



ANALISIS BALIK KUAT GESER TANAH TERSTABILISASI SEMEN DENGAN METODE NUMERIK

Muhammad Toyep¹ Husni Mubarak²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil Universitas Abdurrahman

Jl. Riau Ujung No.73, Pekanbaru, Indonesia

email : mtoyep@univrab.ac.id

email : husni.mubarak@univrab.ac.id

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Juni 2020
Disetujui Juni 2020
Dipublikasikan Juni 2020

Keywords : Triaksial UU,
Tekan bebas, Tegangan dan
Regangan, Plaxis 2D

Abstrak

Kuat geser tanah merupakan suatu parameter penting di dalam analisis kekuatan tanah. Kuat geser diperoleh dari uji laboratorium yang diinterpretasikan sebagai tegangan regangan. Pengujian dilakukan pada tanah terstabilisasi semen dengan kadar semen 5%; 10%; 15%. Pengujian dilakukan dengan alat uji triaksial takterkonsolidasi takterdrainase (triaksial UU) pada tekanan sel 50; 100; 200 kN/m² dan uji tekan bebas. Benda uji merupakan contoh tanah terganggu yang dipadatkan dan dibentuk kembali, lalu dilakukan pemeraman selama 0; 3; 7; 14; 28 hari. Tegangan regangan hasil pengujian laboratorium kemudian dianalisis balik dengan metode numerik pada program Plaxis 2D yang menggunakan model *Mohr-Coulumb* dan *Hardening Soil*. Analisis menunjukkan model *Hardening Soil* dan *Mohr-Coulumb* memberikan hasil tegangan puncak yang mendekati sama dengan hasil pengujian triaksial UU dan tekan bebas. Khusus untuk regangan dengan model Mohr-Coulumb, memberikan hasil regangan yang lebih kecil dari pengujian triaksial UU dan tekan bebas. Dengan model *Hardening Soil*, memberikan hasil regangan yang fluktuatif dari pengujian triaksial UU karena dipengaruhi oleh penerapan tekanan sel (σ_3) dan memberikan hasil regangan yang lebih besar dari pengujian tekan bebas.

Kata Kunci: Triaksial UU, Tekan bebas, Tegangan dan Regangan, Plaxis 2D

Abstract

Shear strength is a parameter to soils strength analysis. Shear strength can be obtained from laboratory test that interpreted as stress and strain. Soil tests had done on soil stabilization of cement with mixing 5%; 10%; 15% of content. Soil tests were used by triaxial test of unconsolidated undrained (triaxial UU) with cell pressure at 50; 100; 200 kN/m² and unconfined compression test. The test specimens were disturbed soil samples which compacted and remolded, and then carry out curing for 0; 3; 7; 14; 28 days. The laboratory test results were back analysis in Plaxis 2D by using Mohr-Coulumb and Hardening Soil model later. The Mohr-Coulumb and Hardening Soil model had deviator stress results was almost equal to the test results of triaxial UU and unconfined compression test. Especially of strain by Mohr-Coulumb model, shew the lower strain than be showed by triaxial UU test and unconfined compression test. The Hardening Soil model, provides fluctuating strain results of triaxial UU test because it is

affected by the application of cell pressure (σ_3) and it provides greater strain results from unconfined compression test.

Keywords: *Triaxial UU, Unconfined Compression, Stress and Strain, Plaxis 2D*

© 2020 Universitas Abdurrah

Alamat korespondensi:
Jl. Riau Ujung No.73,
Pekanbaru, Indonesia
email : mtoyep@univrab.ac.id

ISSN 2527-7073

PENDAHULUAN

Tanah hasil galian biasanya menjadi tanah terganggu, yang pada umumnya berubah sifat menjadi tidak padat dan lepas, tegangan geser yang lemah, dan kuat dukung yang rendah. Kondisi ini merupakan sifat teknis yang buruk pada tanah karena tanah tidak memiliki daya ikat yang cukup kuat untuk mempertahankan kedudukan antar butir-butirnya, yang berakibat sering terjadi kegagalan dari fungsi tanah tersebut apabila menerima beban. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu usaha stabilisasi tanah untuk memperbaiki sifat-sifat yang buruk pada tanah dengan tambahan campuran bahan semen untuk beberapa variasi kadar semen.

Maksud dari penelitian adalah untuk melihat seberapa besar kenaikan kekuatan tanah terstabilisasi semen yang ditinjau dalam bentuk kurva tegangan regangan. Adapun tujuan penelitian adalah untuk mengetahui perbandingan antara tegangan regangan hasil pengujian laboratorium dengan analisis metode numerik.

Penelitian ini dilakukan dalam skala uji laboratorium menggunakan alat uji triaksial cara *unconsolidated undrained* (UU) dan alat uji kuat tekan bebas. Selanjutnya, data masukan pada percobaan uji laboratorium akan dianalisis balik menggunakan program Plaxis2D dengan model tanah *Mohr-Coulumb* dan *Hardening Soil*.

(Tarigan, R., 2012), telah melakukan penelitian tentang karakteristik kuat geser tanah lempung dari uji kuat tekan bebas dan uji triaksial (UU). Prediksi balik dalam program Plaxis2D dengan model tanah soft soil menghasilkan tegangan deviator yang hampir sama dengan hasil uji laboratorium dan cocok untuk jenis tanah Pulau Sicanang.

TINJAUAN PUSTAKA

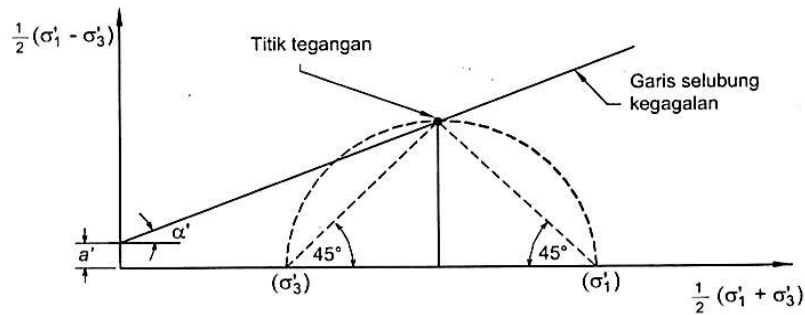
Kuat Geser

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan (Hardiyatmo, H. C., 2012). Kuat geser tanah diukur dengan dua parameter tanah yaitu kohesi (c) dan sudut geser (ϕ). Bila kedudukan tegangan-regangan digambarkan dalam koordinat-koordinat $p - q$, dengan:

$$p = \frac{1}{2}(\sigma_1' + \sigma_3') \dots\dots\dots (1)$$

$$q = \frac{1}{2}(\sigma_1' - \sigma_3') \dots\dots\dots (2)$$

Sembarang kedudukan tegangan dapat ditunjukkan oleh sebuah titik tegangan sebagai ganti dari lingkaran Mohr pada Gambar 1.



Gambar 1. Kondisi tegangan yang mewakili [1]

Pada Gambar 1, garis selubung kegagalan ditunjukkan oleh persamaan:

$$\frac{1}{2}(\sigma_1' - \sigma_3') = a' + \frac{1}{2}(\sigma_1' + \sigma_3') \operatorname{tg} \alpha' \dots\dots\dots (3)$$

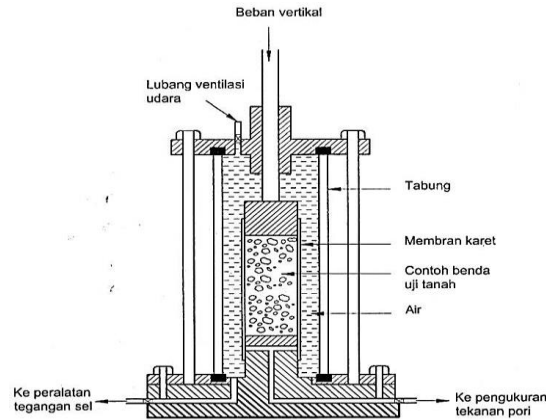
dengan a' dan α' adalah parameter modifikasi dari kuat gesernya. Parameter c' dan φ' diperoleh dari persamaan:

$$\varphi' = \arcsin (\operatorname{tg} \alpha') \dots\dots\dots (4)$$

$$c' = \frac{a'}{\cos \varphi'} \dots\dots\dots (5)$$

Uji Triaksial

Diagram skematik dari alat triaksial dapat dilihat pada Gambar 2. Pada pengujian ini, dapat digunakan tanah benda uji dengan diameter kira-kira 3,81 cm dan tinggi 7,62 cm. Benda uji dimasukkan dalam selubung karet tipis dan diletakkan kedalam tabung kaca. Biasanya, ruang didalam tabung diisi dengan air atau udara. Benda uji ditekan oleh tekanan sel , yang berasal dari tekanan cairan di dalam tabung. Udara kadang-kadang dapat digunakan sebagai media untuk penerapan tekanan selnya (tekanan kekang atau confining pressure). Alat pengujian dihubungkan dengan pengatur drainase ke dalam maupun ke luar dari benda uji. Untuk menghasilkan kegagalan geser pada benda uji, gaya aksial dikerjakan melalui bagian atas benda uji.



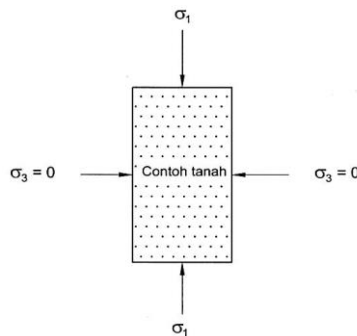
Gambar 2. Skema Alat uji triaksial

Uji triaksial dapat dilaksanakan dengan tiga cara, yaitu:

1. *Unconsolidated-Undrained* (UU)
2. *Consolidated-Undrained* (CU)
3. *Consolidated-Drained* (CD)

Uji Tekan Bebas

Gambar skematik dari prinsip pembebanan dalam percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 3. Kondisi pembebanan sama dengan yang terjadi pada uji triaksial, hanya tekanan selnya nol .



Gambar 3. Skema uji tekan bebas

Tegangan aksial yang diterapkan di atas benda uji berangsur-angsur ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan. Pada saat keruntuhannya, karena ($\sigma_3 = 0$), maka:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_f = q_u \dots\dots\dots (6)$$

dengan, q_u = kuat tekan bebas; σ_1 = tegangan utama mayor; σ_3 = tegangan utama minor; = tegangan deviator pada saat keruntuhan terjadi. Secara teoritis, nilai pada lempung jenuh seharusnya sama seperti yang diperoleh dari pengujian-pengujian triaksial UU dengan benda uji yang sama. Jadi,

$$s_u = c_u = \frac{q_u}{2} \dots\dots\dots (7)$$

dengan, $s_u = c_u =$ kuat geser *undrained*.

Program *Plaxis2D*

Plaxis adalah program komputer berdasarkan elemen hingga dua-dimensi yang digunakan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik. Program ini terdiri dari empat buah sub-program yaitu: masukan, perhitungan, keluaran dan kurva. Model material yang digunakan untuk analisis tegangan- regangan pada tanah dalam penelitian ini ada 2 (dua jenis), yaitu:

a. Model *Mohr-Coulomb*

Parameter yang diperlukan untuk model *Mohr-Coulomb* pada program *Plaxis* adalah kohesi (c), sudut geser (ϕ), sudut dilatasi (ψ), modulus elastisitas *Young's* (E) dan *Poisson ratio* (ν).

b. Model *Hardening Soil*

Model *Hardening Soil* merupakan model tingkat lanjut untuk memodelkan perilaku dari berbagai jenis tanah, baik untuk tanah lunak maupun tanah yang keras (Schanz,T., 2004). Beberapa parameter dari model *Hardening* sama dengan model *Mohr-Coulomb* yaitu kohesi (c), sudut gesek (ϕ) dan sudut dilatasi (ψ).

Parameter dasar untuk model *Hardening Soil* adalah kekakuan sekan dari uji triaksial terdrainase (E_{50}^{ref}), kekakuan tangensial untuk pembebanan primer (E_{oed}^{ref}), eksponen (m), kekakuan untuk pengurangan/ pembebanan kembali (E_{ur}^{ref}), angka *Poisson* untuk pengurangan/ pembebanan kembali (ν_{ur}).

Perilaku mekanis dari tanah dapat dimodelkan pada berbagai tingkat akurasi. Ada 3 (tiga) jenis material pada program *Plaxis2D* yang bisa dipilih untuk masing-masing model tanah yang digunakan, yaitu:

1. Jenis material *drained*
2. Jenis material *undrained*
3. Jenis material *non-porous*

METODE

Benda uji triaksial dan tekan bebas dibentuk dengan ukuran diameter 3,6 cm dan tinggi 7,2 cm. Langkah-langkah penelitian diuraikan sebagai berikut:

Persiapan benda uji

Benda uji disiapkan berupa tanah yang lolos saringan no.10 (2,0 mm) dan dicampur semen dengan variasi kadar 0%, 5%, 10%, 15%. Kemudian benda uji dicetak ulang dan diperam selama 0; 3; 7; 14; 28 hari.

Pengujian laboratorium

Benda uji yang sudah disiapkan, lalu dilakukan pengujian triaksial UU dan tekan bebas menurut lama pemeraman. Pengujian triaksial UU diberi tekanan sel (σ_3) 50; 100; 200 kN/m².

HASIL

Hasil Pengujian Sifat-sifat Fisik Tanah Asli (*index properties*)

Dari keseluruhan rangkaian pemeriksaan sifat-sifat fisik tanah asli, maka dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian sifat-sifat fisik tanah asli

No	Pengujian	Nilai
1	Kadar air, <i>w</i> (%)	21,24
2	Berat spesifik (<i>G_s</i>)	2,68
3	Butir tertahan saringan no. 200 (%)	67,13
	Butir lolos saringan no. 200 (%)	32,87
4	Pemeriksaan grafik pembagian butiran:	
	- Pasir (%)	76
	- Lanau (%)	10
	- Lempung (%)	14
5	Batas cair, <i>LL</i> (%)	35,20
6	Batas plastis, <i>PL</i> (%)	25,06
7	Indeks plastisitas, <i>PI</i> (%)	10,14

Jenis tanah ditentukan menurut klasifikasi sistem USCS (*Unified Soil Classification System*) yang berdasarkan data Tabel 1, maka digunakan simbol kelompok SC yaitu tanah jenis pasir berlempung.

Hasil Pengujian Triaksial UU

Pengujian dilakukan menurut lama pemeraman dengan beberapa variasi kadar semen. Hasil pengujian triaksial UU disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian Triaksial UU

Pemeraman (hari)	Variasi Benda Uji							
	Tanah		Tanah + 5% Semen		Tanah+10% Semen		Tanah+15% Semen	
	<i>c</i> kN/m ²	ϕ (derajat)	<i>c</i> kN/m ²	ϕ (derajat)	<i>c</i> kN/m ²	ϕ (derajat)	<i>c</i> kN/m ²	ϕ (derajat)
0	27	29	48	28	165	21	219	23
3	-	-	60	28	176	28	331	22
7	-	-	97	25	197	35	414	18
14	-	-	139	27	186	40	726	27
28	-	-	91	39	112	49	711	29

Hasil pengujian triaksial UU menunjukkan semakin lama umur pemeraman maka semakin meningkat kuat geser tanah, yang ditunjukkan dari peningkatan sudut geser (ϕ), tetapi tidak untuk kohesi tanah yang hanya mencapai kekuatan puncak pada pemeraman 14 hari saja. Peningkatan kuat geser dipengaruhi oleh berkurangnya derajat kejenuhan benda uji. Dimana panas hidrasi semen membuat kadar air berkurang seiring lama pemeraman dan berkurangnya volume rongga karena membesarnya ukuran butir-butir tanah.

Hasil Pengujian Tekan Bebas

Dari kuat tekan bebas (q_u) maka dapat diperoleh kuat geser atau kohesi (c_u) yaitu seperdua kuat tekan bebas $c_u = \frac{1}{2}q_u$. Hasil pengujian kuat tekan bebas dan kohesinya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian tekan bebas

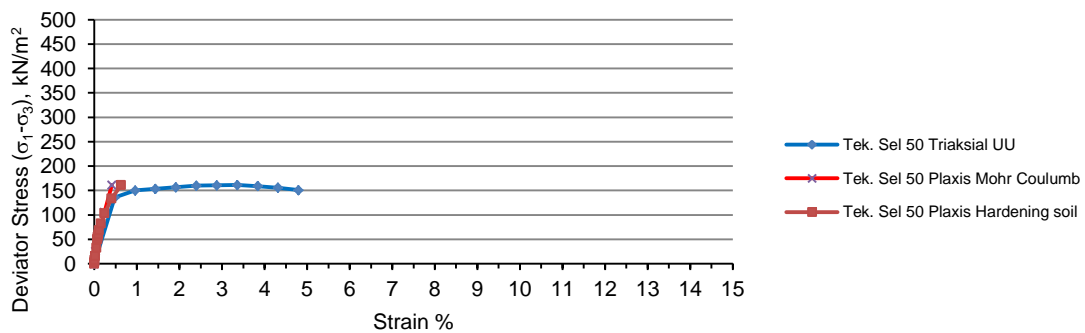
Pemeraman (hari)	Variasi Benda Uji							
	Tanah		Tanah + 5% Semen		Tanah + 10 % Semen		Tanah + 15% Semen	
	q_u kN/m ²	$s_u = c_u$ kN/m ²	q_u kN/m ²	$s_u = c_u$ kN/m ²	q_u kN/m ²	$s_u = c_u$ kN/m ²	q_u kN/m ²	$s_u = c_u$ kN/m ²
0	109,1	54,5	140,4	70,2	576,4	288,2	602,6	301,3
3	-	-	193,0	96,5	663,9	332,0	824,8	412,4
7	-	-	369,4	184,7	857,2	428,6	1111,0	555,5
14	-	-	538,6	269,3	1184,7	592,3	1499,6	749,8
28	-	-	849,3	424,7	1234,5	617,2	1956,2	978,1

Dari Tabel 3 dapat dilihat, bahwa nilai kuat tekan (q_u) dan kohesi (c_u) semakin meningkat seiring bertambahnya lama pemeraman dan kadar semen. Hal ini menunjukkan bahwa semen mampu meningkatkan kekuatan tanah dengan cara mengikat butir-butir tanah sehingga tanah menjadi padat dan keras.

Perbandingan Hasil Pengujian Triaksial UU dan Program *Plaxis2D*

Perbandingan antara tegangan regangan pengujian triaksial UU dan program *Plaxis2D* model *Mohr-Coulumb* dan *Hardening Soil* untuk tanah asli pada 0 hari pemeraman dari tekanan sel (σ_3) 50; 100; 200 kN/m² yang disajikan dalam bentuk kurva sebagai berikut.

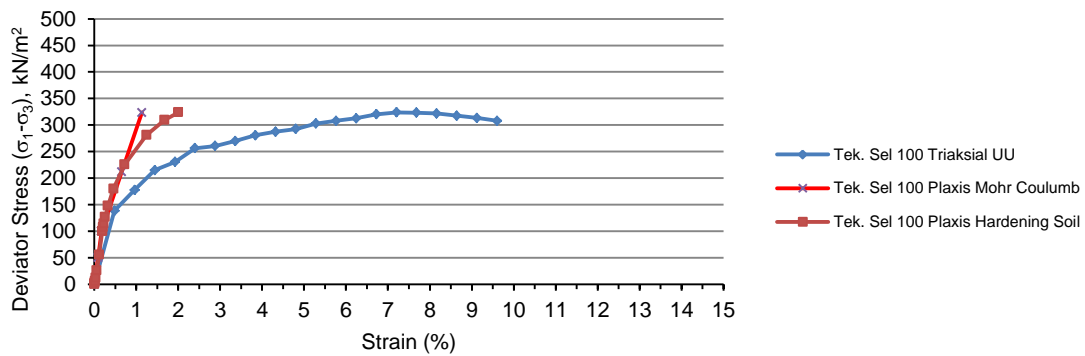
- a. Tekanan sel 50 kN/m²



Gambar 4. Grafik perbandingan tegangan regangan tanah asli dengan tekanan sel 50 kN/m²

Dari Gambar 4 dapat dijelaskan bahwa analisis program *Plaxis* 2D model *Mohr-Coulumb* dan *Hardening Soil* memberikan hasil tegangan puncak yang mendekati sama dengan hasil pengujian triaksial UU yaitu sebesar $161,2 \text{ kN/m}^2$, tetapi dengan regangan yang berbeda-beda. Untuk model *Mohr-Coulumb* diperoleh regangan sebesar 0,41%, regangan model *Hardening Soil* sebesar 0,63% dan regangan pengujian triaksial UU sebesar 3,36%. Regangan model *Mohr-Coulumb* lebih kecil dari model *Hardening Soil* dan pengujian triaksial UU. Artinya analisis dengan model *Mohr-Coulumb*, keruntuhan benda uji lebih dahulu tercapai. Berbeda untuk model *Hardening Soil* dengan regangan yang lebih besar dari model *Mohr-Coulumb* karena merupakan model tingkat lanjut untuk memodelkan perilaku tanah yang keras dan bentuk kemiringan kurva yang mendekati pengujian triaksial UU.

b. Tekanan sel 100 kN/m^2

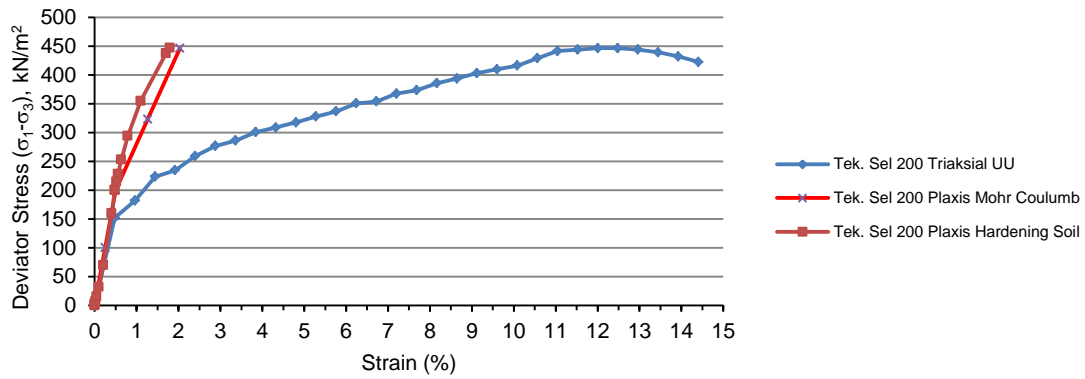


Gambar 5. Grafik perbandingan tegangan regangan tanah asli dengan tekanan sel 100 kN/m^2

Dari Gambar 5 dapat dijelaskan bahwa model *Mohr-Coulumb* dan *Hardening Soil* memberikan hasil tegangan puncak yang mendekati sama dengan hasil pengujian triaksial UU yaitu sebesar $323,7 \text{ kN/m}^2$, tetapi dengan regangan yang berbeda-beda. Regangan model *Mohr-Coulumb* lebih kecil dari model *Hardening Soil* dan pengujian triaksial UU. Artinya analisis dengan model *Mohr-Coulumb*, keruntuhan benda uji lebih dahulu tercapai.

Berbeda untuk model *Hardening Soil* dengan regangan yang lebih besar dari model *Mohr-Coulumb* karena merupakan model tingkat lanjut untuk memodelkan perilaku tanah yang keras dan bentuk kemiringan kurva yang mendekati pengujian triaksial UU.

c. Tekanan sel 200 kN/m^2

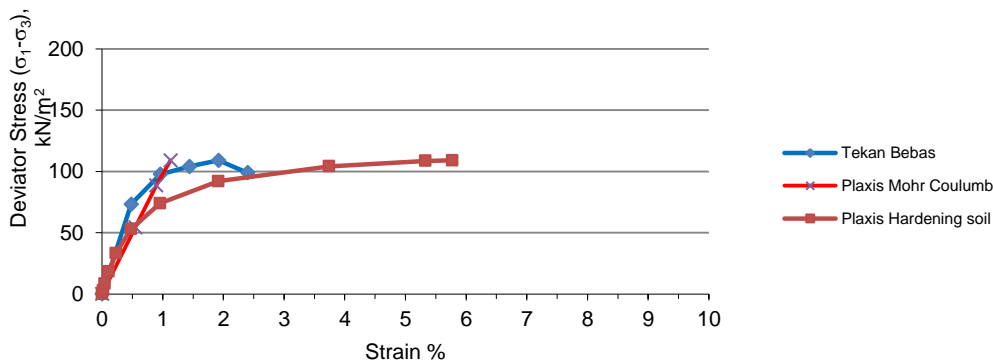


Gambar 6. Grafik perbandingan tegangan regangan tanah asli untuk lama pemeraman 0 hari dengan tekanan sel 200 kN/m²

Dari Gambar 6 dapat dijelaskan bahwa model *Mohr-Coulumb* memberikan hasil tegangan puncak yang mendekati sama dengan hasil pengujian triaksial UU dengan regangan yang berbeda-beda. Regangan model *Hardening Soil* lebih kecil dari model *Mohr-Coulumb* dan pengujian triaksial UU. Artinya analisis dengan model *Hardening Soil*, keruntuhan benda uji lebih dahulu tercapai. Hal ini terjadi karena tekanan sel (σ_3) sebesar 200 kN/m² memberikan pengaruh terhadap benda uji sehingga lebih dahulu mencapai keruntuhan. Berbeda dengan pemberian tekanan sel sebelumnya dalam Gambar 4 dan 5 yaitu pemberian tekanan sel 50 kN/m² dan 100 kN/m², hasil regangan model *Hardening Soil* selalu lebih besar dari model *Mohr-Coulumb*.

Perbandingan Hasil Pengujian Tekan Bebas dan Program *Plaxis 2D*

Perbandingan antara tegangan regangan pengujian tekan bebas dan *Plaxis 2D* model *Mohr-Coulumb* dan *Hardening Soil* untuk tanah asli 0 hari pemeraman dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik perbandingan tegangan regangan tanah asli

Dari Gambar 7 dapat dijelaskan bahwa model *Mohr-Coulumb* dan *Hardening Soil* memberikan hasil tegangan puncak yang mendekati sama dengan hasil pengujian tekan bebas, tetapi dengan regangan yang berbeda-beda. Regangan model *Mohr-Coulumb* selalu lebih kecil

dari model *Hardening Soil* dan pengujian tekan bebas. Artinya analisis dengan model *Mohr-Coulumb*, memberikan keruntuhan benda uji lebih dahulu tercapai.

Berbeda untuk model *Hardening Soil* dengan hasil regangan yang lebih besar dari model *Mohr-Coulumb* dan tekan bebas karena merupakan model tingkat lanjut untuk memodelkan perilaku tanah yang keras sehingga proses analisis memerlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai tegangan puncak. Begitu juga kemiringan kurva model *Hardening Soil* yang berbentuk hiperbolik mendekati pengujian tekan bebas, sedangkan kurva model *Mohr-Coulumb* berbentuk linear.

SIMPULAN

1. Bahan semen mampu meningkatkan kuat geser tanah
2. Berdasarkan analisis balik dalam program *Plaxis2D*, bahwa model *Hardening Soil* dan *Mohr-Coulumb* memberikan hasil tegangan deviator yang mendekati sama dengan hasil pengujian triaksial UU dan tekan bebas.
3. Analisis balik program *Plaxis2D* dengan model *Mohr-Coulumb*, memberikan hasil regangan yang lebih kecil dari pengujian triaksial UU dan tekan bebas. Dengan model *Hardening Soil*, memberikan hasil regangan yang fluktuatif dari pengujian triaksial UU karena dipengaruhi oleh penerapan tekanan sel (σ_3) dan memberikan hasil regangan yang lebih besar dari pengujian tekan bebas.

DAFTAR PUSTAKA

- Hardiyatmo, H. C., 2012, *Mekanika Tanah 1*, Cetakan pertama, Edisi keenam, Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Schanz, T., 2004, "Non-Linear Hyperbolic Model & Parameter Selection", Course on Computational Geotechnics, Bauhaus-Universität Weimar, Germany (08 April 2016) <http://ceae.colorado.edu/~sture/plaxis/slides/Course%20Notes%20on%20Nonlinear%20Hyperbolic%20Model%20and%20Parameter%20Selection.doc>
- Tarigan, R., 2012, Karakteristik Kuat Geser Tanah Lempung Dari Uji Unconfined Compressive Strengh dan Uji Triaksial Takterkonsolidasi Takterdrainase, Tesis Magister, Program Studi Teknik Sipil Program Pasca Sarjana Universitas Sumatera Utara, Medan