S. P. (2015). *Percobaan Potensi Likuifaksi pada Tanah Pasir Seragam dengan Permodelan Alat di Laboratorium*. Padang: Universitas
- Tanaka, Y., Nakajima, Y., and Tsuboi, H. 1991. *Liquefaction control works*. Symposium on Control of Soil Liquefaction, Japanese Society of Soil Mechanic and Foundation Engineering., Tokyo, 33–38 (in Japanese).
- Vesariany, R. (2012). *Potensi Likuifaksi pada Pasir ditinjau dari Gradasi, Ukuran Butiran, dan Kandungan Air dengan Uji Model Laboratorium*. Pekanbaru: Universitas Riau
- Varghes, R.M., Latha, G.M., 2014. *Shaking Table Studies on the Conditions of Sand Liquefaction*. Geo-Congress

2014 *Technical Papers, GSP*
234 © ASCE 2014

- Yoshimi, Y., and Tokimatsu, K.,
1977, *Settlement of Building on*
Saturated Sand During
Earthquake, *Journal of Soils*
and Foundations, vol. 17, no. 1.
- Youd, T.L., and Idriss, I.M., 2001.
Liquefaction resistance of
soils: summary report from the
1996 NCEER and 1998
NCEER/NSF workshops on
evaluation of liquefaction
resistance of soils. Journal of
Geotechnical and
Geoenvironmental
Engineering, Vol. 127 (4), 297-
313.