

Analisis Parameter Dinamik Tanah pada Tanah Pasir yang Berpotensi Likuifaksi

Utari Sriwijaya Minaka¹⁾, Ghina Amalia¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Universitas Indo Global Mandiri
Jalan Jenderal Sudirman No. 629 KM 4,5 Palembang, Sumatera Selatan
Email : utari.minaka@uigm.ac.id, ghina@uigm.ac.id

ABSTRACT

Shear modulus and damping ratio are two well-known dynamic properties of soil when subjected to cyclic loading. These values are influenced by several things, including groundwater level and soil stiffness. Since soil dynamic properties value varies by liquefaction, there is a need for laboratory research to specifically investigate the effect of degree of saturation and number of loads on shear modulus and damping ratio of sand. Cyclic Triaxial and Centrifuge tests were conducted to determine shear modulus and damping ratio under cyclic loading. For the Cyclic Triaxial test, Sekarsuli sand with 49,20% density, 50%, 75%, 100% degree of saturation, and two types of loading (10 and 20 cyclic) were used. Centrifuge test was conducted using 4 layers of Toyoura sand with 60% density, fully saturated, and two types of shaking (24 Hz and 30 Hz). The results revealed that shear modulus value increased as depth increased. The greater the number of cyclic applied, the shear modulus value increased, while the value of the damping ratio decreased. Centrifuge test also showed that, under fully saturated condition, the greater load applied, soil stiffness gradually decreased and shear strain increased. This resulted in the decrease in shear modulus and increase damping ratio value.

Keywords : shear modulus, damping ratio, cyclic triaxial test, centrifuge test, degree of saturation

ABSTRAK

Parameter dinamik tanah berupa modulus geser dan rasio redaman merupakan respon tanah dalam menerima beban siklik. Nilai modulus geser dan rasio redaman tanah dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya adalah kedalaman muka air tanah dan kekakuan tanah. Kondisi ini mempengaruhi perubahan nilai parameter dinamik tanahnya, oleh karena itu dibutuhkan penelitian laboratorium untuk mengetahui pengaruh perubahan derajat kejenuhan dan pembebanan terhadap nilai modulus geser dan rasio redaman tanah pasir. Uji triaksial siklik dan uji sentrifugal dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai modulus geser dan rasio redaman tanah dalam menerima beban siklik. Uji triaksial menggunakan pasir Sekarsuli dengan kerapatan 49,20%, derajat kejenuhan 50%, 75%, 100% dan variasi pembebanan 10 dan 20 siklik. Uji sentrifugal menggunakan 4 lapisan pasir Toyoura dengan kerapatan 60%, derajat kejenuhan 100%, variasi pembebanan 24 Hz dan 30 Hz. Hasil penelitian menunjukkan nilai modulus geser mengalami kenaikan setiap bertambahnya kedalaman. Semakin besar jumlah siklik yang diaplikasikan nilai modulus geser mengalami kenaikan sedangkan nilai rasio redaman mengalami penurunan. Hasil pengujian sentrifugal juga menunjukkan bahwa dalam kondisi tanah jenuh sempurna semakin besar pembebanan yang diberikan kekakuan tanah perlahan menurun dan regangan yang terjadi semakin besar, maka nilai modulus gesernya menurun sedangkan nilai rasio redamannya mengalami kenaikan.

Kata Kunci : modulus geser, rasio redaman, uji triaksial siklik, uji sentrifugal, derajat kejenuhan

1. Pendahuluan

Pada tanggal 27 Mei 2006 terjadi gempa bumi tektonik dengan kekuatan 6,3 Mw di Daerah Istimewa Yogyakarta yang menyebabkan terjadinya fenomena likuifaksi tanah seperti semburan pasir (sand boils) dan sebaran tanah lateral (lateral spreads). Berbagai macam metode uji laboratorium telah dikembangkan untuk menyelidiki tegangan berulang (cyclic stress) sebagai simulasi gelombang geser akibat gempa yang menyebabkan terjadinya likuifaksi pada tanah jenuh air (Jafarzadeh dan Yanagisawa, 1996). Respon tanah ketika mengalami tegangan berulang akibat gempa berbeda pada tiap kondisi tanah. Pada pembebanan berulang, modulus geser dan rasio redaman merupakan parameter penting

yang menggambarkan perilaku tanah pada saat itu. Nilai modulus geser dan rasio redaman suatu jenis tanah dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya adalah kedalaman muka air tanah, dimana ketika mengalami beban siklik kenaikan muka air tanah akan mengakibatkan kenaikan tegangan air pori yang dapat memicu terjadinya likuifaksi (Hardin dan Black, 1968; Dowrick, 2009).

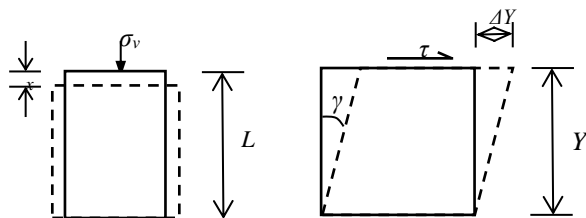
Penelitian mengenai perilaku tanah yang berpotensi likuifaksi saat terjadi gempa perlu dilakukan agar dapat diketahui bagaimana perubahan nilai parameter dinamik tanah tersebut dengan derajat kejenuhan yang bervariasi. Penelitian ini menggunakan metode empiris menggunakan data indeks propertis tanah dari hasil uji laboratorium dan data hasil uji N-SPT (*Standard*

Penetration Test) di lapangan, uji triaksial siklik, dan uji sentrifugal untuk memperoleh nilai parameter dinamik tanah yang berpotensi likuifaksi selama mengalami beban siklik. Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah Toyoura Sand untuk uji sentrifugal dan uji triaksial siklik menggunakan tanah pasir di daerah perbatasan Kabupaten Sleman dan Bantul yang pada gempa 2006 yang lalu mengalami likuifaksi.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Modulus Geser

Perilaku tegangan regangan pada tanah menurut Lambe dan Whitman (1979) dapat merepresentasikan parameter berupa modulus elastisitas (E) dan modulus geser (G). Modulus elastisitas merupakan perbandingan tegangan yang terjadi pada tanah terhadap regangan aksialnya. Regangan aksial merupakan perbandingan deformasi vertikal dengan tinggi awal. Modulus geser adalah rasio antara tegangan geser yang diterima dengan regangan geser yang terjadi. Gambar 1 menunjukkan skema modulus elastisitas dan modulus geser pada tanah.



Gambar 1. Representasi modulus elastisitas dan modulus geser pada tanah (Lambe dan Whitman, 1979)

Tegangan vertikal (σ_v) menghasilkan regangan vertikal (ϵ) dari perubahan panjang dibagi tinggi awal (x/L) sehingga modulus elastisitas (*Young's modulus*) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$E = \frac{\delta\sigma_v}{\delta\epsilon} \tag{1}$$

dengan E = modulus elastisitas (kPa)
 σ_v = tegangan vertikal (kPa)
 ϵ = regangan vertikal (%)

Tegangan geser (τ) mengakibatkan terjadinya regangan geser (γ). Pada Gambar 2 terlihat regangan geser didapatkan dari perbandingan deformasi akibat tegangan geser dibagi tinggi awal ($\Delta Y/Y$), sehingga untuk kondisi elastis berdasarkan hukum Hooke, persamaan modulus geser adalah:

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \tag{2}$$

dengan G = modulus geser (MPa)
 τ = tegangan geser (MPa)
 γ = regangan geser (%)

Lambe dan Whitman (1979) juga memberikan hubungan modulus elastisitas dan modulus geser seperti persamaan berikut:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \tag{3}$$

dengan ν adalah nilai *poisson's ratio* tanah. Nilai *poisson's ratio* merupakan koefisien perbandingan nilai deformasi tegak lurus sumbu aksial dengan nilai regangan aksial tanah saat dibebani.

Modulus geser merupakan salah satu sifat dinamik tanah yang harus dipertimbangkan dalam evaluasi respon dinamik akibat pergerakan tanah (Seed dkk., 1982). Nilai modulus geser tergantung pada faktor-faktor lain diantaranya jenis tanah, tekanan yang terjadi, tingkat regangan dinamik, derajat kejenuhan, frekuensi beban, dan jumlah siklus pembebanan dinamik (Hardin dan Black, 1968).

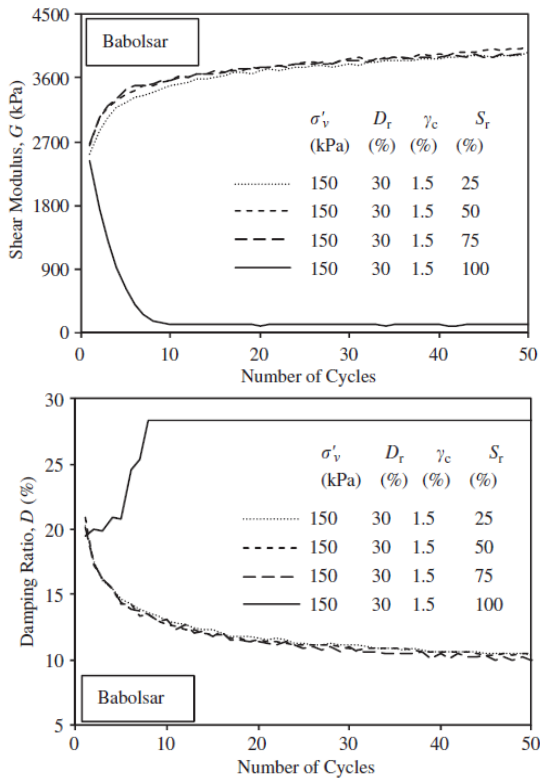
2.2 Redaman dan Rasio Redaman

Redaman (*damping*) adalah suatu besaran yang menyatakan tahanan terhadap gerakan pada suatu sistem dinamik dan merupakan sifat fisik dari suatu sistem yang dinyatakan dalam persen. Redaman juga merupakan peristiwa pelepasan energi (*dissipation energy*) oleh suatu struktur sebagai akibat dari adanya gerakan antar molekul di dalam material, atau akibat adanya gesekan dengan udara (Paz, 1993).

Pembebanan siklik pada tanah pasir baik aksial maupun geser selalu menghasilkan peristiwa *hysteresis* (Dowrick, 2009). Jafarzadeh dan Yanagisawa (1996) menjelaskan bahwa peristiwa *hysteresis* pada tanah pasir disebabkan oleh adanya regangan plastis akibat perubahan posisi antar butiran pasir. Nilai redaman biasanya dinyatakan dalam persen terhadap nilai redaman kritis yang disebut sebagai rasio redaman.

2.3 Pengaruh Derajat Kejenuhan Terhadap Rasio Redaman dan Modulus Geser Tanah

Jafarzadeh dan Sadeghi (2012) melakukan pengujian terhadap pasir Toyoura dan pasir Babolsar mengenai pengaruh perubahan derajat kejenuhan terhadap nilai parameter dinamik. Pengujian dilakukan dengan kondisi tanah pasir jenuh sebagian sampai jenuh menggunakan uji geser siklik sederhana. Kondisi sampel dengan derajat kejenuhan antara 25% sampai 75%, dimana pori tanah terisi dengan air dan udara, tidak terdapat perubahan nilai modulus geser dan rasio redaman yang signifikan, tetapi pada sampel dengan derajat kejenuhan 100% memiliki kecenderungan nilai yang berbeda (Gambar 2).



Gambar 2. Hubungan modulus geser dan rasio redaman dengan jumlah siklik (Jafarzadeh dan Sadeghi, 2012)

2.4 Perilaku Tanah Pasir Akibat Beban Siklik

Perilaku tegangan regangan pada tanah pasir dititikberatkan pada dua hal utama yaitu modulus geser dan rasio redaman. Tohwata (2008) menyatakan nilai modulus geser pada tanah akan menurun dengan adanya peningkatan amplitudo regangan, dan nilai rasio redaman yang didapatkan dari kurva hysteresis loop meningkat dengan meningkatnya amplitudo regangan meskipun dalam kenyataannya perilaku tanah akibat pembebanan sangat kompleks.

Hubungan tegangan regangan dalam pembebanan siklik berupa *hysteresis loop*, yang mengindikasikan adanya energi yang terserap atau hilang atau teredam tiap siklus tegangan. Perilaku deformasi dan keruntuhan pasir tak terdrainase tergantung pada angka pori awal, kondisi tegangan efektif awal, dan amplitudo tegangan geser. Kenaikan tekanan air pori pada pasir terjadi pada saat peningkatan jumlah pembebanan, tetapi saat diberikan beban siklik yang sama peningkatan regangan geser pada pasir yang lebih padat menjadi lebih kecil (Mithchell dan Soga, 2005).

3. Metode Penelitian

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dua tahap, pertama di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Gadjah Mada dan yang kedua di Soil and Geoenvironmental Laboratory Ehime University, Matsuyama, Jepang. Sampel tanah pasir yang digunakan pada pengujian tahap satu diambil di Dusun Sekarsuli, Kecamatan Berbah, Kabupaten

Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pengujian tahap dua menggunakan pasir Toyoura.

3.2 Prosedur Penelitian

1. Pengujian sifat fisik tanah pasir meliputi uji gradasi butiran (ASTM D 1140-00), uji kadar air (ASTM D 2216-98), dan uji berat jenis dan berat volume (ASTM C-29).
2. Uji Triaksial Siklik
Pengujian ini mengikuti ASTM D 3999-91 dengan tekanan keakang sebesar 100 kPa. Sampel memiliki kerapatan relatif (*Dr*) seperti keadaan aslinya di lapangan sebesar 49,20%. Pengujian dilakukan dengan variasi derajat kejenuhan dan jumlah siklik yang akan diaplikasikan. Derajat kejenuhan yang digunakan adalah 50%, 75%, dan 100%. Variasi jumlah siklik yang diaplikasikan adalah 10 dan 20 dengan frekuensi 1 Hz.
3. Uji Sentrifugal

Tanah pasir yang digunakan adalah pasir Toyoura dengan kerapatan relatif (*Dr*) 60% dan derajat kejenuhan 100%. Sampel tanah menggunakan model dengan skala 1:50, dimana ukuran model 50 kali lebih kecil dari ukuran sebenarnya. Beban gempa atau dalam uji sentrifugal ini disebut *shaking* diberikan dengan frekuensi sebesar 24 Hz dan 30 Hz.

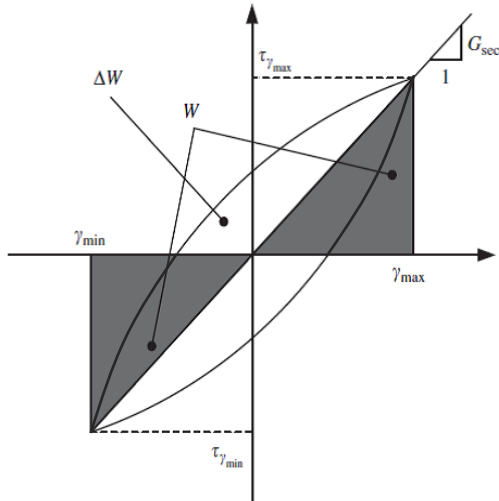
3.3 Perhitungan Parameter Dinamik Tanah

Uji triaksial siklik dan uji sentrifugal menghasilkan kurva *hysteresis loop* yang digunakan untuk menghitung nilai modulus geser (*G*) dan rasio redaman (*D*). Nilai modulus geser digambarkan sebagai secant modulus pada titik yang paling ekstrim pada hysteresis loop saat faktor redaman sebanding dengan luas area hysteresis loop seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai modulus geser dan rasio redaman dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$G = \frac{\tau_c}{\gamma_c} = \frac{\tau_{\gamma_{max}} - \tau_{\gamma_{min}}}{\gamma_{max} - \gamma_{min}} \tag{4}$$

$$D = \frac{\Delta W}{2\pi W} = \frac{A_{Loop}}{2\pi G[(\gamma_{max} - \gamma_{min})/2]^2} \tag{5}$$

- dengan *G* = modulus geser (kPa)
D = rasio redaman (%)
A_{Loop} = area *hysteresis*



Gambar 3. Skema perhitungan parameter dinamik menggunakan hysteresis loop (Jafarzadeh dan Sadeghi, 2012)

4. Hasil Dan Pembahasan

Hasil pengujian sifat fisik tanah pasir Sekarsuli dan Toyoura dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

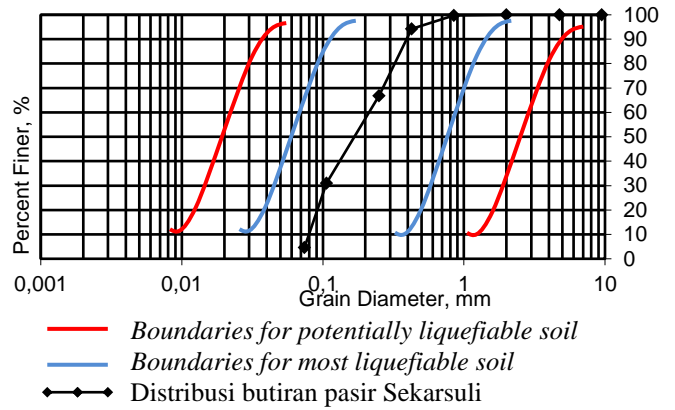
Tabel 1. Rekapitulasi data sifat fisik tanah pasir Sekarsuli

Sifat fisik tanah	Simbol	Nilai	Satuan
Kadar air	w	24,87	%
Berat volume basah	γ_b	1,873	gr/cm ³
Berat volume kering	γ_d	1,495	gr/cm ³
Specific gravity	G _s	2,78	-
Angka pori	e	0,824	-
Angka pori maks	e _{maks}	1,009	-
Angka pori min	e _{min}	0,633	-
Kerapatan relatif	D _r	49,20	%

Tabel 2. Data sifat fisik tanah pasir Toyoura

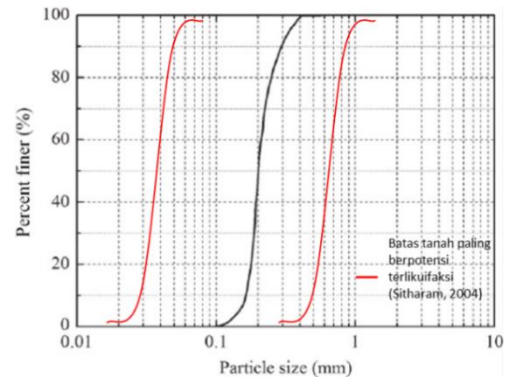
Sifat fisik tanah	Simbol	Nilai	Satuan
Berat volume jenuh	γ_{sat}	1,896	gr/cm ³
Specific gravity	G _s	2,64	-
Angka pori	e	0,754	-
Kerapatan relatif	D _r	60,00	%

Sitharam (2004) menyatakan gradasi ukuran butiran pasir yang berpotensi likuifaksi tinggi seperti pada Gambar 4. Hasil uji analisis saringan menunjukkan bahwa pasir Sekarsuli berada di antara grafik batasan tanah pasir yang rentan terhadap likuifaksi.



Gambar 4. Hasil uji analisis saringan pasir Sekarsuli

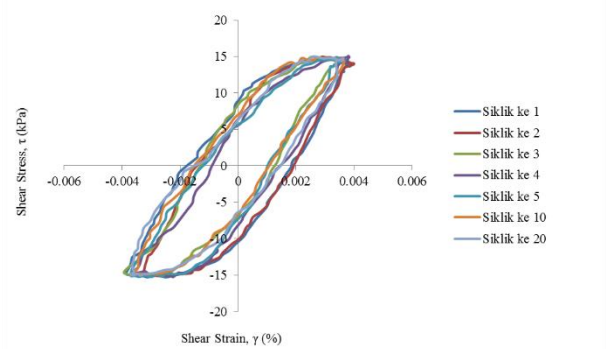
Analisis distribusi ukuran butiran pasir Toyoura menunjukkan gradasi butiran yang cenderung seragam dan berada pada zona tanah yang berpotensi tinggi mengalami likuifaksi (Gambar 5).



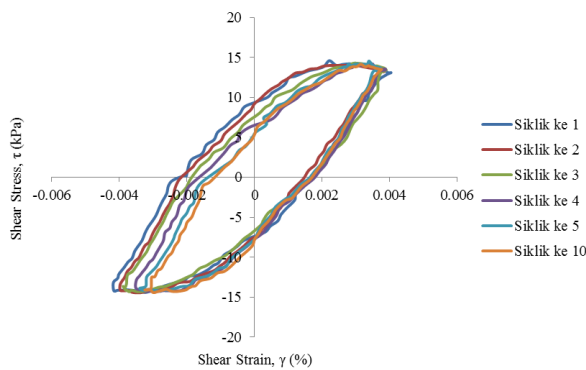
Gambar 5. Gradasi ukuran butiran pasir Toyoura

4.1 Hysteresis Loop Hasil Uji Triaksial Siklik

Kurva hubungan tegangan regangan hasil uji triaksial siklik menggambarkan perilaku tanah dalam menerima dan menahan beban pada tiap siklus yang diaplikasikan. Hysteresis loop hasil pengujian triaksial siklik dengan derajat kejenuhan 75% dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Hysteresis loop pada pembebanan 20 siklik dengan derajat kejenuhan sampel 75%

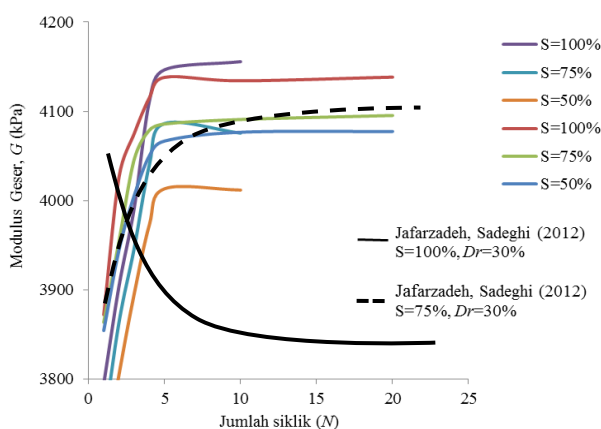


Gambar 7. Hysteresis loop pada pembebanan 10 siklus dengan derajat kejenuhan sampel 75%

Hysteresis loop semakin datar menggambarkan semakin rendah nilai tahanan geser terhadap beban yang bekerja dari luar disertai dengan peningkatan deformasi, dan menyebabkan turunnya kekakuan tanah. Kedua hysteresis loop memperlihatkan perilaku regangan geser yang sama, dengan meningkatnya jumlah siklus regangan yang terjadi semakin kecil. Pengujian 10 siklus menghasilkan regangan geser maksimum 0,004% sedangkan dengan jumlah siklus yang lebih besar, regangan geser maksimum yang dicapai 0,00394%, pada derajat kejenuhan yang sama yaitu 75%. Total regangan yang terjadi menurun bersamaan dengan meningkatnya kepadatan benda uji akibat beban berulang.

4.2 Modulus Geser Berdasarkan Hasil Uji Triaksial Siklik

Gambar 8 memperlihatkan nilai modulus geser yang didapatkan dari hasil perhitungan tiap variasi sampel pada uji triaksial siklik.



Gambar 8. Nilai modulus geser hasil uji triaksial siklik

Pada siklus tertentu, nilai modulus geser yang pada awalnya mengalami kenaikan kemudian cenderung konstan. Kondisi ini menggambarkan bahwa kemampuan tanah dalam menahan beban geser telah berada pada batas maksimalnya kemudian konstan. Dari hasil penelitian ini didapatkan nilai modulus geser pada setiap sampel uji mengalami kenaikan sampai pada pembebanan 5 siklus. Nilai modulus geser tertinggi terdapat pada sampel dengan derajat kejenuhan 100% dan pembebanan 10

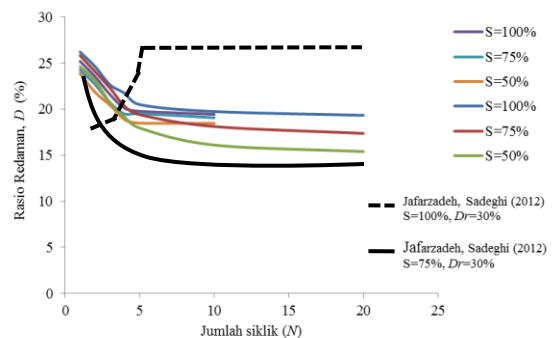
siklik sebesar 4155,762 kPa. Nilai ini hampir sama dengan modulus geser pada sampel berderajat kejenuhan 100% dan pembebanan 20 siklus yaitu sebesar 4138,430 kPa. Pada siklus ke 5 rata-rata tiap sampel dengan variasi derajat kejenuhan mencapai nilai tertinggi.

Nilai modulus geser hasil uji triaksial siklik dengan derajat kejenuhan 100% berbanding terbalik dengan penelitian Jafarzadeh dan Sadeghi (2012). Pada kondisi jenuh air, naiknya jumlah siklus (pembebanan) menyebabkan tekanan air pori meningkat. Kenaikan tekanan air pori tanpa adanya drainase mengakibatkan kekuatan tanah menahan beban menjadi berkurang. Seharusnya nilai modulus geser pada sampel jenuh air (derajat kejenuhan 100%) mengalami penurunan. Hasil penelitian ini menunjukkan sampel dengan derajat kejenuhan 100% mengalami peningkatan nilai modulus geser sama dengan kondisi jenuh sebagian, yang artinya tanah menjadi semakin kaku dan kemampuan menahan geser lebih besar. Pada kenyataannya di lapangan kondisi ini memperlihatkan kebalikannya.

Hasil pengujian sampel dengan derajat kejenuhan 100% menggunakan alat triaksial siklik ini menunjukkan bahwa kondisi sampel memiliki perilaku yang sama dengan kondisi jenuh sebagian, tidak terlihat bahwa derajat kejenuhan suatu sampel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perubahan nilai modulus gesernya.

4.3 Rasio Redaman Berdasarkan Hasil Uji Triaksial Siklik

Gambar 9 memperlihatkan nilai rasio redaman hasil uji triaksial siklik yang terjadi pada sampel dengan variasi derajat kejenuhan 50%, 75%, dan 100%.



Gambar 9. Nilai rasio redaman hasil uji triaksial siklik

Nilai rasio redaman paling tinggi terjadi pada siklus pertama untuk kedua variasi jumlah siklus dan derajat kejenuhan. Pada sampel tanah dengan pembebanan 10 siklus dan derajat kejenuhan 50% nilai rasio redaman pada siklus pertama sebesar 23,8837%. Nilai ini tidak jauh berbeda dengan variasi yang lain yaitu pada saat derajat kejenuhan 75% sebesar 24,242% dan derajat kejenuhan 100% sebesar 25,195%.

Nilai rasio redaman tanah mengalami penurunan pada saat jumlah siklus yang diaplikasikan semakin besar. Hal ini menunjukkan adanya proses disipasi energi sehingga redaman tanah menurun. Turunnya nilai rasio redaman mengindikasikan bahwa saat tanah dibebani dalam kondisi tidak jenuh air, butiran tanah akan mengalami

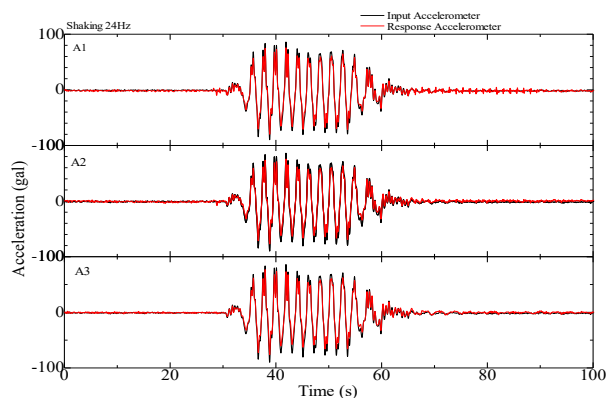
pemampatan sehingga kekakuan tanah meningkat. Pada Gambar 9 terlihat Jafarzadeh dan Sadeghi (2012) menemukan pola yang berbeda untuk tanah yang diuji dalam keadaan jenuh sempurna, sementara pada penelitian ini seluruh nilai rasio redaman meningkat pada 5 siklus di awal kemudian nilainya konstan. Kondisi ini terkait dengan kemungkinan tidak tercapainya derajat kejenuhan 100% pada sampel uji triaksial siklik, sehingga pola nilai rasio redaman sama dengan pada sampel dengan keadaan jenuh sebagian.

4.4 Hasil Uji Sentrifugal dengan Frekuensi Beban 24Hz

Uji sentrifugal dilakukan untuk mengetahui potensi likuifaksi dan menentukan nilai parameter dinamik pada tanah pasir Toyoura bergradasi seragam dengan kerapatan relatif (Dr) 60% dan derajat kejenuhan 100%. Uji sentrifugal memperhitungkan kondisi percepatan gravitasi dalam pemodelan sehingga tanah yang diuji memiliki perilaku sesuai kondisi aslinya.

Pengujian dilakukan pada percepatan gravitasi 50g dengan variasi frekuensi beban (*shaking*) sebesar 24 Hz dan 30 Hz. Sampel tanah memodelkan kondisi tanah pasir dengan skala 1:50, sehingga tiap lapisan pada model merepresentasikan keadaan tanah di alam setebal 1 meter. Kenaikan tekanan air pori digunakan sebagai parameter penentu untuk mengetahui terjadi atau tidaknya likuifaksi pada sampel. Tegangan efektif tanah dihitung berdasarkan kondisi model dengan percepatan gravitasi sebesar 50g.

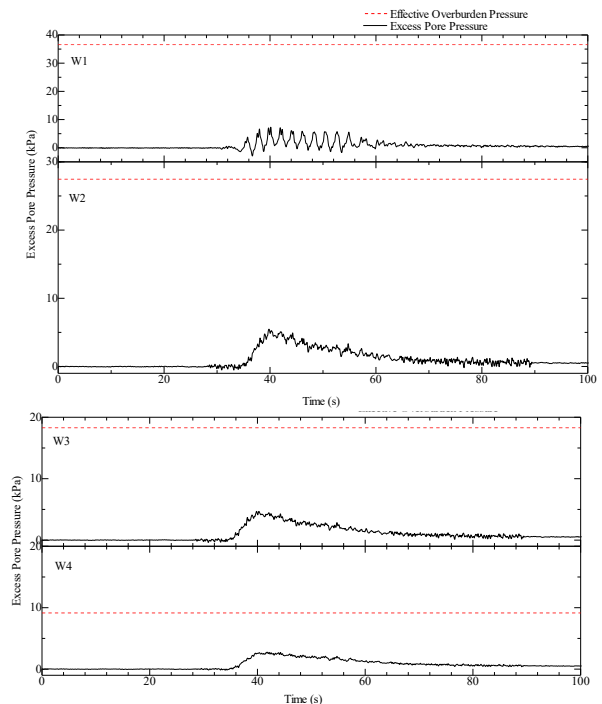
Sensor *accelerometer* dan tekanan air pori yang terpasang pada tiap lapisan sampel memberikan rekaman data selama pengujian berlangsung. Gambar 10 memperlihatkan *time history* percepatan gravitasi yang terekam selama pembebanan (*shaking*) dengan frekuensi 24 Hz berlangsung dengan amplitudo beban mendekati 100 gal (cm/s^2) selama 20 detik.



Gambar 10. Time history percepatan gravitasi selama pembebanan 24 Hz

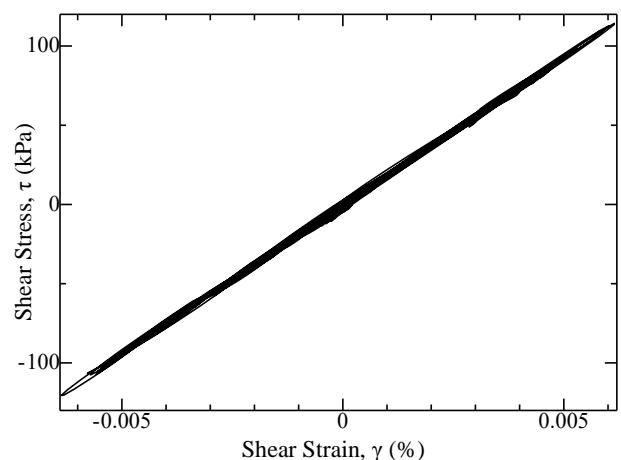
Grafik kenaikan tekanan air pori pada pengujian dengan pembebanan 24 Hz terlihat pada Gambar 11. Kenaikan tekanan air pori pada lapisan pertama sampel (W1) terjadi pada detik ke 35. Kenaikan tekanan air pori maksimum pada lapisan pertama sebesar 7,28 kPa, nilai tersebut jauh lebih rendah daripada tegangan efektif tanahnya 36,60 kPa. Lapisan tanah W2, W3, dan W4 mengalami kenaikan

tekanan air pori pada detik ke 35 kemudian mencapai puncak pada detik ke 40 hingga ke detik 60 perlahan turun kembali menuju nilai tekanan pori awal. Pada saat pembebanan berakhir tekanan air pori kembali ke nilai semula, hal ini menunjukkan bahwa beban berulang dengan frekuensi 24 Hz tidak berpotensi mengakibatkan likuifaksi pada lapisan tanah pasir dengan kerapatan relatif (Dr) 60% walaupun dalam kondisi jenuh air.



Gambar 11. Kenaikan tekanan air pori pada pembebanan 24 Hz

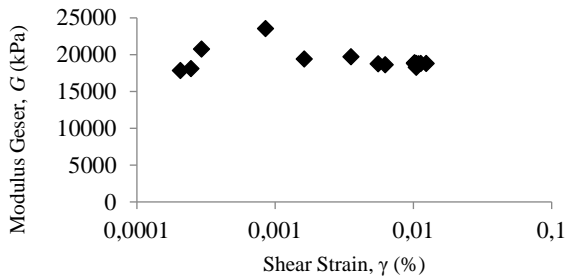
Kurva hubungan tegangan regangan pada sampel dengan frekuensi pembebanan 24 Hz dapat dilihat pada Gambar 12. Kurva tersebut memperlihatkan nilai regangan yang hampir sama tiap siklusnya. Hal ini berarti tidak terjadi perubahan tegangan yang signifikan dalam sampel dengan pembebanan 24 Hz.



Gambar 12. Hubungan tegangan regangan hasil uji sentrifugal dengan frekuensi beban 24 Hz

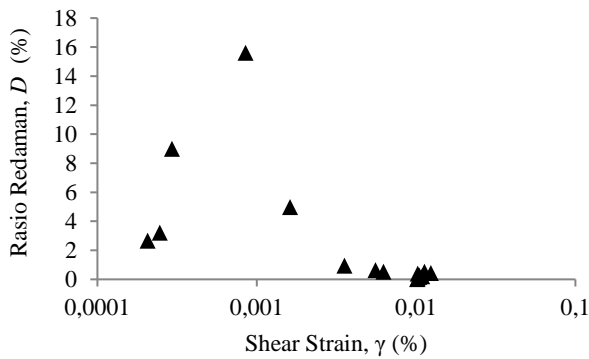
Nilai modulus geser yang didapatkan dari perhitungan hasil uji sentrifugal terdapat pada Gambar 13. Pada

kondisi regangan sebesar 0,00853% nilai modulus geser mengalami nilai maksimal sebesar 23,553 MPa. Nilai modulus geser merupakan nilai modulus *secant* dari kurva hubungan tegangan regangan, semakin besar regangan yang dialami tanah maka nilai modulus geser akan semakin kecil dan sebaliknya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterima, kemampuan tanah dalam melawan beban geser mengalami penurunan.



Gambar 13. Nilai modulus geser pasir Toyoura dengan frekuensi beban 24 Hz

Hasil perhitungan nilai rasio redaman pada pasir Toyoura dengan frekuensi beban 24 Hz ditunjukkan pada Gambar 14.



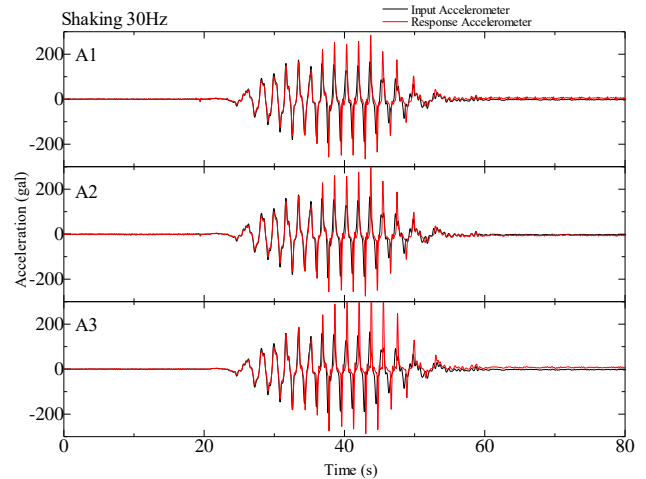
Gambar 14. Nilai rasio redaman pasir Toyoura dengan frekuensi beban 24 Hz

Pada Gambar 14 terlihat nilai rasio redaman maksimal tercapai pada saat regangan 0,000293% yaitu sebesar 9,0023%. Pada saat terjadi regangan yang lebih besar nilai rasio redaman pada pengujian ini menurun drastis hampir mendekati nol. Hal ini dapat terjadi pada saat pengujian dengan pembebanan 24 Hz, kondisi tegangan tanah masih dalam perilaku linier sehingga pada regangan tertentu, nilai rasio redaman semakin kecil. Tanah mengalami pemampatan butiran akibat pembebanan, kekakuan meningkat sehingga nilai rasio redaman kecil. Nilai rasio redaman sangat dipengaruhi oleh regangan yang terjadi, karena semakin padat material tanah maka rasio redaman akan semakin kecil. Rasio redaman menurun diakibatkan oleh adanya peningkatan kekakuan tanah sehingga energi redaman semakin kecil.

4.5 Hasil Uji Sentrifugal dengan Frekuensi Beban 30Hz

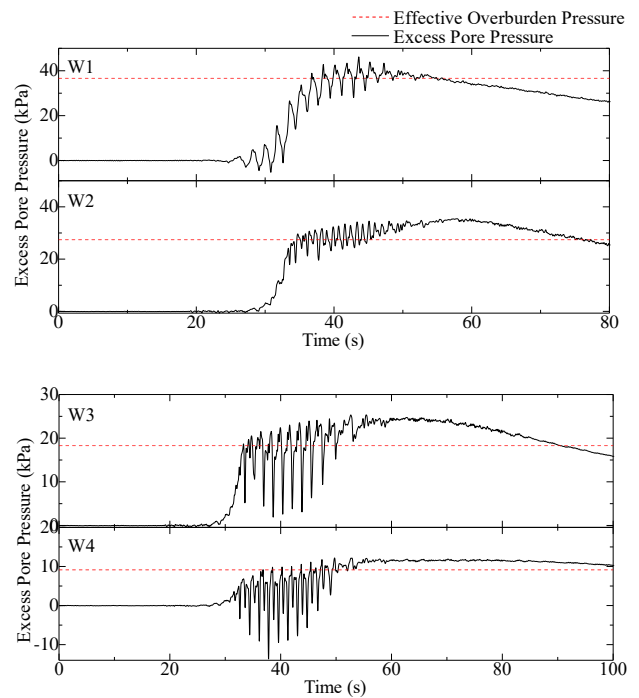
Uji sentrifugal dengan variasi frekuensi beban 30 Hz memiliki amplitudo percepatan selama 20 detik

pembebanan cenderung seragam sekitar 200 gal (cm/s²) seperti tampak pada Gambar 15.



Gambar 15. Time history percepatan gravitasi selama pembebanan 30 Hz

Grafik kenaikan tekanan air pori pada setiap kedalaman dapat dilihat pada Gambar 16 berikut ini.



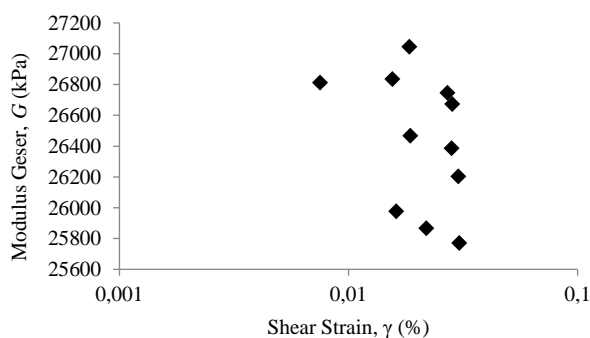
Gambar 16. Kenaikan tekanan air pori pada pembebanan 30 Hz

Tekanan air pori mengalami kenaikan saat pembebanan dimulai, pada Gambar 16 terlihat pola kenaikan tekanan air pori pada tiap lapisan sampel. Nilai tegangan efektif tanah dijadikan sebagai acuan terjadi atau tidaknya likuifaksi pada sampel. Sensor tekanan air pori pada lapisan pertama (W1) memperlihatkan adanya kenaikan tekanan air pori pada detik ke 38 hingga detik ke 45. Hal ini mengindikasikan telah terjadi likuifaksi pada tanah lapisan pertama, dengan kenaikan tekanan air pori maksimum sebesar 46,19 kPa. Pemasangan sensor tekanan air pori pada lapisan pertama berada di dasar

kontainer, keadaan ini membatasi ketelitian pembacaan sensor akibat adanya benturan dengan kontainer. Tekanan air pori mengalami penurunan pada detik ke 50 hingga pembebanan berakhir. Likui-faksi pada lapisan kedua (W2) terjadi pada detik ke 33 dan berlangsung hingga detik ke 72 dengan kenaikan tekanan air pori maksimum sebesar 35,44 kPa. Pada lapisan kedua fenomena likui-faksi terjadi dalam rentang waktu lebih lama dari lapisan pertama. Pada lapisan ketiga (W3), kenaikan tekanan air pori juga melebihi tegangan efektif tanahnya. Likui-faksi terjadi pada detik ke 34 hingga detik ke 90 dengan kenaikan tegangan air pori maksimum sebesar 25,32 kPa. Lapisan teratas tanah pasir mengalami likui-faksi pada detik ke 42. Tekanan air pori tidak mengalami penurunan hingga detik ke 100 atau pada saat pembebanan telah berhenti. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan teratas masih mengalami likui-faksi hingga akselerasi berhenti, dengan kenaikan tekanan air pori maksimum 12,17 kPa. Nilai kenaikan tekanan air pori melebihi nilai tegangan tanah efektifnya yang hanya sebesar 9,15 kPa.

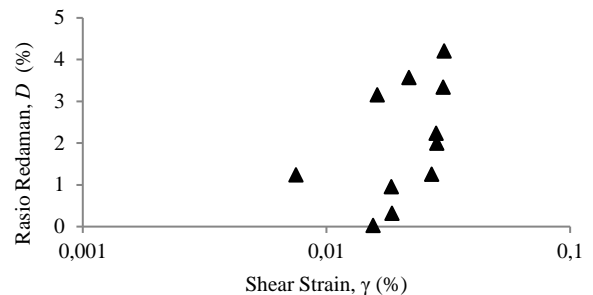
Keseluruhan pola kenaikan tekanan air pori menunjukkan rentang waktu terjadinya likui-faksi yang lebih lama seiring dengan bertambahnya ketinggian lapisan tanah. Hal ini dapat dijelaskan sebagai akibat fenomena resedimentasi butiran tanah yang terjadi selama terjadi pembebanan. Saat terjadi likui-faksi, butiran tanah mengalami perubahan posisi antar butir karena kenaikan tekanan air pori, semakin tebal lapisan tanah semakin lama waktu yang diperlukan tiap butirannya kembali ke formasi semula. Fenomena kembalinya butiran tanah ke posisi semula merupakan fungsi kedalaman terhadap waktu.

Nilai modulus geser yang didapatkan dari perhitungan hasil uji sentrifugal terdapat pada Gambar 17. Gambar 17 memperlihatkan semakin besar regangan yang terjadi nilai modulus geser mengalami penurunan. Nilai modulus geser maksimal terjadi pada nilai regangan 0,0184% sebesar 27,045 MPa. Pada saat regangan mengalami peningkatan menjadi 0,0304%, nilai modulus geser menjadi lebih kecil yaitu sebesar 25,771 MPa. Hal ini menunjukkan kemampuan tanah dalam melawan gaya geser menurun pada saat deformasinya semakin besar yang ditandai dengan kenaikan nilai regangan gesernya.



Gambar 17. Nilai modulus geser pasir Toyoura dengan frekuensi beban 30 Hz

Gambar 18 memperlihatkan grafik nilai rasio redaman pada pengujian sentrifugal dengan pembebanan 30 Hz terhadap nilai regangan yang terjadi. Nilai rasio redaman mengalami kenaikan pada saat terjadinya peningkatan nilai regangan. Nilai modulus geser paling kecil sebesar 0,0293% terjadi pada saat regangan 0,0155% sedangkan pada saat nilai regangan 0,0304% nilai rasio redaman meningkat menjadi sebesar 4,212%.



Gambar 18. Nilai rasio redaman pasir Toyoura dengan frekuensi beban 30 Hz

Gambar 18 memperlihatkan pola semakin besar regangan yang terjadi, nilai rasio redaman akan meningkat. Pada pengujian ini derajat kejenuhan tanah 100% dan beban yang diaplikasikan sebesar 30 Hz, sampel tanah mengalami likui-faksi seperti telah dijelaskan sebelumnya sehingga semakin besar pembebanan kekakuan tanah perlahan menurun dan regangan yang terjadi semakin besar. Redaman tanah berkaitan dengan kemampuan tanah mengisolasi getaran. Kenaikan nilai rasio redaman menunjukkan kondisi tanah dalam meredam adanya getaran menjadi lebih besar.

Uji triaksial siklik memberikan hasil nilai modulus geser mengalami kenaikan mulai dari awal beban siklik diaplikasikan hingga pada siklik ke 5 mencapai nilai maksimum kemudian konstan hingga pembebanan berakhir. Hal ini terjadi pada kedua variasi pembebanan 10 dan 20 siklik, juga pada tiga variasi derajat kejenuhan 50%, 75%, dan 100%. Nilai rasio redaman memiliki pola sebaliknya, pada tiap variasi pengujian nilai rasio redaman mengalami penurunan hingga siklik ke 5 perlahan konstan. Nilai ini berlaku pada tiap variasi derajat kejenuhan. Hasil ini memperlihatkan bahwa pengaruh derajat kejenuhan terhadap perubahan nilai parameter dinamik tanah tidak terlalu signifikan.

Uji sentrifugal diharapkan memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan hasil perhitungan empiris dan uji triaksial siklik karena pengujian ini dapat memodelkan keadaan tegangan regangan sebenarnya sesuai kondisi asli di lapangan. Hasil pengujian sentrifugal memperlihatkan selama pembebanan, semakin besar regangan yang terjadi nilai modulus geser mengalami penurunan. Nilai rasio redaman menunjukkan sebaliknya, rasio redaman mengalami peningkatan bersamaan dengan naiknya regangan geser.

5. Kesimpulan

Perhitungan parameter dinamik tanah secara empiris menggunakan metode Hardin dan Black (1968) pada lokasi Giwangan, Watu, dan Tempuran menunjukkan hasil yang serupa. Pada ketiga lokasi, nilai modulus geser mengalami kenaikan setiap bertambahnya kedalaman, karena perhitungan secara empiris menggunakan nilai tegangan kekang efektif tanah yang meningkat tiap bertambahnya kedalaman. Nilai rasio redaman yang didapatkan dari *fitting* kurva nilai regangan geser cenderung seragam pada tiap kedalaman yaitu sebesar 25%.

Nilai modulus geser yang didapatkan dari hasil uji triaksial siklik memperlihatkan pola yang sama pada tiap variasi derajat kejenuhan. Semakin besar jumlah siklik yang diaplikasikan nilai modulus geser mengalami kenaikan. Pada siklik ke 5 nilai modulus geser berangsur konstan hingga pembebanan selesai. Hal ini berlaku untuk pembebanan 10 siklik dan 20 siklik. Semakin besar jumlah siklik yang diaplikasikan, nilai rasio redaman hasil uji triaksial siklik mengalami penurunan pada setiap variasi derajat kejenuhan. Nilai parameter dinamik tanah hasil uji triaksial siklik pada tingkat derajat kejenuhan yang berbeda tidak memperlihatkan perbedaan yang signifikan antara tanah jenuh sebagian (derajat kejenuhan 50% dan 75%) dengan tanah yang jenuh sempurna (derajat kejenuhan 100%).

Hasil uji sentrifugal pada pasir Toyoura dengan pembebanan 24 Hz menunjukkan tidak terjadi likuifaksi, sedangkan dengan pembebanan 30 Hz terjadi likuifaksi pada keempat lapisan sampel tanah. Likuifaksi lapisan pertama terjadi pada detik ke 38 pembebanan, lapisan berikutnya terjadi pada detik ke 33, 34, dan 42. Hasil uji sentrifugal pada dua variasi pembebanan menunjukkan semakin besar regangan geser yang terjadi, nilai modulus geser tanah mengalami penurunan. Nilai rasio redaman hasil uji sentrifugal mengalami peningkatan dengan semakin besar nilai regangan yang terjadi.

Pengaruh perubahan derajat kejenuhan pada uji triaksial siklik memberikan hasil semakin tinggi derajat kejenuhan semakin besar nilai modulus gesernya, dan semakin kecil nilai rasio redaman baik pada pembebanan 10 dan 20 siklik. Hasil pengujian sentrifugal menunjukkan bahwa dalam kondisi tanah jenuh sempurna semakin besar pembebanan yang diberikan kekakuan tanah perlahan menurun dan regangan yang terjadi semakin besar, maka nilai modulus gesernya menurun sedangkan nilai rasio redamannya mengalami kenaikan.

Daftar Pustaka

ASTM D 3999-91 (Reapproved 2003), *Standart Test Method for The Determination of The Modulus and Damping Properties of Soils Using The Cyclic Triaxial Apparatus*. ASTM International. West Conshohocken. United States.

Dowrick, 2009. *Earthquake Resistant Design and Risk Reduction*. John Wiley and Sons, New York.

Hardin, B. O., dan Black, W. L., 1968. *Vibration Modulus of Normally Consolidated Clay (Closure)*. Journal of The Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE. 95:6. pp 1531-1537.

Hardin, B. O., dan Richart, F. E., 1963. *Elastic Wave Velocities in Granular Soils*. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE. 89:1. pp 33-65.

Jafarzadeh, F. Yanagisawa, E., 1996. *Effects of Load irregularity on Energy Dissipation of Saturated Sand Models During Dynamic Loading*. Geotechnical Engineering Buletin, Vol. 5: No. 2. pp 71-80.

Jafarzadeh, F. Sadeghi, H., 2012. *Experimental Study on Dynamic Properties of Sand With Emphasis on The Degree of Saturation*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Vol. 32: pp 26-41.

Mithcell, J. K. Soga, K., 2005. *Fundamental of Soil Behaviour*. John Wiley & Sons. New York. United States.

Mogami, T., dan Kubo, K., 1953. *The Behaviour of Soil During Vibration*. Proceedings 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol 1: pp 153-155. Zurich.

Paz, M., 1993. *Dinamika Struktur*. Erlangga. Jakarta.

Seed, H. B., dan Idriss, I. M., 1982. *Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute. Pasadena. California.

Seed, H. B., dan Idriss, I. M., 1970. *Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis*. Report No. EERC 75-29. University of California. Berkeley. California.

Seed, H. B., Wong, R. T., Idriss, I. M., dan Tokimatsu, K., 1986. *Moduli and Damping Factors for Dynamic Analysis of Cohesive Soils*. Journal of Geotechnical engineering. ASCE. Vol. 112: pp 1016-1032.

Sitharam, T., G., 2004. *Evaluation of Liquefaction Potential of Soils*. Workshop on Microzonation. Interline Publishing. Bangalore.

Tohwata, I., 2008. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Springer. Verlag Berlin Heidelberg. Germany.