

PEMODELAN DIMENSI SAMPEL UNTUK MENENTUKAN PARAMETER DESAIN MENGGUNAKAN UJI TRIAKSIAL PADA TANAH LEMPUNG

Aiun Hayatu Rabinah^{1,*}), Nur Setiaji Pamungkas¹), Suparman¹), Lilik Satriyadi¹),
Warsiti¹), Yosua Daniel Bulan¹), Chelsea Dhiya Affani¹)

¹)Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang
Jln. Prof. H. Soedarto, S.H., Tembalang, Kota Semarang, 50275

^{*)}Correspondent Author: aiun.hayatu@polines.ac.id

Abstract

Test selection is very influential in determining the design parameters. The aim of this research is to study the dimensions of the triaxial test soil sample on clay soils in the Semarang area to obtain soil shear parameters that can be used as design parameters. The tests include testing the physical and mechanical properties of the soil. Mechanical testing uses a triaxial test. The UU triaxial test sample is modeled with a diameter of 3.5 cm and 3.8 cm, while the CU sample is 3.5 cm. Based on the results of soil property index testing, sieve analysis, and consistency limits, it can be concluded that the soil samples are non-organic clay with high plasticity. Based on the triaxial test UU values of c and ϕ it can be seen that the largest shear parameter occurs in the specimen with a diameter of 3.8 cm. The largest UU triaxial test c value is 0.32 kg/cm^2 , meanwhile, for ϕ it has a value of 11.65° . The specimen with a larger diameter has a greater shear stress value. This can be influenced by larger c and ϕ values. The c and c' values of the triaxial CU test results were 0.32 kg/cm^2 and 0.50 kg/cm^2 respectively. While the values of ϕ and ϕ' are 9.89° and 17.35° respectively. The τ and τ' values obtained were $1,394 \text{ kg/cm}^2$ and $1,405 \text{ kg/cm}^2$, respectively. The modulus of elasticity of soil is 1500 kN/m^2 and 3200 kN/m^2 respectively which is included in the type of soft clay soil with a value range of $1800 - 3500 \text{ kN/m}^2$ and is included in the CH classification with a range of $0.35-4 \text{ MPa}$. The value of the elastic modulus taking into account the value of cohesion, plasticity index, and OCR is closer to the prediction of soil elastic modulus values by Das.

Keywords: cohesion, internal friction angle, modulus of elasticity, CU, UU

PENDAHULUAN

Tingkat pembangunan yang tinggi akan berdampak pada peningkatan uji parameter tanah di laboratorium untuk kebutuhan desain. Pemilihan uji sangat mempengaruhi dalam penentuan parameter desain, sedangkan parameter tanah dipengaruhi oleh sifat tanah. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui perilaku tanah melalui uji di laboratorium. Pengujian triaksial

merupakan salah satu pengujian yang banyak digunakan untuk mendapatkan perilaku dari material tanah dan untuk menentukan parameter desain. Sifat regangan dan tegangan tanah granuler sudah banyak dilakukan, seperti sifat elastis dari tanah granuler dan perilaku tegangan-regangan *inelastic*. Model *inelastic* memiliki kesulitan dalam menentukan parameter geser tanah granuler (Yin & Hicher, 2018). Selain

itu, Yin & Hicher (2018) juga melakukan pengujian tanah lempung dengan menggunakan uji triaksial untuk mengetahui perilaku tegangan-regangannya.

Pengujian triaksial pada tanah lempung-lanau *methane hydrate* mengungkap perilaku tanah yang mengandung *methane hydrate* baik terkonsolidasi normal ataupun terkonsolidasi berlebihan akan mengalami regangan *hardening* dan kontraksi *volumetric*, meskipun peningkatan konsolidasi berlebihan akan mengurangi perilaku regangan *hardening* dan meningkatkan modulus elastisitas awal dan kekuatan tanah (Wu et al., 2021). Omar & Sadrekarimi (2015) menguji pasir Ottawa dengan uji triaksial untuk mendapatkan parameter geser tanah pasir yang akan digunakan untuk desain konstruksi. Pasir Ottawa dibuat dalam tiga variasi benda uji yang memiliki dimensi berbeda. Dari hasil pengujian didapatkan sampel yang dimensinya lebih besar menghasilkan parameter geser yang lebih akurat.

Pengujian parameter geser tanah kohesif dilakukan dengan menggunakan sampel berdiameter 3.8 cm, 5,0 cm, dan 10,0 cm yang diuji menggunakan uji kuat tekan bebas (Gebresamuel et al., 2023). Penelitian perilaku tanah lempung CH di wilayah Bigadar Gujarat didapatkan tegangan paling besar terjadi pada sampel dengan rasio perbandingan H/D terkecil (0,5), dan sebaliknya tegangan terendah terjadi pada rasio perbandingan H/D terbesar (1,5) (Kotiya et al., 2013).

Prosedur pengujian dari pemotongan sampel, saturasi, dan konsolidasi dilakukan pada tanah lempung Opalinus untuk mendapatkan perilaku tanah yang mewakili kondisi di lapangan melalui uji triaksial (Wu et al., 2021). Akan tetapi dari beberapa penelitian variasi dimensi sampel dilakukan pada lokasi tertentu seperti tanah pasir Ottawa dan tanah lempung CH di wilayah Bigadar. Sehingga masih perlu dilakukan pemodelan dimensi sampel dilokasi yang berbeda untuk mendapatkan parameter desain yang sesuai dengan kondisi di lapangan. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan pemodelan dimensi sampel uji triaksial pada tanah lempung di wilayah Semarang.

METODE PENELITIAN

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah dalam melawan tegangan geser yang terjadi akibat pembebanan. Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng, dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Menurut teori Mohr keruntuhan suatu bahan terjadi akibat adanya kombinasi krisis dari tegangan normal (σ) dan tegangan geser (τ) (Persamaan 1), sedangkan Coulomb mendefinisikan $f(\sigma)$ dalam Persamaan 2.

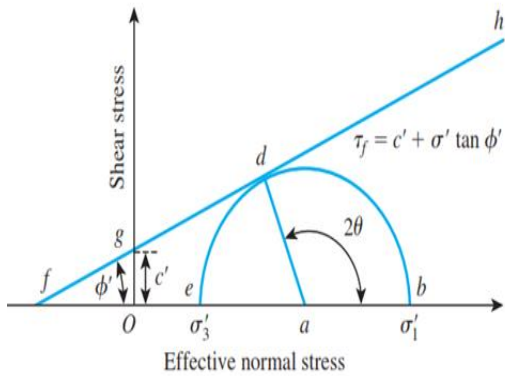
Hubungan antara tegangan tegangan efektif saat runtuh dan parameter kuat geser dapat dilihat pada Gambar 1 yang dikenal dengan keruntuhan Mohr.

$$\tau = f(\sigma) \quad (1)$$

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (2)$$

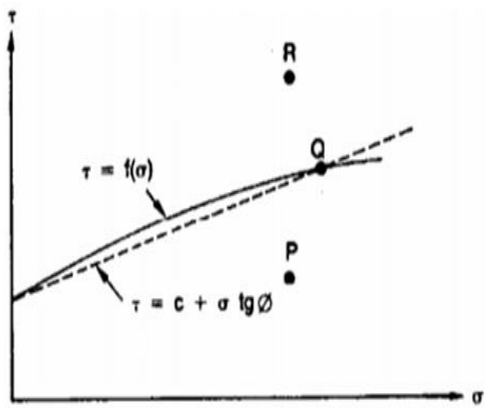
dengan:

- τ : Tegangan geser tanah
- c : Kohesi
- φ : Sudut gesek dalam tanah
- σ : Tegangan normal



Gambar 1. Lingkaran Morh dan garis keruntuhan (Das, 2010)

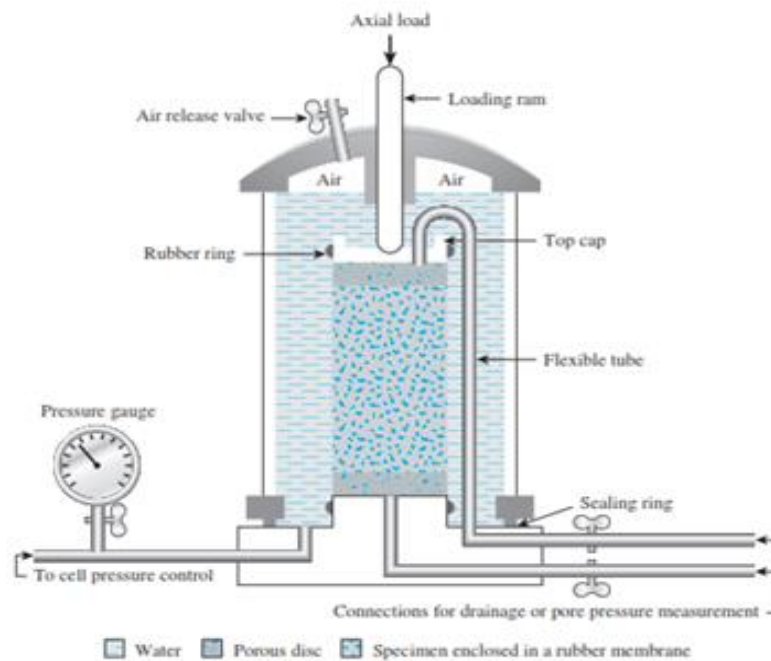
Persamaan 2 dikenal dengan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb, dimana garis selubung kegagalan dari persamaan tersebut digambarkan dalam Gambar 2.



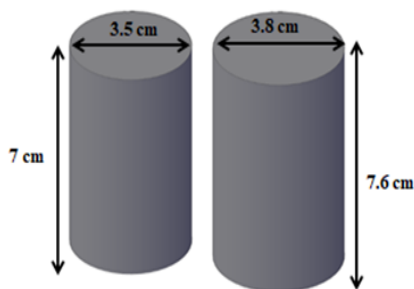
Gambar 2. Kriteria kegagalan Mohr-Coulomb (Hardiyatmo, 2019)

Uji triaksial adalah salah satu metode yang paling baik untuk menentukan parameter geser tanah. Uji ini digunakan untuk penelitian dan pengujian konvensional. Skema alat uji triaksial dapat dilihat dalam Gambar 3. Benda uji dimasukkan kedalam selubung karet tipis dan diletakkan ke dalam tabung kaca. Umumnya ruang di dalam tabung diisi oleh air atau udara. Benda uji kemudian ditekan oleh tegangan sel (σ_3), yang berasal dari tekanan cairan di dalam tabung. Untuk menghasilkan keruntuhan pada benda uji, gaya aksial diberikan di atas benda uji.

Uji triaksial dapat dilakukan dengan tiga metode, yaitu (a) uji triaksial *Unconsolidated-Undrained (UU)*, (b) uji triaksial *Consolidated-Undrained (CU)*, dan (c) uji triaksial *Consolidated-Drained (CD)*. Penelitian ini menggunakan metode ekperimental di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah peralatan yang sesuai dengan standar ASTM D 2850, ASTM D 4767, dan SNI 4813:2015, SNI 2455:2015. Benda uji yang digunakan dalam pengujian adalah berasal dari tanah tak terganggu (*undisturbed sample*). Benda uji dicetak dengan dua ukuran yaitu diameter 3.5 cm dan 3.8 cm (Gambar 4).



Gambar 3. Diagram Alat Uji Triaksial (Das, 2010)



Gambar 4. Variasi Benda Uji

Pengujian triaksial dilakukan dengan dua kondisi, yaitu kondisi *UU* dan *CU*. Pengujian triaksial *UU* menggunakan 2 variasi sampel dengan diameter $D_1 = 3.5$ cm dan $D_2 = 3.8$ cm. Sedangkan pengujian triaksial *CU* hanya menggunakan sampel dengan diameter 3.5 cm. Pada pengujian triaksial *CU* sampel dijenuhkan terlebih dahulu menggunakan alat triaksial dengan memberikan tekanan sel (*cell pressure*) dan tekanan balik (*back pressure*) sampai sampel jenuh sempurna dengan parameter nilai $B = 1$.

Pengujian triaksial *UU* dan *CU* diberikan pembebanan tekanan sel (σ_3) sebanyak tiga kali dengan peningkatan pembebanan. Pengujian triaksial menghasilkan nilai tegangan deviatorik ($\Delta\sigma$) dan regangan (ε (%)). Selanjutnya mencari nilai tegangan mayor (σ_1), dimana dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma \quad (3)$$

Nilai tegangan geser (τ) dapat dicari dengan menggunakan Persamaan (2) Nilai modulus elastisitas tanah dapat ditentukan berdasarkan perbandingan nilai tegangan deviatorik dan regangan (Akpila & Omunguye, 2014) dengan Persamaan (4).

$$E_s = \frac{\Delta\sigma}{\varepsilon} \quad (4)$$

Das (2016) juga memberikan persamaan untuk menentukan nilai modulus elastisitas tanah lempung

secara umum menggunakan persamaan berikut:

$$E_s = \beta c_u \quad (5)$$

dengan β adalah *primarily a function* dari indeks plastisitas dan *overconsolidation ratio (OCR)* (Tabel

1). Nilai OCR didapatkan dari hasil analisis data uji konsolidasi menggunakan oedeometer. Perkiraan nilai modulus elastisitas tanah berdasarkan jenis tanah menurut Das (2016) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Nilai untuk Tanah Lempung Jenuh

Indeks Plastisitas	β				
	OCR = 1	OCR = 2	OCR = 3	OCR = 4	OCR = 5
< 30	1500–600	1380–500	1200–580	950–380	730–300
30 – 50	600–300	550–270	580–220	380–180	300–150
> 50	300–150	270–120	220–100	180–90	150–75

Sumber: (Duncan and Buchignani (1976) dalam Das (2016))

Tabel 2. Perkiraan Nilai Modulus Elastisitas Tanah

Jenis tanah	E_s	
	kN/m ²	lb/in ²
Lempung Lunak	1800 – 3500	250 – 500
Lumpung Keras	6000 – 14000	850 – 2000
Pasir Lepas	10000 – 28000	1500 – 4000
Pasir Padat	35000 - 70000	5000 - 10000

Sumber: (Das, 2016)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Jenis Tanah

Pengujian indeks propertis tanah yang dilakukan adalah pengujian berat jenis, kadar air, analisis saringan, hidrometer, dan batas-batas konsistensi. Hasil dari pengujian dilaboratrium ditunjukkan dalam Tabel 3 – Tabel 4.

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis tanah didapatkan nilai berat jenis tanah (Gs) adalah 2.575 dan 2.581. Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa tanah termasuk lempung organik dengan kisaran nilai berat jenis tanah lempung organik 2.58 – 2.65 (Hardiyatmo, 2019). Nilai derajat kejenuhan didapat sebesar 99,63% dan 98,10%, sehingga dapat disimpulkan kondisi sampel dalam keadaan jenuh

atau tanah basah (Hardiyatmo, 2019). Berdasarkan nilai porositas Terzaghi mendefinisikan tanah dengan angka pori sebesar 0.66 masuk dalam katagori lempung lunak sedikit organik. Pada pengujian di atas didapatkan nilai yang didapat nilai porositas adalah 0.623 dan 0.621 masih masuk ke dalam kisaran nilai tanah lempung lunak.

Pengujian selanjutnya untuk mengklasifikasikan jenis tanah adalah dengan uji analisis saringan dan hidrometer. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4. Dari hasil uji dapat dilihat bahwa tanah yang mengandung lempung sebanyak 52.46% dan 51.32% yang mana artinya sama dengan tanah yang lolos saringan nomor 200 lebih besar 50%.

Salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah adalah batas-batas konsistensi tanah. Hasil dari pengujian batas-batas konsistensi tanah dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan hasil uji didapatkan nilai *liquid limit (LL)* berturut-turut sebesar 86.51% dan 84.25%. Sedangkan nilai *plastic limit*

(*PL*) berturut-turut sebesar 36.32% dan 36.02%. Dari nilai *LL* dan *PL* didapatkan nilai *plasticity index (PI)* sebesar 50.59% dan 48.18%. Berdasarkan nilai *PI* lebih besar dari 17% benda uji termasuk tanah berlempung dengan sifat plastisitas tinggi (Jumikis dalam Hardiyatmo (2019)).

Tabel 3. Pengujian Indeks Propertis Tanah.

Pengujian <i>Bor Hole No.</i>	Indeks Propertis	
	BU ₁	BU ₂
<i>Sample Depth (m)</i>	1 – 1.5	2-2.5
<i>Specific Gravity</i>	2.575	2.581
<i>Dry Density (%)</i>	0.982	0.991
<i>Wet Density(g/cm³)</i>	1.593	1.588
<i>Water Content(%)</i>	62.75	61.89
<i>Porosity</i>	0.623	0.621
<i>Void Ratio</i>	1.656	1.641
<i>Degree Of Saturation(%)</i>	99.24	98.25

Tabel 4. Pengujian Gradasi Tanah.

Pengujian <i>Bor Hole No.</i>	Uji Gradasi Tanah	
	BU ₁	BU ₂
<i>Sample Depth(m)</i>	1 – 1.5	2-2.5
<i>Gravel(%)</i>	-	-
<i>Sand(%)</i>	5.35	1.687
<i>Silt(%)</i>	46.57	44.25
<i>Clay(%)</i>	52.46	51.32

Tabel 5. Pengujian Batas-Batas Konsistensi

Pengujian <i>Bor Hole No.</i>	Plastisitas	
	BU ₁	BU ₂
<i>Sample Depth(m)</i>	1 - 1,5	2-2.5
<i>Liquid Limit(%)</i>	86.51	84.25
<i>Plastic Limit(%)</i>	36.32	36.02
<i>Plasticity Index(%)</i>	50.59	48.18
<i>Shrinkage Limit(%)</i>	-	-

Jenis tanah dapat ditentukan dengan menggunakan sistem klasifikasi *Unified Soil Clasification System (USCS)* dan *American Association of State Highway Transportation Official (AASTHO)*. Untuk menentukan jenis tanah berdasarkan klasifikasi *USCS* dan *AASTHO* membutuhkan data analisis saringan, hydrometer, dan batas-batas konsistensi. Berdasarkan data yang diperoleh, jenis tanah benda uji klasifikasi *USCS* adalah lempung tak organik dengan plastisitas tinggi (*CH*), sedangkan berdasarkan klasifikasi *AASTHO* termasuk jenis tanah berlempung (*A-7-5*). Sehingga dari pengujian indeks properties tanah, analisis saringan, dan batas-batas konsistensi dapat disimpulkan bahwa

sampel tanah termasuk tanah lempung tak organik dengan plastisitas tinggi.

Pengujian triaksial *UU* menggunakan tekanan sel (σ_3) berturut-turut sebesar 0.50 kg/cm², 1.00 kg/cm², dan 1.50 kg/cm². Dari hasil pengujian triaksial didapatkan nilai tegangan deviatorik ($\Delta\sigma$) dan regangan (ε (%)). Selanjutnya digambarkan grafik hubungan regangan dan tegangan deviatorik untuk mendapatkan tegangan deviatorik saat runtuh. Nilai tegangan

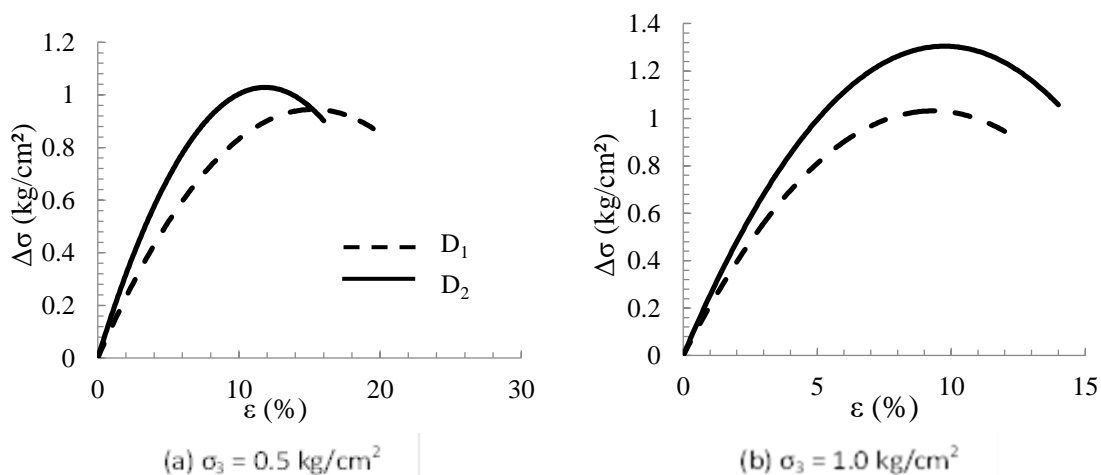
deviatorik saat runtuh yang diperoleh dari grafik hubungan antara regangan dan tegangan deviatorik. Nilai $\Delta\sigma$ saat runtuh untuk kedua variasi benda uji dapat dilihat dalam Tabel 6. Besarnya nilai tegangan mayor (σ_1) dapat ditentukan dari nilai tegangan deviatorik. Nilai tegangan mayor ditentukan dengan menjumlahkan σ_3 dan $\Delta\sigma$ saat runtuh. Tegangan mayor untuk kedua variasi benda uji dapat dilihat pada Tabel 7.

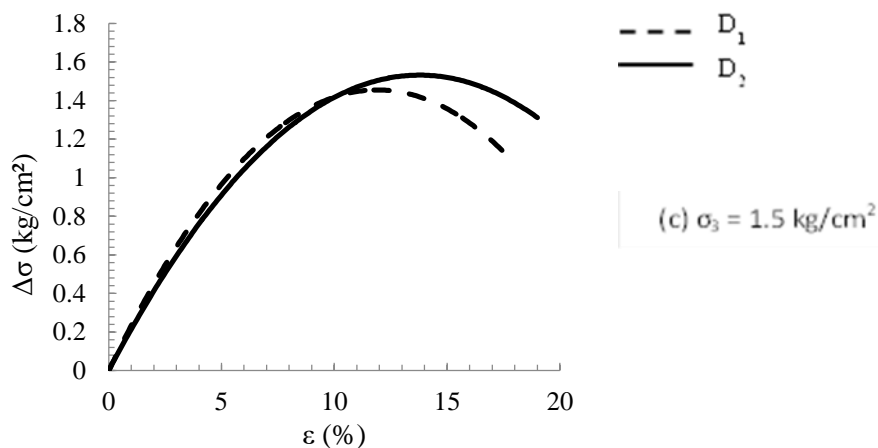
Tabel 6. Nilai Tegangan Deviatorik Saat Runtuh Uji Triaksial *UU*

Tekanan Sel (kg/cm ²)	Tegangan Deviatorik Runtuh (kg/cm ²)	
	D ₁ = 3.5 cm	D ₂ = 3.8 cm
0.50	0.940	1.020
1.00	1.170	1.290
1.50	1.430	1.520

Tabel 7. Nilai Tegangan Mayor Uji Triaksial *UU*

Tekanan Sel (kg/cm ²)	Tegangan Deviatorik Runtuh (kg/cm ²)		Tegangan Mayor (kg/cm ²)	
	D ₁ = 3.5 cm	D ₂ = 3.8 cm	D ₁ = 3.5 cm	D ₂ = 3.8 cm
0.50	0.940	1.020	1.44	1.52
1.00	1.170	1.290	2.17	2.29
1.50	1.430	1.520	2.93	3.02





Gambar 5. Perbandingan Grafik Tegangan-Regangan Berdasarkan Ukuran Sampel

Pengaruh ukuran diameter sampel terhadap kurva tegangan-regangan dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai regangan puncak pada sampel D_2 lebih besar dibandingkan dengan sampel D_1 , kecuali pada $\sigma_3 = 0.5 \text{ kg/cm}^2$. Hal ini bisa dipengaruhi oleh luas penampang sampel, semakin besar luas penampang (a) $\sigma_3 = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ nilai regangan puncak yang terjadi. Untuk nilai regangan puncak pada $\sigma_3 = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ bisa dilakukan pengujian dengan sampel yang lebih banyak lagi untuk mengetahui pola tegangan-regangan yang terbentuk.

Parameter geser tanah didapatkan dengan menggambarkan grafik lingkaran Mohr. Dari hasil penggambaran lingkaran Mohr maka akan diperoleh nilai kohesi ($c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$) dan sudut gesek dalam tanah ($\phi \text{ (}^\circ\text{)}$). Untuk nilai kohesi dan sudut gesek dalam dapat dilihat pada Tabel 8. Tegangan geser tanah lempung dapat ditentukan dengan menggunakan parameter geser yang diperoleh dari pengujian triaksial UU . Nilai tegangan geser tanah didapat dengan menggunakan Persamaan (4). Hasil dari tegangan geser dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 8. Nilai Parameter Geser Tanah Hasil Uji Triaksial UU

Parameter Geser	$D_1 = 3.5 \text{ cm}$	$D_2 = 3.8 \text{ cm}$
$c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	0.3	0.32
$\phi \text{ (}^\circ\text{)}$	10.95	11.65

Tabel 9. Tegangan Geser Berdasarkan Nilai Parameter Geser dari Uji Triaksial UU

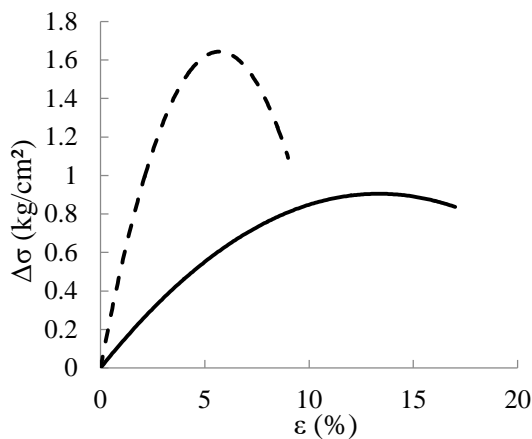
Diameter	Parameter Geser		Tegangan Geser
	$c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$\phi \text{ (}^\circ\text{)}$	$\tau \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
$D_1 = 3.5 \text{ cm}$	0.3	10.95	0.722
$D_2 = 3.8 \text{ cm}$	0.32	11.65	0.789

Benda uji dengan diameter lebih besar menghasilkan nilai c dan ϕ yang lebih besar. Hal ini dipengaruhi oleh ukuran sampel. Sampel dengan diameter 3.8 cm menghasilkan nilai tegangan geser yang lebih besar dibandingkan dengan sampel diameter 3.5 cm. Hal ini dikarenakan beban yang diberikan tetap sedangkan parameter geser lebih tinggi dengan luas penampang sampel yang menahan gaya tersebut lebih besar. Kuat geser yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai parameter geser. Semakin tinggi parameter geser khususnya nilai c maka kuat geser tanah juga akan semakin tinggi. Jadi, dapat disimpulkan sampel dengan diameter yang lebih besar menghasilkan nilai tegangan geser yang besar juga.

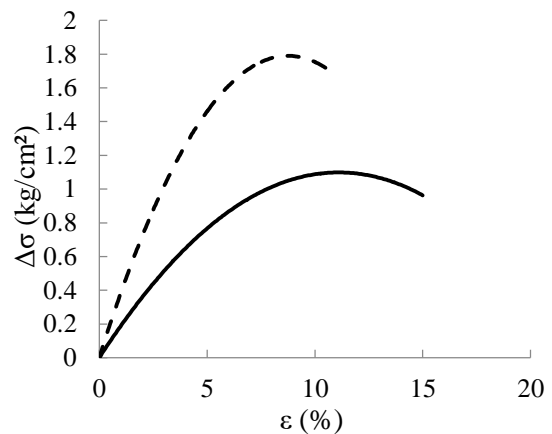
Pengujian triaksial CU diawali dengan penjenjuran sampel sampai nilai $B = 1$. Selanjutnya proses konsolidasi

dan setelah konsolidasi selesai dilanjutkan dengan proses penggeseran. Tekanan sel (σ_3) yang digunakan pada saat penggeseran berturut-turut sebesar 2.00 kg/cm^2 , 2.50 kg/cm^2 , dan 3.00 kg/cm^2 . Diameter sampel yang digunakan saat pengujian CU adalah 3.5 cm.

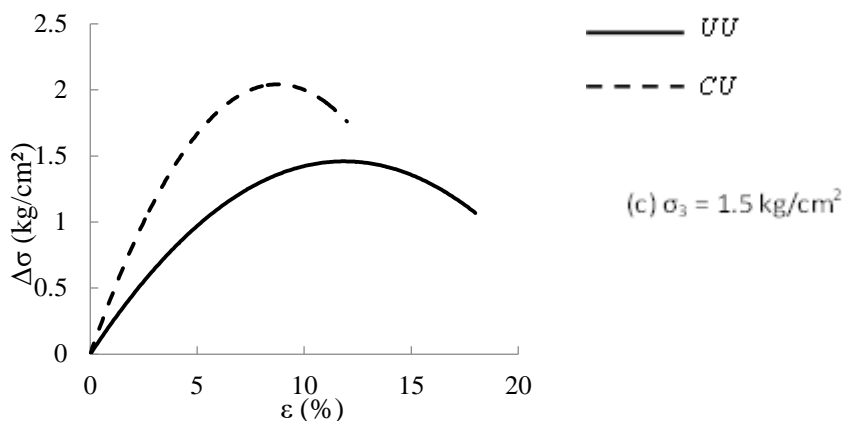
Nilai tegangan deviatorik saat runtuh yang diperoleh dari grafik hubungan antara regangan dan tegangan deviatorik. Besarnya nilai tegangan mayor (σ_1) dapat ditentukan dari nilai tegangan deviatorik. Nilai tegangan mayor ditentukan dengan menjumlahkan σ_3 dan $\Delta\sigma$ saat runtuh. Nilai $\Delta\sigma$ saat runtuh, σ_1 , tegangan deviatorik efektif ($\Delta\sigma'$), dan tegangan mayor efektif (σ_1') untuk uji Triaksial CU dapat dilihat dalam Tabel 10. Gambar keruntuhan lingkaran mohr untuk pengujian triaksial CU dapat dilihat pada Gambar 7.



(a) $\sigma_3 = 0.5 \text{ kg/cm}^2$



(b) $\sigma_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$



Gambar 6. Perbandingan Grafik Tegangan-Regangan Berdasarkan Uji Triaksial

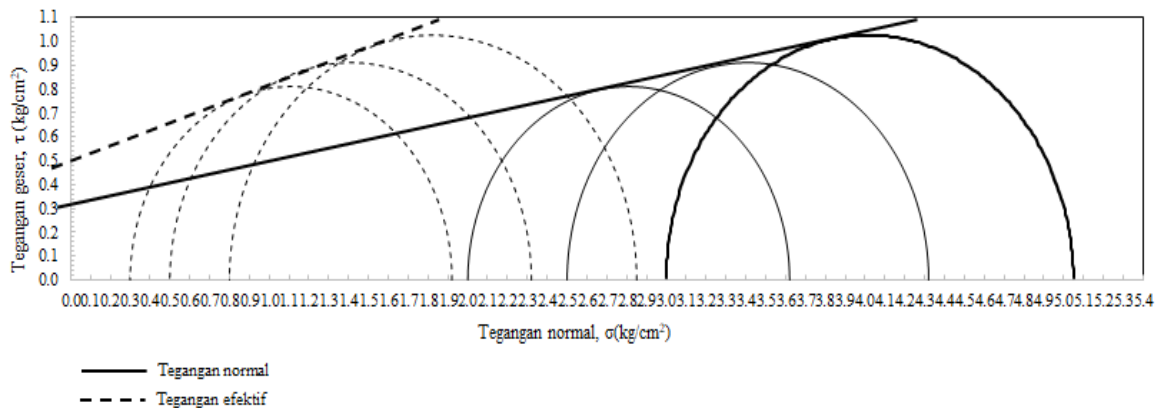
Nilai regangan yang terjadi pada pengujian triaksial *CU* lebih kecil dibandingkan dengan *UU* untuk semua variasi tegangan sel. Meskipun regangan yang dihasilkan kecil, tetapi tegangan yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi runtuh pada kondisi *CU* lebih besar dibandingkan dengan *UU*. Hal ini terjadi karena sebelum dilakukan pengujian geser sampel terlebih dahulu sehingga kondisi sampel akan lebih padat dan getas. Karena pada saat proses penjenjutan sampel diberikan tegangan sel dan tegangan balik berturut-turut sampai nilai $B = 1$, baru dilakukan penggeseran. Tegangan

sel yang diberikan pada proses penggeseran *CU* lebih tinggi dibandingkan dengan *UU* sehingga menghasilkan nilai tegangan deviatorik yang lebih besar juga.

Pengujian triaksial *CU* menghasilkan nilai kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), kohesi efektif (c'), dan sudut gesek dalam efektif (ϕ'). Tegangan geser tanah lempung dapat ditentukan dengan menggunakan parameter geser yang diperoleh dari pengujian triaksial *CU*. Nilai tegangan geser tanah didapat dengan menggunakan Persamaan (4). Hasil dari tegangan geser dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 10. Nilai Tegangan Deviatorik Saat Runtuh dan Tegangan Mayor Uji Triaksial

<i>CU</i>						
Tekanan Sel	Tekanan Balik	Tegangan Deviatorik Runtuh ($\Delta\sigma$)	Tegangan Air Pori Saat Runtuh	Tegangan Mayor (σ_1)	$\Delta\sigma'$	σ_1'
(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)
2.00	1.40	1.620	1.7	3.620	0.300	1.920
2.50	1.40	1.820	2	4.320	0.500	2.320
3.00	1.40	2.050	2.2	5.050	0.800	2.850



Gambar 7. Lingkaran Mohr Uji Triaksial CU

Tabel 11. Tegangan Geser Berdasarkan Nilai Parameter Geser dari Uji Triaksial CU

Parameter Geser			Tegangan Geser		
c (kg/cm ²)	ϕ (°)	c' (kg/cm ²)	ϕ' (°)	τ (kg/cm ²)	τ' (kg/cm ²)
0.32	9.89	0.50	17.35	1.394	1.405

Berdasarkan Tabel 11 dapat dilihat bahwa perbandingan nilai kohesi dengan kohesi efektif berturut-turut 0.32 kg/cm² dan 0.50 kg/cm². Nilai sudut geser dalam dengan nilai sudut gesek dalam efektif berturut-turut 9.89° dan 17.35°. Dari parameter geser tersebut dapat dilihat bahwa parameter geser efektif menghasilkan nilai yang lebih besar, hal ini mempengaruhi nilai tegangan geser.

Modulus elastisitas tanah adalah salah satu parameter tanah yang sangat berguna untuk perencanaan fondasi bangunan dan analisis kapasitas dukung tanah lainnya. Modulus elastisitas tanah umumnya digunakan untuk memperkirakan kekakuan tanah. Nilai modulus elastisitas tanah untuk Persamaan (4) dengan mempertimbangkan nilai tegangan deviatorik dan regangan dapat dilihat pada Tabel 12. Sedangkan nilai modulus elastisitas tanah dengan

menggunakan Persamaan (5) yang memperhitungkan nilai OCR dan indeks plastisitas tanah serta kohesi tanah dapat dilihat pada Tabel 13. Nilai OCR didapat dari uji konsolidasi sebesar 3.05.

Nilai modulus elastisitas tanah yang menggunakan Persamaan (4) menghasilkan nilai modulus elastisitas yang lebih kecil jika dibandingkan dengan Persamaan (5). Jika dilihat berdasarkan nilai modulus tanah, baik Persamaan (4) atau Persamaan (5) memiliki nilai modulus elastisitas yang masuk kedalam jenis tanah lempung lunak dengan rentang nilai 1800 – 3500 kN/m². Nilai modulus elastisitas hasil penelitian adalah 30 – 32 kg/cm² atau 3000 – 3200 kN/m². Dilihat dari klasifikasi tanah benda uji termasuk tanah CH dengan rentang nilai modulus elastisitas 0.35 – 4 MPa (Obrzud & Truty, 2018).

Tabel 12. Nilai Modulus Elastisitas dengan Mempertimbangkan Nilai Tegangan Deviatorik dan Regangan

Tekanan Sel (kg/cm ²)	Tegangan Deviatorik Runtuh (kg/cm ²)		Regangan (%)		Modulus Elastisitas (kg/cm ²)	
	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂
0.50	0.940	1.020	13	12	7.231	8.5
1.00	1.170	1.290	8	8.5	14.625	15.176
1.50	1.430	1.520	11	13	13	11.692

Tabel 13. Nilai Modulus Elastisitas Tanah yang Memperhitungkan Nilai OCR, indeks plastisitas tanah, dan kohesi

Parameter	D ₁	D ₂
c (kg/cm ²)	0.3	0.32
PI (%)	50.59	50.59
Modulus Elastisitas (kg/cm ²)	30	32

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis tanah didapatkan nilai berat jenis tanah (Gs) adalah 2.575 dan 2.581. Dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa tanah termasuk lempung organik dengan kisaran nilai berat jenis tanah lempung organik 2.58 – 2.65. Nilai porositas adalah 0.623 dan 0.621 masih masuk ke dalam kisaran nilai tanah lempung lunak. Berdasarkan klasifikasi USCS benda uji termasuk lempung tak organik dengan plastisitas tinggi (CH), sedangkan berdasarkan klasifikasi AASTHO termasuk jenis tanah berlempung (A-7-5). Sehingga dari pengujian indeks properties tanah, analisis saringan, dan batas-batas konsistensi dapat disimpulkan bahwa sampel tanah termasuk tanah lempung tak organik dengan plastisitas tinggi.

Nilai regangan puncak pada sampel D₂ lebih besar dibandingkan dengan sampel D₁, kecuali pada $\sigma_3 = 0.5$ kg/cm². Hal ini bisa dipengaruhi oleh

luas penampang sampel, semakin besar luas penampang semakin besar nilai regangan puncak yang terjadi. Nilai kohesi uji triaksial *UU* untuk variasi D₁ dan D₂ memiliki nilai berturut-turut sebesar 0.3 kg/cm² dan 0.32 kg/cm². Sedangkan, untuk nilai sudut gesek dalam variasi D₁ dan D₂ memiliki nilai berturut-turut sebesar 10.95 ° dan 11.65 °. Dari nilai kohesi dan sudut gesek dalam tersebut dapat dilihat bahwa parameter geser terbesar pada benda uji dengan diameter yang lebih besar yaitu 3.8 cm.

Berdasarkan nilai tegangan geser, benda uji yang diameter lebih besar memiliki nilai tegangan geser yang lebih besar. Nilai tegangan geser untuk variasi D₁ dan D₂ memiliki nilai berturut-turut sebesar 0.722 kg/cm² dan 0.789 kg/cm². Hal ini dapat dipengaruhi oleh nilai kohesi dan sudut gesek dalam tanah yang lebih besar. Nilai regangan yang terjadi pada pengujian triaksial *CU* lebih kecil dibandingkan dengan *UU*,

akan tetapi tegangan yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi runtuh pada kondisi *CU* lebih besar dibandingkan dengan *UU*. Nilai kohesi dan kohesi efektif hasil uji triaksial *CU* berturut-turut adalah 0.32 kg/cm^2 dan 0.50 kg/cm^2 . Sedangkan nilai sudut gesek dalam dan sudut gesek dalam efektifnya berturut-turut adalah 9.89° dan 17.35° .

Nilai tegangan geser dan tegangan geser efektif yang diperoleh berturut-turut adalah 1.394 kg/cm^2 dan 1.405 kg/cm^2 , dapat dilihat bahwa nilai tegangan geser efektif lebih besar. Nilai maksimum modulus elastistas tanah baik Persamaan (4) atau Persamaan (5) berturut-turut sebesar 1500 kN/m^2 dan 3200 kN/m^2 yang masuk kedalam jenis tanah lempung lunak dengan rentang nilai $1800 - 3500 \text{ kN/m}^2$ dan masuk dalam rentang nilai modulus tanah untuk klasifikasi CH dengan rentang $0.35 - 4 \text{ MPa}$. Nilai modulus elastistas dengan mempertimbangkan nilai kohesi, indeks plasisitas, dan OCR lebih mendekati rentang nilai modulus elastistas tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Semarang atas dukungan pendanaan penelitian yang berasal dari DIPA Politeknik Negeri Semarang Tahun 2022 dan kepada Kepala Laboratorium dan tim Laboran Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang atas dukungan dan bantuannya sehingga

penelitian ini dapat terselenggara dan terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Akpila, S.B., & Omunguye, I.W., 2014, Soil Modulus and Undrained Cohesion of Clayey Soils From Stress-Strain Models. *Canadian Journal of Pure and Applied Sciences*, 8 (3), 3155–3161
- Das, B.M., 2010, *Principles of Geotechnical Engineering* (Seventh). Cengage Learning
- Das, B.M., 2016, *Principles of Foundation Engineering*. In *McGraw-Hill handbooks*. Cengage Learning
- Gebresamuel, H.T., Melese, D.T., Boru, Y.T., & Legese, A.M., 2023, Effect of Specimens' Height to Diameter Ratio on Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 0 (0)
- Hardiyatmo, H.C., 2019, *Mekanika Tanah 1* (Keenam).
- Kotiya, N.R., Vanza, P.M.G., & Engineering, L.D.C., 2013, Effect of H/D Ratio on Stress Strain Characteristics of Clayey Soil in Triaxial Test t. *Indian Journal of Research PARIPEX*, 2 (7 July), 101–103
- Obrzud, R.F., & Truty, A., 2018, The hardening soil model - a practical guidebook. *Zace Services Ltd, Software Engineering*, 05, 205
- Omar, T., & Sadrekarimi, A., 2015, Effect of triaxial specimen size on engineering design and

- analysis. *International Journal of Geo-Engineering*, 6 (1)
- Wu, P., Li, Y., Wang, L., Wang, L., Sun, X., Liu, W., & Song, Y., 2021, Triaxial tests on the overconsolidated methane hydrate-bearing clayey-silty sediments. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 206 (July 2020), 109035
- Yin, Z.Y., & Hicher, P.Y., 2018, Multi-Scale Modeling of the Mechanical Behaviour of Clays. *Advances in Multi-Physics and Multi-Scale Couplings in Geo-Environmental Mechanics*, 133–169