TUGAS AKHIR

PREDIKSI TEGANGAN REGANGAN TANAH LEMPUNG GARONGKONG DENGAN MODEL MODIFIKASI CAM CLAY

DISUSUN OLEH :

MARDIANSY

D 111 07 036

JURUSAN SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, penulis persembahkan dengan selesainya tugas akhir ini, karena hanya dengan rahmat-Nyalah penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tugas akhir dengan judul ***"PREDIKSI TEGANGAN REGANGAN TANAH LEMPUNG GARONGKONG DENGAN MODEL MODIFIKASI CAM CLAY".***

Tugas akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam rangkaian kegiatan penelitian serta penulisan tugas akhir ini tidak akan terlaksana sebagaimana yang diharapkan tanpa adanya bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini perkenankan penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayahanda Drs. Markus Pabate dan Ibunda tercinta Dina atas perhatian yang diberikan kepada ananda melalui bantuan dan dukungannya, baik spritual maupun materil dari ayahanda dan ibunda tercinta,yang membuat ananda tetap semangat menggapai cita-cita serta dukungan adik-adik ku yang terkasih, Christin Devianty dan Aprilia Pabate.
2. Bapak Ir. H. Muhammad Iskandar Maricar, MT, selaku Pembimbing I, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahannya mulai dari awal hingga selesainya penulisan ini.

3. Ibu Ariningsih Suprapti, ST,MT selaku Pembimbing II, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahannya.
4. Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, MS, M. Eng selaku Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Dr.Eng. Tri Harianto, ST,MT, selaku Kepala Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Hasanuddin dan ibu St. Hijraini Nur, ST,MT selaku Sekretaris Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Hasanuddin atas segala bimbingan dan pengarahan selama pelaksanaan penelitian di laboratorium.
6. Para dosen, staff dan karyawan di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Rekan-rekan mahasiswa di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin khususnya saudara saudariku angkatan 2007.
8. Rekan–rekan *Coops* Asisten Laboratorium Mekanika Tanah dan semua pihak yang telah membantu penulis baik dalam bentuk pikiran maupun tenaga.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan rekan-rekan sekalian dapat memberikan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhir kata, penulis mengharapkan tugas akhir ini dapat berguna bagi kita semua. Amin.

Makassar , September 2013

Ttd

Penulis

ABSTRAK

Perilaku mekanika tanah yang sukar diprediksi sangat menyulitkan para ahli dalam merencanakan bangunan-bangunan geoteknik. Salah satu metode yang dikenal yaitu model keadaan kritis yang berasal dari konsep kerja hardening oleh Drucker dkk (1957) kemudian dilanjutkan oleh Roscoe dkk (1963) sebagai awal dari teori keadaan kritis. Menurut teori keadaan kritis, perilaku mekanika tanah dapat diungkapkan dalam bentuk variable tegangan-regangan, perubahan volume dan perubahan tekanan air pori. Dalam menganalisa perilaku tanah maka diperlukan parameter-parameter yang dapat membantu penyederhanaan, dalam menentukan grafik tegangan-regangan. Parameter-parameter tersebut dipergunakan untuk menentukan permukaan batas (yield surface), fungsi keplastikan dan hardening rule. Tujuan utama dari formulasi ini adalah untuk menyediakan model konstitutif yang cocok untuk solusi masalah nilai batas yang dihadapi dalam praktek rekayasa geoteknik. Sebuah model konstitutif yang berbasis pada teori plastisitas yang dikenal dengan model Cam Clay mampu memprediksi perilaku mekanik tanah dengan memuaskan. 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. Model tersebut coba digunakan untuk mengetahui perilaku mekanik tanah pada tanah lempung Garongkong, Barru, dan hasilnya model tersebut dapat memprediksi perilaku mekanik tanah yang terjadi serta mampu menunjukkan tegangan-regangan tanah yang hampir sama dengan uji laboratorium. Beberapa perilaku mekanik dari tanah tersebut juga dapat diketahui dengan cara mensimulasikan dan membandingkannya melalui suatu model konstitutff yang dalam hal ini menggunakan model modifikasi Cam Clay.

Kata kunci: Garongkong, Cam Clay, lempung, triaxial CU

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN ii
KATA PENGANTAR iii
ABSTRAK v
DAFTAR ISI vi
DAFTAR NOTASI viii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR LAMPIRAN xiii

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah I-1
1.2. Rumusan Masalah I-2
1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian I-3
1.4. Manfaat Penulisan I-3
1.5. Batasan Masalah I-3
1.6.Sistematika Penulisan I-4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pemodelan Tanah II-1
2.2. Metode Cam Clay II-5
2.3. Hasil Penelitian Sebelumnya II-12
2.4. Triaxial II-13

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian III-1
3.2. Alat dan Bahan Penelitian III-1
3.3. Kerangka Penelitian III-2
3.4. Pembuatan Benda Uji III-2

3.5. Metode Pengujian dan Analisa Data III-3
3.5.1. Metode Pengujian..... III-3
3.5.2. Metode Analisa Data..... III-3
3.5.2.1. Pengujian Indeks Propertis Tanah..... III-4
3.5.2.2. Pengujian Mekanis Tanah III-5

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Fisik dan Mekanis Tanah IV-1
4.1.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Fisik Tanah Lempung..... IV-1
4.1.2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Mekanis Tanah Lempung……. IV-3
4.2. Hasil Pengujian Triaxial Tanah Lempung IV-3
4.3. Pemodelan Cam Clay pada Tanah Lempung …..……...IV-5

BAB. V PENUTUP

5.1. Kesimpulan..... V-1
5.2. Saran..... V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DOKUMENTASI

DAFTAR NOTASI

SIMBOL	ARTI
γ	Berat Isi (gr/cm³)
%	Persen
A	Luas Penampang (cm^2)
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
C	*Clay* (lempung)
Cc	Indeks Pemuaian
Cs	Indeks Pemampatan
e	Angka Pori
Cm	Centi meter
G	Modulus Elastisitas
Gs	Berat Jenis
K	Modulus Bulk
L.L	*Liquid Limit* (Batas Cair)
M	Kemiringan garis keadaan kritis
mm	Milimeter
p’	Tegangan Efektif
q	Tegangan deviator
P.I	*Plasticy* Indeks
P.L	*Plasticy Limit* (Batas Plastis)
S	*Sand* (pasir)
t	Waktu (detik)
V	Volume (cm³)
W	Kadar Air (%)
W_{opt}	Kadar Air Optimum (%)
τ	Kuat Geser (kg/cm^2)
η	Rasio Tegangan

η_{inc}	Kenaikan rasio Tegangan
ε_{υ}	Regangan Volumetrik
ε_{s}	Regangan Geser
ε_{1}	Regangan Axial
λ	Lambda
κ	Kappa
φ	Sudut Geser Internal (°)
c	Kohesi (kg/cm^2)
n	Porositas
USCS	Unified Soil Classification System

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Elastis-plastik sempurna asumsi dari model Mohr-Coulomb II-2

Gambar 2.2 Hubungan tegangan-regangan dalam model hiperbolik untuk uji triaksial standar yang teralirkan II-3

Gambar 2.3. Nonlinear dan perilaku tegangan regangan permanen model hypoelastic……..... II-5

Gambar 2.4 Hasil permukaan dan CSL pada $p' - q$..... II-7

Gambar 2.5 Perbandingan antara hasil modifikasi Cam Clay dan Hasil..... II-12

Gambar 2.6 Perbandingan antara hasil modifikasi Cam Clay dan Hasil..... II-13

Gambar 2.7 Kurva Tegangan Regangan Hasil Uji Triaxial CU..... II-14

Gambar 2.8 Kurva tegangan-regangan pada uji triaxial CU II-16

Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian..... III-2

Gambar 4.1 Grafik Hubungan Angka Pori dan Tekanan Konsolidasi IV-4

Gambar 4.2 Grafik hubungan tegangan regangan dari hasil uji triaxial CU IV-4

Gambar 4.3 CSL pada grafik q-p’ IV-5

Gambar 4.4 Perbandingan antara prediksi modifikasi Cam Clay vs hasil ekspreimental dari uji triaxial CU..... IV-7

Gambar 4.5 Perbandingan antara simulasi prediksi modifikasi Cam Clay vs hasil ekspreimental dari uji triaxial CU..... IV-8
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Regangan Volumetrik dan Regangan Axial hasil model MCC..... IV-9
Gambar 4.7 Lintasan tegangan dari MCC dan hasil eksperimen tekanan 2.0 kg/cm²…….…… IV-10
Gambar 4.8 Lintasan tegangan dari MCC dan hasil eksperimen tekanan 2.5 kg/cm²…….…… IV-10
Gambar 4.9 Lintasan tegangan dari MCC dan hasil eksperimen tekanan 3.0 kg/cm²…… IV-11

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 3.1. Standar Pengujian Laboratoium III-3

Tabel 4.1. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah Lempung IV-1

Tabel 4.2. Model parameter untuk tanah lempung..... IV-6

Tabel 4.3 Nilai tegangan efektif terkecil..... IV-6

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Karakteristik Dasar Tanah Asli (Lempung)
Lampiran A-1	Pemeriksaan Berat Jenis
Lampiran A-2	Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi
Lampiran A-3	Pemeriksaan Batas-Batas Atterberg
Lampiran A-4	Pemeriksaan Analisis Saringan
Lampiran B	Pengujian Mekanis Tanah
Lampiran B-1	Pengujian Konsolidasi pada Tanah Lempung
Lampiran B-2	Pengujian Triaxial pada Tanah Lempung
Lampiran C	Pemodelan Cam Clay
Lampiran C-1	Pemodelan Cam Clay pada Tanah Lempung
Lampiran C-2	Pemodelan Simulasi Cam Clay pada Tanah Lempung
Lampiran D	Dokumentasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perilaku mekanika tanah yang sukar diprediksi sangat menyulitkan para ahli dalam merencanakan bangunan-bangunan geoteknik. Pelaksanaan tes di laboratorium dan lapangan memakan banyak waktu dan biaya, hasilnya juga terkadang masih belum mewakili seluruh kawasan karena setiap titik lokasi tanah mempunyai perbedaan perilaku mekanika tanah. Salah satu metode yang dikenal yaitu model keadaan kritis yang berasal dari konsep kerja *hardening* oleh Drucker dkk (1957) kemudian dilanjutkan oleh Roscoe dkk (1963) sebagai awal dari teori keadaan kritis.

Menurut teori keadaan kritis, perilaku mekanika tanah dapat diungkapkan dalam bentuk variable tegangan-regangan, perubahan volume dan perubahan tekanan air pori. Dalam menganalisa perilaku tanah maka diperlukan parameter-parameter yang dapat membantu penyederhanaan, dalam menentukan grafik tegangan-regangan. Parameter-parameter tersebut dipergunakan untuk menentukan permukaan batas (*yield surface*), fungsi keplastikan dan *hardening rule.*

Baru-baru ini, telah terjadi perkembangan penting dalam merumuskan model konstitutif yang menggabungkan pengaruh struktur tanah. Tujuan utama dari formulasi ini adalah untuk menyediakan model konstitutif yang cocok untuk solusi masalah nilai batas yang dihadapi dalam praktek rekayasa geoteknik.

Sebuah model konstitutif yang berbasis pada teori plastisitas yang dikenal dengan model *Cam Clay* mampu memprediksi perilaku mekanik tanah dengan memuaskan. 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.

Tanah di Garongkong, Barru, biasanya memiliki struktur alami, yang memungkinkan terjadinya perbedaan perilaku mekanik 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 tersebut.

Beberapa perilaku mekanik dari tanah tersebut dapat diketahui dengan cara mensimulasikan melalui suatu model konstituf yang dalam hal ini menggunakan model modifikasi *Cam Clay*. Oleh karena itu, prediksi perilaku mekanik tanah Garongkong akan coba dimodelkan melalui model *Cam clay* yang dibahas dalam tulisan tugas akhir atau skripsi dengan judul:

"Prediksi Tegangan Regangan Tanah Lempung Garongkong Dengan Model Modifikasi Cam Clay".

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan sebelumnya, maka rumusan masalah dari studi ini yaitu apa saja perilaku mekanik yang

ada pada tanah garongkong dan bagaimana model modifikasi *Cam Clay* dalam memprediksi perilaku tanah tersebut.

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitan ini adalah untuk memprediksi tegangan-regangan yang terjadi pada tanah Garongkong menggunakan model *Cam-Clay* dengan membandingkannya terhadap hasil laboratorium.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat menghasilkan parameter-parameter yang didasarkan pada model modifikasi *Cam-Clay* dan parameter tersebut diperoleh dari hasil uji laboratorium yang nantinya diharapkan mampu memprediksi tegangan-regangan tanah.
2. Parameter dari hasil uji laboratorium akan kita masukkan pada model modifikasi *Cam-Clay* yang nantinya digunakan untuk mencoba memprediksi perilaku mekanik tanah Garongkong dari model tersebut dalam hal ini adalah tegangan-regangan tanah kemudian membandingkan hasil prediksi model tersebut terhadap hasil laboratorium.

1.4 Manfaat Penulisan

Dari penelitan ini diharapkan dapat membuat pembaca mengetahui prediksi perilaku mekanik tanah dalam bentuk tegangan-regangan pada tanah lempung Garongkong menggunakan model modifikasi *Cam-Clay*.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini, adalah hal-hal sebagai berikut :

1. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung undisturb dari garongkong.
2. Tekanan yang digunakan pada uji triaksial pada sampel tanah lempung adalah:

   Sampel 1 = 2.0 kg/cm^2, sampel 2 = 2.5 kg/cm^2, sampel 3 = 3.0 kg/cm^2
3. Tinggi sampel adalah 9,5 cm
4. Diameter sampel adalah 4,75 cm.
5. Metode pengujian triaxial pada tanah lempung menggunakan motode *Consolidated Undrained (CU).*
6. Evaluasi karakteristik sifat-sifat fisik tanah meliputi :
   a. Pemeriksaan batas-batas atterberg.
   b. Pemerikasaan Analisa Saringan
   c. Pemeriksaan Berat Jenis
   d. Pemeriksaan kadar air tanah.
7. Uji mekanis yang dilakukan meliputi :
   a. Pengujian konsolidasi
   b. Pengujian triaksial
8. Model Modifikasi *Cam Clay* akan mensimulasikan perilaku mekanik tanah dengan membandingkannya dengan hasil laboratorium.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan dalam penelitian ini, maka sistematika penulisan penelitian disusun dalam lima bab. Adapun sistematika penulisan penelitian adalah sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Menguraikan tentang latar belakang masalah, maksud dan tujuan penelitian, pokok bahasan dan batasan masalah serta sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Menyajikan teori-teori yang digunakan sebagai landasan untuk menganalisis dan membahas permasalahan penelitian.

BAB III. METODE PENELITIAN

Menjelaskan mengenai langkah-langkah atau prosedur pengambilan dan pengolahan data hasil penelitian.

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Menyajikan data-data hasil penelitian di laboratorium, analisis data, hasil analisis data dan pembahasannya.

BAB V. PENUTUP

Berisikan kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

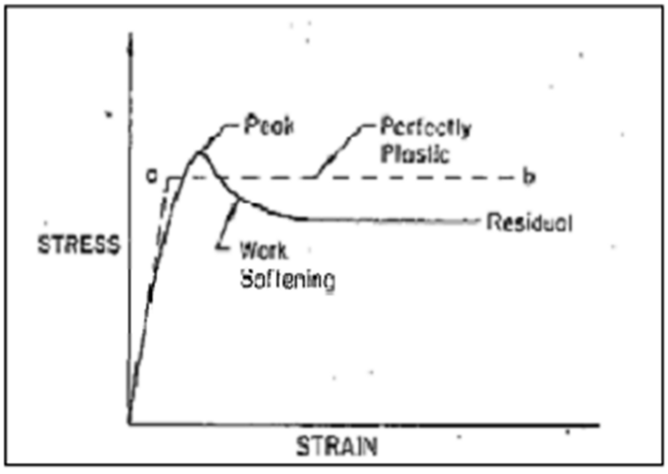
2.1 Pemodelan Tanah

Ada berbagai macam model yang telah direkomendasikan dalam beberapa tahun terakhir untuk mewakili perilaku tegangan-regangan dan kegagalan tanah. Semua model tersebut memiliki kelebihan dan keterbatasan yang sebagian besar tergantung pada aplikasi mereka. Chen (1985) memberikan tiga kriteria dasar untuk evaluasi model. Kriteria pertama adalah evaluasi model teoritis yang berhubungan dengan prinsip-prinsip dasar mekanika kontinum untuk memastikan konsistensi mereka dengan persyaratan teori kontinuitas, stabilitas dan keunikan.

Mohr-Coulomb

Model *Mohr-Coulomb* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 adalah model elastic-plastik sempurna yang sering digunakan untuk perilaku model tanah pada umumnya dan berfungsi sebagai model orde pertama. Dalam keadaan tegangan umum, model tegangan-regangan berperilaku linear dalam rentang elastis, dengan dua parameter yang didefinisikan dari hukum Hooke (*modulus Young*, E dan rasio Poisson, ν). Ada dua parameter yang mendefinisikan kriteria kegagalan (sudut gesekan, φ dan kohesi, c) dan juga parameter untuk menggambarkan aturan aliran (sudut dilatansi, ψ) yang berasal dari penggunaan non-aturan terkait aliran yang digunakan untuk memodelkan perubahan volume permanen dalam keadaan geser). Model *Mohr-Coulomb* berbentuk sederhana dan relevan

untuk model tegangan tiga dimensi dengan hanya dua parameter kekuatan untuk menggambarkan perilaku plastik. Model ini lebih baik dalam menggambarkan perilaku kekuatan tanah. Peneliti telah menunjukkan dengan cara yang benar dari tes triaksial bahwa kombinasi tegangan menyebabkan kegagalan dalam sampel tanah yang mendekati heksagonal bentuk kegagalan kontur (Goldscheider, 1984). Model ini diterapkan untuk menganalisis stabilitas bendungan, lereng, tanggul dan pondasi dangkal. Meskipun perilaku keruntuhan umumnya juga diterapkan dalam kondisi teralirkan, jalur tegangan efektif juga diikuti dalam bahan tak-teralirkan dapat menyimpang secara signifikan dari pengamatan. Untuk plastisitas sempurna, model ini tidak mencakup *hardening* atau *softening* regangan dari tanah.

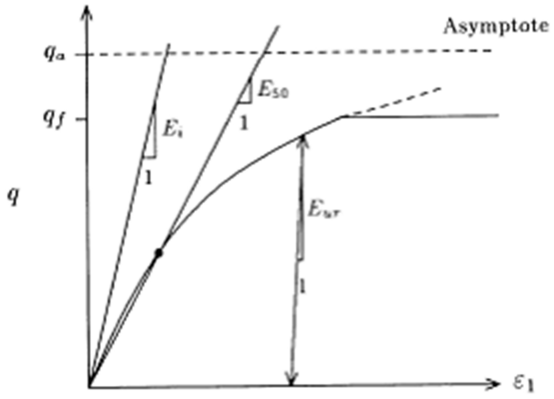


Gambar 2.1 Elastis-plastik sempurna asumsi dari model Mohr-Coulomb

Model Duncan-Chang (Hyperbolic)

Seperti diketahui, tanah berperilaku sangat non-linear dan menghambat kekakuan tegangan. Model *Duncan-Chang* adalah model

stress-dependant nonlinear yang bertahap dan juga dikenal sebagai model hiperbolik (*Duncan* dan *Chang*, 1970). Model ini didasarkan pada tegangan-regangan kurva uji triaksial teralirkan dari tanah lempung dan pasir yang dapat didekati dengan hiperbolik dengan tingkat akurasi yang tinggi (Kondner, 1936) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Hubungan tegangan-regangan dalam model hiperbolik untuk uji triaksial standar yang teralirkan

Hal ini juga didasarkan pada (1939) gagasan *Ohde* bahwa kekakuan tanah dapat dirumuskan sebagai parameter ketergantungan tegangan menggunakan formulasi. Kriteria kegagalannya didasarkan pada dua kekuatan parameter *Mohr- Coulomb*. Yang paling penting, model ini menggambarkan pentingnya tiga karakteristik tanah, yaitu non-linearitas, stress-dependant dan perilaku inelastik kohesif dan kohesi tanah. Pada tingkat tegangan penyekap yang diberikan, perbedaan dibuat antara (stress-dependent) memuat kekakuan primer, *Et* dan kekakuan *unloading* dan *reloading* (konstan), *Eur* . Pembebanan didefinisikan oleh kondisi d ($\sigma 1/ \sigma 3$)> 0. Dalam kondisi ini, deformasi plastis terjadi selama tegangan

titik adalah permukaan hasil. Untuk kelanjutan aliran plastik keadaan tegangan harus tetap pada permukaan hasil. Jika tidak, daerah tegangan harus turun di bawah nilai hasil, dalam hal ini, deformasi plastis terjadi lagi dan semua kenaikan deformasi adalah elastis. Ini ditunjukkan dengan kondisi d (σ1/ σ3) <0 disebut 'unloading'. Model *Duncan-Chang* banyak digunakan sebagai parameter tanah yang dapat dengan mudah diperoleh secara langsung dari uji triaksial standar. Model ini lebih disukai daripada model *Mohr-Coulomb* namun dilatansi tidak dapat dijelaskan.

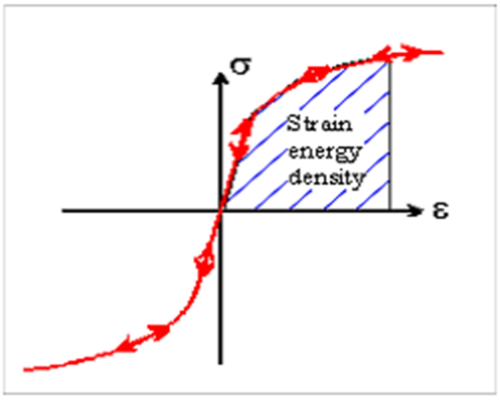
Model Hyperelastic

Model *Hyperelastic* adalah keadaan di mana saat tegangan hanya bergantung pada keadaan saat deformasi, yaitu, tegangan adalah fungsi dari regangan saat itu saja dan bukan fungsi dari regangan. Jenis formulasi bisa sangat akurat untuk beton dan batu pada pembebanan proporsional. Mereka memenuhi persyaratan teori kontinuitas, keunikan stabilitas, dan energi pertimbangan mekanika kontinum. Namun, jenis model ini gagal untuk mengidentifikasi perilaku elastis beton dan deformasi batuan.

Model Hypoelastic

Hypoelasticity digunakan untuk model bahan yang menunjukkan nonlinier namun permanen, dan perilaku tegangan regangan bahkan pada regangan kecil. Aplikasi yang paling umum yang dikenal sebagai ' teori deformasi plastisitas', yang merupakan perkiraan kasar dari perilaku daerah sekitar batas elastis. Serupa dengan *hyperelasticity*, regangan dalam material hanya bergantung pada tegangan itu saja, tidak tergantung pada

tingkat pembebanan, atau proses pembebanan. Tegangan adalah fungsi nonlinear dari regangan, bahkan ketika regangan kecil, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Nonlinear dan perilaku tegangan regangan permanen model hypoelastic

Kekurangan dari model ini adalah tidak memberikan kriteria yang jelas pada pemuatan dan pembongkaran (*loading* dan *unloading*).

2.2 Metode Cam Clay

Jauh sebelum tegangan maksimum telah tercapai, beberapa regangan permanen telah terjadi sebagaimana dibuktikan oleh fakta bahwa pembebanan meninggalkan regangan sisa. Tanah dapat dijadikan sebagai bahan *hardening* regangan sejak tidak menghasilkan pembentukan yang identik dengan tegangan maksimal. Beberapa peneliti telah menyelidiki kemungkinan tanah modeling sebagai bahan hardening regangan, dan ini telah menjadi salah satu hal penting dari kelompok tanah mekanik di Cambridge Universitas selama tiga puluh tahun terakhir (Roscoe, 1970). Roscoe (1963) menggunakan teori tegangan hardening dari plastisitas

untuk merumuskan model tegangan-regangan lengkap untuk *normally consolidated* atau *over-consolidated* ringan dalam uji triaxial 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 popular 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 kristis, 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 ditunjukan pada gambar 2.4.

Tegangan efektif p', tegangan deviator q, dan rasio tegangan η diberikan dalam persamaan:

$$p' = \frac{\sigma'_{11}+\sigma'_{22}+\sigma'_{33}}{3} = \frac{\sigma'_1+2\sigma'_3}{3} \qquad \text{.....(1)}$$

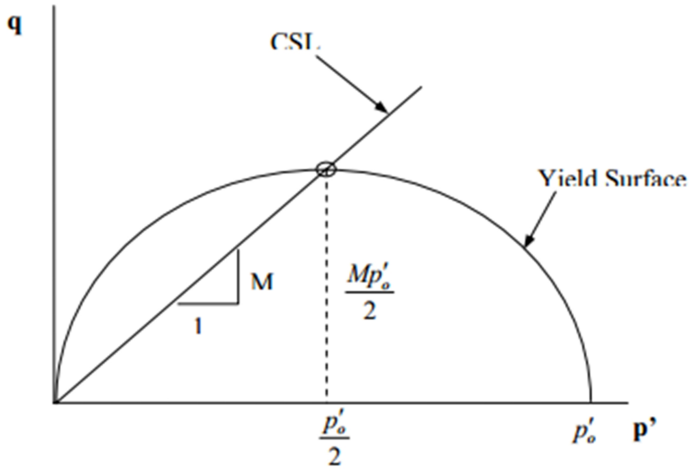
untuk uji triaxial konvensional

$$q = \frac{\sqrt{(\sigma'_{11}-\sigma'_{22})^2+(\sigma'_{22}-\sigma'_{33})^2+(\sigma'_{33}-\sigma'_{11})^2+6(\sigma'_{12}{}^2+\sigma'_{23}{}^2+\sigma'_{31}{}^2)}}{\sqrt{2}}$$

$$= \sigma'_1 - \sigma'_3 \qquad \text{.....(2)}$$

untuk uji triaxial konvensional

$$\eta = \frac{q}{p'} \qquad \text{.....(3)}$$



Gambar 2.4 Hasil permukaan 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 teralirkan 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.

Evaluasi Parameter

Ada beberapa parameter yang digunakan dalam metode ini yaitu λ, κ, e, M, p, q, η, K,G dan v. Penjelasan dari parameter-parameter tersebut adalah sbagi berikut.

Determinasi dari parameter λ *dan* κ: Nilai dari λ dan κ 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 hidrostatis, Gambar 11-21. Faktanya, konsolidasi satu-dimensi adalah kasus khusus dari tes q/p konstan. Kurva e-ln p didapatkan dari tes hidrostatis sejajar yang diperoleh dalam kondisi kritis. Nilai dari λ

dan κ dapat dihubungkan dengan C_c dan C_s sebagai berikut. Garis kompresi murni dapat dinyatakan sebagai:

$$e - e_0 = C_c log_{10}(\frac{p}{p_0}) \quad \text{.....(4)}$$

atau

$$e - e_0 = \lambda \ln(\frac{p}{p_0}) \quad \text{.....(5)}$$

dan garis mengembang (garis unloading-reloading) dapat dinyatakan sebagai:

$$e - e_0 = C_s log_{10}(\frac{p}{p_0}) \quad \text{.....(6)}$$

atau

$$e - e_0 = \kappa \ln(\frac{p}{p_0}) \quad \text{.....(7)}$$

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

$$\lambda = \frac{C_c}{ln10} = \frac{C_c}{2.303} \quad \text{.....(8)}$$

dan membandingkan persamaan (6) dan (7) menghasilkan

$$\kappa = \frac{C_s}{ln10} = \frac{C_s}{2.303} \quad \text{.....(9)}$$

Penentuan parameter, M : Parameter M adalah kemiringan garis keadaan kritis pada kurva *q-p*. Untuk menentukan nilainya, nilai-nilai p dan q pada

kondisi utama untuk setiap tes diplot seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. dalam persamaan dituliskan:

$$M = \frac{6 \sin \Phi'}{3 - \sin \Phi'} \qquad \text{.....(10)}$$

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

$$E = \frac{3(1-2v)(1+e_0)p'}{\kappa} \qquad \text{.....(11)}$$

$$G = \frac{3(1-2v)(1+e_0)p'}{2(1+v)\kappa} \qquad \text{.....(12)}$$

Langkah demi langkah prosedur perhitungan pada pengujian *Consolidated Undrained:*

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

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

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

Langkah 3: Hitung q untuk setiap nilai kenaikan dengan menggunakan

$$q = Mp'\sqrt{\frac{p'_c}{p'} - 1} \qquad \text{.....(14)}$$

Langkah 4: Hitung kenaikan regangan volumetric elastic menggunakan

$$d\varepsilon_v^e = \frac{\kappa}{1+e}\frac{dp'}{p'}$$ …….(15)

Langkah 5: Hitung kenaikan regangan volumetric plastic menggunakan

$$d\varepsilon_v^p = -d\varepsilon_v^e = \frac{-\kappa}{1+e}\frac{dp'}{p'}$$ …….(16)

Hal ini disebabkan pada kondisi undrained tidak ada perubahan volume, dimana $d\varepsilon_v = d\varepsilon_v^e + d\varepsilon_v^p$=0

Langkah 6: Hitung kenaikan regangan geser plastic menggunakan

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

Langkah 7: Hitung kenaikan regangan geser elastic menggunakan

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

Langkah 8: Hitung kenaikan regangan geser menggunakan

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

Langkah 9: Hitung total regangan geser dengan

$$(\varepsilon_s)_k = \Sigma_{i=1}^{i=k}(d\varepsilon_s)_i$$ …….(20)

Langkah 10: Hitung regangan axial, ε_1 dimana $\varepsilon_1 = \varepsilon_s$

Langkah 11: Hitung total bilai tegangan menggunakan persamaan lintasan tegangan

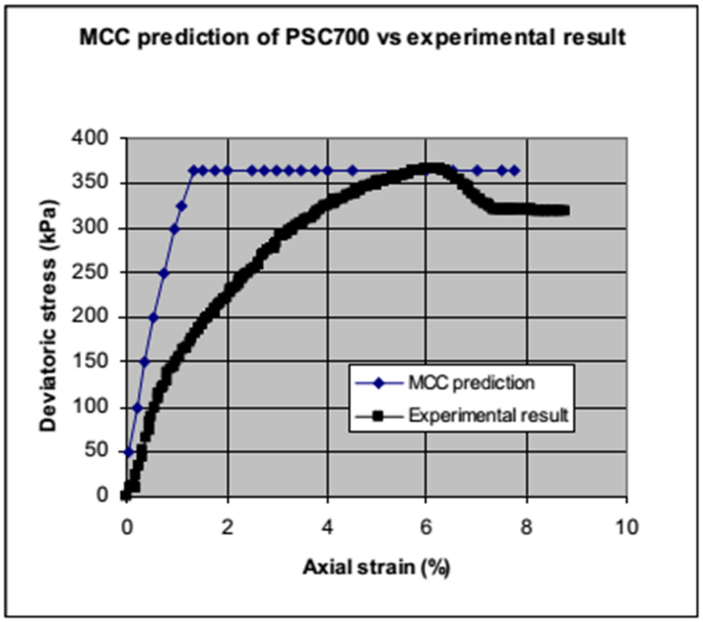
$$p = p'_0 + \frac{q}{3}$$ …….(21)

Langkah 12: kenaikan tekanan air pori menggunakan

$$\Delta u = p - p' \qquad \text{.....(22)}$$

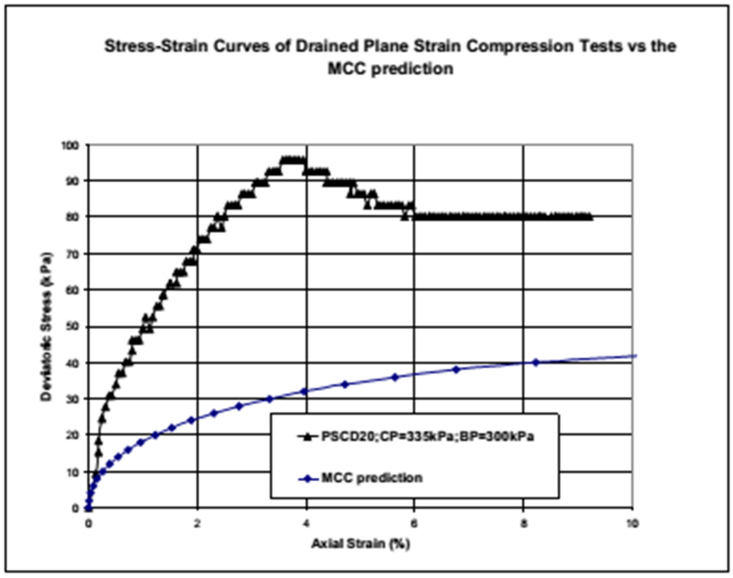
2.3 Hasil Penelitian Sebelumnya

Sebuah hasil penelitian memberikan penjelasan mengenai kinerja dari modifikasi model *Cam Clay* dalam memprediksi perilaku mekanik dari tanah *overconsolidated* (Pontjo Utomo, Paisal Syakur, dan Hamid R. Nikraz, 2007). Dari hasil pengujian triaxial diperoleh parameter-parameter sebagai berikut: M = 1.0, λ = 0.174, κ = 0.026, e_0 = 0.889. Pengujian ini menggunakan metode *Consolidated Undrained* dan *Consolidated Drained*. Berikut ini adalah penjelasan singkat mengenai hasil perbandingan dari modifikasi model *Cam Clay* dan hasil pengujian laboratorium yang menggunakan metode CU dan CD.



Gambar 2.5 Perbandingan antara hasil modifikasi *Cam Clay* dan Hasil eksperimen pada tanah *normally consolidated* metode CU

Dari hasil gambar 2.5 dan 2.6, maka dapat dilihat bahwa model MCC mampu mensimulasikan perilaku mekanik dari tanah terkosolidasi normal menggunakan uji *Consolidated Undrained* dengan memuaskan meskipun gagal memprediksi perilaku mekanik tanah pada *overconsolidated* berat yang menggunakan uji *Consolidated Drained*.



Gambar 2.6 Perbandingan antara hasil modifikasi *Cam Clay* dan Hasil eksperimen pada tanah *overconsolidated* metode CD

2.4 Triaxial

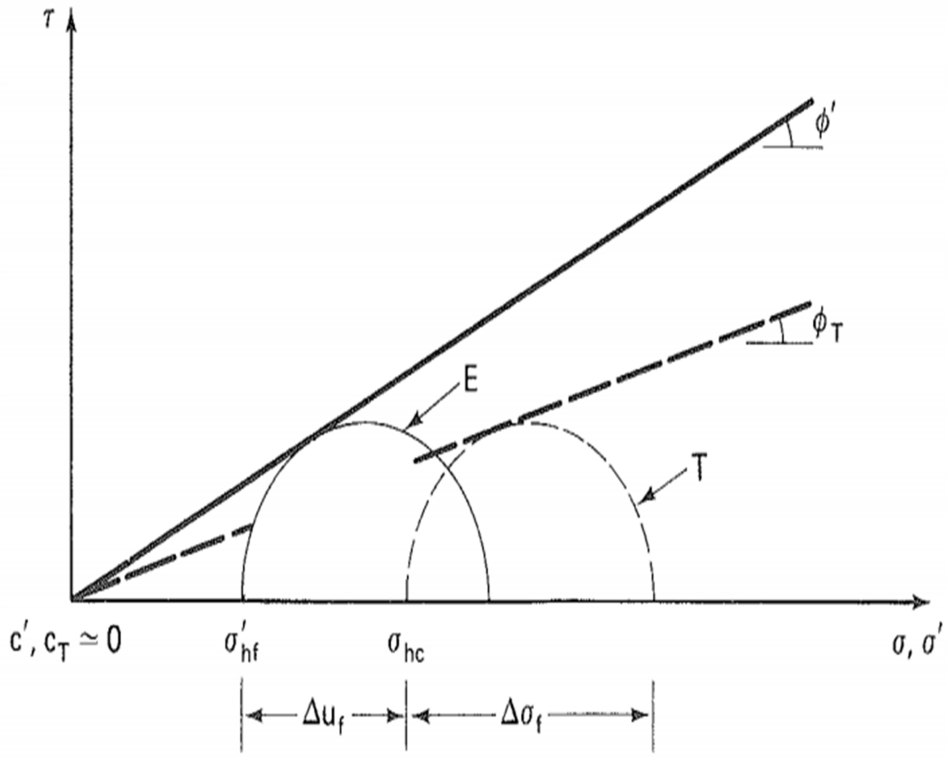
Sebuah sampel silinder dibatasi oleh membran dan tekanan lateral diterapkan, drainase air pori dikendalikan melalui tabung terhubung ke cakram berpori pada ujung sampel. Uji triaksial berbagai beban dan kondisi drainase juga memungkinkan pengukuran tekanan air pori.

Consolidated Undrained (CU)

Pada uji CU, konsolidasi sempurna dari benda uji diperbolehkan di bawah tekanan keliling, tetapi tidak diizinkan terjadinya drainase selama

geser. Minimal tiga tes diperlukan untuk mendefinisikan kekuatan parameter c dan phi.

Sampel tanah harus dalam keadaan sebelum penerapan tegangan deviator. Keadaan jenuh dicapai dengan tekanan balik. Tekanan air pori diukur selama uji CU, sehingga memungkinkan penentuan parameter tegangan efektif c 'dan phi'. Tanpa pengukuran tekanan pori pada uji CU maka hanya memberikan nilai c, tegangan total dan φ.

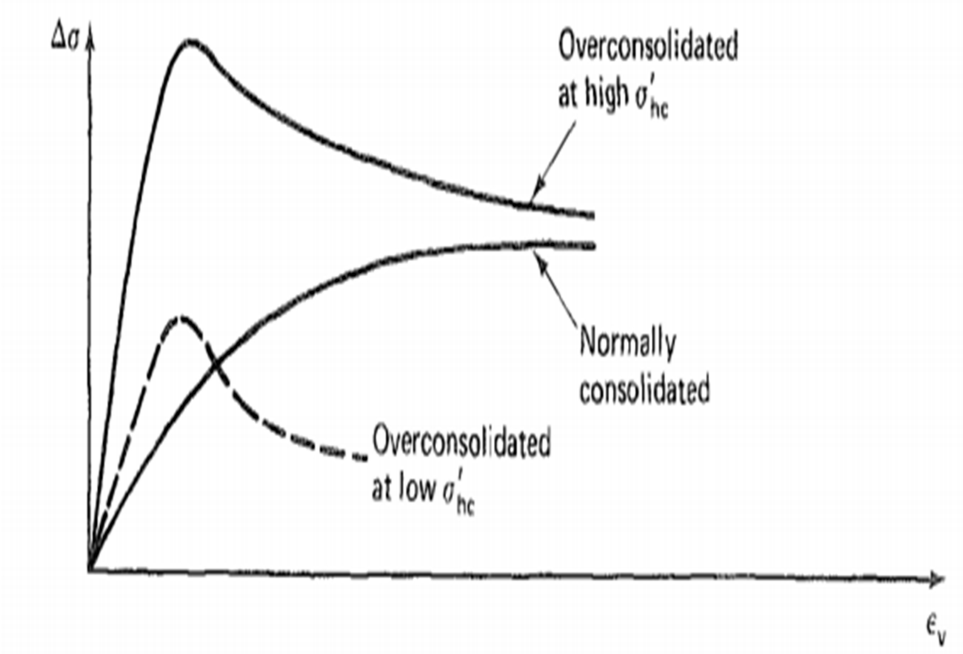


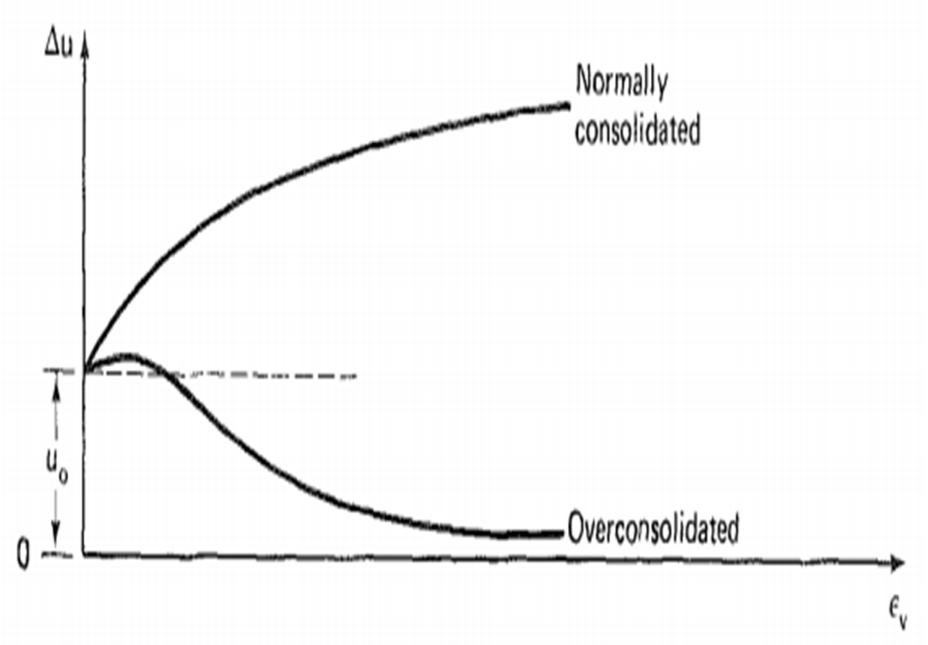
Gambar 2.7 Kurva Tegangan Regangan Hasil Uji Triaxial CU

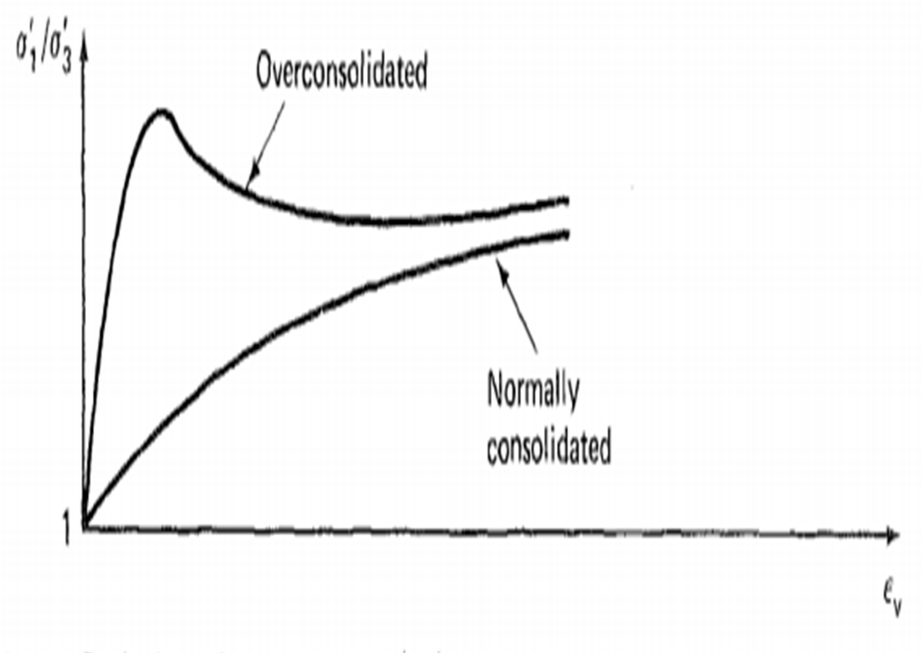
Faktor yang Mempengaruhi Hasil Test Triaxial.

Triaxial harus dikoreksi secara tepat untuk kekakuan membran, gesekan piston, dan filter saluran air, bila berlaku. Kekuatan geser dari tanah lembut yang sensitif sangat dipengaruhi oleh gangguan sampel.

Kekuatan geser diukur dari sampel terganggu akan lebih rendah kekuatannya pada uji UU. Dalam kasus CU atau tes CD, kekuatan mungkin lebih tinggi karena konsolidasi diizinkan.







Gambar 2.8 Kurva tegangan-regangan pada uji triaxial CU

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan sejak bulan Desember 2012 hingga Juli 2013 di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Hasanuddin. Penelitian ini meliputi pengujian karakteristik tanah dan pengujian mekanis tanah.

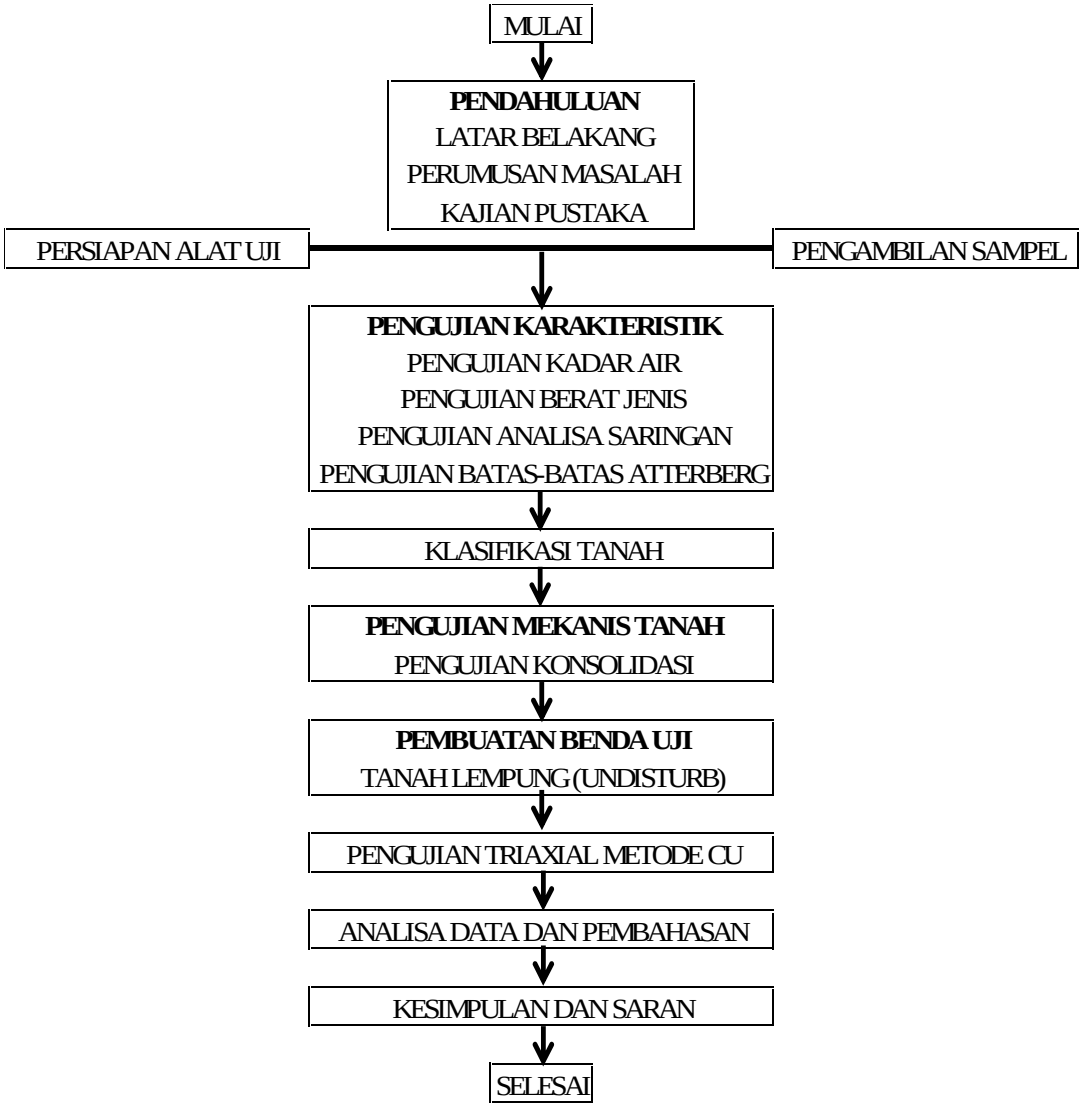
3.2 Alat dan Bahan Penelitian

1. Bahan yang digunakan
    - Sampel tanah lempung *undisturb* dari Garongkong, Barru
    - Air
2. Peralatan Penelitian
    - Satu set alat uji batas atterberg untuk menentukan batas susut batas cair dan batas plastis tanah yang digunakan pada penelitian ini.
    - Satu set alat analisa saringan untuk menentukan gradasi dari tanah yang digunakan pada penelitian ini.
    - Satu set alat pengujian berat jenis untuk mengetahui berat jenis tanah yang digunakan pada penelitian ini.
    - Satu set alat pengujian kadar air dan berat isi untuk mengetahui kadar air dan perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah serta mengetahui berat volume tanah.
    - Satu set alat konsolidasi untuk mengetahui sifat pemampatan tanah saat dibebani.

- Satu set alat triaxial metode *Consolidated Undrained (CU).*

3.3 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian ini diuraikan melalui skema dibawah ini.



Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian

3.4 Pembuatan Benda Uji

Pada pengujian triaxial tanah lempung, sampel yang digunakan merupakan sampel tanah undisturb atau tanah yang tidak terganggu dari

hasil pengeboran tanah. Benda uji yang dibentuk memiliki diameter 4,75 cm dengan tinggi sampel yaitu 9,5 cm.

Tahap pembuatan benda uji tanah lempung: sampel tanah berasal dari hasil pengeboran atau merupakan tanah tidak terganggu (*undisturb*). Tanah dikeluarkan dari tabung dengan menggunakan ekstruder kemudian langsung dimasukkan ke cetakan untuk membuat benda uji.

3.5 Metode Pengujian dan Analisa Data

3. 5. 1. Metode Pengujian

Pelaksanaan pengujian, baik sifat fisik maupun sifat mekanis tanah pasir dan tanah lempung dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan mengacu pada standar-standar pengujian ASTM dan SNI.

Jenis pengujian dan standar-standar pengujiannya dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 3. 1. Standar Pengujian Laboratoium

No.	Jenis Metode Pengujian	No. Standart	
		ASTM	SNI
1	Batas-Batas Atterberg	D 4318 - 84	SNI 03-1970-1990
2	Analisa Saringan	D-422	SNI 03-1968-1990
3	Berat Jenis Tanah	D-162	SNI 03-1964-1990
4	Kadar Air dan Berat Isi	D-2216	SNI 03-1965-1990
5	Konsolidasi	D-1140-54	SNI 03-2812-1992
6	Triaxial	D 4767-95	

3.5. 2. Metode Analisis Data

Pengujian karakteristik tanah baik secara indeks maupun pengujian mekanis yang bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan jenis tanah

yang akan digunakan. Hasil tersebut akan digunakan selanjutnya dalam pengolahan data yang berdasarkan hasil uji mekanis lainnya.

3.5. 2. 1 Pengujian Indeks Propertis Tanah

a). Batas-Batas Atterberg

Percobaan ini bertujuan untuk menentukan batas cair, batas susut dan batas plastis tanah, Pada percobaan ini data batas cair dan batas plastis dibutuhkan untuk penentuan indeks propertis (PI) dari sampel tanah. Percobaan batas cair menggunakan alat ukur *Casagrande*, dimana pengujiannya dengan menggunakan tanah lolos saringan no. 40 kemudian dicampur dengan air suling sampai homogen, kemudian sampel di masukkan pada alat kemudian dibuatkan alur yang membelah sampel pada bagian tengah , hitung berapa tumbukan yang dibutuhkan oleh alat sampai sampai potongan sampel tadi bertemu kembali, ulangi percobaan tersebut dengan kadar air berbeda sampai didapat kadar air sampel pada tumbukan per 25. Sedangkan untuk penentuan batas plastis sampel tanah digulung-gulung dengan panjang 2 cm dan diameter 3 mm dan sudah menunjukkan indikasi retak lalu kemudian sampel dimasukkan dalam oven, apabila tidak menunjukan indikasi retak maka kurangi kadar air sampel tersebut dengan cara menambahkan tanah.

b). Analisa Saringan

Tujuan dari pengujian ini adalah menentukan gradasi atau pembagian ukuran butir tanah *(grain size distribution)* dari suatu sample tanah dengan menggunakan suatu saringan. Melalui pengujian ini kita

dapat menentukan klasifikasi terhadap tanah tersebut atau dengan kata lain dapat mendeskripsikan tanah yang diuji. Besarnya butiran tanah biasanya digambarkan dalam grafik yang disebut grafik lengkung gradasi atau grafik lengkung pembagian butir.

c). Berat Jenis Spesifik (Gs)

Berat Jenis adalah perbandingan antara berat isi butir tanah dengan berat isi air. Pemeriksaan dilakukan untuk menentukan berat jenis spesifik yaitu perbandingan berat butir tanah yang lolos saringan no. 40 dan berat air suling dengan menggunakan piknometer serta *hot plate* sebagai pemanas.

d). Pengujian Kadar Air

Percobaan ini berguna untuk menentukan kadar air tanah, yang ditempatkan pada sebuah cawan (*tin box*) dinyatakan sebagai (W_1) yang beratnya telah diketahui sebelumnya, kedalam cawan tersebut (*tin box*) dimasukkan tanah kemudian ditimbang yang dinyatakan dengan (W_2) dan kemudian dimasukkan kedalam oven yang temperaturnya 110^0 C untuk masa waktu 24 jam kemudian cawan tersebut (*tin box*) dengan tanah ditimbang kembali yang dinyatakan dalam (W_3) dengan satuan dalam persen.

3. 5. 2. 2 Pengujian Mekanis Tanah

a). Pengujian Konsolidasi

Pada pengujian ini, akan didapatkan indeks kompresi (Cc) dan indeks pengembangan (Cs). Pengujian ini menggunakan alat *oedometer*

dengan diameter sampel adalah 6.3 cm dan tinggi 2 cm. pengujian menggunakan standar ASTM, dengan ketentuan-ketentuan yang berlaku.

b.) Uji Triaxial Tanah

Pada pengujian triaxial tanah lempung digunakan metode *Consolidated Undrained (CU).* Untuk sampel tanah lempung digunakan tanah undisturb hasil pengeboran dan diuji dengan tekanan 2.0 kg/cm^2, 2.5 kg/cm^2, dan 3.0 kg/cm^2. Diameter sampel yaitu 4,75 cm dan tinggi sampel adalah 9,5 cm. Sampel tanah lempung dari hasil pengeboran (tanah *undisturb*) di ekstrud ke dalam cetakan sampel kemudian ditimbang berat dari sampel tersebut lalu dimasukkan dalam alat triaxial untuk diuji dengan metode yang telah ditentukan. Setelah pengujian triaxial, sampel tanah dikeluarkan dari alat uji lalu dihitung tinggi sampel akhir dan kadar air setelah pengujian.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Fisik dan Mekanis Tanah

Dari hasil pengujian di laboratorium, maka didapatkan data-data karakteristik fisik dan mekanik tanah tersebut yang nantinya akan digunakan dalam penelitian ini.

4.1.1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Fisik Tanah Lempung

Pemeriksaan karakteristik tanah lempung meliputi pemeriksaan kadar air dan berat isi, pemeriksaan batas-batas atterberg, analisa saringan dan berat jenis tanah. Berdasarkan parameter-parameter tersebut, tanah dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok sehingga diperoleh kesamaan persepsi tentang jenis tanah dan sifat tanah.

Tabel 4.1. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah Lempung

Jenis Pemeriksaan	Hasil pemeriksaan
1. Kadar air tanah asli	83.45 %
2. Berat Jenis Spesifik	2.65
3. Batas Atterberg	LL = 55.38 % PL = 38.10 % SL = 13.21 % IP = 17.29 %
4. Gradasi butiran	Pasir = 43.68% Lanau dan Lempung = 56.32 %
5. Klasifikasi Tanah	Unified → Lempung anorganik dengan

	plastisitas sedang sampai dengan tinggi. AASHTO ⟶ A-7-5 Tanah Berlempung.

Hasil dari data-data tersebut dapat menunjukkan jenis tanah secara rinci dan nantinya digunakan dalam prediksi tegangan-regangan dan simulasinya.

Berdasarkan sistem klasifikasi *USCS (Unified Soil Classification System),*maka tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Divisi Utama
   a. Tanah berbutir halus dimana lebih 50% butiran lolos saringan no. 200 (0,075 mm)
   b. Tanah lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no.4 (4,75 mm), hal ini dapat dilihat dalam grafik analisa saringan
   c. Tanah bersih (sedikit atau tak ada butiran halus).
2. Simbol Kelompok

   Berdasarkan persentase butiran halus lebih dari 50% lolos saringan no.200, dimana nilai Batas Cair adalah 55.38% (Diatas 50%) dan berada dibawah garis A pada diagram plastisitas , maka simbol untuk tanah adalah OH.
3. Nama Jenis

   Lempung anorganik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi.

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Associationof State Highway and Transporttation Officials Classification*) membagi tanah ke

dalam 7 kelompok,A-1 sampai A-7 termasuk sub-sub kelompok.Berdasarkan table sistem klasifikasi AASHTO, tanah yang digunakan pada penelitian ini dikelompokkan sebagai berikut:

1. Klasifikasi Umum : Tanah - tanah lanau - lempung (> 35% lolos saringan No.200)
2. Klasifikasi Kelompok : (A-7-5)
3. Analisa Saringan (% lolos)
   - 2,00 mm (no. 10) : -
   - 0,425 mm (no. 40) : -
   - 0,075 mm (no. 200) : 36 min
4. Sifat fraksi lolos saringan no. 40
   - Batas cair (LL) : 41 min
   - Indeks Plastis (PI) : 11 min
5. Tipe material yang pokok pada umumnya : Tanah Berlempung

4.1.2 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Mekanis Tanah Lempung

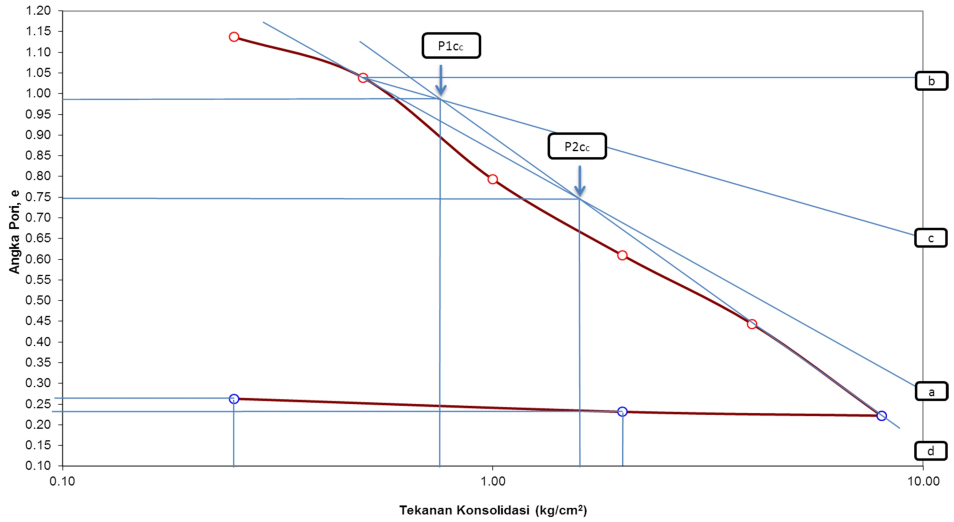
Pada pengujian ini didapatkan indeks kompresi (*Cc*) senilai 0.710 dan indeks pengembangan (*Cs*) senilai 0.038. Pengujian ini menggunakan alat *oedometer* dengan diameter sampel adalah 6.3 cm dan tinggi 2 cm. Hasil pengujian ini nantinya digunakan untuk menentukan nilai λ dan κ.

4.2 Hasil Pengujian Triaxial Tanah Lempung

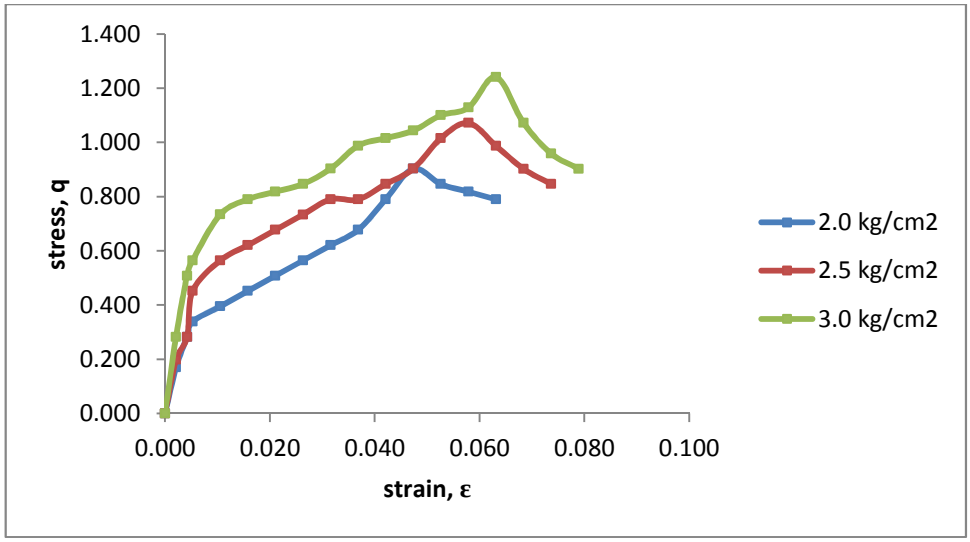
Hasil pengujian triaxial metode *Consolidated Undrained (CU)* dari tanah lempung menunjukkan grafik tegangan-regangan dari 3 tekanan cell yang berbeda yaitu, 2.0 kg/cm^2, 2.5 kg/cm^2, dan 3.0 kg/cm^2. Tanah

termasuk dalam konsistensi sangat lunak dan memiliki kadar air yang tinggi.

Berikut adalah gambar dari grafik hubungan angka pori dengan tekanan konsolidasi hasil uji konsolidasi serta grafik hubungan tegangan regangan hasil uji triaxial.



Gambar 4.1. Grafik hubungan angka pori dengan tekanan konsolidasi

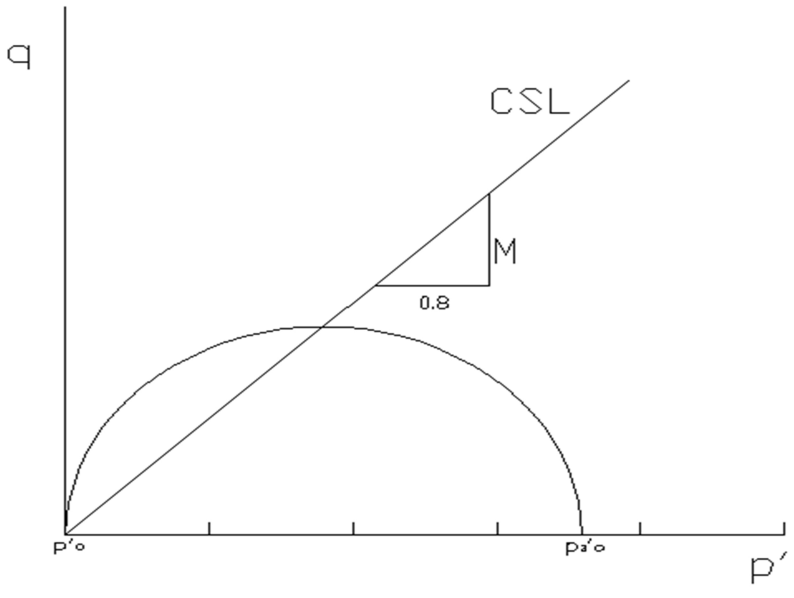


Gambar 4.2. Grafik hubungan tegangan regangan dari hasil uji triaxial CU.

4.3 Pemodelan *Cam Clay* pada Tanah Lempung

Pengujian Triaxial Compression Test metode *Consolidated Undrained* dilakukan pada tanah lempung (tanah undisturb) dengan kadar air 83.45 %. Tekanan yang diberikan pada tanah tersebut yaitu 2.0 kg/cm^2, 2.5 kg/cm^2, dan 3.0 kg/cm^2. Data-data dari pengujian laboratorium akan digunakan untuk mendeskripsikan perilaku tanah pada model keadaan kritis dalam hal ini digunakan model modifikasi *Cam Clay*. Model ini akan mendeskripsikan tentang tegangan regangan dan daerah kritis dari tanah lempung. Nilai-nilai parameter yang digunakan diperoleh dari hasil uji triaxial dan uji konsolidasi menggunakan *oedometer*.

Pada gambar 4.3 menunjukkan nilai kemiringan garis keadaan kritis, M, yang didapatkan dari kurva *q-p*. nilai-nilai dari *q* dan *p* didapatkan dari hasil uji triaxial dan kemudian di plot pada grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4.3. CSL pada grafik q-p’

Penentuan kemiringan garis keadaan kritis yaitu dengan cara menarik garis awal dari titik awal (p'_0) melalui titik puncak dari lingkaran pada grafik *q-p*. Dari data tersebut dimasukkan ke dalam persamaan-persamaan yang ada sesuai dengan tahapan perhitungan pada *Consolidated Undrained* pada tanah *normally consolidated*. Hasil dari perhitungan tersebut menghasilkan perbandingan tegangan regangan antara hasil percobaan dan hasil prediksi.

Tabel 4.2. Model parameter untuk tanah lempung

Parameter	M	λ	κ	$\overline{e^o}$
Nilai	**0.8**	**0.308**	**0.017**	**0.309**

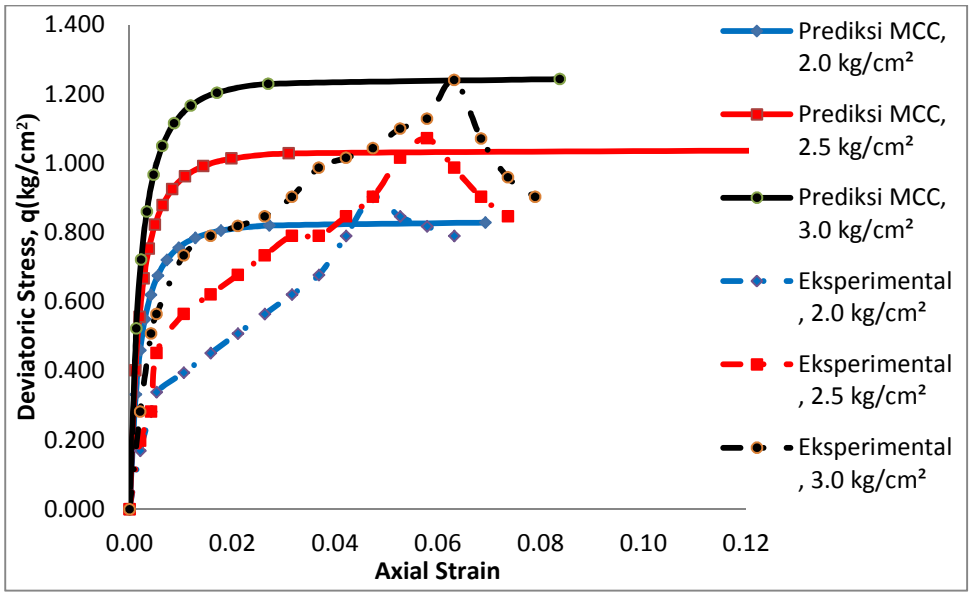
Tabel 4.2 menunjukkan model parameter yang didapatkan dari hasil uji triaxial (parameter *M*) dan hasil uji konsolidasi menggunakan oedometer (parameter λ,κ, dan e_0). Tabel 4.3 menunjukkan nilai tegangan efektif terkecil yang digunakan dalam menghasilkan rumusan model modifikasi *Cam Clay* untuk memprediksi tegangan-regangan yang dibandingkan dengan hasil eksperimen.

Tabel 4.3. Nilai tegangan efektif terkecil

Sampel	**Tekanan**	**Tegangan efektif terkecil**
1	2.0 kg/cm^2	0.085 kg/cm^2
2	2.5 kg/cm^2	0.099 kg/cm^2
3	3.0 kg/cm^2	0.141 kg/cm^2

Perbandingan dari hasil model modifikasi *Cam Clay* dan hasil eksperimen laboratorium dapat dilihat dalam gambar 4.4. Hasil pengujian laboratorium uji triaxial metode *CU* yang ditunjukkan dalam gambar 4.2 menunjukkan sebuah kurva tegangan regangan dengan tekanan yang berbeda.

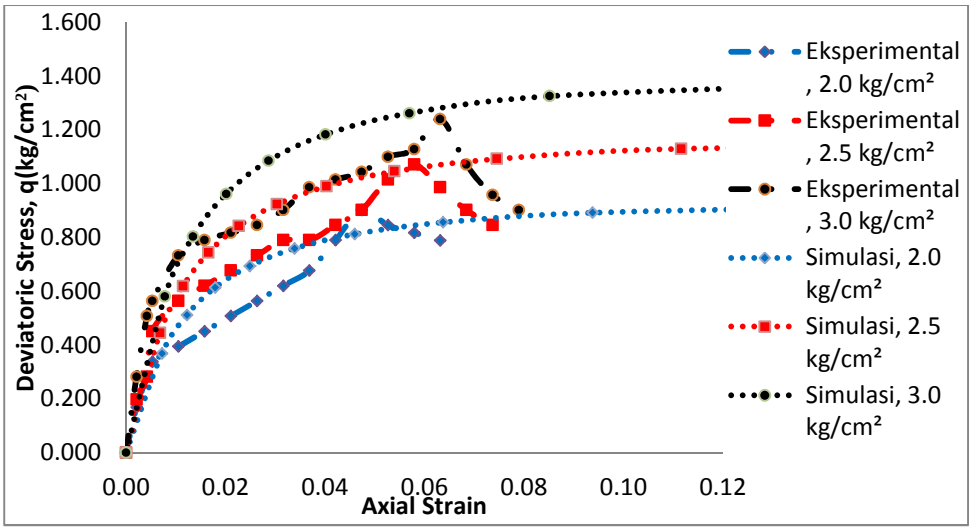
Data dari hasil uji tersebut kemudian digunakan kembali pada perhitungan dalam model modifikasi *Cam Clay* untuk memprediksi tegangan-regangan yang terjadi dengan membandingkannya terhadap hasil eksperimen. Perbandingan antara perhitungan model modifikasi *Cam-Clay* dan hasil eksperimen dapat dilihat dari grafik yang digambarkan dalam Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Perbandingan antara prediksi modifikasi *Cam Cla*y vs hasil ekspreimental dari uji triaxial CU

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa model modifikasi *Cam Clay* mampu mensimulasikan perilaku mekanik dari tanah lempung.

Dengan membandingkan grafik dari hasil model modifikasi *Cam Clay* dan hasil laboratorium terlihat bahwa perhitungan model modifikasi *Cam Clay* mampu memprediksi tegangan-regangan yang terjadi yang mendekati hasil eksperimen walaupun ada perbedaan pada bagian-bagian awal antara hasil eksperimen dan hasil prediksi. Dapat dikatakan bahwa penggunaan model modifikasi *Cam Clay* untuk mempredisi perilaku mekanik tanah lempung mendekati keberhasilan. Dari data yang ada, juga dibuat sebuah simulasi dengan menambahkan koefisien pada parameter *Cam Clay*. Nilai M yang dipergunakan adalah 0.80 dan parameter λ dan κ masing-masing ditambahkan nilai koefisien sebesar 0.07. Hasil dari penambahan koefisien tersebut menunjukkan sebuah grafik yang lebih mendekati dari hasil laboratorium.



Gambar 4.5. Perbandingan antara simulasi prediksi modifikasi *Cam Clay* vs hasil ekspreimental dari uji triaxial CU

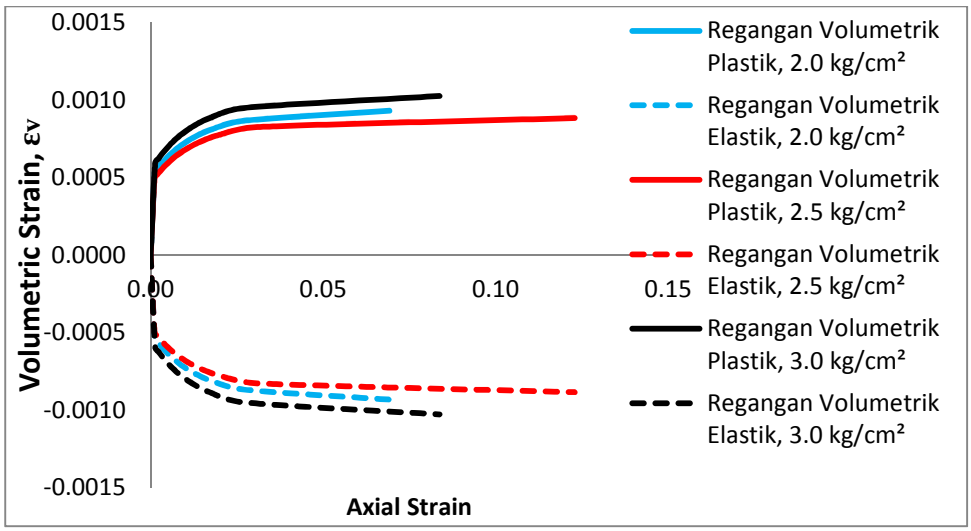
Dari 3 tekanan yang berbeda dari hasil uji triaxial *Consolidated Undrained (CU)* pada gambar 4.7 - 4.9 menunjukkan perbandingan antara

jalur tegangan yang dihasilkan dari perhitungan model modifikasi *Cam Clay* dengan hasil eksperimen.

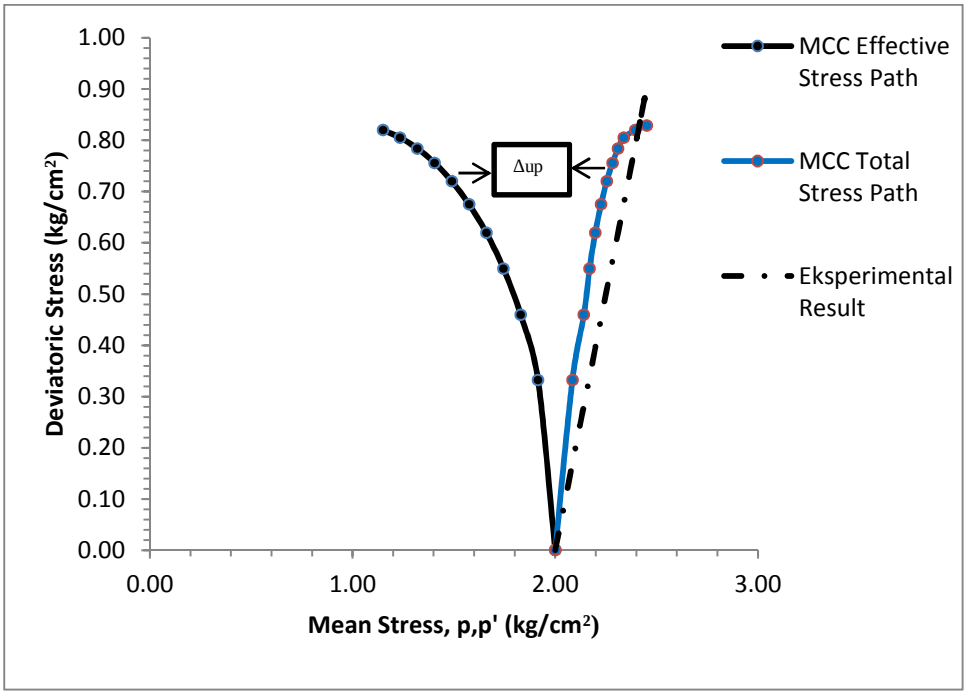
Model MCC memprediksi tekanan pori yang berlebih jauh lebih tinggi dibandingkan dengan hasil eksperimen. Besarnya tekanan pori yang berlebihan dapat diartikan sebagai perbedaan antara tegangan total dan tegangan efektif pada jalur tegangan.

Lintasan tegangan efektif hasil model modifikasi *Cam Clay* menunjukkan bahwa hasilnya mengarah pada pola garis yang sama dengan hasil eksperimen. Dengan kata lain, kedua garis lintasan tersebut berada pada daerah lintasan kritis. Fakta ini menegaskan bahwa model modifikasi *Cam Clay* mampu mensimulasikan perilaku mekanik pada tanah lempung.

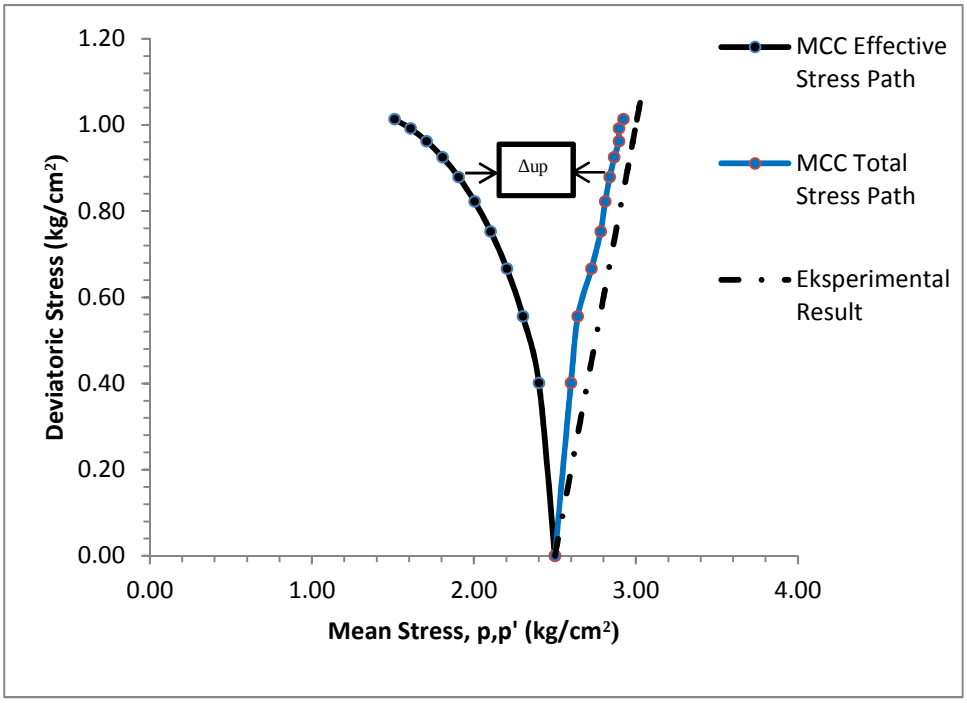
Dari model modifikasi modifikasi *Cam Clay* juga menunjukkan suatu fitur perilaku mekanik tanah dalam bentuk regangan volumetric, regangan geser dan tekanan air pori.



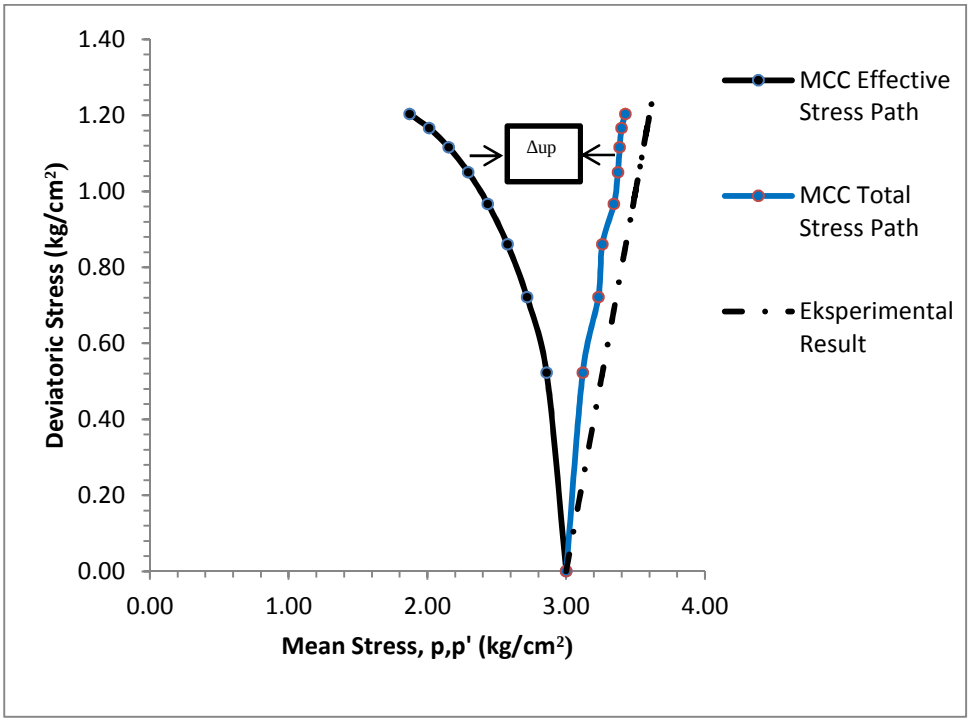
Gambar 4.6. Grafik hubungan regangan volumetric dan regangan axial hasil model MCC



Gambar 4.7. Lintasan tegangan dari MCC dan hasil eksperimen tekanan 2.0 kg/cm²



Gambar 4.8. Lintasan tegangan dari MCC dan hasil eksperimen tekanan 2.5 kg/cm²



Gambar 4.9. Lintasan tegangan dari MCC dan hasil eksperimen tekanan 3.0 kg/cm²

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil laboratorium, dihasilkan sebuah kurva tegangan-regangan berdasarkan hasil uji triaxial. Parameter-parameter yang dihasilkan dari uji triaxial metode *Consolidated Undrained (CU)*, dapat dipergunakan untuk mensimulasikan tegangan-regangan pada tanah lempung menggunakan model modifikasi *Cam Clay*.
2. Grafik yang ditunjukkan dari hasil uji triaxial tanah lempung dibandingkan dengan hasil perhitungan dari model *Cam Clay* dan menghasilkan perbedaan kurva tegangan-regangan dari uji triaxial dan model modifikasi *Cam Clay*. Sampel uji Triaxial yaitu menggunakan tanah lempung Garongkong. Pada sampel tersebut digunakan uji triaxial metode *Consolidated Undrained (CU).* Hasil dari pengujian tersebut dimasukkan ulang melalui perhitungan yang didasarkan pada model modifikasi *Cam Clay*. Perbandingan antara hasil eksperimen dengan model modifikasi *Cam Clay* ditunjukkan melalui kurva tegangan regangan dan hasilnya model modifikasi *Cam Clay* mampu mensimulasikan perilaku mekanik tanah lempung terkonsolidasi normal seperti regangan volumetric, regangan geser dan tekanan air

pori, yang artinya model tersebut mampu memprediksi tegangan regangan yang terjadi pada tanah lempung. Data tersebut kemudian disimulasikan ulang dengan menambahkan koefisien pada parameter κ, dan λ. Parameter M menggunakan nilai 0.8 dan parameter κ dan λ masing-masing ditambahkan 0.07. Hasil dari penambahan koefisien tersebut mampu memprediksi tegangan-regangan yang terjadi pada tanah lempung dengan lebih memuaskan.

5.2 Saran

1. Sebaiknya dalam penelitian ini penggunaan alat triaxial lebih diperhatikan dalam pembuatan dan pemasangan sampel, serta pengecekan alat terlebih dahulu agar didapatkan hasil yang maksimal.
2. Dalam penelitian ini sebaiknya kondisi sampel tetap terjaga agar didapatkan hasil yang akurat.

DAFTAR PUSTAKA

A. N. Schofield, C. P. Wroth, 1968, *Critical State Soil Mechanics*, Maidenhead, McGraw-Hill.

ASTM (1992), ASTM *Standards on Soil Stabilization with Admixture, American SocietyTesting and Materials, Second Edition*.

Atkinson, J.H. and Bransby. P.L. (1982). *The Mechanics of Soils: An Introduction to Critical State Soil Mechanics*, McGraw-Hill, London.

Drucker, DC and Prager, W. (1952) "*Soil mechanics and plastic analysis or limit design*", Quart. Applied Math.Vol. 10, No. 2, pp 157-165.

Das, Braja M,.Endah, Noor. Dan Mochtar, Indrasurya B. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-PrinsipRekayasa Goeteknik)-Jilid I,*. Erlangga, Jakarta.

Das, Braja M,.Endah, Noor. Dan Mochtar, Indrasurya B. *1988. Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Goeteknik)-Jilid II.* Erlangga, Jakarta.

Hardyatmo, Hary Crhistiady. 2000. *Mekanika Tanah 1 Edisi Kelima.* UGM Press, Yogyakarta.

Liu, M.D., and Carter, J.P. 2002. *A structured Cam Clay Model*.Research Report, No. 814, University of Sydney.

Roscoe, K. H., Schofield, A. N. and Wroth, C. P. (1958), *On the yielding of soils*, Geotechnique, Vol. 8, No., pp. 22-52.

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.

Roscoe, KH, Schofield,AN and Thrairajah, A. (1963) "*Yielding of clays in states wetter than critical*", Geotechnique, Vol.13, No.3, pp 211-240.

Tim Penyusun, 2011, *Penuntun Praktikum Laboratorium Mekanika Tanah*, *Edisi kedelapan*, Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Sipil Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Utomo, Pontjo.,Syakur, Paisal.,Nikraz, Hamid. R. *A Review On the Performance of Modified Cam Clay Model in Predicting the Mechanical Behaviour of Heavily Overconsolidated Clay*. Department of Civil Engineering, Curtin University of Technology, Perth, Australia

Lampiran A. Karakteristik Dasar Tanah Asli (Lempung)

Lampiran A-1. Pemeriksaan Berat Jenis

Sampel :
Lokasi Percobaan :
Tanggal Percobaan :

Tabel 1. BERAT JENIS SPESIFIK , Gs

Nomor Percobaan	I	II
Berat Piknometer, W_1(gram)	32	32
Berat Piknometer + air, W_2(gram)	82.17	82.05
Berat Piknometer + air + tanah, W_3(gram)	97.98	97.84
Berat tanah kering, W_s(gram)	25.45	25.28
Temperatur, ^{0}C	28	28
Faktor koreksi, a = g_T/g_{20}	0.99803	0.99803
Berat Jenis, Gs	2.63	2.66
Berat Jenis Rata-rata, Gs	2.65	

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai berat jenis sebesar = 2.65

Mengetahui,
Sekretaris Laboratorium Mekanika Tanah

St. Hijraini Nur, ST, MT
Nip. 197711212005012001

Lampiran A-2. **Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi**

Sampel :
Lokasi Percobaan :
Tanggal Percobaan :

Tabel 2. KADAR AIR DAN BERAT ISI

Bore Hole No.	-	BH-1		
Sample	-	1		
Sample Depth	m	6		
Ring/Container Number	-	1	2	3
Weight Ring (1)	gram	69.00	68.00	75.00
Weigh of Container (2)	gram	0.00	0.00	0.00
Weigh of Ring + Container + Wet Soil (3)	gram	167.00	165.00	177.00
Weigh of Wet Soil (4) = (3)-(2)-(1)	gram	98.00	97.00	102.00
Volume of Soil (5)	cm^3	80.74	80.74	80.74
Weigh of Ring + Container + DrySoil (6)	gram	121.00	121.00	132.00
Weigh of Dry Soil (7) =(6)-(1)-(2)	gram	52.00	53.00	57.00
Weigh of Water (8) = (4)-(7)	gram	46.00	44.00	45.00
Spesific Gravity, Gs	-	2.65	2.65	2.65
Volume of Dry Soil (9) = (7)/Gs	cm^3	19.65	20.02	21.54
Volume of Pore (10) = (5)-(9)	cm^3	61.09	60.72	59.20
Wet Density, g_{wet} = (4)/(5)	gr/cm^3	1.21	1.20	1.26
Water Content,w = (8)/(7)*100%	%	88.46	83.02	78.95
Dry Density, g_{dry} = g_{wet}/(1+w)	gr/cm^3	0.64	0.66	0.71
Porosity, n = (10)/(5)*100%	%	75.67	75.20	73.33
Degree of Saturation, Sr = (8)/(10)*100%	%	75.29	72.47	76.01

Mengetahui,
Sekretaris Laboratorium Mekanika Tanah

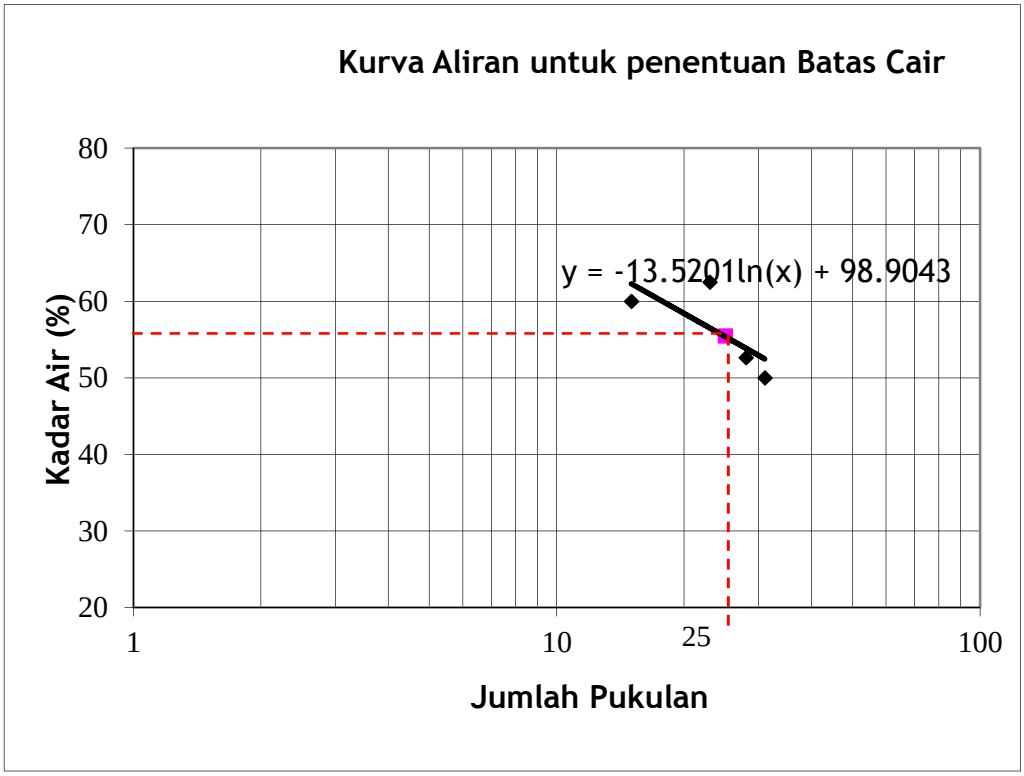
St. Hijraini Nur, ST, MT
Nip. 197711212005012001

Lampiran A-3. Pemeriksaan Batas-Batas Atterberg

Sampel :
Lokasi Percobaan :
Tanggal Percobaan :

Tabel 3.1. BATAS CAIR (LIQUID LIMITS, LL)

No Test	-	1	2	3	4
Jumlah Pukulan	-	15	23	28	31
No. Container	-	A1	B1	C1	D1
Berat Tanah Basah + Container, W1	Gram	29.00	31.00	34.00	32.00
Berat Tanah Kering + Container, W2	Gram	20.00	21.00	24.00	23.00
Berat Container, W3	Gram	5.00	5.00	5.00	5.00
Berat Air (Ww=W1-W2)	Gram	9.00	10.00	10.00	9.00
Berat Tanah Kering , (Wd=W2-W3)	Gram	15.00	16.00	19.00	18.00
Kadar Air, Ww/Wd x 100%	%	60.00	62.50	52.63	50.00



Batas Cair (LL) didapat pada pukulan 25

Jadi, LL = -13,5201*LN(25)-98,9043 = 55.38 %

Sampel :
Lokasi Percobaan :
Tanggal Percobaan :

Tabel 3.2. BATAS PLASTIS (PLASTIC LIMITS, PL)

No Test	-	1	2
No. Container	-	A1	B1
Berat Tanah Basah + Container, W1	Gram	17.00	15.00
Berat Tanah Kering + Container, W2	Gram	14.00	12.00
Berat Container, W3	Gram	5.00	5.00
Berat Air (Ww=W1-W2)	Gram	3.00	3.00
Berat Tanah Kering , (Wd=W2-W3)	Gram	9.00	7.00
Kadar Air, Ww/Wd x 100%	%	33.33	42.86
Kadar Air Rata-rata	%	38.10	

Indeks Plastisitas PI = LL - PL

PI = 55.38 - 38.10 = 17.29 %

Sampel :
Lokasi Percobaan :
Tanggal Percobaan :

Tabel 3.3. BATAS SUSUT (SHRINGKAGE LIMITS, SL)

No Test	-	1	2
Berat Mould, W1	Gram	6	6
Berat Mould + Tanah basah , W2	Gram	35	33
Berat Mould + Tanah kering , W3	Gram	21	20
Berat Air Raksa yang dipakai untuk mengisi mangkok shringkage, W4	Gram	382	385
Berat Air Raksa yang dipindahkan oleh tanah yang ditest, W5	Gram	235	218
Berat tanah basah, Ww=W2-W1	Gram	29	27
Berat tanah kering, Wd=W3-W1	Gram	15	14
Berat air,Wa=W2-W3	Gram	14	13
Berat cawan petri, Wp	Gram	101	101
Berat jenis air raksa, r		13.6	13.6
Volume tanah basah, Vw=(W4-Wp)/r	m^3	20.66	20.88
Volume tanah kering, Vd=(W5-Wp)/r	m^3	9.85	8.60
Kadar air, =Wa/Wd x 100%	%	93.33	92.86

Batas susut, SL = Kadar air-((Vw-Vd)/Wd)x100%)	%	21.27	5.15
SL rata - rata	%	13.21	

Mengetahui,
Sekretaris Laboratorium Mekanika Tanah

St. Hijraini Nur, ST, MT
Nip. 197711212005012001

Lampiran A-4. Pemeriksaan Analisa Saringan

Sampel :
Lokasi Percobaan :
Tanggal Percobaan :

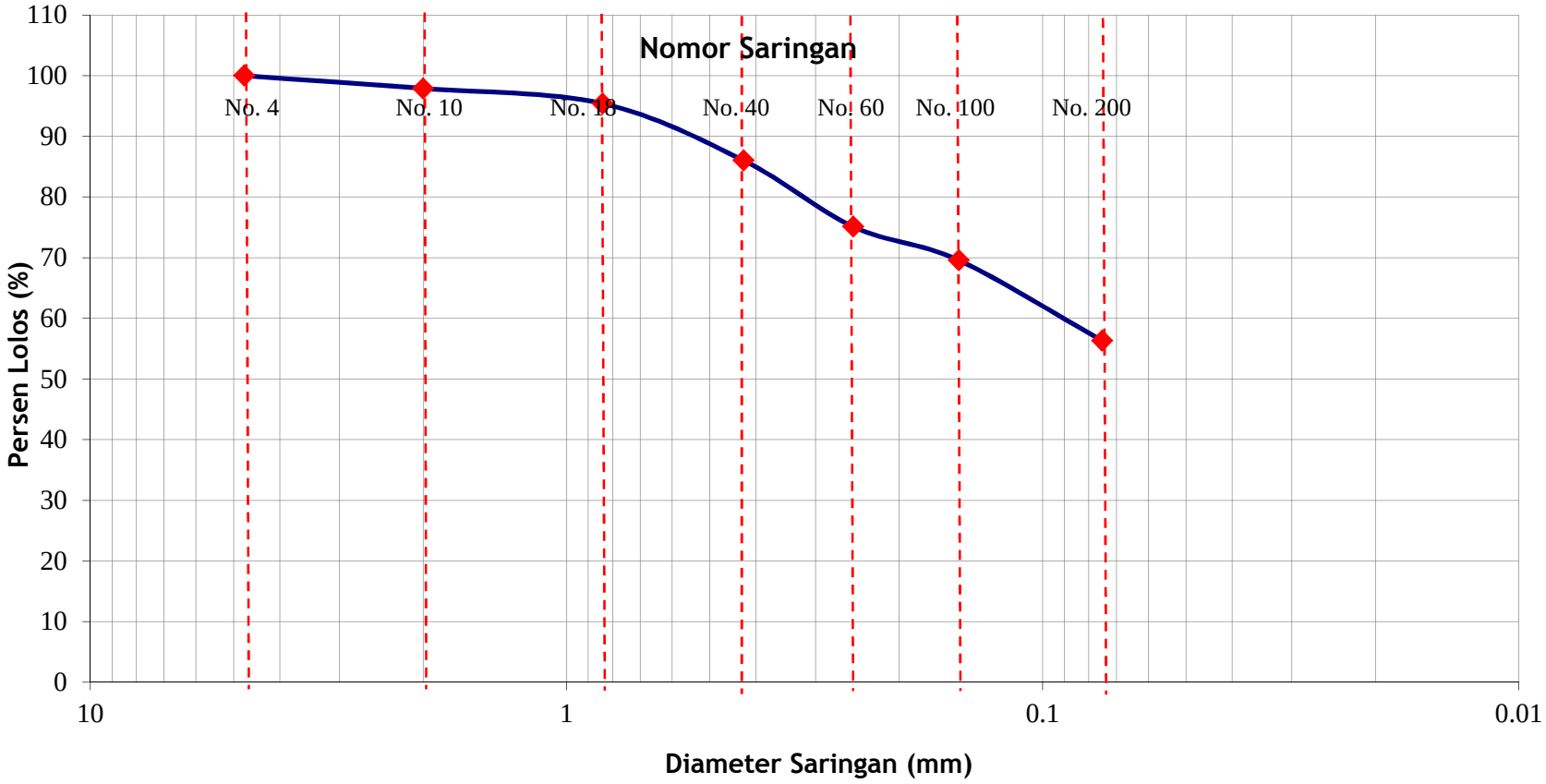
Tabel 4. Hasil Perhitungan Analisa Saringan

	Sebelum	Sesudah
Berat tanah kering + Container		
Berat Container		
Berat tanah Kering	500	500

Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Kumulatif (gram)	Persen (%)	
				Tertahan	Lolos
4	4.75	0	0	0	100
10	2	10.5	10.5	2.1	97.9
18	0.84	12.5	23	4.6	95.4
40	0.425	46.9	69.9	13.98	86.02
60	0.25	54.6	124.5	24.9	75.1
100	0.15	27.7	152.2	30.44	69.56
200	0.075	66.2	218.4	43.68	56.32
Pan	-	281.6	500	100	0

Mengetahui,
Sekretaris Laboratorium Mekanika Tanah

St. Hijraini Nur, ST, MT
Nip. 197711212005012001



Gambar 4.1. Grafik Analisa Saringan

Lampiran B-1 Pengujian Konsolidasi Tanah Lempung

Sampel :
Lokasi Percobaan :
Tanggal Percobaan :

Tabel 5.1. KONSOLIDASI

Berat Ring, W_1	:	63	gram
Berat Tanah Basah + Ring, W_2	:	115	gram
Berat Tanah Kering + Ring, W_3	:	99	gram
Volume Ring, V	:	56.082	cm^3
Kadar Air, $\omega=(W_2-W_3)/(W_3-W_1)$. 100%	:	44.44	%
Berat Volume Tanah Basah, $\gamma_{wet}=(W_2-W_1)/V$	:	0.93	$gram/cm^3$
Berat Volume Tanah Kering, $\gamma dry=\gamma_{wet}/(1+\omega)$	:	0.642	$gram/cm^3$

PEMBACAAN DIAL								
Beban (kg)	**0.825**	**1.65**	**3.3**	**6.6**	**13.2**	**26.4**	**6.6**	**0.825**
Tekanan (kg/cm^2)	**0.25**	**0.5**	**1**	**2**	**4**	**8**	**2**	**0.25**
0 detik	0.000	3.569	4.327	6.216	7.624	8.898	10.604	10.532
6 detik	0.656	3.625	4.791	6.488	7.678	9.000	10.636	10.522
15 detik	0.801	3.661	4.841	6.512	7.708	9.038	10.640	10.516
30 detik	1.006	3.675	4.893	6.540	7.742	9.070	10.644	10.514
1 menit	1.221	3.707	4.969	6.570	7.809	9.118	10.638	10.510
2 menit	1.431	3.756	5.047	6.644	7.876	9.194	10.624	10.508
4 menit	1.772	3.835	5.163	6.720	7.984	9.303	10.616	10.506
8 menit	2.201	3.930	5.351	6.857	8.132	9.460	10.606	10.497
15 menit	2.618	4.027	5.551	7.010	8.301	9.633	10.588	10.457
30 menit	3.047	4.124	5.787	7.172	8.510	9.891	10.574	10.410
1 jam	3.334	4.188	5.907	7.354	8.641	10.156	10.555	10.344
2 jam	3.459	4.244	6.002	7.502	8.721	10.358	10.532	10.289
4 jam	3.490	4.314	6.071	7.554	8.776	10.498	-	-
8 jam	3.520	4.320	6.132	7.602	8.831	10.553	-	-
24 jam	3.569	4.327	6.216	7.624	8.898	10.604	-	-

Mengetahui,
Sekretaris Laboratorium Mekanika Tanah

St. Hijraini Nur, ST, MT
Nip. 197711212005012001

Tabel 5.2. HASIL PERHITUNGAN KONSOLIDASI

Diameter Contoh	:	6.3	cm
Luas Contoh	:	31.172	cm^2
Tinggi Spesimen (H)	:	2	cm
Berat Tanah Kering, Wd	:	36	gram
Berat Jenis	:	1.620	$gram/cm^3$
Tebal Bagian Padat, Hs = Wd/(Gs x A x γ_w)	:	0.769	
Angka Pori, e = (H/Hs)-1	:	1.601	

Tekanan (kg/cm^2)	Pembacaan Terakhir (mm)	Tinggi Spesimen, H(cm)	Perubahan Tinggi Spesimen, δH (cm)	Perubahan Angka Pori, δe=δH/Hs	Angka Pori, $e=e_0-\delta e$	Perubahan Tinggi Tanah Rata-rata, δHa (cm)	Tinggi Tanah Setelah Perubahan, d (cm)	Waktu Konsolidasi 50% t_{50} (menit)	Waktu Konsolidasi 90% t_{90} (menit)	Koefisien Konsolidasi $Cv = (0.197 \times (d/2)^2)/t_{50}$	Koefisien Konsolidasi $Cv = (0.848 \times (d/2)^2)/t_{90}$
0	0	2	0	0	1.601	-	-				
0.25	3.569	1.643	0.357	0.464	1.137	0.178	1.822	1.995	19.360	0.082	0.0363
0.50	4.327	1.567	0.433	0.563	1.039	0.395	1.605	3.955	26.01	0.032	0.0210
1.00	6.216	1.378	0.622	0.808	0.793	0.527	1.473	5.360	34.810	0.020	0.0132
2.00	7.624	1.238	0.762	0.992	0.610	0.692	1.308	7.018	33.65	0.012	0.0108
4.00	8.898	1.110	0.890	1.157	0.444	0.826	1.174	8.163	37.21	0.008	0.0079
8.00	10.604	0.940	1.060	1.379	0.222	0.975	1.025	9.713	60.84	0.005	0.0037
2.00	10.532	0.947	1.053	1.370	0.231	1.057	0.943				
0.25	10.289	0.971	1.029	1.338	0.263	1.041	0.959				

Mengetahui,
Sekretaris Laboratorium Mekanika Tanah

St. Hijraini Nur, ST, MT
Nip. 197711212005012001

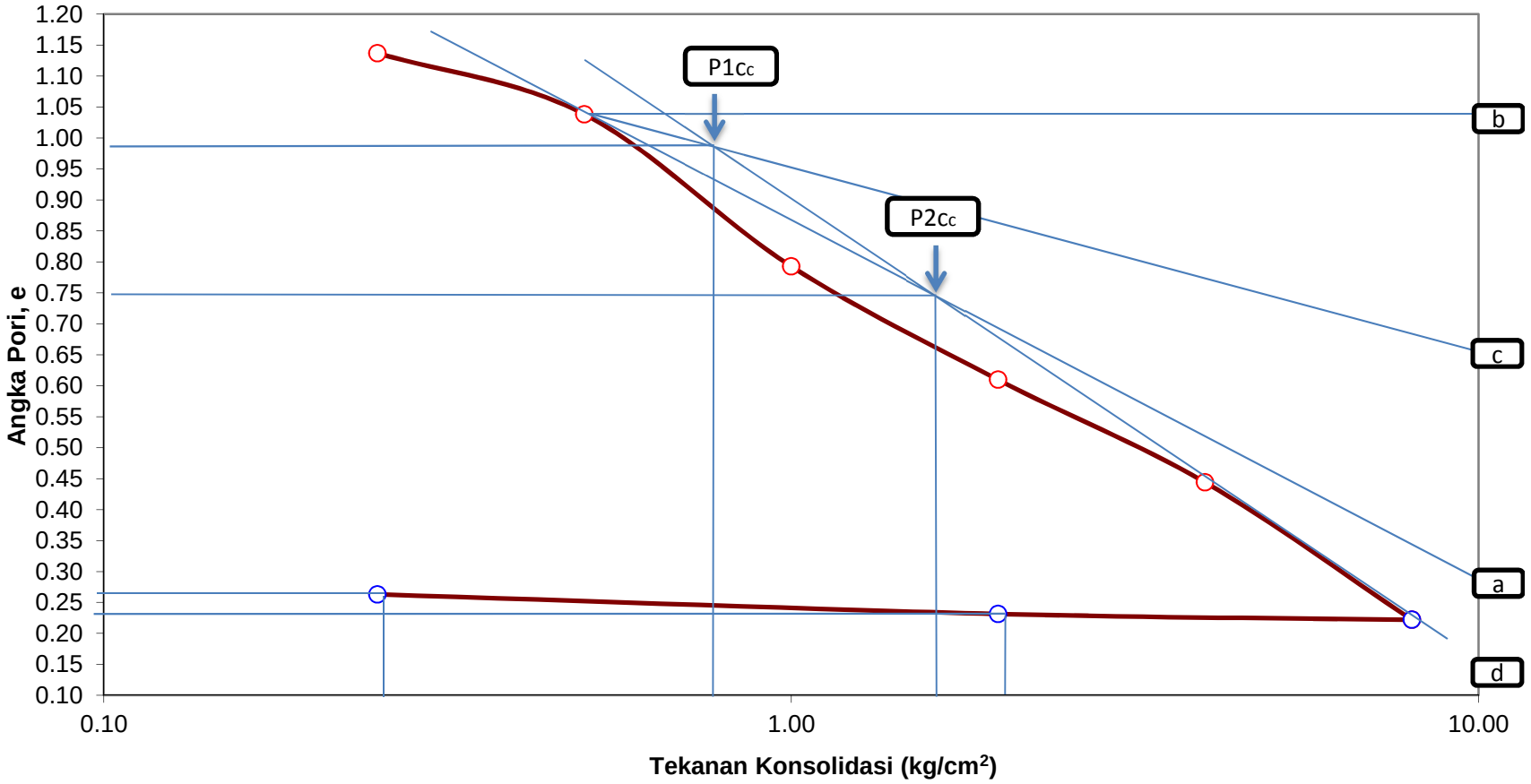
Dari grafik hubungan antara angka pori dengan tekanan konsolidasi diperoleh bahwa tekanan prakonsolidasi pc = 1,18 kg/cm2

Indeks pemampatan (Compression Index,Cc)

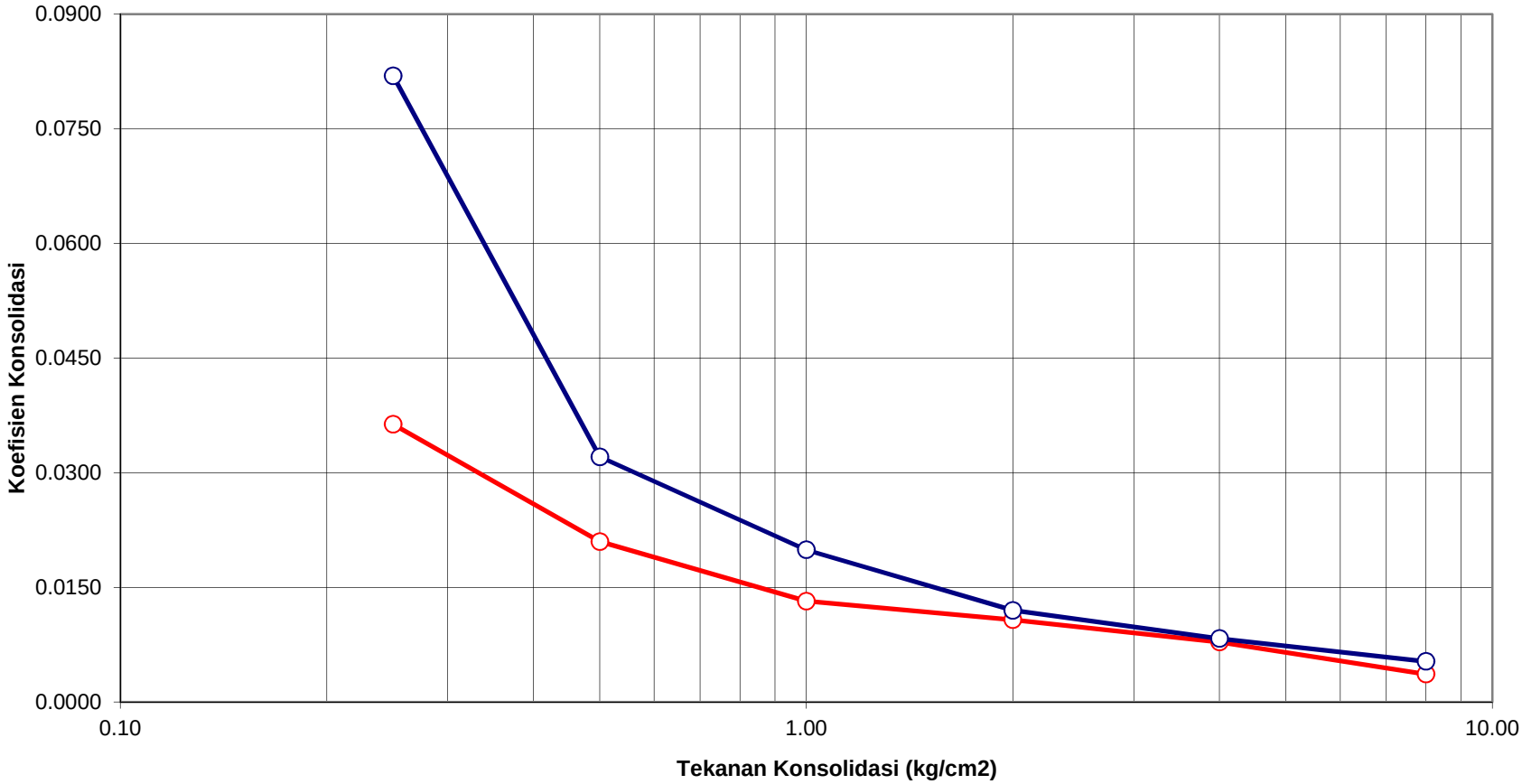
P_1 (kg/cm^2)		=	0.76
P_2 (kg/cm^2)		=	1.65
	e_1	=	0.988
	e_2	=	0.749
		Cc =	$(e_1-e_2)/\log(p_{2/}p_1)$
		Cc =	0.710

Indeks pemuaian (Swell Index, Cs)

P_1 (kg/cm^2)		=	0.255
P_2 (kg/cm^2)		=	2
	e_1	=	0.265
	e_2	=	0.231
		Cs =	$(e_1-e_2)/\log(p_{2/}p_1)$
		Cs =	0.038



Gambar 5.1 Grafik Hubungan antara Angka Pori dengan Tekanan Konsolidasi



Gambar 5.2 Grafik Hubungan antara Tekanan dan Koefisien Konsolidasi

Lampiran B-2 **Pengujian Triaxial pada Tanah Lempung**

Sampel :

Lokasi Percobaan :

Tanggal Percobaan :

TRIAXIAL COMPRESSION TEST RESULT CONSOLIDATED UNDRAINED (CU)

SAMPEL 1

Initial condition of soil specimen

Calibration			Kg/Divisi				Type of Test		CU	
Proving Ring							V shear		0.5180	um/s
Diameter (D_0)	:	4.75	cm				Initial volume	:	168.345	cm^3
Height (H_0)	:	9.5	cm	=	95	mm	Dry unit weight	:		kN/cm^3
Water content	:		%				Total unit weight	:		kN/cm3
Sampel area	:	17.721	cm2							

Shear test data

σ_3 : 2 Kg/cm^2

Axial deformation data				Loading data			Pore Water Pressure			Failure		Stress path and A value			
Dial	ΔH	ε = ΔH/H	A_c	Load cell	Axial load	σ_1	Δμ	σ'_1	σ'_3	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ'_1 / σ'_3	p	p'	q	A value
0.000	0.000	0.000	17.721	0.00	0.00	2.000	0.00	2.000	2	0.000	1.000	2.000	2.000	0.000	0.000
0.200	0.020	0.002	17.721	3.00	3.00	2.169	0.0145	2.155	1.9855	0.169	1.085	2.085	2.070	0.085	0.171
0.400	0.040	0.004	17.721	5.00	5.00	2.282	0.0145	2.268	1.9855	0.282	1.142	2.141	2.127	0.141	0.103

0.500	0.050	0.005	17.721	6.00	6.00	2.339	0.015	2.324	1.985	0.339	1.171	2.169	2.154	0.169	0.089
1.000	0.100	0.011	17.722	7.00	7.00	2.395	0.016	2.379	1.984	0.395	1.199	2.197	2.181	0.197	0.081
1.500	0.150	0.016	17.723	8.00	8.00	2.451	0.016	2.435	1.984	0.451	1.228	2.226	2.210	0.226	0.071
2.000	0.200	0.021	17.724	9.00	9.00	2.508	0.016	2.492	1.984	0.508	1.256	2.254	2.238	0.254	0.063
2.500	0.250	0.026	17.725	10.00	10.00	2.564	0.016	2.548	1.984	0.564	1.284	2.282	2.266	0.282	0.057
3.000	0.300	0.032	17.726	11.00	11.00	2.621	0.016	2.605	1.984	0.621	1.313	2.310	2.294	0.310	0.052
3.500	0.350	0.037	17.727	12.00	12.00	2.677	0.016	2.661	1.984	0.677	1.341	2.338	2.322	0.338	0.047
4.000	0.400	0.042	17.728	14.00	14.00	2.790	0.017	2.773	1.983	0.790	1.398	2.395	2.378	0.395	0.043
4.500	0.450	0.047	17.729	16.00	16.00	2.902	0.018	2.884	1.982	0.902	1.455	2.451	2.433	0.451	0.040
5.000	0.500	0.053	17.730	15.00	15.00	2.846	0.019	2.827	1.981	0.846	1.427	2.423	2.404	0.423	0.045
5.500	0.550	0.058	17.731	14.50	14.50	2.818	0.0195	2.798	1.9805	0.818	1.413	2.409	2.389	0.409	0.048
6.000	0.600	0.063	17.732	14.00	14.00	2.790	0.0195	2.770	1.9805	0.790	1.399	2.395	2.375	0.395	0.049

Sampel :

Lokasi Percobaan :

Tanggal Percobaan :

TRIAXIAL COMPRESSION TEST RESULT CONSOLIDATED UNDRAINED (CU)

SAMPEL 2

Initial condition of soil specimen

Calibration			Kg/Divisi	Type of Test		CU	
Proving Ring				V shear		0.5180	um/s
Diameter (D_0)	:	4.75	cm	Initial volume	:	168.345	cm^3
Height (H_0)	:	9.5	cm	Dry unit weight	:		kN/cm^3
Water content	:	17.721	%	Total unit weight	:		kN/cm3

Shear test data σ_3 : 2.5 Kg/cm_2

Axial deformation data				Loading data			Pore Water Pressure			Failure		Stress path and A value			
Dial	ΔH	ε = $\Delta H/H_s$	A_c	Load cell	Axial load	σ_1	Δμ	σ'_1	σ'_3	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ'_1 / σ'_3	p	p'	q	A value
0.000	0.000	0.000	17.721	0.00	0.00	2.500	0	2.500	2.5	0.000	1.000	2.500	2.500	0.000	0.000
0.200	0.020	0.002	17.721	3.50	3.50	2.698	0.0236	2.674	2.4764	0.198	1.080	2.599	2.575	0.099	0.119
0.400	0.040	0.004	17.721	5.00	5.00	2.782	0.0237	2.758	2.4763	0.282	1.114	2.641	2.617	0.141	0.084
0.500	0.050	0.005	17.721	8.00	8.00	2.951	0.0238	2.928	2.4762	0.451	1.182	2.726	2.702	0.226	0.053

1.000	0.100	0.011	17.722	10.00	10.00	3.064	0.0239	3.040	2.4761	0.564	1.228	2.782	2.758	0.282	0.042
1.500	0.150	0.016	17.723	11.00	11.00	3.121	0.024	3.097	2.476	0.621	1.251	2.810	2.786	0.310	0.039
2.000	0.200	0.021	17.724	12.00	12.00	3.177	0.0241	3.153	2.4759	0.677	1.273	2.839	2.814	0.339	0.036
2.500	0.250	0.026	17.725	13.00	13.00	3.233	0.0243	3.209	2.4757	0.733	1.296	2.867	2.842	0.367	0.033
3.000	0.300	0.032	17.726	14.00	14.00	3.290	0.0244	3.265	2.4756	0.790	1.319	2.895	2.870	0.395	0.031
3.500	0.350	0.037	17.727	14.00	14.00	3.290	0.0245	3.265	2.4755	0.790	1.319	2.895	2.870	0.395	0.031
4.000	0.400	0.042	17.728	15.00	15.00	3.346	0.0245	3.322	2.4755	0.846	1.342	2.923	2.899	0.423	0.029
4.500	0.450	0.047	17.729	16.00	16.00	3.402	0.0245	3.378	2.4755	0.902	1.365	2.951	2.927	0.451	0.027
5.000	0.500	0.053	17.730	18.00	18.00	3.515	0.0245	3.491	2.4755	1.015	1.410	3.008	2.983	0.508	0.024
5.500	0.550	0.058	17.731	19.00	19.00	3.572	0.0245	3.547	2.4755	1.072	1.433	3.036	3.011	0.536	0.023
6.000	0.600	0.063	17.732	17.50	17.50	3.487	0.0245	3.462	2.4755	0.987	1.399	2.993	2.969	0.493	0.025
6.500	0.650	0.068	17.733	16.00	16.00	3.402	0.0245	3.378	2.4755	0.902	1.364	2.951	2.927	0.451	0.027
7.000	0.700	0.074	17.734	15.00	15.00	3.346	0.0245	3.321	2.4755	0.846	1.342	2.923	2.898	0.423	0.029

Sampel :

Lokasi Percobaan :

Tanggal Percobaan :

TRIAXIAL COMPRESSION TEST RESULT CONSOLIDATED UNDRAINED (CU)

SAMPEL 3

Initial condition of soil specimen

Calibration		Kg/Divisi	Type of Test		CU	
Proving Ring			V shear		0.5180	um/s
Diameter (D_0)	: 4.75	cm	Initial volume	:	168.345	cm^3
Height (H_0)	: 9.5	cm	Dry unit weight	:		kN/cm^3
Water content	:	%	Total unit weight	:		kN/cm3
A=	17.721					

Shear test data

σ_3 : 3 Kg/cm^2

Axial deformation data				Loading data			Pore Water Pressure			Failure		Stress path and A value			
Dial	ΔH	ε = $\Delta H/H_s$	A_c	Load cell	Axial load	σ_1	Δμ	σ'_1	σ'_3	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ'_1 / σ'_3	p	p'	q	A value
0.000	0.000	0.000	17.721	0.000	0.000	3.000	0.000	3.000	3.000	0.000	1.000	3.000	3.000	0.000	0.000
0.200	0.020	0.002	17.721	5.000	5.000	3.282	0.022	3.261	2.979	0.282	1.095	3.141	3.120	0.141	0.076
0.400	0.040	0.004	17.721	9.000	9.000	3.508	0.022	3.486	2.978	0.508	1.171	3.254	3.232	0.254	0.043
0.500	0.050	0.005	17.721	10.000	10.000	3.564	0.022	3.542	2.978	0.564	1.189	3.282	3.260	0.282	0.039
1.000	0.100	0.011	17.722	13.000	13.000	3.734	0.022	3.712	2.978	0.734	1.246	3.367	3.345	0.367	0.030

1.500	0.150	0.016	17.723	14.000	14.000	3.790	0.022	3.768	2.978	0.790	1.265	3.395	3.373	0.395	0.028
2.000	0.200	0.021	17.724	14.500	14.500	3.818	0.023	3.795	2.977	0.818	1.275	3.409	3.386	0.409	0.028
2.500	0.250	0.026	17.725	15.000	15.000	3.846	0.024	3.822	2.976	0.846	1.284	3.423	3.399	0.423	0.028
3.000	0.300	0.032	17.726	16.000	16.000	3.903	0.025	3.878	2.975	0.903	1.303	3.451	3.426	0.451	0.028
3.500	0.350	0.037	17.727	17.500	17.500	3.987	0.026	3.961	2.974	0.987	1.332	3.494	3.468	0.494	0.026
4.000	0.400	0.042	17.728	18.000	18.000	4.015	0.027	3.988	2.973	1.015	1.342	3.508	3.481	0.508	0.027
4.500	0.450	0.047	17.729	18.500	18.500	4.043	0.028	4.015	2.972	1.043	1.351	3.522	3.494	0.522	0.027
5.000	0.500	0.053	17.730	19.500	19.500	4.100	0.029	4.071	2.972	1.100	1.370	3.550	3.521	0.550	0.026
5.500	0.550	0.058	17.731	20.000	20.000	4.128	0.029	4.099	2.971	1.128	1.380	3.564	3.535	0.564	0.026
6.000	0.600	0.063	17.732	22.000	22.000	4.241	0.029	4.212	2.971	1.241	1.418	3.620	3.591	0.620	0.023
6.500	0.650	0.068	17.733	19.000	19.000	4.071	0.029	4.042	2.971	1.071	1.361	3.536	3.507	0.536	0.027
7.000	0.700	0.074	17.734	17.000	17.000	3.959	0.029	3.930	2.971	0.959	1.323	3.479	3.450	0.479	0.030
7.500	0.750	0.079	17.735	16.000	16.000	3.902	0.029	3.873	2.971	0.902	1.304	3.451	3.422	0.451	0.032

Lampiran C-1 Pemodelan Cam clay pada Tanah Lempung

P0 = 2.0 kg/cm²

1 Penentuan nilai M

M=	0.80

2 Perhitungan nilai λ dan k

Cc =	0.710	λ =	0.308
Cs =	0.038	k =	0.017

3 data tambahan v = 0.2

uji	P_o (kg/cm²)	e_0	G	K	E
teralirkan	2	0.309	118.998	158.665	285.596
	2.5	0.309	148.748	198.331	356.995
	3	0.309	178.498	237.997	428.394

PREDIKSI CAM CLAY - UNDRAINED

Untuk uji teralirkan, p = 2.0 kg/cm²

p'	Δp	p'c	q	n	Δn	$\Delta\varepsilon_v^e$	$\Delta\varepsilon_v^p$	$\Delta\varepsilon_s^p$	$\Delta\varepsilon_s^e$	$\Delta\varepsilon_s$	ε_s	ε_1	p	Δu
2.000	0.000	2.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	2.00000	0.000
1.915	0.085	2.005	0.332	0.173	0.173	-0.00054	0.00054	0.00030	0.00093	0.00123	0.00123	0.00123	2.02566	0.111
1.830	0.085	2.010	0.459	0.251	0.078	-0.00056	0.00056	0.00049	0.00036	0.00084	0.00208	0.00208	1.98308	0.153
1.745	0.085	2.015	0.550	0.315	0.064	-0.00059	0.00059	0.00068	0.00025	0.00094	0.00301	0.00301	1.92821	0.183
1.660	0.085	2.021	0.619	0.373	0.058	-0.00061	0.00061	0.00092	0.00020	0.00111	0.00412	0.00412	1.86648	0.206
1.575	0.085	2.027	0.675	0.429	0.055	-0.00065	0.00065	0.00121	0.00016	0.00137	0.00549	0.00549	1.80005	0.225
1.490	0.085	2.034	0.720	0.483	0.055	-0.00068	0.00068	0.00162	0.00013	0.00174	0.00724	0.00724	1.72999	0.240
1.405	0.085	2.040	0.756	0.538	0.055	-0.00072	0.00072	0.00221	0.00010	0.00231	0.00954	0.00954	1.65695	0.252
1.320	0.085	2.048	0.784	0.594	0.056	-0.00076	0.00076	0.00315	0.00008	0.00323	0.01277	0.01277	1.58133	0.261
1.235	0.085	2.055	0.805	0.652	0.058	-0.00081	0.00081	0.00492	0.00006	0.00498	0.01776	0.01776	1.50340	0.268
1.150	0.085	2.064	0.820	0.713	0.061	-0.00087	0.00087	0.00940	0.00004	0.00944	0.02720	0.02720	1.42333	0.273
1.065	0.085	2.073	0.829	0.778	0.065	-0.00093	0.00093	0.04200	0.00002	0.04203	0.06923	0.06923	1.34123	0.276
0.980	0.085	2.082	0.831	0.848	0.070	-0.00101	0.00101	-0.02137	0.00001	-0.02136	0.04787	0.04787	1.25716	0.277
0.895	0.085	2.093	0.828	0.926	0.077	-0.00109	0.00109	-0.00934	-0.00001	-0.00935	0.03852	0.03852	1.17113	0.276
0.810	0.085	2.105	0.819	1.011	0.086	-0.00120	0.00120	-0.00632	-0.00003	-0.00635	0.03217	0.03217	1.08310	0.273

P0 = 2.5 kg/cm²

1 Penentuan nilai M

M=	0.80

2 Perhitungan nilai λ dan k

Cc =	0.710	λ =	0.308
Cs =	0.038	k =	0.017

3 data tambahan v = 0.2

uji	P_o (kg/cm²)	e_0	G	K	E
teralirkan	2	0.309	118.998	158.6646	285.5962
	2.5	0.309	148.748	198.3307	356.9953
	3	0.309	178.498	237.9969	428.3944

PREDIKSI CAM CLAY - UNDRAINED

Untuk uji teralirkan, p = 2.5 kg/cm²

p'	Δp	p'c	q	n	Δn	n_{inc}	$\Delta\varepsilon_v^t$	$\Delta\varepsilon_v^p$	$\Delta\varepsilon_s^p$	$\Delta\varepsilon_s^e$	$\Delta\varepsilon_s$	ε_s	ε_1	p	Δu
2.500	0.000	2.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	2.50000	0.000
2.401	0.099	2.506	0.401	0.167	0.167	0.167	-0.00050	0.00050	0.00027	0.00090	0.00117	0.00117	0.00117	2.53471	0.134
2.302	0.099	2.512	0.556	0.241	0.074	0.074	-0.00052	0.00052	0.00043	0.00035	0.00078	0.00195	0.00195	2.48727	0.185
2.203	0.099	2.518	0.666	0.302	0.061	0.061	-0.00054	0.00054	0.00060	0.00025	0.00085	0.00280	0.00280	2.42512	0.222
2.104	0.099	2.524	0.752	0.358	0.055	0.055	-0.00057	0.00057	0.00079	0.00019	0.00098	0.00378	0.00378	2.35483	0.251
2.005	0.099	2.531	0.822	0.410	0.052	0.052	-0.00059	0.00059	0.00103	0.00016	0.00119	0.00497	0.00497	2.27895	0.274
1.906	0.099	2.539	0.878	0.461	0.051	0.051	-0.00062	0.00062	0.00134	0.00013	0.00147	0.00643	0.00643	2.19883	0.293
1.807	0.099	2.546	0.925	0.512	0.051	0.051	-0.00065	0.00065	0.00177	0.00010	0.00188	0.00831	0.00831	2.11522	0.308
1.708	0.099	2.554	0.962	0.563	0.051	0.051	-0.00069	0.00069	0.00241	0.00008	0.00249	0.01080	0.01080	2.02864	0.321
1.609	0.099	2.563	0.991	0.616	0.053	0.053	-0.00073	0.00073	0.00346	0.00007	0.00352	0.01432	0.01432	1.93940	0.330
1.510	0.099	2.572	1.013	0.671	0.055	0.055	-0.00078	0.00078	0.00549	0.00005	0.00553	0.01986	0.01986	1.84774	0.338
1.411	0.099	2.582	1.028	0.729	0.058	0.058	-0.00083	0.00083	0.01108	0.00003	0.01111	0.03097	0.03097	1.75380	0.343
1.312	0.099	2.593	1.037	0.790	0.062	0.062	-0.00088	0.00088	0.09195	0.00002	0.09197	0.12293	0.12293	1.65769	0.346
1.213	0.099	2.604	1.039	0.857	0.066	0.066	-0.00095	0.00095	-0.01732	0.00001	-0.01732	0.10562	0.10562	1.55943	0.346
1.114	0.099	2.617	1.035	0.929	0.072	0.072	-0.00103	0.00103	-0.00856	-0.00001	-0.00857	0.09705	0.09705	1.45905	0.345
1.015	0.099	2.631	1.024	1.009	0.080	0.080	-0.00112	0.00112	-0.00597	-0.00002	-0.00599	0.09106	0.09106	1.35650	0.341
0.916	0.099	2.646	1.007	1.099	0.090	0.090	-0.00123	0.00123	-0.00475	-0.00004	-0.00479	0.08627	0.08627	1.25170	0.336
0.817	0.099	2.663	0.983	1.203	0.103	0.103	-0.00136	0.00136	-0.00406	-0.00006	-0.00412	0.08215	0.08215	1.14451	0.328

P0 = 3.0 kg/cm²

1 Perhitungan nilai M

M=	0.80

2 Perhitungan nilai λ dan k

Cc =	0.710	λ =	0.308
Cs =	0.038	k =	0.017

3 data tambahan

v = 0.2

uji	P_o (psi)	e_0	G	K	E
teralirkan	2	0.309	118.998	158.6646	285.5962
	2.5	0.309	148.748	198.3307	356.9953
	3	0.309	178.498	237.9969	428.3944

PREDIKSI CAM CLAY - UNDRAINED

Untuk uji teralirkan, p = 3.0 kg/cm2

p'	Δp	p'c	q	n	Δn	n_{inc}	$\Delta\varepsilon_v^e$	$\Delta\varepsilon_v^p$	$\Delta\varepsilon_s^p$	$\Delta\varepsilon_s^e$	$\Delta\varepsilon_s$	ε_s	ε_1	p	Δu
3.000	0.000	3.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	3.00000	0.000
2.859	0.141	3.008	0.522	0.183	0.183	0.183	-0.00059	0.00059	0.00036	0.00098	0.00133	0.00133	0.00133	3.03315	0.174
2.718	0.141	3.017	0.721	0.265	0.083	0.083	-0.00062	0.00062	0.00058	0.00037	0.00095	0.00228	0.00228	2.95831	0.240
2.577	0.141	3.026	0.860	0.334	0.069	0.069	-0.00065	0.00065	0.00083	0.00026	0.00109	0.00337	0.00337	2.86381	0.287
2.436	0.141	3.036	0.967	0.397	0.063	0.063	-0.00069	0.00069	0.00113	0.00020	0.00133	0.00470	0.00470	2.75827	0.322
2.295	0.141	3.046	1.050	0.458	0.061	0.061	-0.00073	0.00073	0.00155	0.00016	0.00171	0.00641	0.00641	2.64504	0.350
2.154	0.141	3.057	1.116	0.518	0.060	0.060	-0.00077	0.00077	0.00216	0.00012	0.00228	0.00869	0.00869	2.52585	0.372
2.013	0.141	3.068	1.166	0.579	0.061	0.061	-0.00083	0.00083	0.00314	0.00009	0.00323	0.01192	0.01192	2.40170	0.389
1.872	0.141	3.081	1.204	0.643	0.064	0.064	-0.00088	0.00088	0.00501	0.00007	0.00508	0.01700	0.01700	2.27319	0.401
1.731	0.141	3.095	1.229	0.710	0.067	0.067	-0.00095	0.00095	0.00993	0.00005	0.00998	0.02698	0.02698	2.14072	0.410
1.590	0.141	3.110	1.244	0.782	0.072	0.072	-0.00103	0.00103	0.05673	0.00003	0.05675	0.08373	0.08373	2.00452	0.415
1.449	0.141	3.126	1.247	0.861	0.079	0.079	-0.00112	0.00112	-0.01910	0.00001	-0.01910	0.06463	0.06463	1.86469	0.416
1.308	0.141	3.144	1.240	0.948	0.087	0.087	-0.00123	0.00123	-0.00900	-0.00001	-0.00901	0.05562	0.05562	1.72127	0.413
1.167	0.141	3.165	1.221	1.047	0.099	0.099	-0.00136	0.00136	-0.00624	-0.00003	-0.00628	0.04934	0.04934	1.57415	0.407
1.026	0.141	3.188	1.191	1.161	0.115	0.115	-0.00152	0.00152	-0.00499	-0.00006	-0.00505	0.04430	0.04430	1.42313	0.397
0.885	0.141	3.214	1.149	1.298	0.137	0.137	-0.00173	0.00173	-0.00430	-0.00008	-0.00438	0.03991	0.03991	1.26788	0.383
0.744	0.141	3.246	1.092	1.467	0.169	0.169	-0.00201	0.00201	-0.00390	-0.00011	-0.00400	0.03591	0.03591	1.10784	0.364
0.603	0.141	3.285	1.017	1.687	0.220	0.220	-0.00239	0.00239	-0.00365	-0.00014	-0.00379	0.03212	0.03212	0.94212	0.339

Lampiran C-2 **Pemodelan Cam clay pada Tanah Lempung (Simulasi)**

1 **Perhitungan nilai M**

M=	0.80

2 **Perhitungan nilai λ dan k**

Cc =	0.710	λ =	0.378
Cs =	0.038	k =	0.087

3 **data tambahan**

v = 0.2

uji	P_o (psi)	e_0	G	K	E
teralirkan	2	0.309	22.699	30.26582	54.478476
	2.5	0.309	28.374	37.832275	68.098095
	3	0.309	34.049	45.39873	81.717714

PREDIKSI CAM CLAY - UNDRAINED

Untuk uji teralirkan, p = 2.0 kg/cm2

p'	Δp	p'c	q	n	Δn	$\Delta\varepsilon_v$	$\Delta\varepsilon_v^p$	$\Delta\varepsilon_v^p$	$\Delta\varepsilon_v^e$	$\Delta\varepsilon_v$	ε_v	ε_1	p	Δu
2.000	0.000	2.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	2.00000	0.000
1.915	0.085	2.026	0.369	0.193	0.193	-0.00281	0.00281	0.00179	0.00541	0.00721	0.00721	0.00721	2.03790	0.123
1.830	0.085	2.053	0.511	0.279	0.087	-0.00293	0.00293	0.00292	0.00210	0.00501	0.01222	0.01222	2.00049	0.170
1.745	0.085	2.083	0.614	0.352	0.072	-0.00307	0.00307	0.00418	0.00150	0.00569	0.01791	0.01791	1.94965	0.205
1.660	0.085	2.114	0.694	0.418	0.066	-0.00322	0.00322	0.00579	0.00118	0.00697	0.02488	0.02488	1.89139	0.231
1.575	0.085	2.147	0.759	0.482	0.064	-0.00338	0.00338	0.00800	0.00095	0.00896	0.03383	0.03383	1.82806	0.253
1.490	0.085	2.182	0.813	0.545	0.063	-0.00357	0.00357	0.01135	0.00078	0.01214	0.04597	0.04597	1.76085	0.271
1.405	0.085	2.221	0.856	0.610	0.064	-0.00377	0.00377	0.01712	0.00064	0.01777	0.06374	0.06374	1.69048	0.285
1.320	0.085	2.262	0.892	0.676	0.066	-0.00400	0.00400	0.02950	0.00052	0.03002	0.09376	0.09376	1.61739	0.297
1.235	0.085	2.307	0.921	0.745	0.070	-0.00426	0.00426	0.07522	0.00042	0.07563	0.16939	0.16939	1.54187	0.307
1.150	0.085	2.357	0.942	0.819	0.074	-0.00455	0.00455	-0.23688	0.00032	-0.23656	-0.06717	-0.06717	1.46411	0.314
1.065	0.085	2.411	0.958	0.899	0.080	-0.00488	0.00488	-0.05206	0.00023	-0.05183	-0.11900	-0.11900	1.38425	0.319
0.980	0.085	2.471	0.967	0.987	0.087	-0.00527	0.00527	-0.03119	0.00014	-0.03105	-0.15006	-0.15006	1.30234	0.322
0.895	0.085	2.538	0.970	1.084	0.097	-0.00573	0.00573	-0.02322	0.00005	-0.02317	-0.17323	-0.17323	1.21840	0.323
0.810	0.085	2.615	0.967	1.194	0.110	-0.00628	0.00628	-0.01907	-0.00004	-0.01912	-0.19235	-0.19235	1.13240	0.322

1 Perhitungan nilai M

M=	0.80

2 Perhitungan nilai λ dan k

Cc =	0.710	λ =	0.378
Cs =	0.038	k =	0.087

3 data tambahan

v = 0.2

uji	P_o (psi)	e_0	e_f	G	K	E
teralirkan	2	0.309	0.908	22.699	30.26582	54.4785
	2.5	0.309	0.787	28.374	37.832275	68.0981
	3	0.309	0.716	34.049	45.39873	81.7177

PREDIKSI CAM CLAY - UNDRAINED

Untuk uji teralirkan, p = 2.5 kg/cm²

p'	Δp	p'c	q	n	Δn	n_{inc}	$\Delta\varepsilon_v^e$	$\Delta\varepsilon_v^p$	$\Delta\varepsilon_s^p$	$\Delta\varepsilon_s^e$	$\Delta\varepsilon_s$	ε_s	ε_1	p	Δu
2.500	0.000	2.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	2.50000	0.000
2.401	0.099	2.530	0.445	0.186	0.186	0.186	-0.00262	0.00262	0.00160	0.00523	0.00684	0.00684	0.00684	2.54948	0.148
2.302	0.099	2.562	0.619	0.269	0.083	0.083	-0.00272	0.00272	0.00258	0.00204	0.00462	0.01145	0.01145	2.50827	0.206
2.203	0.099	2.596	0.744	0.338	0.069	0.069	-0.00284	0.00284	0.00365	0.00147	0.00512	0.01657	0.01657	2.45097	0.248
2.104	0.099	2.631	0.843	0.400	0.063	0.063	-0.00297	0.00297	0.00496	0.00116	0.00612	0.02269	0.02269	2.38483	0.281
2.005	0.099	2.669	0.923	0.460	0.060	0.060	-0.00311	0.00311	0.00669	0.00095	0.00763	0.03032	0.03032	2.31269	0.308
1.906	0.099	2.709	0.990	0.519	0.059	0.059	-0.00326	0.00326	0.00915	0.00079	0.00994	0.04026	0.04026	2.23598	0.330
1.807	0.099	2.753	1.046	0.579	0.059	0.059	-0.00343	0.00343	0.01302	0.00066	0.01368	0.05394	0.05394	2.15557	0.349
1.708	0.099	2.799	1.092	0.639	0.061	0.061	-0.00362	0.00362	0.02002	0.00054	0.02056	0.07450	0.07450	2.07200	0.364
1.609	0.099	2.849	1.130	0.702	0.063	0.063	-0.00383	0.00383	0.03664	0.00045	0.03709	0.11159	0.11159	1.98565	0.377
1.510	0.099	2.903	1.160	0.768	0.066	0.066	-0.00407	0.00407	0.12602	0.00036	0.12638	0.23797	0.23797	1.89676	0.387
1.411	0.099	2.962	1.183	0.839	0.070	0.070	-0.00433	0.00433	-0.11448	0.00027	-0.11420	0.12377	0.12377	1.80549	0.394
1.312	0.099	3.027	1.200	0.915	0.076	0.076	-0.00464	0.00464	-0.04319	0.00019	-0.04300	0.08077	0.08077	1.71195	0.400
1.213	0.099	3.098	1.210	0.997	0.083	0.083	-0.00499	0.00499	-0.02806	0.00011	-0.02794	0.05283	0.05283	1.61621	0.403
1.114	0.099	3.177	1.213	1.089	0.091	0.091	-0.00539	0.00539	-0.02154	0.00004	-0.02150	0.03133	0.03133	1.51825	0.404
1.015	0.099	3.266	1.209	1.191	0.103	0.103	-0.00587	0.00587	-0.01796	-0.00004	-0.01800	0.01333	0.01333	1.41806	0.403
0.916	0.099	3.367	1.199	1.309	0.117	0.117	-0.00645	0.00645	-0.01573	-0.00012	-0.01586	-0.00253	-0.00253	1.31554	0.400
0.817	0.099	3.483	1.181	1.445	0.137	0.137	-0.00714	0.00714	-0.01425	-0.00021	-0.01446	-0.01699	-0.01699	1.21054	0.394

1 Perhitungan nilai M

M=	0.80

2 Perhitungan nilai λ dan k

Cc =	0.710	λ =	0.378
Cs =	0.038	k =	0.087

3 data tambahan

v = 0.2

uji	P_o (psi)	e_0	e_f	G	K	E
teralirkan	2	0.309	0.908	22.699	30.26582	54.47848
	2.5	0.309	0.787	28.374	37.832275	68.09809
	3	0.309	0.716	34.049	45.39873	81.71771

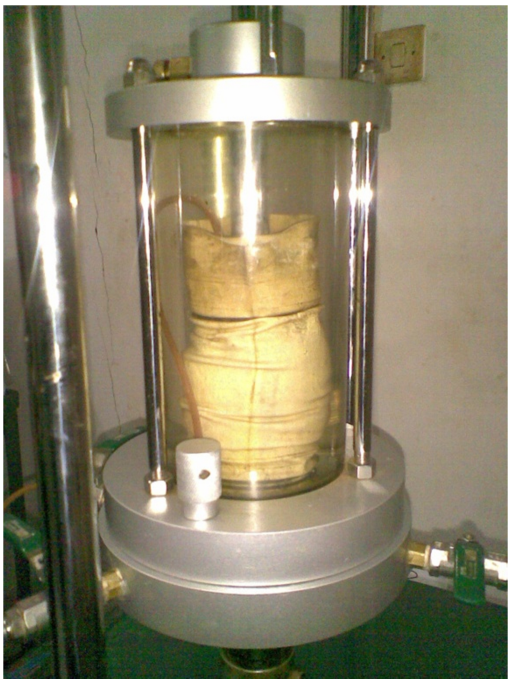
PREDIKSI CAM CLAY - UNDRAINED

Untuk uji teralirkan, p = 3.0 kg/cm²

p'	Δp	p'c	q	n	Δn	n_{inc}	$\Delta\varepsilon_v^e$	$\Delta\varepsilon_v^p$	$\Delta\varepsilon_s^p$	$\Delta\varepsilon_s^e$	$\Delta\varepsilon_s$	ε_s	ε_1	p	Δu
3.000	0.000	3.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	3.00000	0.000
2.859	0.141	3.043	0.580	0.203	0.203	0.203	-0.00311	0.00311	0.00211	0.00568	0.00779	0.00779	0.00779	3.05248	0.193
2.718	0.141	3.089	0.803	0.296	0.093	0.093	-0.00326	0.00326	0.00349	0.00218	0.00567	0.01346	0.01346	2.98581	0.268
2.577	0.141	3.138	0.962	0.373	0.078	0.078	-0.00343	0.00343	0.00511	0.00155	0.00667	0.02012	0.02012	2.89771	0.321
2.436	0.141	3.191	1.085	0.445	0.072	0.072	-0.00362	0.00362	0.00729	0.00120	0.00850	0.02862	0.02862	2.79765	0.362
2.295	0.141	3.248	1.183	0.516	0.070	0.070	-0.00382	0.00382	0.01054	0.00096	0.01150	0.04012	0.04012	2.68936	0.394
2.154	0.141	3.310	1.262	0.586	0.070	0.070	-0.00406	0.00406	0.01604	0.00077	0.01681	0.05693	0.05693	2.57472	0.421
2.013	0.141	3.377	1.325	0.658	0.072	0.072	-0.00433	0.00433	0.02759	0.00062	0.02821	0.08514	0.08514	2.45482	0.442
1.872	0.141	3.450	1.375	0.735	0.076	0.076	-0.00463	0.00463	0.06768	0.00049	0.06817	0.15331	0.15331	2.33035	0.458
1.731	0.141	3.531	1.412	0.816	0.081	0.081	-0.00498	0.00498	-0.31754	0.00036	-0.31717	-0.16386	-0.16386	2.20173	0.471
1.590	0.141	3.621	1.438	0.904	0.088	0.088	-0.00538	0.00538	-0.05481	0.00025	-0.05456	-0.21842	-0.21842	2.06923	0.479
1.449	0.141	3.722	1.452	1.002	0.098	0.098	-0.00586	0.00586	-0.03226	0.00014	-0.03212	-0.25053	-0.25053	1.93299	0.484
1.308	0.141	3.837	1.455	1.112	0.110	0.110	-0.00643	0.00643	-0.02395	0.00003	-0.02392	-0.27445	-0.27445	1.79301	0.485
1.167	0.141	3.969	1.447	1.240	0.127	0.127	-0.00712	0.00712	-0.01970	-0.00008	-0.01978	-0.29423	-0.29423	1.64921	0.482
1.026	0.141	4.123	1.426	1.390	0.150	0.150	-0.00798	0.00798	-0.01718	-0.00020	-0.01738	-0.31161	-0.31161	1.50138	0.475
0.885	0.141	4.308	1.392	1.573	0.183	0.183	-0.00908	0.00908	-0.01557	-0.00033	-0.01590	-0.32751	-0.32751	1.34914	0.464
0.744	0.141	4.536	1.344	1.806	0.233	0.233	-0.01053	0.01053	-0.01451	-0.00048	-0.01498	-0.34249	-0.34249	1.19188	0.448
0.603	0.141	4.827	1.277	2.117	0.311	0.311	-0.01252	0.01252	-0.01380	-0.00065	-0.01445	-0.35694	-0.35694	1.02859	0.426

Lampiran D

Dokumentasi Kegiatan

1. Pengujian Karakteristik

2. Pengujian Mekanis