

# PERILAKU KUAT GESER TANAH LEMPUNG LUNAK KOTA PONTIANAK

Jaka <sup>1)</sup>, Eka Priadi <sup>2)</sup>, Ahmad Faisal <sup>2)</sup>

## ABSTRAK

Penyelidikan tanah sangat diperlukan terutama pada pembangunan di daerah yang sedang berkembang, terutama pada daerah yang memiliki jenis tanah lempung lunak. Jika dikaitkan dengan kondisi kota Pontianak yang memiliki jenis tanah endapan alluvial atau delta, dengan kata lain jenis tanah ini termasuk jenis tanah lempung kohesif. Jenis tanah lempung kohesif memiliki perilaku mekanika tanah yang sukar diprediksi dan sangat menyulitkan para ahli dalam menentukan pemodelan yang cocok untuk memprediksi keadaan kritis jenis tanah ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memprediksi perilaku kuat geser dan masalah nilai batas pada jenis tanah lunak yang ada di Kota Pontianak. Sebuah model konstitutif yang berbasis pada teori plastisitas yang dikenal dengan model *Cam Clay* mampu memprediksi perilaku mekanik tanah lunak dengan memuaskan. Dalam penelitian ini sampel tanah diambil dari 2 lokasi yang berbeda, yaitu sampel tanah kota Pontianak dan sampel tanah kota Sintang. Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, pemodelan dengan *Modified Cam Clay (MCC)* dapat digunakan untuk mensimulasikan perilaku antara tegangan dan regangan pada tanah kota Pontianak. Sedangkan pemodelan pada tanah kota Sintang, model *MCC* gagal dalam memprediksikan perilaku tegangan dan regangan tanah. Maka, dari hasil penelitian yang telah dilakukan tersebut, model *MCC* lebih cocok digunakan untuk memprediksikan perilaku mekanik jenis tanah lunak jika dibandingkan jenis tanah kaku dan tanah keras. Kekurangan dari hasil pemodelan data dengan *MCC* tidak dapat memprediksikan nilai tekanan air pori dan lintasan tegangan (*stress path*), tetapi model yang dihasilkan menunjukkan tren garis yang sama dengan hasil eksperimen. Dengan kata lain, kedua garis lintasan tersebut sama-sama berada pada daerah lintasan kritis.

*Kata kunci: Pontianak, Modified Cam Clay (MCC), lempung lunak, triaksial CU, kuat geser*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kota Pontianak yang letak geografisnya berada di daerah rendah dan dilalui oleh sungai Kapuas. Pada umumnya jenis tanah yang sebagian besar menutupi daerah tersebut adalah jenis tanah endapan alluvial atau delta, dengan kata lain jenis tanah ini termasuk jenis tanah lempung kohesif. Menurut Terzaghi (1967) tanah lempung kohesif diklasifikasikan sebagai tanah lempung yang mempunyai daya dukung ultimit lebih kecil dari 0,5 kg/cm<sup>2</sup> dan nilai standard penetrasi tes lebih kecil dari 4 (*N-value* < 4). Hal ini menunjukkan bahwa tanah jenis lempung lunak memiliki daya dukung yang kecil.

Tanah di kota Pontianak memiliki struktur alami yang memungkinkan terjadinya perbedaan perilaku mekanik tanah yang dalam hal ini adalah tegangan-regangan dengan tanah daerah lain. Namun perilaku tersebut tidak secara langsung diketahui dari hasil uji laboratorium, perlu adanya suatu model yang mampu mensimulasikan perilaku tanah tersebut. Beberapa perilaku mekanik dari tanah tersebut dapat diketahui dengan sebuah model konstitutif yang berbasis pada teori plastisitas yang dikenal dengan *model Cam*

*Clay*. Pemodelan ini mampu memprediksi perilaku mekanika tanah dengan dengan baik. Beberapa perilaku penting yang dapat diprediksi dari perilaku mekanik tanah melalui model ini adalah perilaku tegangan, deformasi *volumetric elastic* dan *plastic*, regangan geser *elastic* dan *plastic*, serta tekanan air pori.

### 1.2. Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan sebelumnya, maka rumusan masalah dari studi ini yaitu apa saja perilaku mekanik yang ada pada tanah kota Pontianak dan bagaimana model *Modified Cam Clay* dalam memprediksi perilaku kuat geser tanah kota Pontianak.

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menghasilkan parameter-parameter yang didasarkan pada model *Modified Cam Clay* dan parameter tersebut diperoleh dari hasil uji laboratorium yang diharapkan mampu untuk memprediksi hubungan antara tegangan dan regangan tanah.

- b. Parameter dari hasil uji laboratorium akan kita masukkan pada model *Modified Cam Clay* yang nantinya digunakan untuk mencoba memprediksi perilaku mekanik tanah kota Pontianak dari model tersebut dalam hal ini adalah tegangan-regangan tanah kemudian membandingkan hasil prediksi model tersebut terhadap hasil laboratorium.
- c. Menganalisa perilaku kuat geser tanah kota Pontianak.

**1.4. Pembatasan Masalah**

Pembatasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

- a. Analisa yang dilakukan berdasarkan data dari hasil percobaan di laboratorium menggunakan tanah lempung lunak yang diambil dari beberapa lokasi, yaitu tanah kota Pontianak dan tanah kota Sintang.
- b. Pemeriksaan sifat fisis tanah di dapat dari hasil percobaan di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- c. Sampel yang diambil adalah sampel tanah tidak terganggu (*undisturb*).
- d. Pengujian kuat geser tanah menggunakan uji triaksial pada kondisi terkonsolidasi-tanpa drainase (*Consolidated-Undrained / CU Test*) yang berupa data primer.
- e. Pemeriksaan konsolidasi tanah digunakan uji konsolidasi (*consolidation test*) laboratorium yang berupa data primer.

**2. METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura Pontianak. Beberapa jenis pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Pengambilan sampel, yaitu dengan menggunakan sampel hasil *deep bor* dengan kedalaman yang bervariasi.
- b. Pemeriksaan indeks propertis tanah
  - Pemeriksaan kadar air tanah
  - Pemeriksaan berat volume tanah
  - Pemeriksaan berat jenis tanah
  - Pengujian *atterberg limits*
  - Pengujian *hydrometer*
- c. Pengujian triaksial kondisi *consolidated undrained (cu)*.
- d. Pengujian konsolidasi Laboratorium.

**3. TINJAUAN PUSTAKA MODEL CAM CLAY**

Tanah dapat dijadikan sebagai bahan hardening regangan pada kondisi tidak menghasilkan pembentukan yang identik dengan tegangan maksimal. Beberapa peneliti yang telah menyelidiki kemungkinan tanah modeling sebagai bahan hardening regangan, dan ini telah menjadi salah satu hal penting bagi para ahli mekanika tanah di Cambridge Universitas selama tiga puluh tahun terakhir.

Roscoe (1963) menggunakan teori tegangan hardening dari plastisitas untuk merumuskan model tegangan-regangan lengkap untuk *normally consolidated* atau *over-consolidated* ringan dalam uji triaksial yang dikenal sebagai model *Cam Clay* (Schofield dan Gusar, 1968). Burland (1965) menyarankan versi modifikasi dari model *Cam Clay* dan model ini kemudian diperluas ke keadaan tegangan tiga-dimensi secara umum oleh Roscoe dan Burland (1968).

Model *Cam Clay* atau yang biasa disebut “model konstitutif pada keadaan kritis” merupakan model yang paling populer dan merupakan pokok dari model konstitutif untuk tanah lempung normally consolidated. Hal ini mengasumsikan bahwa perilaku tanah dalam keadaan yang dibentuk kembali dapat dijelaskan oleh model modifikasi *Cam Clay*. Pada mekanika tanah keadaan kritis, disarankan agar unsur tanah mengalami deformasi geser yang seragam sampai mencapai keadaan kritis di mana ia terus mengalami deformasi lanjut tanpa mengalami perubahan dalam keadaan konstan pada tegangan efektif ( $p'$ ), tegangan deviator ( $q$ ) dan volume spesifik ( $v = 1 + e$ , dimana  $e$  adalah angka pori). Garis keadaan kritis (CSL) didefinisikan sebagai kurva datar pada  $p' - q - v$ , dan garis lurus pada  $p' - q$ , seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.

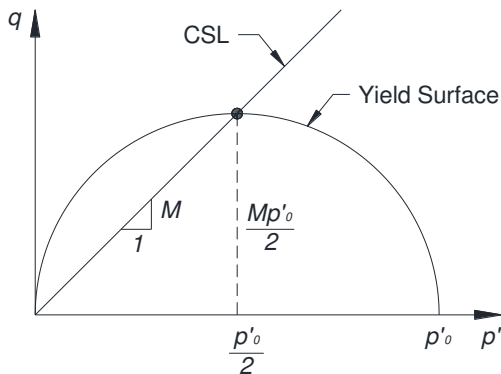
Tegangan efektif  $p'$ , tegangan deviator  $q$ , dan rasio tegangan  $\eta$  didapatkan dari persamaan berikut:

$$p' = \frac{\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}}{3} = \frac{\sigma_{11} + 2.\sigma_{33}}{3} \dots\dots\dots (1)$$

Pada uji triaksial konvensional, nilai  $q$  dan  $\eta$  dengan persamaan berikut :

$$q = \frac{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6.(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2)}{\sqrt{2}} = \sigma'_1 - \sigma'_3 \dots\dots\dots (2)$$

$$\eta = \frac{q}{p'} \dots\dots\dots (3)$$



Gambar 1. Yield Surface dan CSL pada p'-q

Dalam penerapannya, metode *Cam Clay* juga memiliki kelebihan dan kekurangan. Model ini lebih cocok untuk menggambarkan deformasi dari kegagalan terutama untuk *normally consolidated* tanah lunak. Model ini juga baik dilakukan dalam aplikasi yang melibatkan kondisi seperti pembangunan tanggul atau pondasi. Dalam memprediksi kekuatan geser tak teralirakan pada lempung lunak, model ini lebih realistis dibandingkan dengan model *Mohr-Coloumb*. Namun, dalam memodifikasi model *Cam Clay*, hal ini memiliki keterbatasan. Pada kondisi permukaan daerah yang kritis, model ini melebih-lebihkan kegagalan tekanan yang terjadi pada “daerah kering”. Model ini mengacu pada aturan aliran sehingga tidak dapat memprediksi fitur penting dari perilaku yang biasa terlihat dalam tes *undrained* pada pasir longgar dan *normally consolidated* tanah terganggu, dan itu merupakan puncak dari tegangan deviator sebelum mendekati kondisi kritis. Hal ini menyatakan bahwa pada permodelan bahan granular, prediksi keadaan kritis jauh dari keberhasilan.

### 3.1. Evaluasi Parameter

Ada beberapa parameter yang digunakan dalam metode ini yaitu  $\lambda$ ,  $\kappa$ ,  $e$ ,  $M$ ,  $p$ ,  $q$ ,  $\eta$ ,  $K$ ,  $G$  dan  $\nu$ . Determinasi dari parameter  $\lambda$  dan  $\kappa$ : Nilai dari  $\lambda$  dan  $\kappa$  dapat dihubungkan dengan jumlah yang umumnya dikenal seperti indeks kompresi ( $C_c$ ) dan indeks mengembang ( $C_s$ ). Indeks kompresi ( $C_c$ ) diartikan sebagai kemiringan dari garis beban murni pada  $e - \log_{10} p$  sedangkan indeks mengembang ( $C_s$ ), diartikan sebagai kemiringan dari kurva *loading-unloading* pada bidang yang sama. Biasanya, indeks kompresi dan indeks

mengembang didefinisikan sehubungan dengan uji konsolidasi satu dimensi. Tetapi, dapat diperlihatkan bahwa kurva  $e - \ln p$  untuk tes rasio tegangan konstan yaitu, untuk rasio  $q/p$  konstan, sejajar dengan yang diperoleh dari tes hidrostatik. Faktanya, konsolidasi satu-dimensi adalah kasus khusus dari tes  $q/p$  konstan. Kurva  $e - \ln p$  didapatkan dari tes hidrostatik sejajar yang diperoleh dalam kondisi kritis. Nilai dari  $\lambda$  dan  $\kappa$  dapat dihubungkan dengan  $C_c$  dan  $C_s$  sebagai berikut. Nilai dari  $\lambda$  dan  $\kappa$  dapat dihubungkan dengan  $C_c$  dan  $C_s$  sebagai berikut. kompresi murni dapat dinyatakan sebagai:

$$e - e_0 = C_c \log_{10} \left( \frac{p}{p_0} \right) \dots\dots\dots (4)$$

Atau:

$$e - e_0 = \lambda \ln \left( \frac{p}{p_0} \right) \dots\dots\dots (5)$$

Dan garis mengembang (garis *unloading-reloading*) dapat dinyatakan sebagai :

$$e - e_0 = C_s \log_{10} \left( \frac{p}{p_0} \right) \dots\dots\dots (6)$$

Atau:

$$e - e_0 = \kappa \ln \left( \frac{p}{p_0} \right) \dots\dots\dots (7)$$

Oleh karena itu, membandingkan persamaan (4) dan (5), didapatkan:

$$\lambda = \frac{C_c}{\ln 10} = \frac{C_c}{2,303} \dots\dots\dots (8)$$

dan membandingkan persamaan (6) dan (7) menghasilkan

$$\kappa = \frac{C_s}{\ln 10} = \frac{C_s}{2,303} \dots\dots\dots (9)$$

Penentuan parameter,  $M$  : Parameter  $M$  adalah kemiringan garis keadaan kritis pada kurva  $q-p$ . Untuk menentukan nilai  $M$ , dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$M = \frac{6 \cdot \sin \phi'}{3 - \sin \phi'} \dots\dots\dots (10)$$

Penentuan parameter  $K$  dan  $G$  : Parameter  $K$  merupakan modulus bulk yang bergantung pada tegangan dan  $G$  merupakan modulus elastisitasnya.

$$E = \frac{3(1-2\nu)(1+e_0)p'}{2(1+\nu)\kappa} \dots\dots\dots (11)$$

$$G = \frac{3(1-2\nu)(1+e_0)p'}{2(1+\nu)\kappa} \dots\dots\dots (12)$$

Langkah demi langkah prosedur perhitungan

pada pengujian *Consolidated Undrained*:

a. Langkah 1: Menentukan nilai  $p' = p'_0, p'_0 - \Delta p', p'_0 - 2\Delta p', \dots, p'_f$ . Nilai  $\Delta p'$  merupakan nilai terkecil dari kenaikan tegangan efektif.

b. Langkah 2: Perbaharui nilai *yield surface* untuk kenaikan beban lainnya sebagai

$$(p'_c)_i = (p'_c)_{i-1} \left( \frac{p'_{i-1}}{p'_i} \right)^{\frac{\kappa}{\lambda - \kappa}} \dots \dots \dots (13)$$

c. Langkah 3: Hitung  $q$  untuk setiap nilai kenaikan dengan menggunakan

$$q = M \cdot p' \sqrt{\frac{p'_c}{p'} - 1} \dots \dots \dots (14)$$

d. Langkah 4: Hitung kenaikan regangan volumetric elastic menggunakan

$$d\varepsilon_v^e = \frac{\kappa}{1+e} \frac{dp'}{p'} = \frac{\kappa}{1+e} \cdot \ln \left( \frac{p'_{i-1}}{p'_i} \right) \dots \dots \dots (15)$$

e. Langkah 5: Hitung kenaikan regangan volumetric plastic menggunakan

$$d\varepsilon_v^p = \frac{-\kappa}{1+e} \frac{dp'}{p'} = \frac{-\kappa}{1+e} \cdot \ln \left( \frac{p'_{i-1}}{p'_i} \right) \dots \dots \dots (16)$$

Hal ini disebabkan pada kondisi undrained tidak ada perubahan volume, dimana

$$d\varepsilon_v = d\varepsilon_v^e + d\varepsilon_v^p = 0$$

f. Langkah 6: Hitung kenaikan regangan geser plastic menggunakan

$$d\varepsilon_s^p = d\varepsilon_v^p \frac{2 \cdot \eta}{M^2 - \eta^2} \dots \dots \dots (17)$$

g. Langkah 7: Hitung kenaikan regangan geser *elastic* menggunakan

$$d\varepsilon_s^e = \frac{\Delta q}{3G} \dots \dots \dots (18)$$

h. Langkah 8: Hitung kenaikan regangan geser menggunakan

$$d\varepsilon_s = d\varepsilon_s^e + d\varepsilon_s^p \dots \dots \dots (19)$$

i. Langkah 9: Hitung total regangan geser dengan

$$(\varepsilon_s)_\kappa = \sum_{i=1}^{\kappa} (d\varepsilon_s)_i \dots \dots \dots (20)$$

j. Langkah 10: Hitung regangan aksial,  $\varepsilon_1$  dimana  $\varepsilon_1 = \varepsilon_s$

k. Langkah 11: Hitung total nilai tegangan menggunakan persamaan lintasan tegangan (*stress path*)

$$p = p'_0 + \frac{q}{3} \dots \dots \dots (21)$$

l. Langkah 12: kenaikan tekanan air pori menggunakan

$$\Delta u = p - p' \dots \dots \dots (22)$$

Dari langkah-langkah diatas, dapat dilakukan analisa perbandingan model *Modified Cam Clay* dan hasil data laboratorium berupa hubungan antara perilaku tegangan dengan regangan, hubungan tekanan air pori dengan regangan, dan lintasan tegangan (*stress path*).

## 4. HASIL DAN ANALISA

### 4.1. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Klasifikasi Tanah

Berikut ini adalah tabel hasil pemeriksaan sifat fisik dan klasifikasi tanah yang diambil masing-masing satu data yang mewakili dari beberapa data percobaan yang telah dilakukan. Hal ini bertujuan untuk membandingkan perilaku tanah pada dua kondisi tanah yang berbeda dan dilakukan percobaan yang sama.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Sifat Fisik Tanah Kota Pontianak dan Kota Sintang

Jenis Pemeriksaan		Sampel Tanah	
		Kota Pontianak	Kota Sintang
Kode Tabung		DB.1	DB.1
Kedalaman	D (m)	9,50-10,00	9,00-9,50
Kadar Air	w (%)	93,589	38,949
Berat Volume	$\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	0,802	1,321
Berat Jenis Spesifik Tanah	Gs	2,758	2,656
Batas Atterberg	LL (%)	70,685	55,296
	PL (%)	28,313	31,100
	IP (%)	42,372	24,197
Gradasi Butiran	Sand (%)	43	6,00
	Silt (%)	44	56,00
	Clay (%)	13	38,00
Klasifikasi	USCS	CH	MH-OH

Dari Tabel 1. diatas, klasifikasi tanah menggunakan sistem USCS menunjukkan bahwa jenis tanah kota Pontianak banyak mengandung lempung atau dengan klasifikasi CH (Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk). Sedangkan jenis tanah pada kota Sintang memiliki klasifikasi MH-OH (lempung organik dengan plastisitas sedang & lanau anorganik atau pasir halus diatomae). Dari perbandingan sampel diatas, didapat bahwa sampel tanah kota Pontianak memiliki kriteria yang cocok jika digunakan dalam pemodelan mekanika tanah dengan model *Modified Cam Clay* karena banyak mengandung lempung (*Clay*).

#### 4.2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Sifat Mekanik Tanah

Dalam pengujian ini dilakukan pemeriksaan sifat mekanik tanah yaitu dengan menggunakan uji triaksial terkonsolidasi-tanpa drainase dan pengujian konsolidasi. Tujuan dilakukannya pengujian ini adalah untuk mendapatkan parameter-parameter sifat mekanik tanah yaitu berupa  $e_0$ ,  $C_c$ ,  $C_r$ ,  $C_v$ ,  $\phi$ ,  $\phi'$ ,  $c$ ,  $c'$ , dan grafik tegangan-regangan. Parameter ini nantinya akan digunakan untuk memprediksi perilaku tanah dengan model *Modified Cam Clay* terhadap hasil uji laboratorium. Berikut ini adalah tabel hasil pengujian konsolidasi dan triaksial.

Tabel 2. Hasil Pengujian Konsolidasi dan Triaksial

Jenis Pengujian		Sampel Tanah	
		Kota Pontianak	Kota Sintang
Sampel		DB.1	DB.1
Kedalaman	$D (m)$	9,50-10,00	9,00-9,50
Konsolidasi	$e_0$	3,208	1,395
	$C_c$	2,233	0,959
	$C_r$	0,208	0,050
	$C_v$	0,00767	0,00910
Triaksial CU	$\phi(^{\circ})$	4,744	12,971
	$c(kg/cm^2)$	0,043	0,461
	$\phi'(^{\circ})$	5,806	14,889
	$c'(kg/cm^2)$	0,047	0,384

#### 4.3. Analisa Perilaku Kuat Geser Tanah

Besaran nilai kuat geser tanah memiliki peranan penting terhadap pemodelan perilaku tanah dengan model *Modified Cam Clay*. Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, pemodelan dengan modifikasi *Cam Clay* lebih cocok dilakukan pada jenis tanah yang memiliki kuat geser yang rendah. Berikut ini adalah hasil dari nilai kuat geser tanah kota Pontianak dan kota Sintang.

Tabel 3. Kuat Geser Tanah

Parameter	Lokasi	
	Pontianak	Sintang
Kode Sampel	DB.1	DB.1
Kedalaman (m)	9,50-10,00	9,0-9,50
Kuat Geser ( $\tau$ )		
Normal ( $kg/cm^2$ )	0,110	0,735
Efektif ( $kg/cm^2$ )	0,129	0,700

Dari Tabel 3. diatas, terlihat bahwa nilai kuat geser untuk tanah kota Pontianak menunjukkan nilai yang kecil atau menunjukkan nilai kuat geser antara 12,5-25 kPa. Sedangkan kuat geser untuk tanah kota Sintang menunjukkan nilai kuat geser yang lebih besar dari 25 kPa, atau memiliki nilai konsistensi setengah kaku atau kaku.

#### 4.4. Pemodelan Perilaku Tanah dengan Model *Modified Cam-Clay*

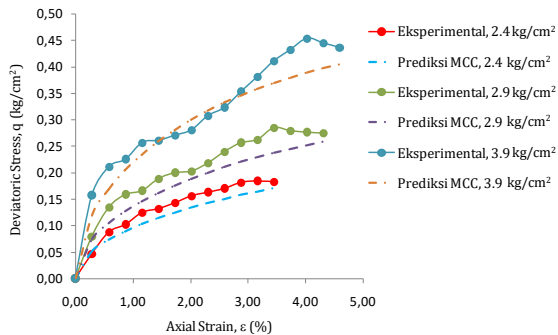
Dari hasil pengujian triaksial *Consolidated Undrained* (CU) di laboratorium, maka akan digunakan untuk memprediksi perilaku tanah pada model keadaan kritis. Model ini akan memprediksi hubungan antara tegangan-regangan, tekanan air pori dengan regangan, lintasan tegangan, dan mendeskripsikan daerah kritis dari tanah kota Pontianak dan Sintang.

Tabel 4. Model Parameter Tanah

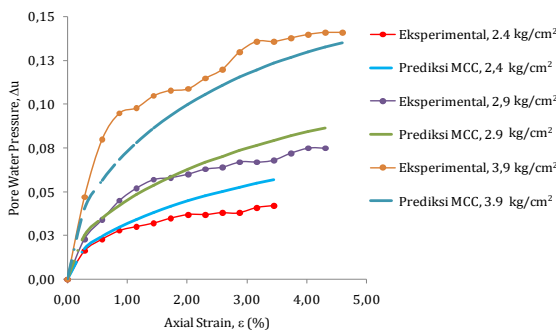
Parameter	Lokasi	
	Pontianak	Sintang
Kode Sampel	DB.1	DB.1
Kedalaman	9,50-10,00	9,0-9,50
Model Parameter		
$e_0$	3,208	1,395
$\nu$	0,30	0,30
$M$	0,209	0,562
$\lambda$	0,9697	0,4164
$\kappa$	0,0905	0,0219

Dari parameter yang dihasilkan diatas, maka dapat dibentuk grafik pemodelan modifikasi *Cam Clay* pada tanah kota Pontianak dan kota Sintang. Berikut ini adalah grafik prediksi model modifikasi *Cam Clay* terhadap hasil eksperimen laboratorium.

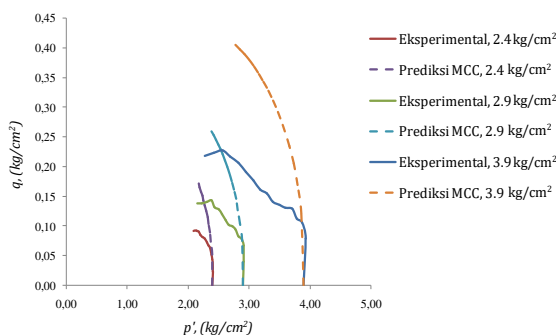
#### 4.5. Hubungan tegangan dan regangan



(a) Hubungan tekanan air pori dan regangan



(b) Lintasan tegangan



Gambar 2. Perbandingan antara prediksi modifikasi *Cam Clay* dengan hasil pengujian triaksial CU pada tanah kota Pontianak

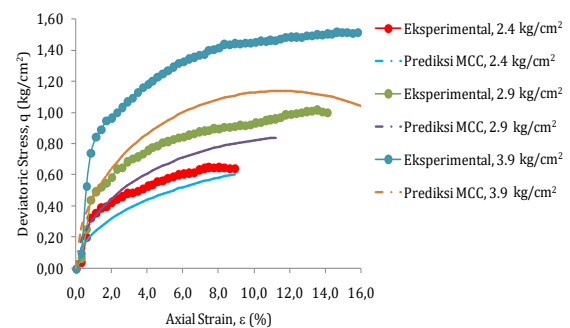
Dari Gambar 2. dapat dilihat bahwa:

1. Model modifikasi *Cam Clay* pada grafik hubungan tegangan-regangan memiliki

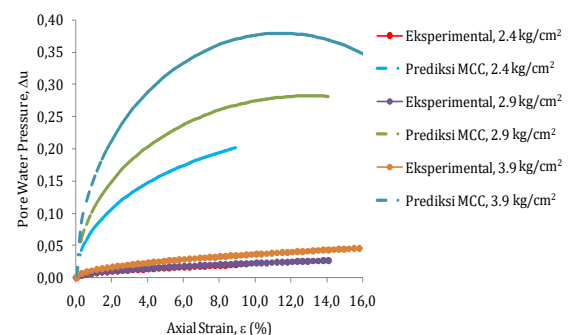
tren garis yang mendekati hasil eksperimen, walaupun ada perbedaan pada tegangan deviator maksimum yang dihasilkan.

2. Pada hubungan tekanan air pori dan regangan, model modifikasi *Cam Clay* gagal dalam memprediksikan kenaikan tekanan air pori.
3. Lintasan tegangan yang dihasilkan model modifikasi *Cam Clay* menunjukkan lintasan tegangan yang lebih besar dari pada hasil eksperimen. Akan tetapi lintasan tegangan efektif hasil model modifikasi *Cam Clay* menunjukkan tren garis yang sama dengan hasil eksperimen. Dengan kata lain, kedua garis lintasan tersebut berada pada daerah lintasan kritis.

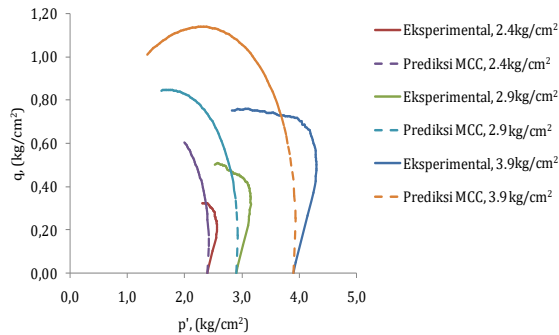
(a) Hubung tegangan dan regangan



(b) Hubungan tekanan air pori dan regangan



(c) Lintasan tegangan



Gambar 3. Perbandingan antara prediksi modifikasi *Cam Clay* dengan hasil pengujian triaksial CU pada tanah kota Sintang

Dari Gambar 3. dapat dilihat bahwa:

1. Pemodelan dengan modifikasi *Cam Clay* gagal dalam memprediksikan hubungan antara tegangan-regangan pada tanah kota Sintang. Hal ini ditunjukkan dengan tren garis yang berada jauh di bawah garis hasil eksperimen
2. Pada hubungan tekanan air pori dan regangan, model modifikasi *Cam Clay* juga gagal dalam memprediksikan kenaikan tekanan air pori dan model ini memprediksi kenaikan tekanan air pori yang terlampaui besar dari hasil eksperimen.
3. Lintasan tegangan yang dihasilkan model modifikasi *Cam Clay* menunjukkan lintasan tegangan yang lebih besar dari pada hasil eksperimen.

## 5. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

- a. Pemodelan dengan *Modified Cam Clay* (MCC) dapat digunakan untuk mensimulasikan perilaku antara tegangan dan regangan pada tanah kota Pontianak. Sedangkan pemodelan pada tanah kota Sintang, model MCC gagal dalam mensimulasikan perilaku antara tegangan dan regangan dari hasil eksperimen.
- b. Pemodelan data dengan MCC tidak dapat memprediksikan nilai tekanan air pori dan lintasan tegangan (*stress path*) pada tanah kota Pontianak dan Sintang. Sedangkan Dari grafik lintasan tegangan terlihat bahwa lintasan tegangan efektif hasil model modifikasi *Cam-Clay* menunjukkan tren garis yang sama dengan hasil eksperimen. Dengan kata lain, kedua garis

lintasan tersebut berada pada daerah lintasan kritis.

- c. Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, didapat bahwa perilaku kuat geser untuk tanah kota Pontianak yaitu:
  - Kedalaman 0,00 m sampai dengan 10,00 m menunjukkan nilai kuat geser yang kecil yaitu kurang dari 25 kPa atau dengan konsistensi lunak dan sangat lunak.
  - Sedangkan perilaku kuat geser pada tanah kota Sintang dengan kedalaman 0,00 m sampai dengan 9,50 m, kuat gesernya menunjukkan nilai yang lebih besar dari 25 kPa atau tidak menunjukkan konsistensi lunak dan sangat lunak
- d. Parameter utama yang digunakan sebagai indikator utama dalam menggunakan pemodelan perilaku tanah dengan model modifikasi *Cam-Clay*, yaitu sebagai berikut:
  - Nilai kuat geser tanah ( $\tau$ ) yang kecil atau kurang dari 25 kPa.
  - Pada tanah dengan konsistensi lunak dan sangat lunak.
  - Pemodelan pada jenis tanah lempung dan lanau.
  - Nilai tegangan deviator terkecil ( $\Delta\sigma$ ).
- e. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, model MCC lebih cocok digunakan untuk memprediksikan perilaku mekanik jenis tanah lunak dan sangat lunak jika dibandingkan jenis tanah kaku (*stiff soil*) dan tanah keras (*hard soil*).
- f. Dalam penelitian ini parameter yang berpengaruh untuk mensimulasikan nilai MCC adalah nilai tegangan geser efektif minimum, nilai kemiringan garis keadaan kritis ( $M$ ), poisson rasio ( $\nu$ ), angka pori ( $e$ ), dan parameter *Modified Cam Clay* ( $\lambda$  dan  $\kappa$ ).

### 5.2. Saran

- a. Mensimulasikan perilaku mekanika tanah pada konsisi *normally consolidated* dan *over consolidated*.
- b. Perlu diadakan penelitian yang lebih lanjut tentang prediksi tegangan - regangan dengan pemodelan modifikasi *Cam-Clay* antara hasil pengujian triaksial *Consolidated Undrained (CU)* dan hasil pengujian triaksial *Consolidated Drained (CD)*.

- c. Variasikan nilai poison rasio ( $\nu$ ) pada setiap pemodelan MCC agar didapat batasan nilai poison rasio untuk suatu jenis tanah.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- ASTM (1992). *ASTM Standards on Soil Stabilization with Admixture. American Society Testing and Materials*. Second Edition.
- Das, Braja M., Endah, Noor. Dan Mochtar, Indrasurya B. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M., Endah, Noor. Dan Mochtar, Indrasurya B. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid II*. Jakarta: Erlangga.
- Emy, Marlensia. 2014. *Perilaku Stress Path Tanah Lempung Di Kota Pontianak Pada Kondisi Normally Consolidated*. Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Hardyatmo, Hary Crhistiady. 2000. *Mekanika Tanah 1 Edisi Kelima*. Yogyakarta: UGM Press.
- Holtz, R. D, William D. Kovacs. 1981. *An Introduction To Geotechnical Engineering*. New Jersey: Englewood Cliffs.
- Holtz, R. D, William D. Kovacs. 2011. *An Introduction To Geotechnical Engineering Second Edition*. New Jersey: Englewood Cliffs.
- Liu, M.D., and Carter, J.P. 2002. *A structured Cam Clay Model*. Research Report, No. 814, University of Sydney.
- Mardiansy. 2013. *Prediksi Tegangan Regangan Tanah Lempung Garongkong Dengan Model Modifikasi Cam Clay*. Universitas Hasanuddin, Makasar.
- Roscoe, K.H., and Burland, J.B. 1968. *On the generalised stressstrain behaviour of 'wet clay'. In Engineering plasticity*. Edited by J. Heyman and F.A. Leckie. Cambridge University Press. pp. 535–609.