



NILAI MODULUS GESER TANAH BERDASARKAN RUMUS HARDIN & DRNEVICH (1972) dan MENARD (1965)

Edy Purwanto¹

Diterima 29 Juni 2008

ABSTRACT

Due to ground-shaking during an earthquake, a cyclic shear stress will be imposed to the soil element. Shear modulus of soil is one of the soil parameters that should be recognized to transmit the vibration. Based on the laboratory tests, the value of shear modulus of soil (G_{max}) is calculated using the formula developed by Hardin & Drnevich (1972) and Menard (1965). The research shows that sandy clay Salaman has $G_{max} = 6,942$ Mpa (Hardin & Drnevich, 1972) and 15,95 Mpa (Menard, 1965), for silty clay Mertoyudan, $G_{maks} = 5,461$ Mpa (Hardin & Drnevich, 1972) and 14,83 Mpa (Menard, 1965), for clay sand Krasak, $G_{maks} = 12,942$ Mpa (Hardin & Drnevich, 1972) and 28,09 Mpa (Menard, 1965).

Keywords : *Shear modulus, Soil, Earthquake, Stress, Strain, Laboratory test.*

ABSTRAK

Perambatan getaran selama gempa bumi berlangsung/terjadi, menyebabkan tegangan geser siklik pada elemen tanah. Modulus geser tanah adalah merupakan salah satu parameter tanah yang harus diketahui untuk menyalurkan getaran akibat gempa bumi. Berdasarkan pada uji laboratorium, nilai modulus geser tanah (G_{max}) didapatkan dengan menggunakan formula yang dikembangkan oleh Hardin & Drnevich (1972) dan Menard (1965). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah lempung kepasiran Salaman mempunyai $G_{mak} = 6,942$ Mpa (Hardin & Drnevich, 1972) dan 15,95 Mpa (Menard, 1965), untuk tanah lempung kepasiran Mertoyudan didapat $G_{mak} = 5,461$ Mpa (Hardin & Drnevich, 1972) dan 14,83 Mpa (Menard, 1965), sedangkan untuk tanah pasir kelempungan Krasak didapat $G_{mak} = 12,942$ Mpa (Hardin & Drnevich, 1972) dan 28,09 Mpa (Menard, 1965).

Kata kunci : *Modulus geser, Tanah, Gempa Bumi, Tegangan, Regangan, Uji laboratorium*

¹ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia

LATAR BELAKANG

Indonesia adalah sebuah negara kepulauan yang dilalui oleh jalur gempa dan merupakan daerah gempa dengan frekwensi kejadiannya relative tinggi. Pada tahun 2004 terjadi gempa yang cukup besar di Nangroe Aceh Darusalam (26 Desember 2004) yang disertai dengan gelombang Tsunami cukup dahsyat yang menelan ratusan ribu jiwa manusia, memporak porandakan bangunan dan tata kota/tata wilayah. Selang kurang dari dua tahun kemudian, terjadi gempa bumi tektonik dengan kekuatan 5,9 scala Richter yang terjadi di Yogyakarta pada bulan Mei 2006. Gempa tersebut menelan korban ribuan jiwa dan menimbulkan kerusakan bangunan dan jalan yang cukup parah serta menghentikan sendi-sendi perekonomian rakyat. Disusul gempa-gempa yang terjadi hingga saat ini masih dirasakan yang tersebar di wilayah Indonesia dengan kekuatan yang berbeda. Bila terjadi gempa bumi, pertama-tama yang merasakan getaran gelombang gempa adalah tanah yang berada di sekitar pusat gempa, kemudian getarannya disebarkan ke segala penjuru sampai ke lokasi pencatat gempa di permukaan tanah.

Gempa bumi adalah salah satu bencana alam yang sangat berpotensi terjadi di Indonesia, selain bencana alam yang lain seperti: banjir, tanah longsor, gas beracun dan lain sebagainya. Gempa bumi sering membuat kerusakan baik kerusakan struktur tanah maupun bangunan yang ada di atasnya. Kerusakan-kerusakan tersebut sering disebut sebagai kegagalan geoteknik. Kegagalan geoteknik merupakan suatu peringatan dan pelajaran bagi semua pihak khususnya praktisi, pemilik proyek, kontraktor dan departemen

terkait. Sungguh merupakan suatu ironi, bahwa kegagalan geoteknik sering terjadi, padahal teknologi dan ilmu geoteknik telah berkembang dengan baik. Chan,1997 (dalam Muni Budhu 2000) mengindikasikan bahwa banyak kegagalan terjadi karena kurangnya pengetahuan dan teknologi, penyelidikan geoteknik, konstruksi yang salah dan kurangnya informasi dari desain bagi para pelaksana.

Pada saat kegagalan geoteknik terjadi, adalah amat penting dilakukan suatu studi yang mendalam mengenai sebab-sebab kegagalan. Bagi profesi geoteknik, pengetahuan ini penting untuk mencegah terjadinya masalah ini berulang. Banyak orang berpandangan bahwa banyak kegagalan adalah merupakan pengulangan kejadian dari kejadian-kejadian yang pernah ada dengan pelaku yang berbeda, biasanya generasi baru dari para praktisi geoteknik dan para klien. Dari kacamata ilmu geoteknik, kegagalan adalah merupakan eksperimen skala penuh hingga kondisi ultimit. Dari segi lain, suatu kegagalan geoteknik adalah hal yang menyakitkan dan pengalaman mahal untuk semua pihak yang mengalaminya. Oleh sebab itu harga yang amat mahal telah dibayar dari kegagalan tersebut, maka penting bagi kita untuk belajar dari kegagalan itu.

Tantangan dari profesi geoteknik adalah untuk mengurangi peristiwa pengulangan kegagalan ini seminimal mungkin. Penyelidikan tanah merupakan langkah awal untuk mengetahui perilaku tanah jika terdapat beban statis atau beban dinamis yang bekerja pada tanah tersebut. Salah satu parameter tanah yang sangat penting harus diketahui adalah modulus geser tanah.

Gempa bumi memicu gaya dinamik khususnya gaya geser dinamik yang mengurangi kuat geser (*shear strength*) dan kekakuan tanah (*soil stiffness*). Tekanan air pori dalam tanah jenuh air dapat meningkat sampai suatu nilai yang sama dengan tegangan rata-rata total dan menyebabkan tanah tersebut mempunyai perilaku seperti cairan kental, yang disebut dengan liquifaksi dinamis (*dynamic liquifaction*) (Muni Budhu, 2000).

Gempa bumi adalah salah satu bencana alam yang sering membuat kerusakan struktur tanah maupun bangunan yang berdiri di atasnya. Bagi para geoteknisien kejadian gempa merupakan suatu pelajaran dan sekaligus suatu tantangan. Untukantisipasi kejadian dan akibat gempa yang akan terjadi diharapkan para geoteknisien harus mampu mengetahui perilaku tanah sebagai media rambatan getaran. Bagaimana respon tanah terhadap gaya gempa sangat tergantung pada parameter tanah yaitu modulus Geser tanah. Dengan demikian maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui berapa besar/nilai dari modulus geser tanah.

Artikel ini mempresentasikan hasil penelitian untuk mengetahui besarnya nilai Modulus Geser maksimum (Gmaks) dengan menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Hardin & Drnevich (1972) dan rumus Menard (1965) dengan memasukan variable-variabel yang dihasilkan dari uji di laboratorium yaitu Uji Triaksial *Undrained Unconsolidated* (UU) dan Uji Konsolidasi.

METODE PENELITIAN

Dalam pelaksanaan penelitian untuk mengetahui nilai modulus geser tanah digunakan data-data dari hasil pengujian di laboratorium. Macam pengujian yang dilakukan adalah uji Triaksial U.U dan uji Konsolidasi. Dalam proses analisa data, dilakukan beberapa penyesuaian yang masih bisa dipertanggungjawabkan secara logis, dengan pembatasan masalah penelitian untuk mendapatkan nilai yang representatif.

Anderson et all. (1978) dalam penelitiannya menggunakan tanah homogen elastik yang ditekan pada sebuah titik dekat permukaan, kemudian dilintasi tiga gelombang yaitu dua gelombang primer (gelombang P) atau gelombang kompresi, dan gelombang sekunder (gelombang-S) atau gelombang geser (*Shear Wave*). Sedangkan gelombang ketiga adalah gelombang permukaan (Reyleigh) pada permukaan tanah. Kecepatan gelombang Reyleigh, kira-kira 10% kurang dari kecepatan gelombang geser (Griffiths dan King, 1965 dalam Anderson 1978), seringkali digunakan sebagai pengganti gelombang geser. Gelombang kompresi dan gelombang geser dihubungkan pada konstanta-konstanta elastik dari tanah dipresentasikan seperti formula berikut:

$$v_c = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \dots\dots\dots(1)$$

- keterangan :
- Vc = kecepatan gelombang primer (km/jam)
 - E = modulus tegangan-regangan (kg/cm²)
 - ρ = mass density
 - μ = poisson ratio

$$v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

V_s = kecepatan gelombang sekunder (km/jam)

G = modulus geser tanah (kg/cm²)

ρ = mass *density*

Dari hubungan antara modulus geser (G) dan modulus tegangan-regangan (E) didapat persamaan :

$$E = 2(1 + \mu).G \dots\dots\dots(3)$$

Dan juga diperoleh persamaan :

$$\left(\frac{v_c}{v_s}\right) = \frac{2(1 - \mu)}{1 - 2\mu} \dots\dots\dots(4)$$

Kemudian nilai modulus geser (G) dapat ditentukan dengan mendapatkan pengukuran-pengukuran lapangan dari kecepatan gelombang geser. Dengan menggunakan persamaan (3) untuk mendapatkan persamaan :

$$G = \rho.V_s^2 \dots\dots\dots(5)$$

Kecepatan gelombang geser didapat di lapangan dengan menggunakan teknik lobang silang (*cross-hole technique*) yang diterangkan dengan cukup terperinci oleh Woods (1978). Pada dasarnya metoda tersebut terdiri dari pemboran dua lobang bor sampai suatu kedalaman tertentu misalnya B sampai $1,5.B$ di bawah dasar pondasi yang diusulkan. Sebuah alat pencatat (transduser kecepatan) ditempatkan di bawah salah satu lobang dan sebuah batang dan palu (keduanya logam) sehingga sebuah osiloskop yang menyebabkan sebuah gelombang kejut (*shock wave*) seperti halnya ketika penutup rangkaian picu (*reggrering circuit*). Runut (*trace*) osiloskop

menunjukkan datangnya gelombang kompresi dan gelombang kejut tersebut. Dengan memperbolehkan waktu bagi gelombang kejut melintasi batang logam ke bawah akan membiarkan waktu bagi gelombang geser melintas ke unit pengambil. Dengan mengukur jarak diantara kedua lobang sebagai (d), kecepatan gelombang geser dihitung sebagai berikut :

$$v_s = \frac{d}{t} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

d = jarak antara dua lobang

t = waktu yang ditempuh gelombang, untuk melintasi dua batang logam

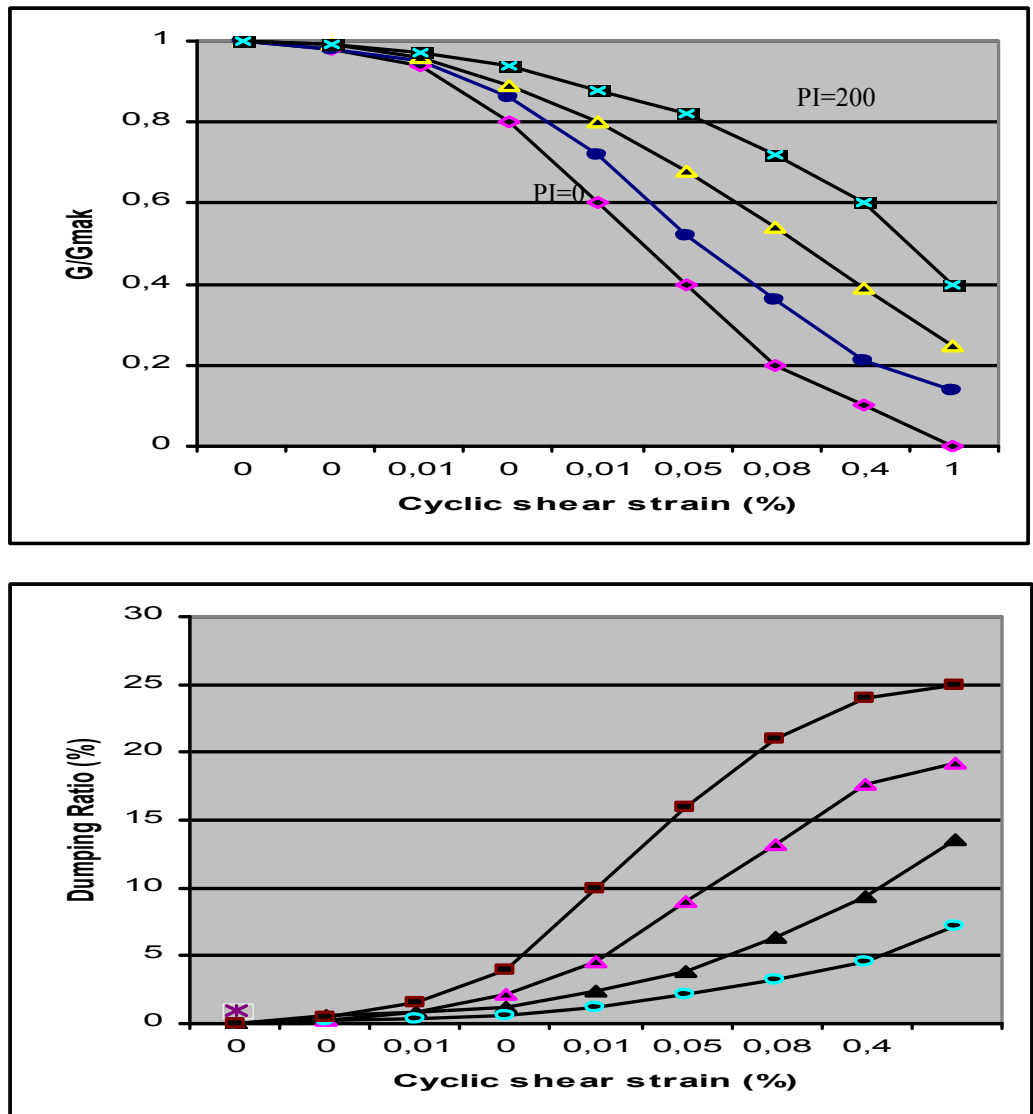
Pengujian tersebut dapat dilakukan beberapa kali dan beberapa penambahan kedalaman, serta dengan menggunakan sebuah osiloskop penyimpan, maka gambar bentuk dari bentuk gelombang dapat dibuat, sehingga saat tibanya gelombang geser dapat dihasilkan dengan baik.

Cunny dan Fry (1973) serta Hardin dan Music (1965) juga melakukan penelitian untuk mendapatkan nilai modulus geser, dari pengujian kolom resonansi. Ini melibatkan peralatan laboratorium khusus, terdiri dari sebuah sel triaksial yang khusus dibuat mampu menyediakan (menghasilkan) getaran contoh tanah dengan Amplitudo yang sangat kecil.

Vuceuc dan Dobry (1991) dalam Das B.M. 1984, dengan secara intensif mengadakan penelitian tentang efek index plastisitas (PI) terhadap perilaku dinamik atau perilaku cyclic tanah lempung. Besarnya nilai modulus geser untuk setiap regangan geser kemudian dinormalisasikan terhadap modulus

geser maksimum atau dinyatakan dalam notasi G/G_{maks} . Plot hubungan antara normalisasi modulus geser (G/G_{maks}) lawan regangan geser dan hubungan antara rasio redaman lawan

regangan geser untuk setiap nilai indeks plastisitas (PI) disampaikan secara sistematis pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Hubungan antara G/G_{maks} , Damping ratioidan regangan geser (Vuceuc dan Dobry (1991) dalam Das B.M. 1984),

Suatu hal yang sangat penting untuk diperhatikan pada Gambar 1. adalah bahwa tanah lempung yang mempunyai indeks plastistas tinggi mempunyai nilai normalisasi modulus geser relatif lebih besar pada suatu regangan geser tertentu dibanding dengan tanah dengan indeks plastisitas yang relatif rendah. Dengan demikian tanah lempung dengan PI yang sangat tinggi cenderung masih berperilaku elastik (G/G_{maks} masih cukup besar) pada regangan geser yang relatif besar. Sebaliknya tanah dengan indeks plastisitas rendah seperti tanah pasir maka kekuatannya akan cepat sekali menurun (G/G_{maks} menurun drastis) pada regangan geser yang semakin besar.

Pada Gambar 1. dapat dilihat pengaruh indeks plastisitas (PI) terhadap ratio redaman pada suatu regangan geser tertentu. Hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa rasio redaman akan meningkat pada regangan geser yang semakin besar. Pada gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa untuk nilai regangan geser tertentu, rasio redaman semakin besar pada tanah dengan indeks plastisitas (PI) yang semakin kecil.

Uji Laboratorium

Penyelidikan tanah dilakukan untuk mendapatkan data tanah yang nantinya digunakan/dimasukan kedalam sebuah formula untuk mendapatkan modulus geser tanah (G) yang akhirnya secara langsung maupun tidak langsung untuk mengetahui perilaku tanah tersebut apabila terjadi beban dinamik atau beban static yang bekerja pada tanah tersebut.

Penelitian ini menitikberatkan pada jenis tanah lempung dan pasir, dengan pembatasan sebagai berikut :

1. Tanah Lempung berasal dari desa Salaman dan Mertoyudan Kabupaten Magelang
2. Tanah pasir kelempungan dari sungai Krasak, Sleman, Yogyakarta
3. Sampel tanah diambil pada kedalaman 2-5 meter dari muka tanah asli di lokasi pengambilan
4. Uji Triaksial Unconsolidated Undrained (UU) dan uji Konsolidasi.
5. Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai modulus geser tanah adalah rumus Hardin & Drnevich 1972 dan Menard 1965.
6. Pengujian dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil, FTSP-UII.
7. Pengujian dilakukan pada suhu ruangan dan menggunakan air bersih dari laboratorium.
8. Prosedur pengujian dilakukan mengikuti prosedur baku untuk pengujian di laboratorium (ASTM).

Uji Triaksial Unconsolidated Undrained (UU)

Pengujian ini disebut pula dengan pengujian *quick test* (pengujian cepat), benda uji mula-mula dibebani dengan penerapan tegangan sel (tegangan keliling), kemudian dibebani dengan beban normal, melalui penerapan tegangan deviator ($\Delta\sigma$) sampai mencapai keruntuhan. Pada penerapan tegangan deviator selama penggeseran air tidak diperkenankan keluar dari benda uji. Jadi selama pengujian katup drainase ditutup. Karena pada pengujian air tidak diijinkan keluar, beban normal tidak ditransfer ke butiran tanahnya. Keadaan tanpa drainase ini menyebabkan adanya tekanan berlebihan air pori (*excess*

pore pressure) dengan tidak ada tahanan geser hasil perlawanan dari butiran tanah.

Uji Konsolidasi

Uji ini bertujuan untuk memperoleh data tanah tentang sifat pemampatan, perubahan isi dan proses keluarnya air dari dalam tanah karena adanya perubahan tekanan vertical pada tanah tersebut guna meramal kecepatan dan besar penurunan suatu konstruksi yang dibangun di atas lapisan tanah lempung pada khususnya.

Dari pengujian ini kita mengenal dua istilah konsolidasi, yaitu *Overconsolidated* dan *Normally Consolidated*. Ratio tegangan efektif maksimum masa lalu terhadap tegangan efektif yang ada sekarang disebut rasio konsolidasi,

yang mana untuk tanah lempung nilainya harus lebih besar sama dengan satu.

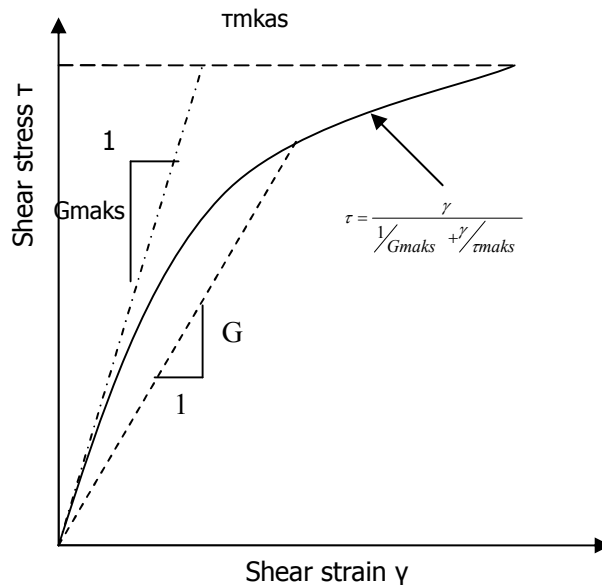
$$OCR = \frac{P_c}{P_o} \geq 1 \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :

- OCR = *over consolidated ratio*
- Pc = tekanan prakonsolidasi
- Po = tekanan efektif lapangan
- Gs = berat jenis tanah

Modulus Geser Maksimum (Gmak)

Modulus geser tanah adalah salah satu karakteristik dinamis yang umumnya dinyatakan dengan notasi (G). Nilai modulus geser ini merupakan perbandingan antara tegangan geser (τ) dengan regangan geser (γ) seperti dipresentasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan antara G/Gmaks dan regangan geser γ (Hardin & Drnevich (1972))

Banyak parameter yang akan mempengaruhi besarnya nilai modulus geser maksimum (G_{maks}), yang paling utama adalah jenis tanah (lempung atau pasir), *effective confining pressure*, *void ratio* (e), dan derajat konsolidasi. Hardin dan Drnevich (1972) mengusulkan suatu rumus yang dipakai untuk menghitung nilai modulus geser (G_{maks}) untuk tanah lempung dengan nilai $0,40 < e < 1,20$ adalah sebagai berikut :

$$\tau = \frac{\gamma}{\frac{1}{G_{maks}} + \frac{\gamma}{\tau_{maks}}} \dots\dots\dots(8)$$

dimana :

τ = shear stress

γ = shear strains

$$G_{maks} = \frac{\tau_{maks}}{\gamma_c} \dots\dots\dots(9)$$

dimana :

γ_c = reference strain

τ_{maks} = maximum shear stress as failure

$$G_{maks} = 1230 \times OCR^k \frac{(2,973 - e)^2}{(1 + e)} \cdot \sigma_0^{0,50} \dots\dots(10)$$

Keterangan :

G_{maks} = modulus geser maksimum (Psi)

e = angka pori didapat pada akhir uji konsolidasi

σ_0 = *effective confining pressure*

k = koefisien yang nilainya bergantung dari nilai Indeks Plastisitas, yang mana untuk tanah dengan PI sama dengan 0, 20, 40, 60, 80 dan > 100, maka nilai k pada persamaan tersebut berturut-turut adalah 0; 0,18; 0,30; 0,41; 0,48; 0,50.

Apabila modulus geser tanah dinyatakan dalam kg/cm^2 , maka persamaan 10 di atas menjadi :

$$G_{maks} = 331 \cdot OCR^k \frac{(2,973 - e)^2}{(1 + e)} \cdot \sigma_0^{0,50} \dots\dots(11)$$

Kemudian variable-variabel seperti (σ_0) diperoleh dengan persamaan berikut :

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \dots\dots\dots(12)$$

dimana :

σ_1 = *effective vertical stress*

Variable-variabel pendukung lain seperti σ_1 , σ_2 dan K_0 dapat diperoleh melalui persamaan-persamaan berikut.

$$\sigma_2 = \sigma_3 = K_0 \cdot \sigma_1 \dots\dots\dots(13)$$

Menard (1965) mengusulkan rumus untuk menghitung modulus geser tanah adalah sebagai berikut :

$$G_{maks} = \frac{E_{maks}}{2 \times (1 + \mu)} \dots\dots\dots(14)$$

Dimana :

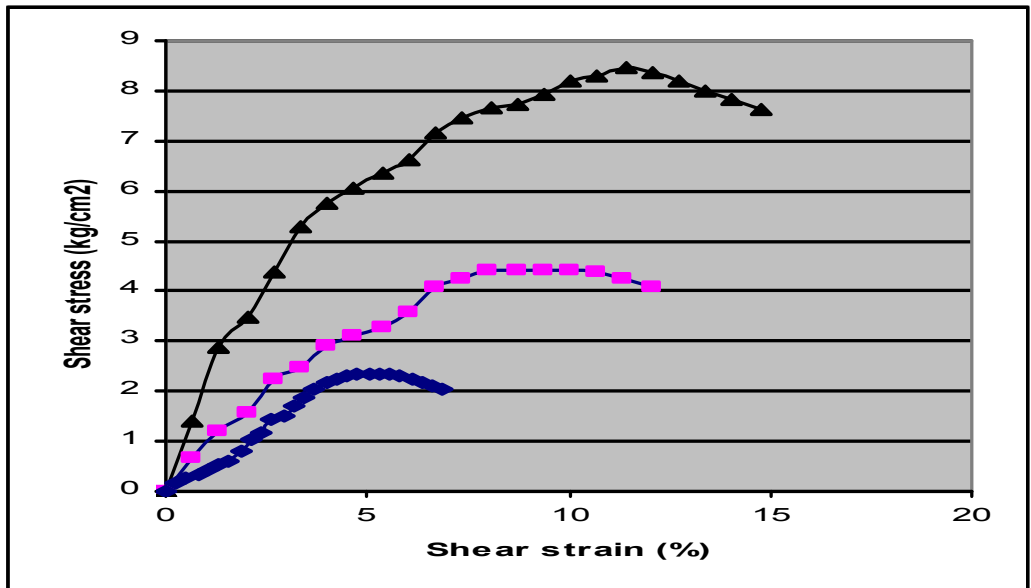
E_{maks} : modulus tegangan – regangan maksimum

μ : *Poisson Ratio*

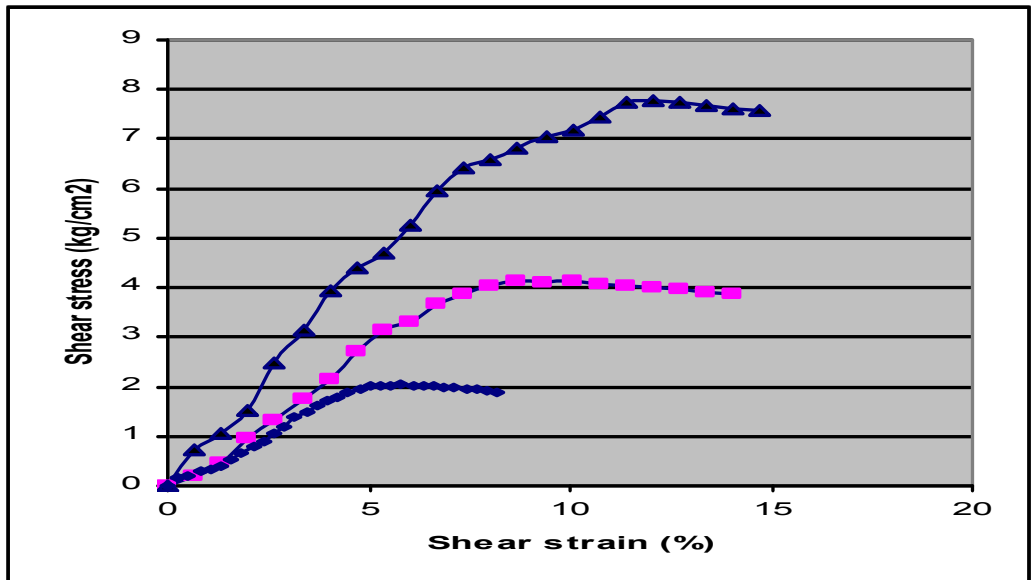
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dari hasil di laboratorium didapatkan jenis tanah dan sifat mekanis tanah dari benda uji adalah sebagai berikut : Tanah dari Salaman : lempung kepasiran, $GS = 2,62$, $PI = 8,55 \%$, $e = 1,877$, tanah dari Mertoyudan : lempung kelanauan, $GS = 2,68$, $PI = 12,17$, $e = 1,219$, dan tanah dari Sungai Krasak : Pasir kelempungan, $GS = 2,71$ dan $e = 1,120$.

Hasil uji Triaxial UU dan uji konsolidasi di laboratorium untuk tanah lempung dipresentasikan pada Gambar 3, 4, 5 dan 6 berikut ini.



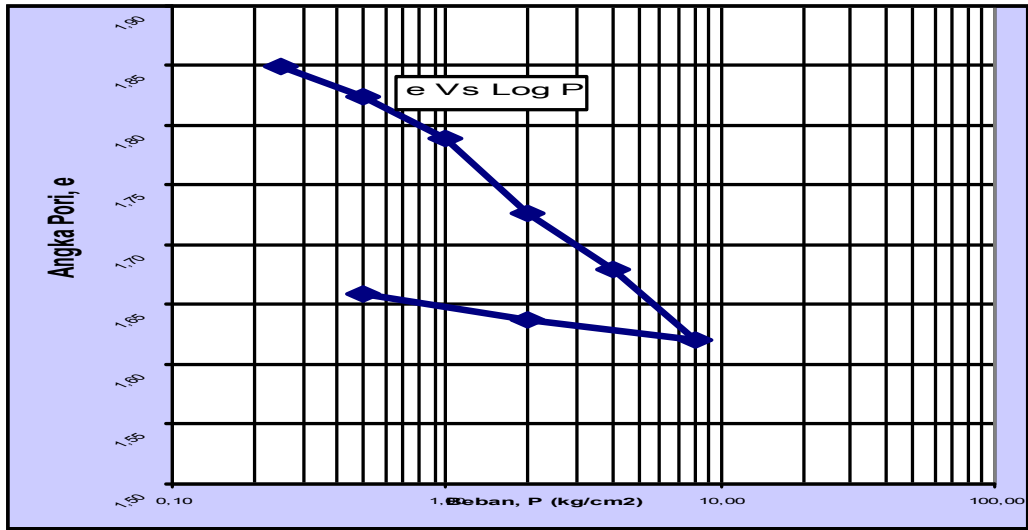
Gambar 3. Hasil uji Triaxial UU tanah lempung kepasiran, Salaman, Magelang



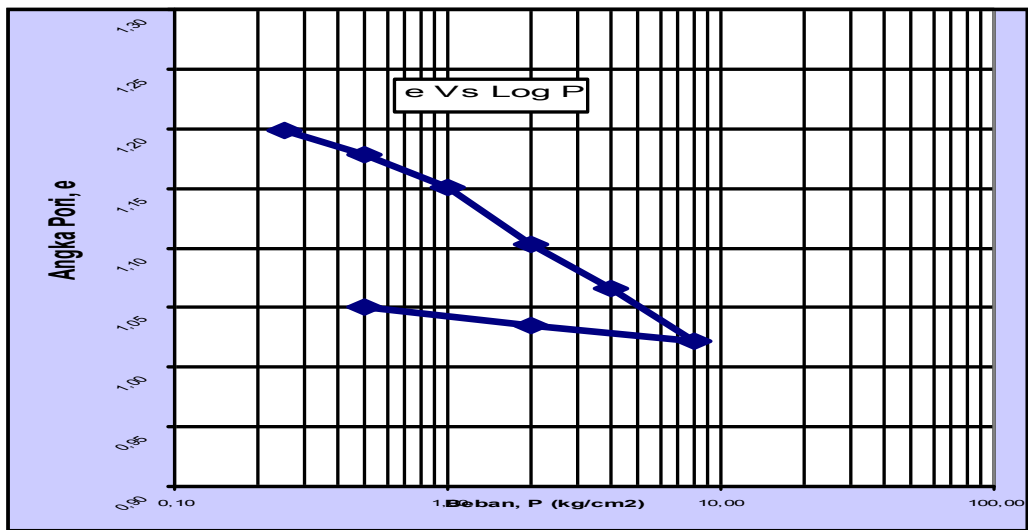
Gambar 4. Hasil uji Triaxial UU tanah lempung kelanauan, Mertoyudan, Magelang

Besarnya nilai OCR (*Over consolidation ratio*) dari hasil uji Konsolidasi untuk ketiga jenis tanah dipresentasikan

seperti pada Tabel 1 dan besarnya nilai modulus geser tanah dipresentasikan pada Tabel 2, 3 dan 4.



Gambar 5. Hasil uji Konsolidasi tanah Lempung kepasiran, Salaman, Magelang



Gambar 6. Hasil uji Konsolidasi tanah Lempung kelanauan, Mertoyudan, Magelang

Gambar 3 dan 4 menunjukkan modulus Tegangan – Regangan dari uji Triaxial UU untuk tanah lempung yang berasal dari daerah Salaman dan mertoyudan, Kabupaten Magelang. Gambar menunjukkan mobilisasi tegangan-regangan dari awal mempunyai perilaku

kecenderungan yang sama untuk kedua jenis tanah, yaitu bersifat elastoplastis. Bila tekanan sel semakin besar maka modulus tegangan-regangan yang dihasilkan juga semakin besar, sehingga semakin besar pula nilai modulus geser tanah.

Tabel 1. Nilai OCR
(Over Consolidation Ratio)

No.	Tanah	Nilai OCR
1.	Tanah lempung, Salaman	10,82
2.	Tanah Lempung, Mertoyudan	10,39
3.	Tanah pasir kelepungan, Sungai Krasak	11,12

Tabel 2. Modulus geser maksimum tanah Lempung kepasiran, Salaman, Magelang

wopt=21,55% ymak=1,59gr/cm ³ e = 1,877	Hardin & Drnevich 1972 (Gmaks)	Menard 1965 (Gmaks)
1	6,882 Mpa	15,87 Mpa
2	7,023 Mpa	16,20 Mpa
3	6,921 Mpa	15,79 Mpa
Rata-rata	6,942 Mpa	15,95 Mpa

Tabel 3. Modulus geser maksimum tanah Lempung kelanauan, Mertoyudan, Magelang

wopt= 38,65% ymak =1,31gr/cm ³ e = 1,219	Hardin & Drnevich 1972 (Gmaks)	Menard 1965 (Gmaks)
1	5,445 Mpa	14,02 Mpa
2	5,042 Mpa	15,42 Mpa
3	5,896 Mpa	15,07 Mpa
Rata-rata	5,461 Mpa	14,83 Mpa

Tabel 4. Modulus geser maksimum tanah Pasir kelepungan, Sungai Krasak, Yogyakarta

wopt= 8,07% ymak =1,68gr/cm ³ e = 1,120	Hardin & Drnevich 1972 (Gmaks)	Menard 1965 (Gmaks)
1	12,882 Mpa	27,87 Mpa
2	13,023 Mpa	28,20 Mpa
3	12,921 Mpa	28,79 Mpa
Rata-rata	12,942 Mpa	28,09 Mpa

Angka pori tanah semakin besar menunjukkan semakin kecil modulus tegangan-regangan, dan sebaliknya bila semakin besar angka pori tanah maka nilai modulus geser maksimum tanah juga semakin kecil.

Semakin besar nilai OCR (*over consolidation ratio*) maka didapat nilai modulus geser maksimum tanah semakin besar. Semakin bertambah besar nilai regangan geser tanah maka nilai modulus geser tanah kecenderungannya akan menurun.

Tabel 2, 3 dan 4 menunjukkan hasil perhitungan untuk nilai modulus geser tanah rata-rata (untuk tiga benda uji) tanah lempung dari daerah Salaman dan Mertoyudan, Magelang dan tanah pasir kelepungan dari Sungai Krasak, Yogyakarta, berdasarkan rumus Hardin & Drnevich (1972) dan Rumus Menard (1965). Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai modulus geser tanah maksimum rata-rata menurut rumus Menard (1965) selalu lebih besar dari perhitungan menggunakan rumus Hardin & Drnevich (1972).

KESIMPULAN

Dari kajian di atas dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Untuk tanah lempung berasal dari Salaman, menurut rumus Hardin & Drnevich didapat modulus geser maksimum rata-rata sebesar 6,942 Mpa., sedangkan berdasarkan rumus Menard didapatkan sebesar 15,95 Mpa.
- Untuk tanah lempung berasal dari Mertoyudan, menurut rumus Hardin & Drnevich didapat modulus geser maksimum rata-rata sebesar 5,461 Mpa., sedangkan berdasarkan rumus Menard didapatkan sebesar 14,83 Mpa.

- c. Untuk tanah pasir berasal dari sungai Krasak, menurut rumus Hardin & Drnevich didapat modulus geser maksimum rata-rata sebesar 12,942 Mpa., sedangkan berdasarkan rumus Menard didapatkan sebesar 28,09 Mpa.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, D.G., et all, (1978). *"Estimating in Situ Shear Modulus at Competebt Sizes"* 10th.PSC, ASCE, Vol.I, pp.181-197, USA.
- Cunny R.W. and Z.B.Fry, (1973). *"Vibratory In-Situ and Laboratory Shear soil Modulus"*, JSMFD, ASCE, Vol.99, SM 12, Desember, pp. 1055-1075, USA.
- Das B.M., (1984). *"Fundamentals of Soil Dynamic"*, Elsevier Science Publishing Co.Inc. New York, USA.
- Hardin B.O. and Y.P.Drnevich, (1972). *"Shear Modulus and Dumping In Soils Desain Equations and Curves"*, JSMFD, ASCE, Vol.98, SM.7, July, pp.667-692, USA.
- Hardin B.O. and J. Music, (1965). *"Apparatus for Vibration of Soils Specimens During the Triaxial Test"*, ASTM, STP 392, pp.55-74, USA.
- Hardin B.O. and F.F. Richard, Jr., (1963). *"Elastic Wave Velocities In Granular Soils"*, JSMFD, ASCE, Vol.89, SM.1, February, pp.33-65, USA.
- Menard L., (1965). *"Rules of Calculation of Bearing Capacity and Foundation Settlement Based of Pressure Meter Test"*, Proceeding 6th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal, Canada, Vol.2, pp.295-299.
- Muni Budhu, (2000). *"Soil Mechanics & Foundations"*, John Wiley & Sons,Inc., New Jersey.
- Wood R.D., (1978). *"Measurement of Dynamic Soil Properties"*, 10th. PSC, Vol.1, pp.91-178, USA.