

Potensi Likuifaksi Pasir Seragam Berdasarkan Tegangan Air Pori Dan Ukuran Butiran (*Laboratory Model*)

Risayanti¹✉, Abdul Hakam²

²Universitas Andalas

¹Universitas Bung Hatta

risayanti@bunghatta.ac.id

Abstract

Analysis to determine the potential for liquefaction in a soil deposit can be done through soil parameters such as grain size and pore water pressure. This study aims to determine the behavior of uniform sandy soil to the increase in pore water pressure due to cyclic loading and its potential for liquefaction due to changes in pore water pressure. The samples tested were uniform sand retained on the sieves #20, #40, #60, #100 and #200 taken from the sieve shaker test, then each saturated sample was included in the test apparatus. From the tests, it carried out on uniform sand with several variations of soil grain size, it is known that when a cyclic load is applied, the increase in pore water pressure is different for each soil grain size. The largest change in pore water pressure occurred in the fine-grained uniform sand sample, which was retained on sieve no. 100 and no. 200 with a change in pore water pressure of 0.28 kg/cm² and 0.27 kg/cm². The increase in pore water pressure is accompanied by a decrease in the effective soil stress. So it can be seen that the fine-grained uniform sand sample has more potential for liquefaction, namely the sample retained on sieve no. 100 with an effective stress reduction of 91.19% and no. 200 with an effective stress reduction of 89.66%. The uniform sand sample retained on sieve no. 60 has a lower liquefaction potential compared to the finer sized sample because it has a reduction in effective stress of 58.47%, but tends to change in pore water pressure which is quite large. The uniform sand sample retained on sieve no. 20 and no. 40, have no potential for liquefaction during the test. The effective stress reduction in this sample is 18.46% and 32.31%, respectively.

Keywords: pore water pressure, grain size, liquefaction, uniform sand, soil parameters.

Abstrak

Analisis untuk mengetahui potensi likuifaksi pada suatu deposit tanah dapat dilakukan melalui parameter tanah seperti ukuran butiran dan tekanan air pori. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku tanah pasir seragam terhadap kenaikan tekanan air pori akibat beban siklik serta potensinya terhadap likuifaksi akibat dari perubahan tekanan air pori tersebut. Sampel yang diujikan adalah pasir seragam yang tertahan pada saringan #20, #40, #60, #100 dan #200 yang diambil dari uji ayakan, kemudian masing-masing sampel yang dalam kondisi jenuh dimasukkan dalam alat pengujian. Dari pengujian yang dilakukan pada pasir seragam dengan beberapa variasi ukuran butiran tanah diketahui bahwa saat beban siklik diberikan kenaikan tekanan air pori berbeda pada masing-masing ukuran butiran tanah. Perubahan tekanan air pori terbesar terjadi pada sampel pasir seragam berbutir halus yaitu tertahan pada saringan #100 dan #200 dengan perubahan sebesar 0,28 kg/cm² dan 0,27 kg/cm². Meningkatnya tekanan air pori tentu disertai dengan penurunan tegangan efektif tanah. Maka dapat diketahui bahwa sampel pasir seragam berbutir halus lebih berpotensi terjadinya likuifaksi yaitu sampel yang tertahan pada saringan #100 dengan pengurangan tegangan efektif 91,19% dan #200 dengan pengurangan tegangan efektif 89,66%. Sampel pasir seragam yang tertahan pada saringan #60 memiliki potensi likuifaksi yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel yang berukuran lebih halus karena mengalami pengurangan tegangan efektif 58,47%, namun memiliki kecenderungan perubahan tekanan air pori yang cukup besar. Sampel pasir seragam yang tertahan pada saringan #20 dan #40, tidak memiliki potensi terhadap likuifaksi selama pengujian dilakukan. Tegangan efektif pada sampel ini berkurang sebesar 18,46% dan 32,31%.

Kata kunci: tekanan air pori, ukuran butiran, likuifaksi, pasir seragam, parameter tanah.

CEC is licensed under a Creative Commons 4.0 International License.



1. Pendahuluan

Indonesia merupakan wilayah dengan aktivitas seismik yang tinggi, karena posisi Indonesia terletak pada perpotongan empat lempeng utama tektonik bumi, lempeng tersebut antara lain: lempeng Pasifik, Filipina, Eurasia, dan Indo-Australia. Sehingga saat melakukan perencanaan pembangunan di Indonesia harus risiko yang ditimbulkan oleh gempa bumi harus diperhitungkan. Risiko yang menjadi perhatian tidak

hanya risiko yang terjadi pada saat struktur bangunan gedung mengalami keruntuhan, tetapi juga risiko kegagalan struktur tanah yang menopang beban-beban yang ada di atasnya. Likuifaksi merupakan salah satu bencana yang harus diwaspadai ketika gempa terjadi. Kerusakan pada struktur tanah yang menyebabkan perubahan perilaku tanah sangat berbahaya terhadap konstruksi yang ada di atas struktur tanah tersebut [1], [2], [3]. Gempa 30 september 2009 yang meluluh lantakkan sebagian besar wilayah Sumatera Barat

menyebabkan terjadinya beberapa peristiwa likuifaksi di beberapa daerah, khususnya daerah yang berada sepanjang pesisir pantai. Hal ini telah analisis oleh beberapa peneliti sebelumnya seperti [4], [5], [6]. Tidak semua jenis tanah memiliki potensi terhadap likuifaksi ketika gempa terjadi. Ada beberapa kriteria tertentu dari indeks properti tanah yang menjadi acuan untuk menganalisa besarnya potensi tanah tersebut terlikuifaksi seperti dijelaskan oleh Seed & Idriss serta Das [7], [8], namun potensi terbesar dimiliki oleh jenis tanah pasir lepas dengan ukuran butiran seragam yang jenuh air. Maka penelitian ini bertujuan untuk membahas perilaku tanah pasir seragam dengan berbagai ukuran butiran terhadap kenaikan tekanan air pori serta menganalisisnya terhadap potensi likuifaksi dengan pemodelan di laboratorium. Hubungan parameter tanah terhadap probabilitas adalah pertambahan nilai N-SPT berkorelasi dengan penurunan nilai probabilitas. Probabilitas likuifaksi diatas 85% terjadi pada rentang nilai N-SPT 0-20, sedangkan dibawah 85% terjadi pada rentang nilai N-SPT 20-50. Pertambahan nilai magnitudo gempa berkorelasi dengan tingginya nilai probabilitas likuifaksi [9]. Secara umum, likuifaksi berpotensi terjadi pada kedalaman 0 sampai 6 meter, meskipun pada titik penyelidikan tertentu likuifaksi juga berpotensi terjadi pada kedalaman 7,5 sampai 8,5 meter. Analisis probabilitas likuifaksi menunjukkan bahwa semakin besar faktor aman, maka probabilitas likuifaksi menjadi semakin kecil. Hasil analisis ini juga menunjukkan bahwa probabilitas kritis untuk $FS = 1$, bernilai 0,54 (54%) [10]. Potensi likuifaksi terjadi pada lapisan pasir di kedalaman yang bervariasi dan pengaruh percepatan tanah puncak terhadap potensi likuifaksi akibat gempa bumi Sesar Lembang lebih besar daripada gempa bumi subduksi. Mempertimbangkan ketebalan lapisan pasir, penurunan tanah total akibat likuifaksi dapat mencapai 40,66 cm akibat gempa bumi Sesar Lembang dan penurunan tanah total hingga 26,08 cm akibat gempa bumi di zona subduksi [11]. Hasil pengujian di laboratorium, jenis tanah yang didapat pada lokasi tersebut yaitu CL dan CL-ML. Sedangkan untuk hasil pengujian lapangan, nilai N_{sw} di daerah tidak terdampak berkisar antara 0-250 n/m, nilai N_{sw} untuk daerah terdampak berkisar antara 8-72 n/m, nilai q_a di daerah tidak terdampak berkisar antara 0-230 kN/m², nilai q_a untuk daerah terdampak berkisar antara 0-167,6 kN/m², nilai q_u untuk daerah tidak terdampak berkisar antara 30-180 kN/m², dan nilai q_u untuk daerah terdampak berkisar antara 30-133,2 kN/m² [12]. Gempa 7 SR sudah mampu memicu likuifaksi ($SF < 1,0$) di Desa Air Bangis dan Desa Sasak sedangkan simulasi Gempa Padang tahun 2009 (7,9 SR) menunjukkan potensi likuifaksi di Desa Tiku adalah $SF = 0,53 - 0,95$; Desa Air Bangis $SF = 0,51 - 0,97$ dan Desa Sasak $SF = 0,45 - 0,95$ [13]. Bahaya ikutan gempa salah satunya adalah likuifaksi. Menyadari kondisi geologi ini pemerintah D.I. Yogyakarta mempertimbangkan dan

memperhitungkan risiko dengan melakukan upaya mitigasi. faktor keamanan terhadap likuifaksi lapisan 1 (0-1m) FS kritis di Mw 3.7, lapisan 2 (1-6m) FS kritis di Mw 4.5, lapisan 3 (6-9 m) FS kritis di Mw 3.8, lapisan 4 (9-13 m) FS kritis di Mw 3.5 dan lapisan 5 (13-20 m) FS kritis di Mw 3.0. Menginterpretasi likuifaksi daerah tersebut maka dalam pengembangan wilayah ini harus memperhatikan bahaya gempa dan bahaya likuifaksi [14]. Metode MASW menghasilkan profil Vs dan Vs30 di setiap lokasi yang menunjukkan bahwa lapisan tanah di wilayah Cekungan Bandung dapat diklasifikasi dalam kelas situs E dan D. Sedangkan berdasarkan hasil analisis potensi likuifaksi menggunakan profil Vs, dengan mempertimbangkan percepatan tanah puncak yang dihasilkan oleh Sesar Lembang (M w 6,5), mengindikasikan bahwa lapisan pasir di dalam endapan danau purba mempunyai potensi likuifaksi pada kedalaman dan ketebalan yang bervariasi. Lapisan pasir dengan nilai Vs < 175 m/detik yang menyebabkan potensi likuifaksi di daerah Bojongemas lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lainnya. Hasil penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan hasil analisis likuifaksi berdasarkan metode uji penetrasi standar dari hasil penelitian terdahulu [15]. Potensi likuifaksi di kawasan Underpass YIA menunjukkan bahwa lapisan tanah pasir berpotensi mengalami likuifaksi pada kedalaman 1 m hingga 6 m dari permukaan tanah pada sisi timur (titik bor BH01, BH02) dan mulut underpass sisi barat (BH05). Pada sisi barat (titik bor BH03 dan BH04), lapisan tanah pasir di lokasi Underpass YIA tidak berpotensi likuifaksi. Berdasarkan analisis LPI menunjukkan seluruh kawasan Underpass YIA rentan terhadap ancaman likuifaksi ($LPI > 5$) jika terjadi gempa bumi dengan nilai percepatan muka tanah maksimum (a_{max}) lebih dari 0,44g [16].

2. Metodologi Penelitian

2.1. Likuifaksi

Ketika beban siklik diberikan pada tanah pasir, maka akan terjadi peningkatan tegangan antar elemen tanah yang diikuti dengan peningkatan tekanan air pori pada tanah tersebut. Peningkatan tekanan air pori pada tanah pasir dapat menyebabkan partikel-partikel tanah bergerak dengan mudah, pergerakan partikel tanah ini menyebabkan hilangnya kekuatan tanah sehingga akan sangat berpengaruh pada daya dukung tanah [17]. Pada tanah pasir lepas dimana permeabilitasnya sangat besar, peningkatan tekanan air pori dapat langsung terjadi sesaat beban siklik diberikan yang menyebabkan tegangan efektif mengalami penurunan secara drastis karena adanya perubahan tegangan-regangan pada tanah [18]. Berbeda halnya dengan jenis tanah semi-permeabilitas, yang membutuhkan waktu untuk terjadinya peningkatan tekanan air pori [19]. Secara teori dapat dijelaskan bahwa ketika nilai tekanan air pori sama atau lebih besar dari tegangan efektif, maka perilaku dari tanah akan berubah menjadi likuid, fase ini dikenal dengan peristiwa likuifaksi.

Likuifaksi pada deposit tanah dapat dituliskan dalam persamaan matematika disajikan pada Persamaan (1).

$$\sigma' = \sigma - u - \Delta u \leq 0 \quad (1)$$

Dimana σ' adalah Tegangan efektif, sedangkan σ adalah Tegangan total, u merupakan Tegangan air pori dan Δu adalah Perubahan tegangan air pori.

Perubahan perilaku tanah menjadi likuid ini tentunya sangat membahayakan bagi konstruksi. Kramer (1996) menjelaskan beberapa efek dari likuifaksi antara lain [20]:

- Lateral Spreading
- Lateral Flow
- Sand Boils
- Penurunan yang besar
- Instability

Terjadinya likuifaksi dapat disebabkan beberapa faktor, seperti karakteristik getaran, jenis tanah, tinggi muka air tanah, distribusi ukuran butiran, Kepadatan relatif (Dr), drainase dan dimensi deposit, serta kemampuan drainase. Analisa potensi likuifaksi suatu daerah dapat dilakukan menggunakan data lapangan dan data laboratorium. Analisa menggunakan data lapangan sudah sangat umum dilakukan seperti data SPT dan CPT [21], [22], [23], [24]. Analisis dengan data laboratorium pun telah banyak dilakukan dengan berbagai metode [25], [26], [27], dan terus dikembangkan.

2.2. Analisa Ukuran Butiran

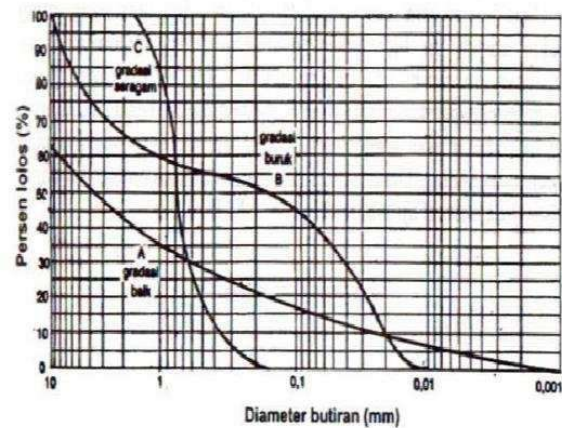
Pada tanah pasir distribusi ukuran butiran sangat penting diketahui untuk mendapatkan nilai koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c). Tanah dikategorikan bergradasi baik apabila koefisien gradasi (C_c) antara 1 dan 3, dengan C_u lebih besar dari 4 pada kerikil dan lebih besar dari 6 pada pasir, sedangkan kategori bergradasi sangat baik bila $C_u > 15$. Untuk pasir seragam merupakan jenis tanah bergradasi buruk. Penentuan jenis tanah berdasarkan ukuran butiran juga dapat dilakukan berdasarkan batasan-batasan yang oleh beberapa organisasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran Butiran

Organisasi	Kerikil	Ukuran Butiran (mm)		
		Pasir	Lanau	Lempung
MIT	> 2	2 - 0,06	0,06-0,002	< 0,002
USDA	> 2	2 - 0,05	0,05-0,002	< 0,002
AASHTO	76,2 - 2	2 - 0,075	0,075-0,002	< 0,002
USCS	76,2-4,75	4,75-0,075		< 0,075

Sifat-sifat suatu tanah tertentu umumnya tergantung kepada ukuran butiran yang dimiliki. Sehingga pengukuran besar butiran tanah merupakan suatu percobaan yang sangat sering dilakukan dalam bidang geoteknik. Metode pemisahan butiran tanah sesuai ukuran dilakukan menggunakan uji ayakan / saringan

sesuai dengan ASTM D-1140 yang nantinya akan diperoleh kurva distribusi ukuran butiran dari suatu deposit tanah seperti yang disajikan pada Gambar 1. Prosedur ini dikenal dengan analisis mekanis tanah.



Gambar 1. Kurva Distribusi Ukuran Butiran

2.3. Kepadatan Relatif (Dr)

Kepadatan relatif (Dr) merupakan suatu parameter tanah yang digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kepadatan pada tanah granuler yaitu pasir dan kerikil dan sangat mempengaruhi sifat tanah granuler tersebut [28]. Persamaan untuk menghitung kepadatan relatif sangat berkaitan dengan nilai angka pori yang dimiliki tanah disajikan pada Persamaan (2).

$$Dr = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (2)$$

Namun pengujian untuk mendapatkan angka pori sulit dilakukan sehingga persamaan (2) diturunkan berdasarkan nilai berat volume kering, karena pengujian untuk mendapatkan nilai berat kering dalam kondisi maksimum dan minimum dinilai lebih mudah dilakukan. Rumus menghitung kepadatan relatif disajikan pada Persamaan (3).

$$Dr = \left[\frac{\gamma_d(max)}{\gamma_d} \right] \left[\frac{\gamma_d - \gamma_d(min)}{\gamma_d(max) - \gamma_d(min)} \right] \quad (3)$$

Dimana e adalah angka pori lapangan, e_{max} merupakan angka pori maksimum sedangkan e_{min} angka pori minimum, γ adalah berat volume lapangan, γ_{max} adalah berat volume maksimum, γ_{min} merupakan berat volume minimum dan Dr adalah kerapatan relatif.

Tabel 2. Tabel Kondisi Tanah Granular

Kepadatan Relatif (Dr)	Kondisi Tanah
0 – 15	Sangat Lepas
15 – 50	Lepas
50 – 70	Menengah
70 – 85	Padat
85 – 100	Sangat Padat

Keadaan tanah berbutir kasar dapat dijelaskan berdasarkan kepadatan relatifnya seperti yang disajikan pada Tabel 2.

2.4. Konsep Tegangan Efektif Vertikal

Tegangan vertikal total merupakan tegangan pada lapisan tanah yang diakibatkan oleh beban tanah yang ada di atasnya tanpa mempertimbangkan tekanan air pori yang diakibatkan oleh air. Nilai dari tegangan total akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman peninjauan. Rumus menghitung tegangan total disajikan pada Persamaan (4).

$$\sigma_v = \Sigma(\gamma \times z) \quad (4)$$

Dimana σ_v merupakan tegangan vertikal total, γ adalah berat volume lapisan tanah dan z merupakan kedalaman titik tinjau.

Sementara itu tegangan efektif merupakan tegangan yang ada pada lapisan tanah akibat dari beban tanah yang ada di atasnya dengan mempertimbangkan pengaruh tegangan air pori yang diakibatkan oleh air. Tegangan air pori akan menyebabkan tekanan yang berasal dari beban tanah menjadi berkurang. Rumus menghitung tegangan efektif disajikan pada Persamaan (5).

$$\sigma'_v = \sigma_v - u \quad (5)$$

Dimana σ'_v adalah tegangan vertikal efektif, sedangkan σ_v tegangan vertikal total dan u merupakan tegangan air pori.

Prinsip tegangan efektif pada suatu deposit tanah telah dijelaskan oleh Terzaghi (1923). Menurut Terzaghi analisis tegangan efektif ini hanya dapat dilakukan pada tanah dalam kondisi jenuh. Melalui konsep tegangan efektif ini, analisis mengenai tegangan air pori dalam tanah dapat dilakukan.

2.5. Pelaksanaan Pengujian

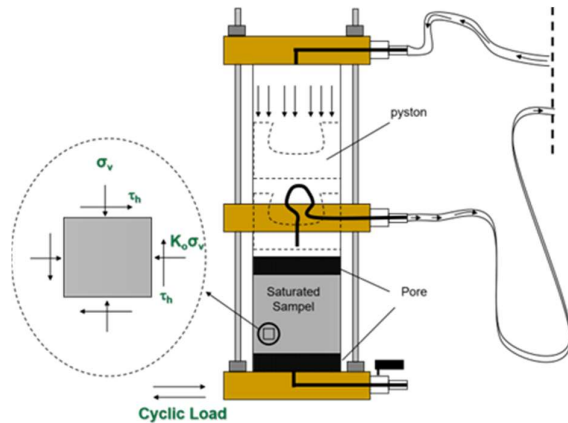
- Pengujian parameter tanah yang dilakukan antara lain berat volume, sudut geser tanah, berat jenis, dan kerapatan relatif. Untuk kerapatan relatif yang direncanakan adalah $Dr = 30\%$.
- Persiapan sampel dilakukan dengan cara menyaring tanah pasir sehingga didapatkan gradasi butiran pasir yang seragam. Ukuran sampel yang diambil disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Ukuran Sampel

No. Sampel	Ukuran sampel (mm)	Tertahan saringan No.
Sampel 1	0,850 – 2,000	20
Sampel 2	0,425 – 0,850	40
Sampel 3	0,250 – 0,425	60
Sampel 4	0,150 – 0,250	100
Sampel 5	0,075 – 0,150	200

c. Simulasi pengujian

Simulasi pengujian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Simulasi Pengujian di laboratorium

3. Hasil dan Pembahasan

Pada pengujian parameter tanah, masing-masing sampel memiliki nilai parameter seperti yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Tabel Pengujian Parameter Tanah

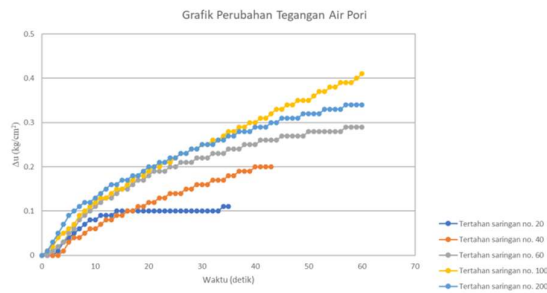
No. Sampel	γ_{min} (g/cm ³)	γ_{max} (g/cm ³)	Gs	ϕ_{min}	ϕ_{max}
Sampel 1	1,223	1,332	2,385	36,55	44,53
Sampel 2	1,221	1,342	2,458	31,83	34,85
Sampel 3	1,154	1,314	2,466	31,21	33,66
Sampel 4	1,208	1,371	2,524	30,53	33,06
Sampel 5	1,082	1,273	2,601	29,90	31,83

Dari data parameter tersebut dapat dihitung berat sampel yang akan diuji pada masing-masing ukuran untuk mendapatkan kerapatan relatif rencana 30% seperti yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Tabel Data berat sampel pada $Dr = 30\%$

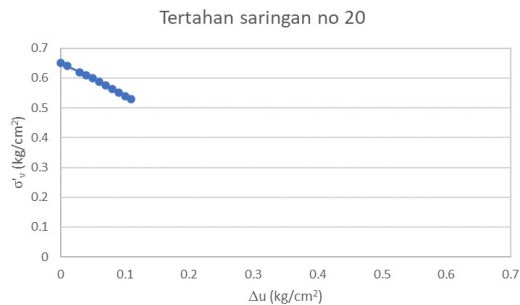
No. Sampel	Berat Sampel $Dr = 30\%$ (gr)
Sampel 1	1232,57
Sampel 2	1232,56
Sampel 3	1173,69
Sampel 4	1227,62
Sampel 5	1110,95

Besar kenaikan tekanan air pori saat pengujian dilakukan pada masing-masing ukuran butiran dapat dilihat seperti yang disajikan pada Gambar 3. Terlihat bahwa pada waktu yang sama yaitu saat 35 detik, sampel yang berukuran butiran 0,85 - 2,00 mm atau tertahan pada saringan no.20 mengalami perubahan tegangan air pori yang cukup rendah yaitu sebesar 0,1 kg/cm². Pada sampel dengan ukuran butiran 0,425 - 0,85 mm atau yang tertahan pada saringan no.40 perubahan tegangan air pori yang terjadi sebesar 0,18 kg/cm². Sampel dengan ukuran butiran 0,25 - 0,425 mm atau tertahan pada saringan no.60 mengalami perubahan tegangan air pori sebesar 0,24 kg/cm².

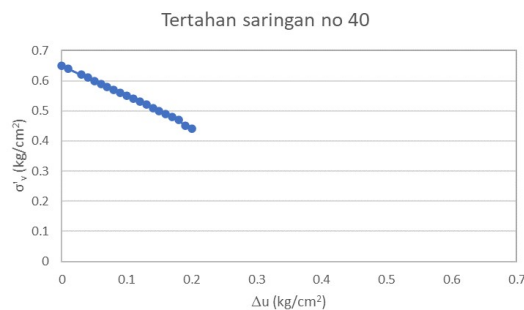


Gambar 3. Grafik perubahan tegangan air pori

Sampel dengan ukuran butiran 0,15 - 0,25 mm atau tertahan pada saringan no.100 mengalami perubahan tegangan air pori cukup besar yaitu sebesar 0,28 kg/cm². Begitu juga dengan sampel dengan ukuran butiran 0,075 - 0,15 mm atau tertahan pada saringan no.200 mengalami perubahan tegangan air pori yang cukup besar yaitu 0,27 kg/cm². Untuk menganalisa tingkat kerentanan sampel terhadap terjadinya likuifaksi, perlu dilakukan analisis terhadap perubahan pada tegangan efektif pada masing-masing sampel tanah akibat terjadinya peningkatan tegangan air pori selama pengujian seperti terlihat pada grafik-grafik dibawah ini.

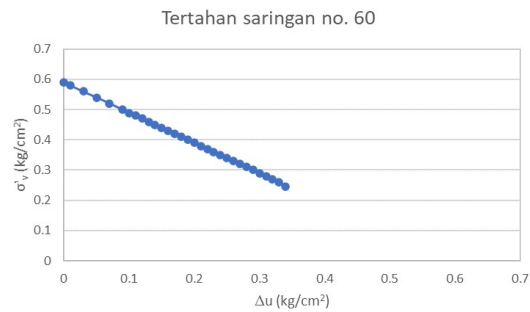


Gambar 4. Grafik tegangan efektif sampel 1



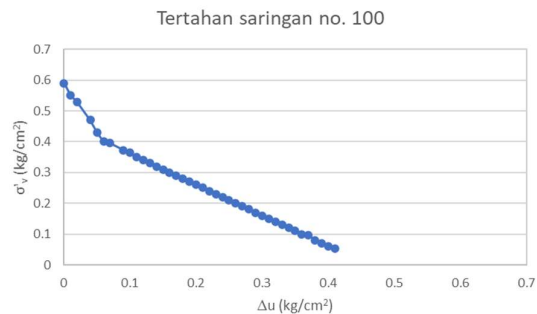
Gambar 5. Grafik tegangan efektif sampel 2

Dari grafik tegangan efektif diatas dapat terlihat bahwa berdasarkan ukuran butirannya tanah pasir memiliki potensi likuifaksi yang beragam. Hal ini dapat dianalisa dari penurunan nilai tegangan efektif selama beban siklik diberikan. Pada sampel dengan ukuran butiran 0,85 - 2,00 mm dan 0,425 - 0,85 mm disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

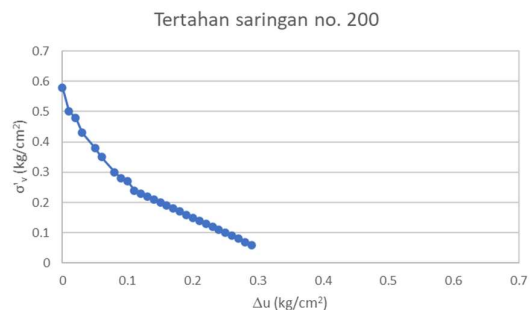


Gambar 6. Grafik tegangan efektif sampel 3

Tegangan efektif yang dimiliki selama beban siklik diberikan masih sangat besar, serta perubahan tekanan air pori yang terjadi sangat kecil. Sehingga sampel yang tertahan pada saringan no 20 dan no 40 dikategorikan pada jenis tanah yang tidak rentan terhadap likuifaksi. Sementara pada sampel dengan ukuran butiran 0,25 - 0,425 mm disajikan pada Gambar 6, selama pengujian dilakukan masih memiliki nilai tegangan efektif yang relatif besar, namun kecenderungan berubahnya nilai angka pori juga cukup besar. Sehingga untuk sampel tanah yang tertahan saringan no 60 memiliki potensi untuk terlikuifaksi apabila waktu dan jumlah beban siklik yang diberikan lebih banyak.



Gambar 7. Grafik tegangan efektif sampel 4



Gambar 8. Grafik tegangan efektif sampel 5

Sedangkan pada sampel dengan ukuran butiran 0,15 - 0,25 mm dan 0,075 - 0,15 mm disajikan pada Gambar 7 dan Gambar 8, mengalami penurunan tegangan efektif yang sangat besar hingga mendekati nol dan

tingginya peningkatan tagangan pori yang hampir sama dengan tegangan totalnya, ini membuktikan jenis sampel yang tertahan pada saringan no. 100 dan no. 200 sangat rentan untuk terlikuifaksi.



Gambar 9. Grafik Penurunan deposit tanah

Likuifaksi menyebabkan hilangnya daya dukung dari deposit tanah yang ditandai dengan terjadinya penurunan yang besar pada deposit tanah akibat dari perubahan perilaku tanah yang terjadi, seperti yang disajikan pada Gambar 9, yang menunjukkan penurunan yang terjadi pada masing-masing sampel tanah setelah beban siklik diberikan. Penurunan yang sangat besar terjadi pada sampel pasir seragam berbutir halus yaitu sebesar 0,638 cm, sedangkan penurunan paling kecil terjadi pada sampel pasir seragam berbutir kasar yaitu sebesar 0,065 cm.

4. Kesimpulan

Berdasarkan ukuran butiran, tanah pasir seragam memiliki potensi terlikuifaksi yang beragam. Sampel pasir seragam berbutir halus lebih berpotensi terjadinya likuifaksi yaitu sampel yang tertahan pada saringan no. 100 dan no. 200, karena pada sampel ini terjadi peningkatan tegangan air pori yang sangat besar yang menyebabkan tegangan efektif tanah berkurang sangat besar. Peningkatan tegangan air pori pada sampel ini hampir mendekati tegangan totalnya. Sampel pasir seragam yang tertahan pada saringan no. 60 memiliki potensi likuifaksi yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel yang tertahan pada saringan no 100 dan 200, namun memiliki kecenderungan perubahan tegangan air pori yang cukup besar.

Daftar Rujukan

- [1] Lu, C. W. (2017). A simplified calculation method for liquefaction-induced settlement of shallow foundation. *Journal of Earthquake Engineering*, 21 (8), 1385 – 1405 <https://doi.org/10.1080/13632469.2016.1264327>
- [2] Liu, F., Li., Z., Jiang, M., Frattini, P., & Crosta, G. (2016). Quantitative liquefaction-induced lateral spread hazard mapping. *Engineering Geology*, 207, 36 – 47
- [3] Verdugo, R., & Gonzalez, J. (2015). Liquefaction-induced ground damages during the 2010 Chile earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 79 (Part B), 280-295.
- [4] Hakam, A., & Darjanto, H. (2013). Penelusuran Potensi Likuifaksi Pantai Padang Berdasarkan Gradasi Butiran dan Tahanan Penetrasi Standar. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol 20(1), 33–38, ISSN 0853-2982. <https://doi.org/10.5614/jts.2013.20.1.4>
- [5] Liliwanti. (2018). Informasi Titik-Titik Likuifaksi akibat Gempa Bumi di Kota Padang. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil (JIRS)*, 15(1), 17-23. <https://doi.org/10.30630/jirs.15.1.86>
- [6] Mutmainah, H. (2021). Potensi Likuifaksi di Pesisir Barat Sumatera Menggunakan Sondir. *SEBATIK*, 25(2), 704-714. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v25i2.1630>
- [7] Seed, H. B., & Idriss, I.M.,. (1982). Ground Motion and Soil Liquefaction During Earthquake. *Berkeley: Earthquake Engineering Research Institute*.
- [8] Das, B. M. (1983). *Fundamental of Soil Dynamics*. New York: Elsevier Pub.
- [9] Ansori, Ahmad & Artati, Hanindya. (2022). Prokons: Jurnal Teknik Sipil Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Berdasarkan Data Insitu Test Menggunakan Metode Probabilitas. *International Journal of Civil Engineering*. 15. 71-80. <http://dx.doi.org/10.33795/prokons.v15i2.349>
- [10] Mase, Lindung & Krisnandi, Andri. (2016). Analisis Potensi Likuifaksi Di Kelurahan Lempuing Kota Bengkulu Menggunakan Percepatan Maksimum Kritis. *Potensi*. 25. 2016. <http://dx.doi.org/10.35313/potensi.v18i1.525>
- [11] Febriana, Rima & Feranie, Selly & Tohari, Adrin. (2020). Analisis Potensi Likuefaksi di Daerah Cekungan Bandung Berdasarkan Data Standard Penetration Test (SPT). *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*. 11. 25 – 39. <http://dx.doi.org/10.34126/jlbg.v11i1.277>
- [12] Setiawan, Hendra & Kurniawan, Sigit. (2021). Karakteristik Tanah Terdampak Dan Tidak Terdampak Likuifaksi Berdasarkan Uji Swedish Weight Sounding Pada Kelurahan Petobo. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*. 13. 1-7. <http://dx.doi.org/10.33369/jts.13.1.1-7>
- [13] Mutmainah, Herdiana. (2021). Potensi Likuifaksi Di Pesisir Barat Sumatera Menggunakan Sondir. *Sebatik*. 25. 704-714. <http://dx.doi.org/10.46984/sebatik.v25i2.1630>
- [14] Suciati, Amalia & Yudiantoro, Dwi & Purwanto, Purwanto. (2022). Potensi Likuifaksi Pada Perencanaan Pembangunan Gedung Di Desa Triharjo, Wates, Kulon Progo, D.I. Yogyakarta. *Kurvatek*. 7. 31-42. <http://dx.doi.org/10.33579/krvtk.v7i1.2294>
- [15] Dewi, Nur & Tohari, Adrin & Muttaqien, Imamal. (2020). Evaluasi Potensi Likuifaksi di Wilayah Cekungan Bandung Berdasarkan Metode Analisis Multi-Sensor Gelombang Permukaan. *Riset Geologi dan Pertambangan*. 30. 241-256. <http://dx.doi.org/10.14203/risetgeotam2020.v30.1131>
- [16] Rahman, Muhamad & Fathani, Tf & Rifa'i, Ahmad & Hidayat, Mochammad. (2020). Analisis Tingkat Potensi Likuifaksi Di Kawasan Underpass Yogyakarta International Airpor. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*. 16. 91. <http://dx.doi.org/10.25077/jrs.16.2.91-104.2020>
- [17] Hakam, A., Yuliet, R., Risayanti., Putra, H. G., & Sunaryo. (2019). Foundation stability on sandy soil due to excessive pore water pressure: laboratory observations. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 361 (2019) 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/361/1/012011>
- [18] Al-Karni, A. A. (2006). Effect of Pore Water Pressure on Stress-Strain Characteristics of dense Sand. *GeoShanghai International Conference*.
- [19] Cassiophea, L. (2014). Hubungan Variasi Angka Pori dengan Penurunan Konsolidasi Tanah Lempung.
- [20] Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

- [21]Tini., Tohari, A., & Iryanti, M. (2017). Analisis Potensi Likuiifikasi Akibat Gempa Bumi Menggunakan Metode SPT (Standar Penetration Test) Dan Cpt (Cone Penetration Test) Di Kabupaten Bantul, Yogyakarta. *Wahana Fisika*, 2(1), 8-27. <https://doi.org/10.17509/wafi.v2i1.7022>
- [22]Mina, E., Kusuma, R. I., & Muzaky, . A. (2020). Analisis Potensi Likuiifikasi Berdasarkan Data Penyelidikan Tanah Standard Penetration Test (SPT) (studi kasus di cross taxiway timur Bandara Soekarno – Hatta Tangerang). *TEKNIKA: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 16(1), 128–135. <http://dx.doi.org/10.36055/tjst.v16i1.8261>
- [23]Ansori, A. L., & Artati, H. K. (2021). Analisis Potensi Likuiifikasi Akibat Gempa Bumi Berdasarkan Data Insitu Test Menggunakan Metode Probabilitas. *PROKONS : Journal Of Civil Engineering*, 15(2), 71-80. <http://dx.doi.org/10.33795/prokons.v15i2.349>
- [24]Ndoj, A., Shkodrani, N., & Hajdari, V. (2014). Liquefaction-Induced Ground Deformations Evaluation Based on Cone Penetration Tests (CPT). *World Journal of Engineering and Technology*, 2(4), 249-259. <http://dx.doi.org/10.4236/wjet.2014.24026>
- [25]Dewi, N. A., Tohari, A., & Muttaqien, I. (2020). Evaluasi Potensi Likuiifikasi di Wilayah Cekungan Bandung Berdasarkan Metode Analisis Multi-Sensor Gelombang Permukaan. *RISSET*, 30(2),241-255. <http://dx.doi.org/10.14203/risetgeotam2020.v30.1131>
- [26]Chandra, O., Putra, A. I., & Nograho, S.A., (2017). Potensi Likuiifikasi Pada Tanah Timbunan Pasir di Atas Tanad Gambut Dengan Variasi Berat Beban Melalui Uji Model Laboratorium. Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Infrastruktur – I .
- [27]Laia, B. (2015). Pengaruh Kerapatan Tanah Pasir Kali Opak Pleret Yogyakarta Terhadap Potensi Likuiifikasi Berdasarkan Uji Shaking Table. *Jurnal INERSIA*, 7(1), 40-49. <http://dx.doi.org/10.46964/inersia.v7i1.541>
- [28]Herwandi., Marsudi., & Aprianto. (2017). Pengaruh Gradasi dan Kepadatan Relatif (DR) Terhadap Nilai Permeabilitas Tanah Pasir. *JeLAST : Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 4(4), 1-13. <http://dx.doi.org/10.26418/jelast.v4i4.21075>