



TESIS - RC142501

**KORELASI ANTARA PLASTISITAS TANAH DAN
KECEPATAN REGANGAN PADA UJI KONSOLIDASI
METODE *CONSTANT RATE OF STRAIN* (CRS)
UNTUK TANAH LEMPUNG**

I MADE WAHYU PRAMANA
NRP. 03111650010002

DOSEN PEMBIMBING :
Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc., Ph.D
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN GEOTEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, TEKNIK LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - RC142501

**KORELASI ANTARA PLASTISITAS TANAH DAN
KECEPATAN REGANGAN PADA UJI KONSOLIDASI
METODE CONSTANT RATE OF STRAIN (CRS)
UNTUK TANAH LEMPUNG**

I MADE WAHYU PRAMANA
NRP. 03111650010002

DOSEN PEMBIMBING :
Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc., Ph.D
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN GEOTEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, TEKNIK LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - RC142501

CORRELATION OF SOIL PLASTICITY AND STRAIN RATE IN CONSTANT RATE OF STRAIN (CRS) CONSOLIDATION TEST ON CLAY SOIL

I MADE WAHYU PRAMANA
NRP. 03111650010002

SUPERVISOR:
Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc., Ph.D
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D

POST GRADUATE PROGRAM
MASTER PROGRAM OF GEOTHECHNIC
FACULTY OF CIVIL, ENVIRONMENTAL AND GEO ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

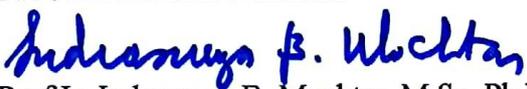
I Made Wahyu Pramana

NRP. 03111650010002

Tanggal Ujian : 17 Juli 2018

Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh :

- 
1. Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc., Ph.D (Pembimbing)
NIP. 195107081976032001
 2. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D (Pembimbing)

NIP. 195304081976031002
 3. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi (Penguji)

NIP. 195503291980031002
 4. Dr. Yudhi Lastiasih, ST., MT (Penguji)

NIP. 197701222005012002



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dekan,


IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 197502121999032001

KORELASI ANTARA PLASTISITAS TANAH DAN KECEPATAN REGANGAN PADA UJI KONSOLIDASI METODE *CONSTANT RATE OF STRAIN* (CRS) UNTUK TANAH LEMPUNG

Nama Mahasiswa : I Made Wahyu Pramana
NRP : 03111650010002
Pembimbing : Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, MSc., Ph.D
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, MSc., Ph.D

ABSTRAK

Besar dan waktu pemampatan akibat proses konsolidasi pada umumnya dapat diprakirakan dengan menggunakan parameter konsolidasi yang ditentukan dari uji konsolidasi metode konvensional (Oedometer). Uji konsolidasi Oedometer sudah umum dilaksanakan dan parameter yang dihasilkan sudah sangat memuaskan. Hanya saja, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian cukup panjang, yaitu 7 sampai 8 hari. Karena alasan tersebut, uji konsolidasi metode *Constant Rate of Strain* (CRS) dikembangkan dengan tujuan mempersingkat waktu pengujian konsolidasi menjadi kurang dari 24 jam.

Nilai indeks pemampatan (C_c), koefisien konsolidasi (C_v) dan tegangan prakonsolidasi (σ_c) tanah lempung hasil uji konsolidasi metode CRS sangat dipengaruhi oleh kecepatan regangan yang dipilih pada saat pengujian dilakukan dan nilai indeks plastisitas tanah. Oleh sebab itu, akan lebih mudah untuk menentukan kecepatan regangan dalam melakukan uji konsolidasi metode CRS apabila telah tersedia formula hubungan antara kecepatan regangan dan plastisitas tanah.

Untuk itu, dalam penelitian ini dibuat sampel tanah lempung dengan plastisitas yang berbeda (*low plasticity*, *medium plasticity* dan *high plasticity*). Sampel tanah diuji dengan dua metode konsolidasi yaitu metode konvensional dan metode CRS; kecepatan regangan yang dipilih untuk uji konsolidasi metode CRS adalah 0.040%/menit, 0.020%/menit, 0.015%/menit, 0.010%/menit. Parameter konsolidasi yang diperoleh dari dua metode uji tersebut kemudian dibandingkan untuk ditentukan kecepatan regangan yang menghasilkan parameter konsolidasi yang paling mendekati parameter yang ditentukan dengan uji Oedometer.

Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa, semakin kecil nilai kecepatan regangan yang diterapkan pada uji konsolidasi metode CRS, parameter yang dihasilkan semakin mendekati nilai yang diperoleh dari uji konsolidasi metode konvensional. Pemilihan kecepatan regangan yang sesuai didasarkan pada *Strain Rate Effect* (SRE) dari hasil parameter konsolidasi metode CRS. Persamaan empiris pemilihan kecepatan regangan berdasarkan nilai plastisitas tanah adalah: $r = -0.0001 (LL) + 0.025$

Kata kunci: plastisitas tanah, parameter konsolidasi, uji konsolidasi metode CRS

CORRELATION OF SOIL PLASTICITY AND STRAIN RATE IN CONSTANT RATE OF STRAIN CONSOLIDATION TEST ON CLAY SOIL

Student Name : I Made Wahyu Pramana
Student Identity Number : 03111650010002
Supervisor : Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, MSc., Ph.D
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, MSc., Ph.D

ABSTRACT

Time and amount of soil settlement due to consolidation process can be predicted by using consolidation parameter which is obtained from conventional oedometer consolidation test. Oedometer soil consolidation test has been commonly used and consolidation parameter obtained from this test is regularly satisfying. However, time needed to conduct this test is quite long, 7 to 8 days for a test. Consequently, Constant Rate of Strain (CRS) consolidation test is developed to shorten the time of consolidation test into less than 24 hours.

The result value of preconsolidation pressure (σ_c), compression index (C_c), consolidation coefficient (C_v) from CRS consolidation test is highly affected by chosen strain rate during the test and plasticity value of the soil. Therefore, it will be easier to select strain rate used in CRS consolidation test if there is a correlation formula between strain rate and soil plasticity.

Therefore, in this research soil sample with variation of soil plasticity (low plasticity, medium plasticity, and high plasticity) is used. Soil sample will be tested with both conventional consolidation test and CRS consolidation test. Strain rate used in this research are 0.040%/minutes, 0.020%/minutes, 0.015%/minutes, 0.010%/minutes. Obtained consolidation parameter from both of the test is compared to determine the strain rate that deliver the closest consolidation parameter value from the oedometer test.

Based on this study, lower the strain rate selection in CRS consolidation test, the consolidation parameter value will getting closer to parameter obtained from conventional oedometer consolidation test. Appropriate strain rate selection is based on Strain Rate Effect (SRE) from CRS consolidation test. Empirical correlation selection of strain rate based on soil plasticity is: $r = -0.0001 (LL) + 0.025$

Keyword: soil plasticity, consolidation parameter, CRS consolidation test

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan yang Maha Esa karena dengan rahmat dan kesempatan yang telah dilimpahkan, sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah Tesis yang berjudul “**Korelasi Antara Plastisitas Tanah dan Kecepatan Regangan pada Uji Konsolidasi Metode *Constant Rate of Strain* (CRS) untuk Tanah Lempung**”. Dalam kesempatan ini penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung dan membantu atas terselesaikannya proposal Tesis ini, yaitu:

1. Tuhan yang Maha Esa atas limpahan rahmat serta anugerah-Nya.
2. Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, M.Sc., Ph.D dan Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, MSc., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan serta bimbingannya dalam proses penyusunan proposal Tesis ini.
3. Dosen-Dosen bidang Geoteknik yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan mengenai geoteknik sehingga menunjang penyusunan proposal Thesis ini.
4. Teman – teman mahasiswa pascasarjana Teknik Sipil Geoteknik angkatan 2016 yang telah membantu dalam penelitian ini sehingga dapat selesai tepat waktu

Dalam pembuatan naskah Thesis ini, penulis menyadari bahwa Thesis yang penulis buat masih sangat jauh dari kesempurnaan. Jadi dengan rasa hormat mohon petunjuk, saran, dan kritik terhadap proposal Thesis ini, sehingga kedepannya diharapkan ada perbaikan terhadap proposal Thesis ini serta dapat menambah pengetahuan bagi penulis.

Surabaya, Mei 2018

(Penulis)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
TITLE PAGE.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xiv
1 BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
2 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Konsistensi Tanah.....	5
2.2 Konsolidasi Tanah	6
2.2.1 Parameter Konsolidasi	7
2.2.2 Pengaruh <i>Load Increment Ratio</i> (LIR) dan Durasi Pembebanan Terhadap Nilai Parameter Konsolidasi	9
2.3 Uji Konsolidasi Metode Constant Rate of Strain (CRS)	11
2.3.1 Nilai Parameter Konsolidasi Hasil Uji Konsolidasi Metode CRS ..	15
2.3.2 Pengaruh Kecepatan Regangan Terhadap Nilai Parameter Konsolidasi pada Uji Konsolidasi Metode CRS	16
3 BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Modifikasi Alat Triaxial untuk Uji Konsolidasi Metode CRS	21
3.2 Persiapan Benda Uji	23
3.3 Pengujian Sifat Fisik Benda Uji	24
3.4 Pelaksanaan Uji Konsolidasi Metode Konvensional.....	24
3.5 Pelaksanaan Uji Konsolidasi Metode CRS	25
3.6 Analisis Data.....	27
4 BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Sifat Fisik Benda Uji	29
4.2 Pengaruh Variasi Nilai Plastisitas Tanah Terhadap Parameter Konsolidasi pada Uji Konsolidasi Oedometer.....	30
4.2.1 Pengaruh Nilai Plastisitas Tanah Terhadap Nilai C_c dan C_s	30
4.2.2 Pengaruh Nilai Plastisitas Tanah Terhadap Nilai C_v	32
4.3 Pengaruh Kecepatan Regangan pada Uji Konsolidasi Metode CRS.....	33
4.3.1 Pengaruh Kecepatan Regangan Terhadap Nilai Tegangan Air Pori Berlebih (U_b)	33

4.3.2	Pengaruh Kecepatan Regangan Terhadap Perilaku Tegangan Regangan	36
4.3.3	Pengaruh Kecepatan Regangan Terhadap Nilai Tegangan Prakonsolidasi (σ_c)	38
4.3.4	Pengaruh Kecepatan Regangan Terhadap Nilai C_c	39
4.3.5	Pengaruh Kecepatan Regangan Terhadap Nilai C_v	40
4.4	Pengaruh Nilai Plastisitas Terhadap Parameter Konsolidasi pada Uji Konsolidasi Metode CRS	42
4.5	Perbandingan Nilai Parameter Konsolidasi yang Diperoleh dari Uji Konsolidasi CRS dan Uji Konsolidasi Konvensional	47
4.6	Persamaan Empiris Pemilihan Kecepatan Regangan Berdasarkan Nilai Plastisitas	52
5	BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	58
	DAFTAR ACUAN	59
	LAMPIRAN 1	60
	LAMPIRAN 2	63
	LAMPIRAN 3	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Casagrande Plasticity Chart untuk beberapa jenis tanah yang dikembangkan dari Casagrande Chart (Casagrande, 1948 dan Howard, 1977)	6
Gambar 2.2 Prosedur penentuan tegangan prakonsolidasi (σ_c) dengan grafis. (Das, 1995)	8
Gambar 2.3 Kurva log t vs pemampatan dalam penentuan C_v metode logaritma waktu (Das, 1995).....	9
Gambar 2.4 Kurva akar waktu vs pemampatan dalam penentuan nilai C_v metode akar waktu (Das, 1995).....	10
Gambar 2.5 Pengaruh LIR terhadap kurva konsolidasi (Das, 1995).....	10
Gambar 2.6 Pengaruh lama pembebanan terhadap nilai tegangan prakonsolidasi (Das, 1995)	11
Gambar 2.7 Distribusi regangan di dalam sampel (Smith dan Wahls, 1969)	13
Gambar 2.8 Distribusi regangan di dalam sampel (Wisa et al, 1971).....	14
Gambar 2.9 Kurva ϵ vs log σ' hasil uji konsolidasi metode CRS (Lynn A., 2011)	15
Gambar 2.10 Kurva C_v vs log σ' hasil uji konsolidasi metode CRS oleh Lynn A. (2011).....	16
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	20
Gambar 3.2 Skema uji konsolidasi metode CRS.....	21
Gambar 3.3 <i>Loading Frame</i> Marui yang digunakan dalam penelitian.....	22
Gambar 3.4 Tabung CRS Trautwein yang digunakan dalam penelitian	22
Gambar 3.5 Tabung konsolidometer dan benda uji hasil <i>remoulded</i>	24
Gambar 4.1 Bagan plastisitas untuk masing – masing benda uji	29
Gambar 4.2 Kurva tegangan regangan hasil uji konsolidasi metode konvensional masing – masing benda uji	31
Gambar 4.3 Pengaruh nilai batas cair terhadap C_c dan C_s	32
Gambar 4.4 Pengaruh nilai indeks plastistas Terhadap C_c dan C_s	32
Gambar 4.5 Pengaruh plastisitas terhadap nilai C_v	33

Gambar 4.6 Grafik hubungan waktu pengujian dengan tegangan air pori (U_b) pada bagian bawah sampel untuk benda uji kaolinite 100% ($LL = 41$) pada uji konsolidasi metode CRS	34
Gambar 4.7 Grafik hubungan waktu pengujian dengan tegangan air pori (U_b) pada bagian bawah sampel untuk benda uji kaolinite 50%-clay 50% ($LL = 66$) pada uji konsolidasi metode CRS	35
Gambar 4.8 Grafik hubungan waktu pengujian dengan tegangan air pori (U_b) pada bagian bawah sampel untuk benda uji clay 100% ($LL = 116$) pada uji konsolidasi metode CRS	35
Gambar 4.9 Grafik hubungan antara waktu pengujian dengan tegangan air pori (U_b) pada bagian bawah sampel pada uji konsolidasi crs dengan variasi nilai plastisitas ($r = 0.040\%/menit$)	36
Gambar 4.10 Kurva tegangan regangan sampel kaolinite 100% ($LL=41$) dengan variasi kecepatan regangan	37
Gambar 4.11 Kurva tegangan regangan sampel kaolinite 50%-clay 50% ($LL= 66$) dengan variasi kecepatan regangan.....	37
Gambar 4.12 Kurva tegangan regangan sampel clay 100% ($LL=116$) dengan variasi kecepatan regangan	38
Gambar 4.13 Pengaruh kecepatan regangan terhadap nilai C_v pada uji konsolidasi metode CRS pada sampel kaolinite 100% ($LL = 41$)	41
Gambar 4.14 Pengaruh kecepatan regangan terhadap nilai C_v pada uji konsolidasi metode CRS pada sampel kalonite 50%-clay 50% ($LL = 66$)	41
Gambar 4.15 Pengaruh kecepatan regangan terhadap nilai C_v pada uji konsolidasi metode CRS pada sampel clay 100% ($LL = 116$).....	42
Gambar 4.16 Grafik angka pori vs tegangan pada hasil uji konsolidasi metode CRS dengan $r = 0.040\%/menit$ pada masing – masing benda uji....	43
Gambar 4.17 Grafik angka pori vs tegangan pada hasil uji konsolidasi metode CRS dengan $r = 0.020\%/menit$ pada masing – masing benda uji....	43
Gambar 4.18 Grafik angka pori vs tegangan pada hasil uji konsolidasi metode CRS dengan $r = 0.015\%/menit$ pada masing – masing benda uji....	44
Gambar 4.19 Grafik angka pori vs tegangan pada hasil uji konsolidasi metode CRS dengan $r = 0.010\%/menit$ pada masing – masing benda uji....	44

Gambar 4.20 Grafik Cv vs tegangan pada hasil uji konsolidasi metode CRS dengan r = 0.040%/menit pada masing – masing benda uji	45
Gambar 4.21 Grafik Cv vs tegangan pada hasil uji konsolidasi metode CRS dengan r = 0.020%/menit pada masing – masing benda uji	45
Gambar 4.22 Grafik Cv vs tegangan pada hasil uji konsolidasi metode CRS dengan r = 0.015%/menit pada masing – masing benda uji	46
Gambar 4.23 Kurva angka pori vs tegangan efektif hasil uji konsolidasi konvensional dengan uji konsolidasi metode CRS pada Sampel kaolinite 100% (LL = 41)	48
Gambar 4.24 Perbandingan hasil kurva angka pori vs tegangan efektif hasil uji konsolidasi konvensional dengan uji konsolidasi metode CRS pada sampel kaolinite 50%-clay 50% (LL = 66)	48
Gambar 4.25 Perbandingan hasil kurva angka pori vs tegangan efektif hasil uji konsolidasi konvensional dengan uji konsolidasi metode CRS pada sampel clay 100% (LL = 116)	49
Gambar 4.26 Perbandingan nilai Cv hasil uji konsolidasi metode konvensional dengan uji konsolidasi metode CRS pada sampel kaolinite 100% (LL =41).....	50
Gambar 4.27 Perbandingan nilai Cv hasil uji konsolidasi konvensional dengan Uji konsolidasi metode CRS pada sampel kaolinite 50% - clay 50% (LL = 66).....	51
Gambar 4.28 Perbandingan nilai Cv hasil uji konsolidasi konvensional dengan uji konsolidasi metode CRS pada sampel clay 100% (LL = 116).....	51
Gambar 4.29 Grafik Hubungan Antara Batas Cair dan Kecepatan Regangan yang Digunakan pada Uji Konsolidasi Metode CRS	53
Gambar 4.30 Perbandingan Hasil Korelasi antara Batas Cair dan Kecepatan Regangan yang Dihasilkan Pengujian dengan Hasil Penelitian Gourman (1981)	54
Gambar 4.31 Perbandingan hasil kurva angka pori vs tegangan efektif hasil uji konsolidasi konvensional dengan uji konsolidasi metode CRS pada sampel tanah <i>undisturbed</i>	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kecepatan Regangan untuk Uji Konsolidasi Metode CRS yang Disarankan	17
Tabel 2.2 Kecepatan Regangan yang Dipakai dalam Uji Konsolidasi CRS dengan Kadar Organik Tertentu	18
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Benda Uji.....	30
Tabel 4.2 Hasil Uji Konsolidasi Metode Konvensional untuk Setiap Benda Uji..	31
Tabel 4.3 Nilai σ_c dari Hasil Uji Konsolidasi Metode CRS	39
Tabel 4.4 Nilai C_c dari Hasil Uji Konsolidasi Metode CRS	40
Tabel 4.5 Nilai C_c dari Hasil Uji Konsolidasi Metode CRS	46
Tabel 4.6 Nilai SRE dari P_c Hasil Uji Konsolidasi Metode CRS dan $U_b/\sigma_{v \text{ maks}}$.	49
Tabel 4.7 Nilai Kecepatan Regangan yang Sesuai untuk Digunakan pada Uji Konsolidasi Metode CRS	52
Tabel 4.8 Hasil pengujian sifat fisik dari benda uji <i>undisturbed</i>	54
Tabel 4.9 Hasil uji konsolidasi metode konvensional dan CRS pada tanah <i>undisturbed</i>	56

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsolidasi tanah merupakan peristiwa pemampatan tanah sebagai akibat dari keluarnya air dari dalam pori tanah yang disebabkan oleh adanya beban luar. Proses ini terjadi terus menerus sampai kelebihan tegangan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total telah seluruhnya hilang. Dalam melakukan perencanaan konstruksi sipil, selain memperhatikan kekuatan tanah dasar di bawah konstruksi, harus pula diperhitungkan pemampatan yang akan terjadi pada tanah dibawah pondasi dari konstruksi tersebut. Begitu pula dalam merencanakan timbunan jalan raya, perbedaan pemampatan (*differential settlement*) sedapat mungkin dihindari karena akibat yang ditimbulkannya adalah permukaan perkerasan jalan menjadi tidak rata dan menimbulkan retak - retak pada perkerasan. Maka dari itu besar dan waktu konsolidasi sangat penting diperhitungkan dalam perencanaan suatu struktur atau bangunan.

Besar dan waktu pemampatan konsolidasi dapat diprakirakan dengan menggunakan parameter konsolidasi yang ditentukan dari laboratorium. Untuk dapat menentukan besaran dan waktu konsolidasi yang akan terjadi pada suatu tanah akibat pembebanan di atasnya dilakukan uji konsolidasi. Uji konsolidasi di laboratorium dilakukan dengan menggunakan alat oedometer. Pada alat oedometer contoh tanah dibebani dengan beban statis tetap secara bertahap dengan rasio penambahan beban ($\Delta\sigma/\sigma'$) sama dengan satu (Terzaghi 1925), dan dicatat penurunannya terhadap fungsi waktu. Dari hasil uji konsolidasi tersebut akan didapatkan parameter – parameter konsolidasi, yaitu Indeks Pemampatan (C_c), Indeks Mengembang (C_s), Koefisien Konsolidasi (C_v), tegangan pra konsolidasi (σ_c). Parameter C_c , C_s dan σ_c digunakan untuk memprakirakan besar pemampatan dan parameter C_v digunakan menentukan waktu terjadinya konsolidasi.

Uji konsolidasi oedometer yang telah dikembangkan oleh Terzaghi sejak tahun 1925 sudah umum dilaksanakan dan hasil prakiraan dari parameter

konsolidasi yang diperoleh telah memberikan hasil yang sangat memuaskan. Hanya saja waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian ini cukup panjang yaitu 7 sampai dengan 8 hari untuk satu kali pengujian. Untuk itu, Smith and Wahls (1971) mengembangkan uji konsolidasi dengan waktu yang cukup pendek yaitu uji konsolidasi metode *Constant Rate of Strain* (CRS). Pada metode uji konsolidasi dengan metode *Constant Rate of Strain* (CRS) beban diberikan secara terus - menerus dengan kecepatan regangan yang tetap. Keuntungan utama pada uji adalah ini waktu uji konsolidasi kurang dari 24 jam.

Dalam uji konsolidasi metode CRS, benda uji yang dalam kondisi jenuh air dibebani arah axial secara terus - menerus dengan kecepatan regangan tertentu, sementara regangan arah lateral akan dikekang sedemikian hingga tidak ada pergerakan lateral yang terjadi ($\epsilon_a = 0$). Aliran air hanya diijinkan satu arah yaitu keatas dan tegangan air pori berlebih yang muncul di dasar benda uji akan diukur. Untuk memenuhi kondisi diatas, diperlukan modifikasi dari *loading frame* triaxial dan menggunakan tabung CRS yang telah didesain khusus untuk memenuhi kriteria tersebut diatas.

ASTM 4186 menyebutkan bahwa pengaruh dari kecepatan regangan terhadap harga dari parameter konsolidasi yang dihasilkan dari uji konsolidasi metode *Constant Rate of Strain* (CRS) sangat besar, sehingga kecepatan regangan harus dipilih secara tepat. Mochtar, N.E. dan Wardana I.G.N (1998) telah mempelajari hubungan antara kecepatan regangan dengan kandungan organik dari tanah dengan pada uji konsolidasi metode *Constant Rate of Strain*. Hasil dari penelitian tersebut adalah rumus empiris pemilihan kecepatan regangan berdasarkan kadar organik dari tanah yang berlaku apabila kandungan tanah organik $< 30\%$.

Ridwan M. (2002) telah mempelajari pengaruh kecepatan regangan dan batas cair tanah lempung terhadap parameter konsolidasi pada uji konsolidasi metode *Constant Rate of Strain* (CRS). Hasil yang didapatkan adalah besarnya nilai kecepatan regangan yang dipilih dalam pengujian dan besarnya plastisitas tanah berpengaruh terhadap nilai parameter konsolidasi dari tanah tersebut yaitu: nilai indeks kompresi (C_c), tegangan prakonsolidasi (σ_c), dan koefisien konsolidasi (C_v). Jadi dapat disimpulkan bahwa untuk menghasilkan parameter konsolidasi yang

tepat, harus dipilih kecepatan regangan untuk uji konsolidasi metode CRS yang tepat pula sesuai dengan harga plastisitas tanah yang diuji. Hanya saja dalam penelitian tersebut belum ditemukan formula atau perumusan empiris untuk pemilihan kecepatan regangan untuk setiap nilai plastisitas tanah.

Mengingat harga plastisitas tanah yang diuji dan kecepatan regangan yang dipilih saat melakukan uji konsolidasi metode CRS sangat berpengaruh terhadap parameter konsolidasi (C_c , C_v dan σ_c), maka dalam penelitian ini akan dicari suatu formula atau persamaan empiris hubungan antara kecepatan regangan dan plastisitas tanah untuk uji konsolidasi metode CRS. Dengan adanya persamaan empiris tersebut maka akan sangat mudah untuk para praktisi dalam melakukan uji konsolidasi dengan metode CRS untuk mendapatkan parameter konsolidasi yang akurat. Hal ini akan sangat membantu para perencana yang memerlukan data konsolidasi dengan cepat karena dengan metode CRS maka parameter konsolidasi tanah dapat diperoleh dalam waktu hanya sekitar 6 sampai 8 jam.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa masalah utama dari penelitian ini adalah bagaimana membuat formula atau persamaan empiris hubungan antara plastisitas tanah dan kecepatan regangan yang akan dipakai pada uji konsolidasi metode *Constant Rate of Strain* (CRS) agar dapat menghasilkan parameter konsolidasi yang akurat. Adapun rincian masalah yang harus diselesaikan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana modifikasi alat triaxial dan tabung CRS serta *set up* alat untuk dapat melakukan pengujian konsolidasi metode CRS.
2. Bagaimana pengaruh kecepatan regangan dan plastisitas tanah terhadap parameter konsolidasi yang diperoleh.
3. Bagaimana perbandingan nilai parameter konsolidasi yang diperoleh dari uji konsolidasi metode CRS dengan parameter konsolidasi yang dihasilkan dari uji konsolidasi Oedometer (konvensional).

4. Bagaimana formula atau persamaan empiris hubungan antara kecepatan regangan dan plastisitas tanah untuk uji konsolidasi metode CRS agar diperoleh parameter konsolidasi yang akurat.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membuat formula atau persamaan empiris hubungan antara plastisitas tanah dan kecepatan regangan yang akan dipakai pada uji konsolidasi metode *Constant Rate of Strain* (CRS) agar dapat menghasilkan parameter konsolidasi yang akurat.

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian ini tidak meluas, maka penulis memberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Tanah yang dipakai dalam penelitian ini adalah tanah lempung anorganik dengan nilai plastisitas tanah yang berbeda.
2. Tanah yang akan digunakan dalam penelitian adalah tanah *remoulded* campuran antara tanah kaoline dan tanah lempung kota Surabaya

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya persamaan empiris hubungan antara plastisitas tanah dan kecepatan regangan yang akan dipakai pada uji konsolidasi metode CRS maka para praktisi dapat melakukan uji konsolidasi metode CRS dengan mudah untuk mendapatkan parameter konsolidasi yang akurat. Dengan demikian para perencana yang memerlukan data konsolidasi dapat memperolehnya dalam waktu kurang dari 24 jam.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsistensi Tanah

Konsistensi tanah didefinisikan sebagai suatu kondisi fisik dari suatu tanah berbutir halus pada kadar air tertentu. Konsistensi menunjukkan daya kohesi butiran tanah dan daya adhesi butiran tanah dengan benda lain. Atterberg (1900) mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Bilamana kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan. Oleh karena itu, atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dipisahkan ke dalam empat keadaan dasar yaitu: padat, semi padat, plastis dan cair.

Kadar air dimana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi padat didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Kadar air pada saat transisi dari keadaan semi padat ke keadaan plastis terjadi dinamakan batas plastis (*plastic limit*), dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*). Batas-batas ini dikenal juga sebagai batas-batas Atterberg (*Atterberg Limit*). Dengan menggunakan *Casagrande Plasticity Chart* (Casagrande, 1948), Howard (1977) mengembangkan *plasticity chart* untuk beberapa jenis tanah seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1; bagan tersebut menjelaskan rentang harga batas cair (*liquid limit*) dan indeks plastis (*plasticity index*) untuk tanah anorganik dengan plastisitas rendah (*low plasticity*), plastisitas sedang (*medium plasticity*), dan plastisitas tinggi (*high plasticity*)

Nilai plastisitas tanah dapat digunakan dalam memprakirakan nilai indeks pemampatan (C_c) apabila tidak tersedia data konsolidasi hasil percobaan laboratorium. Adapun beberapa rumus empiris yang telah dikembangkan adalah sebagai berikut:

1. Terzaghi dan Peck (1967) untuk tanah lempung *undistrubed*.

$$C_c = 0.009(LL - 10) \quad (2.1)$$

2. Skempton (1980) untuk tanah lempung *remoulded*.

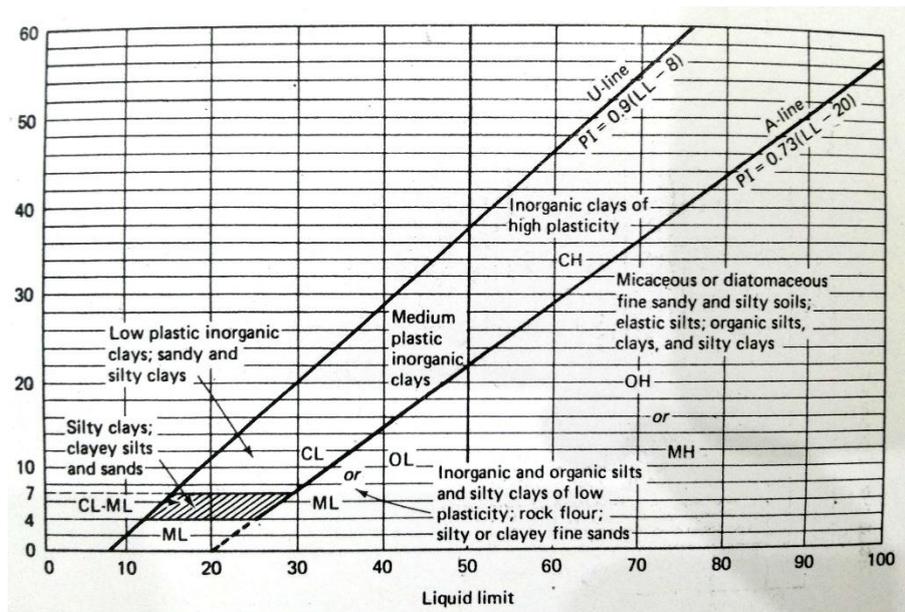
$$C_c = 0.007(LL - 7) \quad (2.2)$$

3. Rostikasari, A. dan Djarwanti, N. (2016) untuk tanah *undisturbed* di Pulau Sumatra.

$$C_c = 0.0055(IP) \quad (2.3)$$

4. Nugrahanto (2014) untuk tanah *undisturbed* di Jawa dan Kalimantan.

$$C_c = 0.02564(IP) - 0.20 \quad (2.4)$$



Gambar 2.1 Casagrande *Plasticity Chart* untuk beberapa jenis tanah yang dikembangkan dari Casagrande Chart (Casagrande, 1948 dan Howard, 1977)

2.2 Konsolidasi Tanah

Pemampatan konsolidasi (*consolidation settlement*) adalah proses keluarnya air dari dalam pori tanah jenuh air disertai dengan perubahan volume (pemampatan) yang diakibatkan oleh pembebanan atau penambahan tegangan.

Tanah lempung mempunyai koefisien permeabilitas yang sangat kecil sehingga proses konsolidasi pada tanah lempung akan terjadi dalam waktu yang sangat lama.

2.2.1 Parameter Konsolidasi

Prosedur untuk melakukan uji konsolidasi satu dimensi pertama kali diperkenalkan oleh Terzaghi (1925). Uji tersebut dilakukan di dalam konsolidometer (Oedometer). Proses pengujian Oedometer (metode konvensional) telah distandarisasi dalam ASTM D2435.

Parameter yang didapat dari pengujian konsolidasi metode konvensional adalah indeks kompresi (C_c), koefisien konsolidasi (C_v), tegangan prakonsolidasi (σ_c). Adapun indeks kompresi (C_c) berhubungan dengan besarnya konsolidasi atau pemampatan yang terjadi dan dapat diperoleh dari kemiringan linier kurva e vs $\log \sigma'$, sedangkan koefisien konsolidasi (C_v) berhubungan dengan lamanya konsolidasi berlangsung (laju pemampatan). Untuk menentukan nilai tegangan prakonsolidasi (σ_c) dari grafik e vs $\log \sigma'$, suatu metode grafis dikembangkan oleh Casagrande (1936) yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2.

Kemiringan kurva pada bagian linier dari garis konsolidasi tanah asli (*virgin consolidation line*) disebut parameter indeks kompresi (C_c) dengan rumus sebagai berikut:

$$C_c = \frac{e_1 - e_0}{\log \frac{\sigma'_1}{\sigma'_0}} \quad (2.5)$$

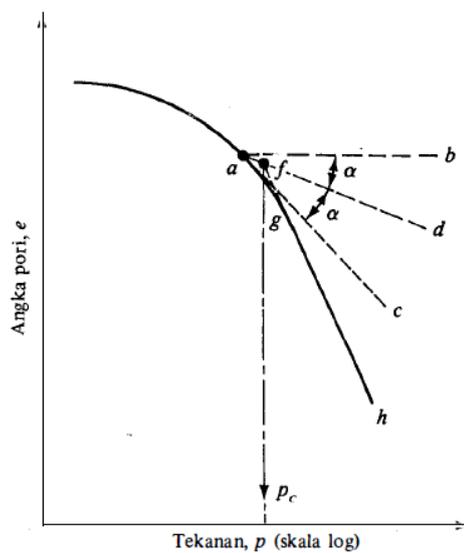
Untuk menentukan nilai C_v , terdapat dua metode grafis yang umum digunakan yaitu metode tersebut adalah metode logaritma waktu (*logarithm of time method*) yang dikembangkan oleh Casagrande (1940) dan metode akar waktu (*square root of time method*) yang dikembangkan oleh Taylor (1942).

Untuk metode logaritma waktu, suatu penambahan beban yang diberikan pada saat uji konsolidasi dilakukan, grafik deformasi vs akar waktu contoh tanah ditunjukkan dalam Gambar 2.3. Berikut merupakan perumusan untuk menghitung nilai C_v dengan metode logaritma waktu:

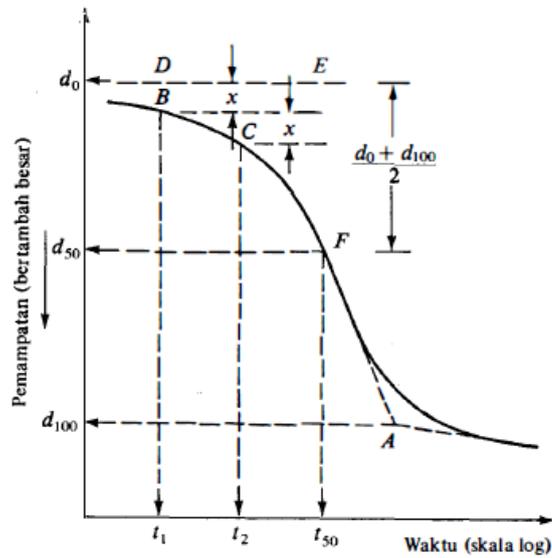
$$C_v = \frac{0.197 H_{dr}^2}{t_{50}} \quad (2.6)$$

Pada metode akar waktu, grafik deformasi vs akar waktu dibuat untuk tiap-tiap penambahan beban. Cara menentukan harga C_v adalah sebagai seperti pada Gambar 2.4. Berikut merupakan perumusan untuk menghitung nilai C_v dengan metode akar waktu:

$$C_v = \frac{0.848 H_{dr}^2}{t_{50}} \quad (2.7)$$



Gambar 2.2 Prosedur penentuan tegangan prakonsolidasi (σ_c) dengan grafis. (Das,1995)

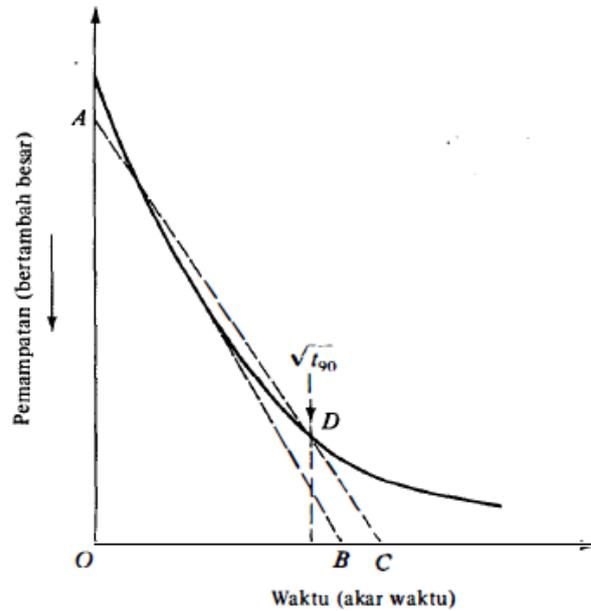


Gambar 2.3 Kurva log t vs pemampatan dalam penentuan C_v metode logaritma waktu (Das, 1995)

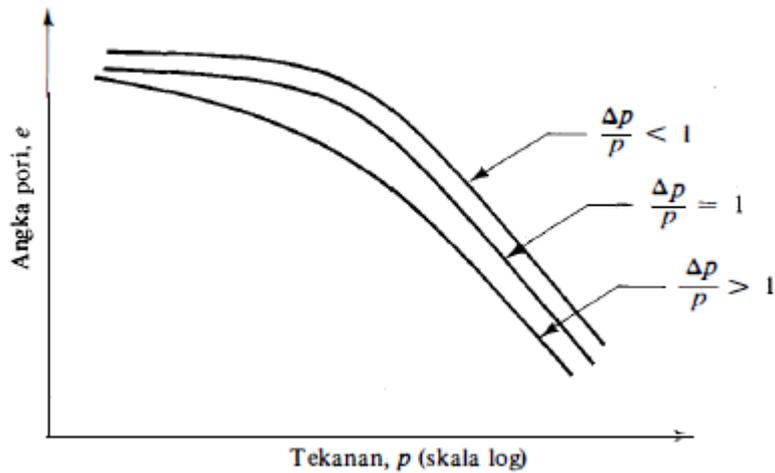
2.2.2 Pengaruh *Load Increment Ratio* (LIR) dan Durasi Pembebanan Terhadap Nilai Parameter Konsolidasi

Menurut ASTM D2435 disebutkan bahwa pengujian konsolidasi metode konvensional menggunakan *Load Increment Ratio* (LIR) = 1, nilai ini berarti penambahan beban yang dilakukan untuk setiap tahap pembebanan ditambah sebesar 1 kali dari nilai beban sebelumnya ($\sigma_2/\sigma_1 = 1$) dengan pergantian beban setiap 24 jam.

Pemilihan nilai LIR mempunyai pengaruh terhadap nilai kurva e vs $\log \sigma'$. Leonards dan Altschaeffl (1964) meneliti tentang pengaruh LIR terhadap kurva konsolidasi. Apabila nilai LIR ditambah secara perlahan-lahan, maka kurva e vs $\log \sigma'$ akan bergeser ke kiri secara perlahan-lahan seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



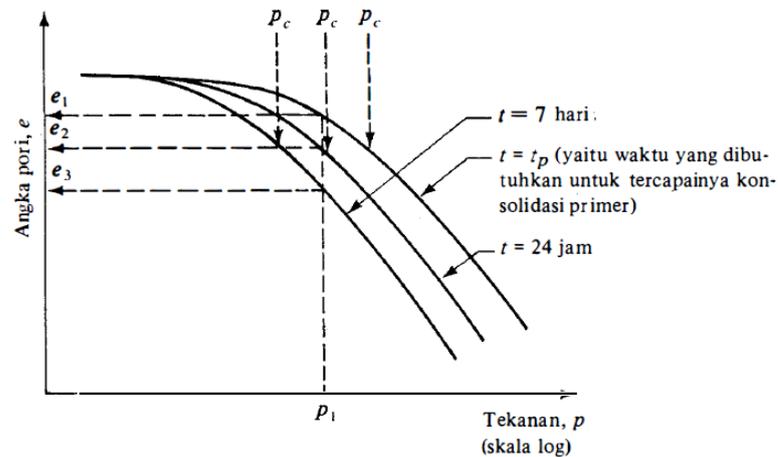
Gambar 2.4 Kurva akar waktu vs pemampatan dalam penentuan nilai C_v metode akar waktu (Das, 1995)



Gambar 2.5 Pengaruh LIR terhadap kurva konsolidasi (Das, 1995)

Graham et al (1983) meneliti tentang pengaruh durasi pembebanan terhadap perilaku stress-strain pada *natural soft clay*. Perbedaan durasi pembebanan di dalam uji konsolidasi metode konvensional pada tanah yang identik menghasilkan besar nilai pemampatan sekunder yang berbeda. Crawford (1964) melakukan pengujian dengan $LIR = 1$ namun dengan waktu pemberian beban yang berbeda – beda yaitu: 1 hari dan 7 hari. Hasilnya adalah apabila periode pemberian beban bertambah,

kurva pemampatan akan bergeser ke kiri. Nilai tegangan prakonsolidasi σ_c berkurang apabila waktu pemberian beban ditambah (lihat Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Pengaruh lama pembebanan terhadap nilai tegangan prakonsolidasi (Das, 1995)

2.3 Uji Konsolidasi Metode Constant Rate of Strain (CRS)

Mengingat uji konsolidasi metode konvensional membutuhkan waktu pengujian yang cukup lama, maka Hamilton (1959) dan Crawford (1964) melakukan uji konsolidasi menggunakan metode *constant rate of strain* (CRS) untuk mempercepat proses uji konsolidasi. Untuk mendapatkan hasil prakiraan parameter konsolidasi dengan tepat dibutuhkan teori dan material properti yang cocok dan tepat pula. Teori untuk uji konsolidasi metode CRS kemudian dikembangkan oleh Smith dan Wahls (1969) dan Wissa et al (1971).

Smith dan Wahls (1969) mengembangkan persamaan untuk uji konsolidasi metode CRS berdasarkan prinsip kontinuitas aliran melalui suatu elemen tanah sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{k \partial u}{\gamma_w \partial z} \right) = \frac{1}{1+e} \frac{\partial e}{\partial t} \quad (2.8)$$

dimana: z = koordinat vertikal dari suatu titik tertentu, k = koefisien permeabilitas, e = angka pori, γ_w = berat volume air, u = tegangan air pori, dan t = waktu. Nilai e diasumsikan sebagai fungsi linier dari waktu dan tempat sebagai berikut:

$$e = e_0 - r_e t \left[1 - \frac{b}{r_e} \left(\frac{z-0.5H}{H} \right) \right] \quad (2.9)$$

dimana: e_0 = angka pori awal, r_e = kecepatan perubahan dari angka pori rata – rata, H = ketebalan benda uji, b = suatu konstanta yang bergantung pada variasi dari angka pori dengan kedalaman dan waktu. Dengan mengasumsikan nilai $(1+e)$ pada Persamaan 2.8, maka persamaan tersebut dapat diganti dengan $(1+e_{av})$, dimana e_{av} tidak merupakan fungsi kedalaman, dan menggunakan nilai batas $u(0,t) = 0$ serta $du/dz (H,t) = 0$, maka didapatkan persamaan:

$$u = \frac{\gamma_w r_e}{k(1+e_{av})} \left[\left(HZ - \frac{z^2}{2} \right) - \frac{b}{r_e} \left(\frac{z^2}{4} - \frac{z^3}{6H} \right) \right] \quad (2.10)$$

Dan nilai dari tegangan vertikal efektif rata – rata dan nilai koefisien permeabilitas rata – rata dapat dihitung dengan persamaan:

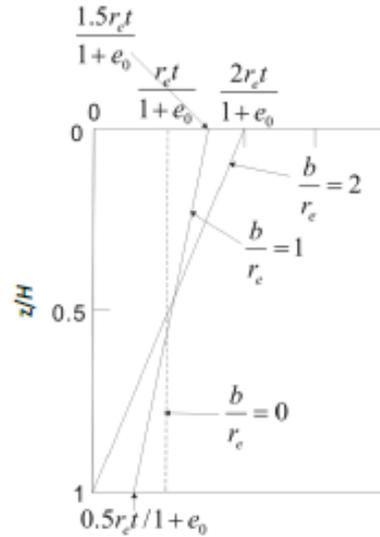
$$\sigma'_v = \sigma_v - \left[\frac{1/3 - 1/24(b/r_e)}{1/2 - 1/12(b/r_e)} \right] \cdot u_b \quad (2.11)$$

$$k = \frac{\gamma_w r_e H^2}{(1+e_{av}) u_b} \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{12} \left(\frac{b}{r_e} \right) \right] \quad (2.12)$$

Dengan cara memasukkan nilai angka pori rata – rata, hubungan tegangan vertikal efektif – angka pori dan angka pori vs permeabilitas dapat diketahui. Distribusi regangan pada sampel ditunjukkan oleh Gambar 2.7.

Teori Smith dan Wahls (1969) ini mempunyai dua masalah utama. Pertama, tingkat kebenaran dan kecocokan asumsi yang menyebutkan bahwa angka pori adalah fungsi linier dari waktu dan tempat sulit untuk dievaluasi, serta tingkat akurasi dari properti material yang didapat tidak diketahui. Masalah kedua adalah

parameter b yang tidak diketahui, dan tidak ada prosedur untuk menentukannya. Karena karakteristik material yang didapatkan tergantung dari nilai b yang dipilih, tidak dapat dipastikan nilai yang digunakan kecuali apabila suatu tes referensi lain dilakukan untuk spesimen yang sama.



Gambar 2.7 Distribusi regangan di dalam sampel (Smith dan Wahls, 1969)

Analisa uji konsolidasi metode Wisa et al (1971) diawali dengan menurunkan persamaan konsolidasi dalam bentuk regangan sebagai berikut:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z^2} \quad (2.13)$$

Wissa et al (1971) mendapatkan solusi untuk persamaan 2.13 adalah sebagai berikut

$$\varepsilon(z, t) = r t + \frac{r H^2}{6 c_v} \left(3 \frac{z^2}{H^2} - 6 \frac{z}{H} + 2 \right) - \frac{2 r H^2}{\pi^2 c_v} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n \pi z}{n^2 H} \exp(-n^2 \pi^2 T_v) \quad (2.14)$$

dimana ε = regangan vertikal, r = kecepatan regangan, C_v = koefisien konsolidasi, T_v = faktor waktu.

Dari Persamaan 2.14 dapat diketahui bahwa apabila bagian fungsi yang terdapat eksponensial menghilang (untuk nilai yang besar ketika waktu mendekati

tak hingga), maka regangan mempunyai bentuk kurva parabola sepanjang spesimen. Kondisi ini disebut dengan *steady state* oleh Wisa et al (1971). Dengan demikian maka untuk kondisi *steady state*, bagian fungsi eksponensial diabaikan; fungsi distribusi parabola pada spesimen menjadi sebagai berikut:

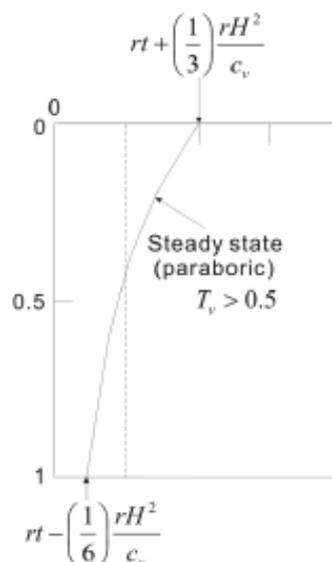
$$\varepsilon(z, t) = rt + \frac{rH^2}{c_v} \left[\frac{1}{6} \left(3 \frac{z^2}{H^2} - 6 \frac{z}{H} + 2 \right) \right] \quad (2.15)$$

Distribusi regangan pada sampel ditampilkan pada Gambar 2.7. Untuk asumsi m_v linier, koefisien konsolidasi didapatkan dengan rumus sebagai berikut:

$$c_v = \frac{H_0^2}{2u_b} \frac{\Delta\sigma_v}{\Delta t} \quad (2.16)$$

dimana U_b = tegangan air pori di bagian bawah sampel, $\Delta\sigma$ = kenaikan tegangan vertikal total di dalam rentang waktu Δt .

Teori dari Wisa et al (1971) berdasarkan teori regangan kecil (*small strain theory*) dimana regangan diasumsikan sangat kecil. Ini juga merupakan asumsi standar pada uji konsolidasi metode konvensional.



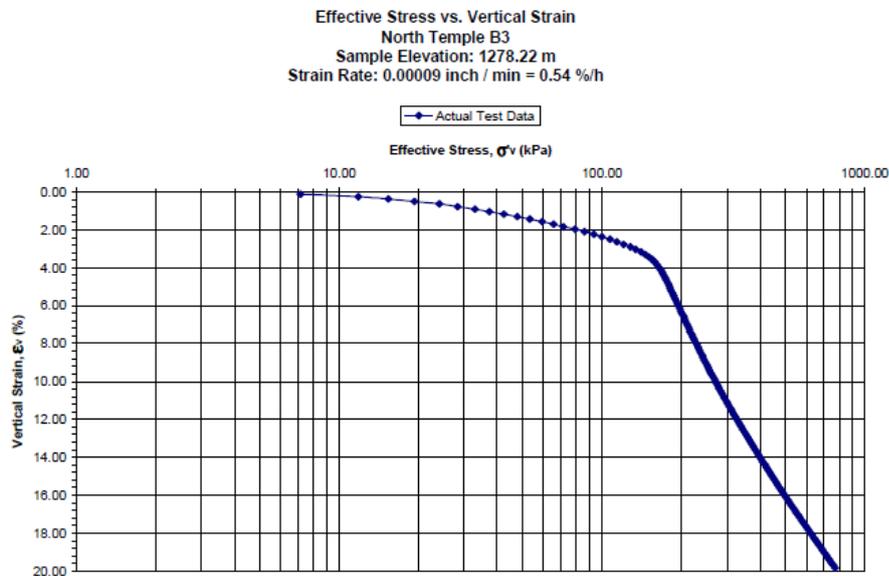
Gambar 2.8 Distribusi regangan di dalam sampel (Wisa et al, 1971)

2.3.1 Nilai Parameter Konsolidasi Hasil Uji Konsolidasi Metode CRS

Hasil pengujian data di plot ke dalam grafik dalam bentuk regangan aksial (ϵ) vs tegangan efektif (σ') atau void ratio (e) vs tegangan efektif (σ'), dan *excess pore water pressure* di bawah sampel (u_b) vs tegangan efektif (σ'). Karena beban yang diberikan dan tegangan air pori berlebih diukur, nilai tegangan vertikal efektif didapatkan dengan rumus:

$$\sigma'_v = \sigma_v - \frac{2}{3} u_b \quad (2.17)$$

Contoh plot data hasil pengujian konsolidasi CRS dapat dilihat pada Gambar 2.8.



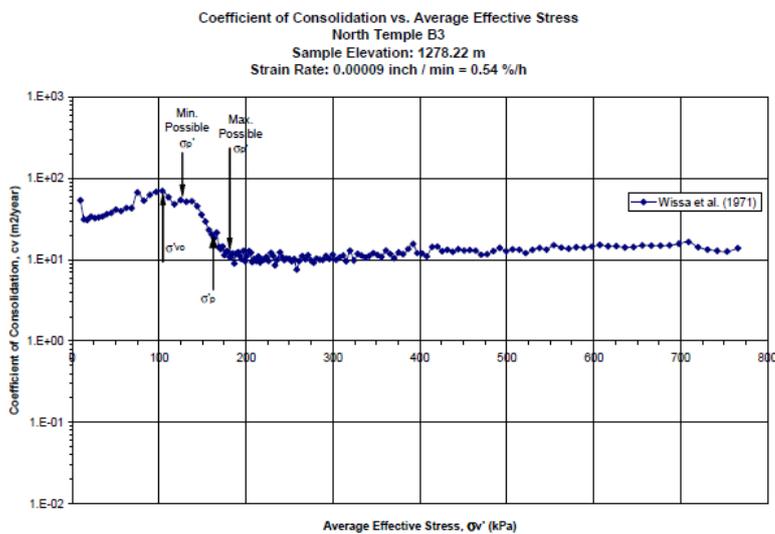
Gambar 2.9 Kurva ϵ vs $\log \sigma'$ hasil uji konsolidasi metode CRS (Lynn A., 2011)

Pada Gambar 2.9, titik kelengkungan maksimum menggunakan uji konsolidasi CRS lebih mudah ditemukan apabila dibandingkan dengan metode konvensional karena data yang didapat lebih banyak dari uji konsolidasi CRS. Hal ini dapat mengurangi ketidakpastian dalam menentukan nilai tegangan pra konsolidasi. Pada uji konsolidasi metode CRS nilai *excess pore water pressure* yang diijinkan adalah maksimal 15% dari tegangan total vertikal (ASTM 4186).

Dalam kondisi *steady state*, nilai koefisien konsolidasi (C_v) dirumuskan dengan:

$$C_v = -\frac{H_0^2}{2 \log\left(1 - \frac{u_b}{\sigma_v}\right)} \frac{d \log \sigma_v}{dt} = \frac{H^2 \log\left(\frac{\sigma_{v2}}{\sigma_{v1}}\right)}{2 \Delta t \left(1 - \frac{u_b}{\sigma_v}\right)} \quad (2.18)$$

Gambar 2.10 merupakan contoh hasil plot data CRS untuk nilai C_v vs tegangan vertikal efektif.



Gambar 2.10 Kurva C_v vs $\log \sigma_v'$ hasil uji konsolidasi metode CRS oleh Lynn A. (2011)

2.3.2 Pengaruh Kecepatan Regangan Terhadap Nilai Parameter Konsolidasi pada Uji Konsolidasi Metode CRS

Kecepatan regangan merupakan parameter penting dalam melakukan uji konsolidasi metode CRS. Uji konsolidasi CRS yang dilakukan dengan kecepatan regangan yang terlalu tinggi akan menghasilkan data yang tidak tepat dan apabila menggunakan kecepatan regangan yang terlalu rendah akan mengakibatkan masalah dalam menentukan parameter konsolidasi.

Rui Jia (2010) melakukan pengujian konsolidasi metode CRS pada Ariake Clay untuk meneliti pengaruh kecepatan regangan terhadap nilai parameter konsolidasi (C_c , C_v , σ_c). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan regangan yang dipakai dalam uji konsolidasi metode CRS, semakin

tinggi nilai tegangan prakonsolidasi (σ_c) yang dihasilkan. Pada studi tersebut juga menggunakan nilai SRE (*Strain Rate Effect*) yang merupakan perbandingan nilai parameter konsolidasi yang diperoleh dari uji konsolidasi metode CRS dengan uji konsolidasi metode konvensional.

$$SRE = \frac{P_{c(CRS)}}{P_{c(oed)}} \quad (2.19)$$

Nilai parameter konsolidasi hasil uji konsolidasi metode CRS dapat dikatakan bersesuaian apabila nilai SRE < 1.15

ASTM 4186-82 menganjurkan pemilihan kecepatan regangan sebagai fungsi dari batas cair dari tanah seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1. Pada perkembangan selanjutnya Tahun 1991 dan 2006 pemilihan kecepatan regangan dirubah menjadi berdasarkan rasio u_b/σ_v . ASTM D4186-2006 merekomendasikan bahwa nilai rasio u_b/σ_v adalah antara 3% sampai dengan 20% selama pelaksanaan pengujian. Rasio ini menunjukkan bahwa nilai tegangan air pori berlebih yang terjadi di dalam sampel sebagai akibat dari pembebanan tidak terlalu besar. Apabila tegangan air pori berlebih terlalu besar maka nilai tegangan vertikal efektif dari sampel akan semakin kecil.

Tabel 2.1 Kecepatan Regangan untuk Uji Konsolidasi Metode CRS yang Disarankan

Nilai Batas Cair (%)	Kecepatan Regangan (% per menit)
<40	0.04
40 – 60	0.01
60 – 80	0.004
80 - 100	0.001
100 – 120	0.0004

Sumber: ASTM D4186 (1982)

Pada Tahun 2002, studi tentang pengaruh kecepatan regangan, batas cair dan kadar air tanah lempung terhadap parameter konsolidasi pada uji konsolidasi metode *Constant Rate of Strain* (CRS) telah dilakukan oleh Ridwan. Dalam studi tersebut telah dilakukan perbandingan antara parameter konsolidasi yang dihasilkan

dari uji konsolidasi metode konvensional dengan uji konsolidasi metode CRS dengan kecepatan regangan yang berbeda. Benda uji yang dipakai adalah tanah lempung anorganik dengan nilai batas cair yang berbeda yaitu: 60%, 80%, 100% dan kecepatan regangan yang digunakan dalam uji adalah 0.02; 0.01; 0.005%/menit. Hasil studi yang diperoleh menunjukkan bahwa kecepatan regangan yang dipilih pada saat pengujian, serta besarnya plastisitas dan kadar air dari tanah yang diuji berpengaruh terhadap nilai C_v dari tanah. Harga batas cair dan kadar air tanah berpengaruh terhadap besarnya C_c sedangkan kecepatan regangan yang dipilih berpengaruh terhadap nilai tegangan prakonsolidasi (σ_c).

Pada Tahun 1998, studi uji konsolidasi metode CRS pada tanah organik telah dilakukan oleh Wardana, I.G.N. Dalam studi tersebut diteliti besaran hubungan kecepatan regangan yang tepat yang digunakan pada saat uji konsolidasi metode CRS dengan kadar organik dari tanah. Pada studi ini digunakan variasi kadar organik yang digunakan adalah: 10%, 20%, 30%, 35%, 40% dan 45%. Untuk kecepatan regangan yang digunakan adalah 0.04; 0.02; 0.008; 0.005 dan 0.002%/menit. Hasil penelitian ini memberikan hubungan antara kadar organik dari tanah dengan kecepatan regangan adalah

$$y = -0.0251 \ln(x) + 0.0966$$

dimana variabel y merupakan kecepatan regangan dan x adalah kadar organik (dalam persen). Hanya saja, persamaan tersebut hanya berlaku apabila kadar organik yakni kadar organik $< 30\%$. Hasil kecepatan regangan yang dipilih untuk kandungan organik yang bervariasi ditampilkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kecepatan Regangan yang Dipakai dalam Uji Konsolidasi CRS dengan Kadar Organik Tertentu

Kandungan Organik (%)	Kecepatan Regangan (% per menit)
10	0.04
20	0.02
30 - 35	0.008
40	0.005
45	0.002

Sumber: Wardana (1998)

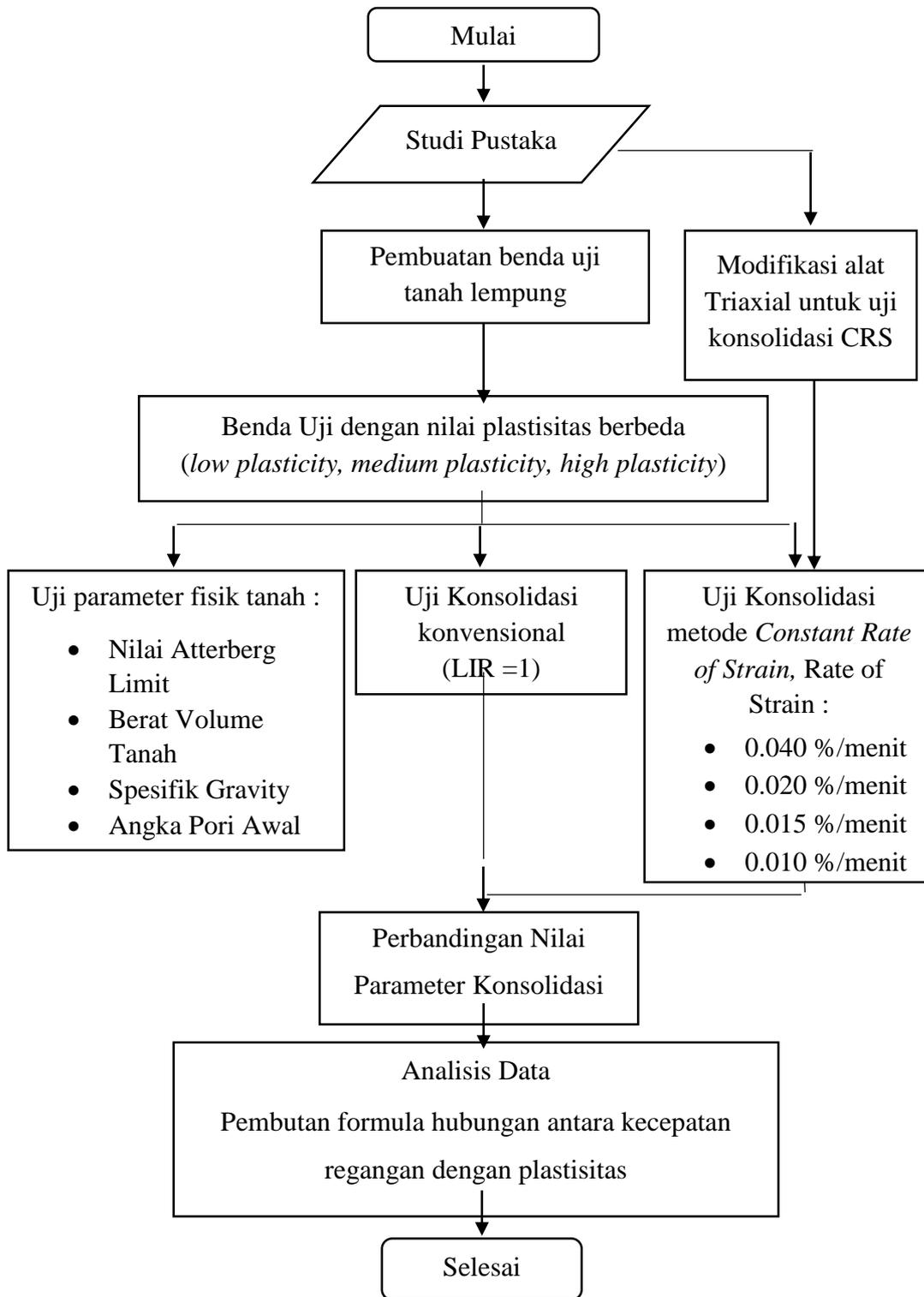
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini adalah penelitian eksperimental di laboratorium dengan cara melakukan uji konsolidasi menggunakan metode konvensional dan metode CRS. Adapun pelaksanaan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Memodifikasi alat Triaxial dan tabung CRS agar dapat digunakan untuk pengujian konsolidasi metode CRS.
2. Membuat benda uji tanah lempung yang mempunyai plastisitas yang bervariasi: *low plasticity*, *medium plasticity*, dan *high plasticity* dengan rentang nilai batas cair dan indeks plastisitas seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.
3. Melakukan uji konsolidasi metode konvensional (beban bertahap dengan LIR=1) untuk setiap benda uji yang disiapkan pada langkah nomor 2.
4. Melakukan uji konsolidasi metode CRS untuk semua jenis benda uji yang disiapkan pada langkah nomor 2. Dalam penelitian ini, kecepatan regangan yang dipilih untuk uji konsolidasi metode CRS adalah 0.040%/menit, 0.020%/menit, 0.015%/menit dan 0.010%/menit.
5. Membandingkan nilai parameter konsolidasi yang dihasilkan dari uji konsolidasi metode konvensional dan metode CRS untuk setiap benda uji.
6. Membuat rumus empiris hubungan antara indeks plastisitas dan kecepatan regangan yang digunakan saat melakukan uji konsolidasi metode CRS.

Adapun kegiatan penelitian ini disajikan ke dalam diagram alir pada Gambar 3.1.

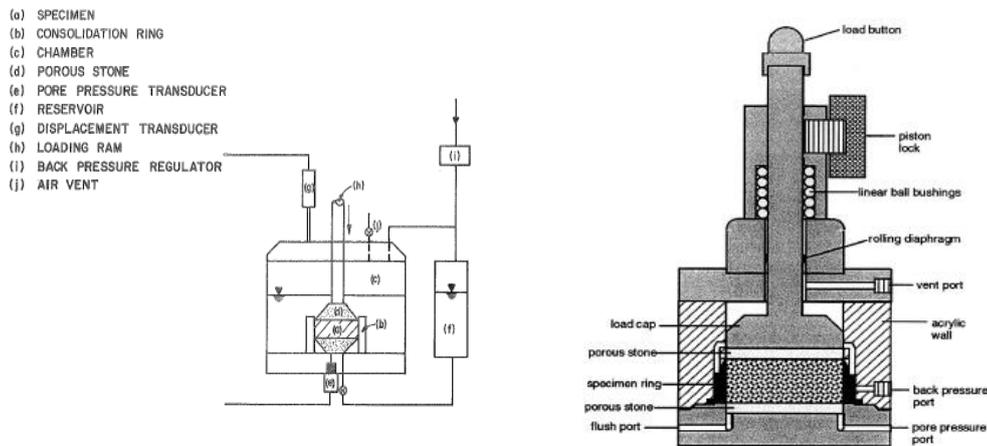


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.1 Modifikasi Alat Triaxial untuk Uji Konsolidasi Metode CRS

Untuk melaksanakan uji konsolidasi metode *Constant Rate of Strain* (CRS) digunakan alat *loading frame* uji triaxial yang dimodifikasi dan menggunakan tabung CRS Trautwein. *Loading frame* triaxial yang digunakan adalah *loading frame* Marui yang tersedia di Laboratorium Mekanika Tanah, Depaertemen Teknik Sipil ITS. *Loading frame* fungsinya adalah untuk memberikan dan mengukur beban yang diberikan serta mengukur regangan yang terjadi. Kecepatan regangan yang telah direncanakan sebelumnya juga dapat diatur pada *loading frame* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.3.

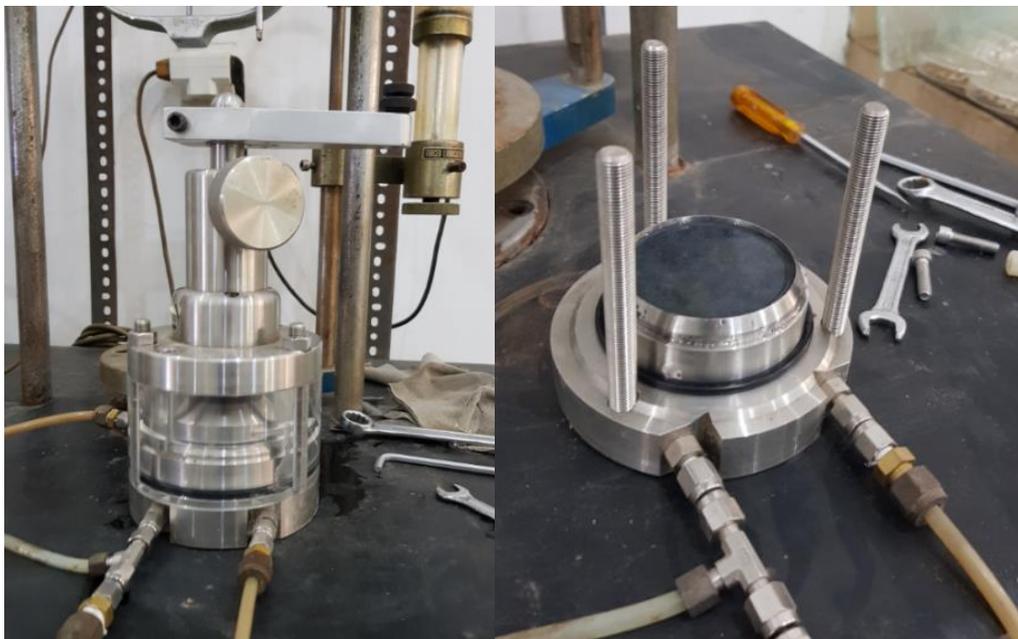
Tabung CRS Trautwein telah dibuat sedemikian rupa untuk memenuhi kondisi yang telah ditetapkan untuk uji konsolidasi metode CRS. Tanah uji di dalam tabung CRS diberi beban arah vertikal dari atas dan regangan arah axial dikekang ($\epsilon_h=0$). Air yang keluar dari sampel hanya diijinkan mengalir ke bagian atas dari sampel saja dan tegangan air pori yang terjadi pada bagian bawah sampel dapat diukur secara manual ataupun dengan menggunakan *pore pressure transducer*. Tabung CRS yang dipergunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3.4 Uji konsolidasi metode CRS dilaksanakan pada tanah dengan kondisi jenuh air; sehingga terdapat pipa atau saluran untuk melakukan penjenuhan pada bagian bawah sampel. Skema alat uji konsolidasi metode CRS ditunjukkan oleh Gambar 3.2



Gambar 3.2 Skema uji konsolidasi metode CRS



Gambar 3.3 *Loading Frame* Marui yang digunakan dalam penelitian



Gambar 3.4 Tabung CRS Trautwein yang digunakan dalam penelitian

3.2 Persiapan Benda Uji

Contoh tanah yang akan diuji konsolidasi dengan metode CRS harus mempunyai variasi nilai plastisitas yaitu *low plasticity*, *medium plasticity*, dan *high plasticity*. Tanah lempung plastisitas rendah mempunyai rentang nilai batas cair 10% - 30% dan nilai indeks plastisitas 20% - 50%. Tanah lempung plastisitas sedang mempunyai rentang nilai batas cair 35% - 50% dan indeks plastisitas 30% - 60%. Tanah lempung plastisitas tinggi mempunyai rentang nilai batas cair 50% - 100% dan indeks plastisitas 40% - 70%. Nilai plastisitas dalam penelitian ini didasarkan pada *chart* plastisitas Casagrande (1948) dan Howard (1977)

Pembuatan benda uji tanah dengan variasi nilai indeks plastisitas dilakukan dengan cara mencampurkan tanah lempung *disturbed* dan kaolinite dengan komposisi campuran tertentu hingga didapatkan nilai indeks plastisitas yang ditargetkan. Komposisi campuran ditentukan dalam kondisi berat kering. Setelah proses pencampuran, langkah berikutnya adalah membuat benda uji dengan cara *remoulded*. Kelebihan dari tanah *remoulded* adalah dapat menghasilkan tanah yang relatif homogen dengan derajat kerusakan sampel akibat pengambilan dapat diminimalkan. Langkah-langkah pembuatan contoh tanah *remoulded* adalah sebagai berikut:

1. Tanah *disturbed* yang sebelumnya telah diketahui nilai indeks plastisitasnya, dicampur dengan kaolinite. Selanjutnya contoh tanah dicampur dengan air dengan kadar air mencapai 2 kali nilai batas cair. Tanah dan air dicampur dengan *mixer* sampai membentuk *slurry*.
2. *Slurry* kemudian dimasukkan ke dalam tabung *consolidometer* dengan panjang 30 cm. Di bawah tabung diletakkan batu porus, lalu *slurry* dimasukkan ke dalam tabung, setelah tabung terisi, pada bagian atas *slurry* juga diletakkan batu porus.
3. Tanah kemudian diberikan beban satu tahap dengan tegangan prakonsolidasi yang diinginkan. Tanah dapat dikatakan selesai konsolidasi apabila sudah tidak terjadi penurunan selama 24 dengan beban yang tetap. Sebelum tanah dikeluarkan dari tabung, tanah dibiarkan mengembang sampai pada kondisi *over consolidated*; setelah itu contoh tanah dikeluarkan dari tabung dan siap untuk dilakukan pengujian selanjutnya.



Gambar 3.5 Tabung konsolidometer dan benda uji hasil *remoulded*

3.3 Pengujian Sifat Fisik Benda Uji

Sebelum dilakukan uji konsolidasi pada tanah, terlebih dahulu contoh tanah akan diuji sifat fisiknya. Pengujian sifat fisik tanah yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah : nilai batas-batas Atterberg, uji analisa ayakan, berat volume, spesifik gravity dan kadar air.

Pengujian nilai batas Atterberg dilakukan dengan merujuk kepada ASTM 4236 dan SNI 03-1966. Untuk menentukan indeks plastisitas, uji yang dilakukan adalah uji batas cair dan dan batas plastis. Untuk uji analisa ayakan merujuk pada ASTM C 130-46. Penentuan berat volume merujuk pada ASTM D2937 dan SNI 03-3637. Pengujian penentuan kadar air menggunakan standar pada ASTM D2216-71 dan SNI 03-1965. Pengujian penentuan Spesifik Gravity menggunakan standar pada ASTM D854-58 dan SNI 03-1964

3.4 Pelaksanaan Uji Konsolidasi Metode Konvensional

Pelaksanaan uji konsolidasi metode konvensional merujuk pada standar SNI 03-2812 dan ASTM 2435. Besar beban yang digunakan dalam uji konsolidasi metode konvensional adalah 0.2; 0.4; 0.8; 1.6; 3.2; 6.4 dan 12.8 kg/cm². Setiap beban diberikan selama 24 jam. Dari uji tersebut akan didapatkan grafik e vs $\log \sigma'$

dan ΔH vs $\log t$. Parameter yang didapat dalam pengujian ini adalah nilai tegangan prakonsolidasi (σ_c), indeks pemampatan (C_c) dan koefisien konsolidasi (C_v)

Dalam studi ini uji konsolidasi metode konvensional dilakukan 2 kali untuk setiap tanah dengan nilai batas cair yang sama. Hal ini dilakukan agar mendapat hasil pengujian yang lebih akurat.

3.5 Pelaksanaan Uji Konsolidasi Metode CRS

Pelaksanaan uji konsolidasi metode CRS pada penelitian ini menggunakan kecepatan regangan: 0.040%/menit; 0.020%/menit; 0.015%/menit dan 0.010%/menit. Pemilihan kecepatan regangan dilakukan dengan memperhatikan nilai rasio u_b/σ_v antara 3% sampai dengan 15% selama dilakukan pengujian (ASTM D4186-2006). Pengujian dihentikan ketika regangan mencapai 20%. Nilai regangan 20% merupakan batas maksimum regangan yang diperbolehkan untuk uji konsolidasi metode CRS menggunakan *small strain theory* oleh Wissa et al (1971). Apabila nilai regangan lebih dari 20% maka asumsi yang ada di dalam teori sudah tidak sesuai dengan kenyataan yang terjadi pada saat pengujian.

Data yang dapat diperoleh secara langsung pada saat pengujian adalah: pemampatan benda uji (Δh), tegangan aksial yang diberikan (σ), tegangan air yang terjadi di bawah bagian bawah benda uji (u_b), waktu pembacaan (t). Data tersebut kemudian diolah untuk dapat menggambarkan grafik e vs $\log \sigma'$ untuk menentukan harga indeks kompresi (C_c). Nilai koefisien konsolidasi (C_v) juga dapat dihitung dengan menggunakan formula yang telah dijelaskan pada Bab 2.

Adapun langkah-langkah melakukan uji konsolidasi metode CRS adalah sebagai berikut:

1. Membersihkan dan memberikan pelumas pada bagian dalam dari ring CRS dengan menggunakan sedikit oli. Menimbang berat ring CRS dan kertas filter. Memotong contoh tanah dan mengukur kadar air dari contoh tanah dari sisa pemotongan. Secara perlahan dan hati-hati, contoh tanah dimasukkan ke dalam ring CRS dan memotong sisa contoh tanah sehingga tinggi contoh tanah dan ring CRS sama. Dimensi akhir dari contoh tanah adalah berukuran tinggi 1.9 cm dan diameter 6 cm. Ketika ring sudah penuh berisi tanah, secara hati-hati

contoh tanah dikeluarkan dari ring dari *trimming device* dan meratakan tanah yang berlebih di kedua sisi ring. Perataan dapat menggunakan pisau tajam atau kawat. Mencatat berat dari contoh tanah dan *trimming ring*. Meletakkan kertas filter pada kedua sisi contoh tanah.

2. Mempersiapkan perangkat uji dengan mengalirkan air ke dalam selang–selang yang gunanya untuk memastikan bahwa tidak ada udara yang terperangkap di dalam selang. Meletakkan batu porus di bagian bawah dari alat. Meletakkan contoh tanah dan ring diatas batu porus dan meletakkan batu porus lainnya diatas contoh tanah. Mengikat sisi luar dari dasar ring menggunakan karet berbentuk “O”. Hal ini dilakukan guna mencegah kebocoran pada ring pada saat pengujian dilakukan. Meletakkan bagian atas dari alat CRS dan mengencangkan dengan menggunakan sekrup. Menurunkan piston secara perlahan sampai piston menyentuh batu porus bagian atas.
3. Mencatat nilai beban pada *load cell* di nilai nol atau reset nilai beban ke nilai nol dan masukan *load cell* ke dalam frame pembebanan. Buka keran *pore pressure* pada bagian bawah yang menghubungkan batu porus bagian bawah dengan *volume cell*. Pastikan penyumbat pada cell terbuka, mengakibatkan udara bebas masuk dan keluar *cell*. Meluruskan piston dan menaikkan beban secara manual, dan mengukur dengan menggunakan voltmeter. Beban yang diberikan agar tidak terdapat celah antara batu porus dan contoh tanah (*seating pressure*). Mengukur dissipasi dari beban dengan waktu dan juga perubahan pada LVDT dengan waktu. Pada saat beban dan LVDT stabil untuk periode tertentu, keadaan ini menandakan sudah tidak ada gap antara contoh tanah dan batu porus. Gunakan *seating load* yang kecil (1 sampai 2 kg)
4. Membuka keran yang menghubungkan batu porus bagian atas dan *reservoir cell* yang berisi air. Memberikan *back pressure* untuk menjenuhkan contoh tanah. Setelah proses *back pressure* diberikan, mereset *pressure transducer* pada bagian bawah, dan menutup keran yang menghubungkan batu porus bagian bawah dan *reservoir cell*. Memberikan beban dengan kecepatan regangan tertentu yang diinginkan, hal ini memerlukan spesifikasi dari kecepatan regangan yang diinginkan, total stress maksimal alat dan total regangan yang diijinkan. *Load cell* di dalam penelitian ini mempunyai kapasitas maksimal

yaitu 300kg; tegangan aksial total pada contoh tanah adalah 2800 kPa. Pengujian yang dilakukan untuk penelitian ini menggunakan gaya maksimal aksial sebesar 2400 kPa.

5. Mencatat nilai pemampatan benda uji (Δh), tegangan aksial yang diberikan (σ), tegangan air yang terjadi di bawah bagian bawah benda uji (u_b), waktu pembacaan (t) yang dilakukan setiap 10 menit untuk 1 jam pertama, 15 menit untuk 1 jam berikutnya dan 60 menit untuk interval selanjutnya.
6. Mengeluarkan dengan cepat contoh tanah dari alat CRS dengan melepaskan cell pressure dan beban apabila telah tercapai regangan yang diinginkan. Menekan contoh tanah, batu porus dan kertas filter keluar dari ring secara perlahan. Mengukur tinggi dari contoh tanah dan masukkan ke dalam oven untuk dikeringkan selama 24 jam untuk pengujian kadar air.

3.6 Analisis Data

Analisis data hasil pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan regangan dan indeks plastisitas tanah lempung terhadap nilai parameter konsolidasi (indeks pemampatan (C_c), koefisien konsolidasi (C_v) dan tegangan prakonsolidasi (σ_c). Beberapa hal yang dianalisis berdasarkan hasil pengujian sifat fisik, pengujian konsolidasi metode konvensional dan pengujian konsolidasi metode CRS adalah sebagai berikut:

1. Menghitung pengaruh nilai indeks plastisitas terhadap nilai parameter konsolidasi (C_c dan C_v) hasil dari pengujian konsolidasi metode konvensional.
2. Menghitung pengaruh nilai kecepatan regangan yang digunakan pada saat pengujian konsolidasi metode CRS dengan nilai parameter konsolidasi yang dihasilkan.
3. Membandingkan nilai parameter konsolidasi yang diperoleh dari uji konsolidasi metode konvensional dengan parameter konsolidasi yang dihasilkan dari uji konsolidasi metode CRS.
4. Membuat formula atau persamaan empiris hubungan antara indeks plastisitas tanah dan kecepatan regangan yang dipakai pada uji konsolidasi metode CRS yang menghasilkan parameter konsolidasi yang akurat atau sesuai dengan nilai

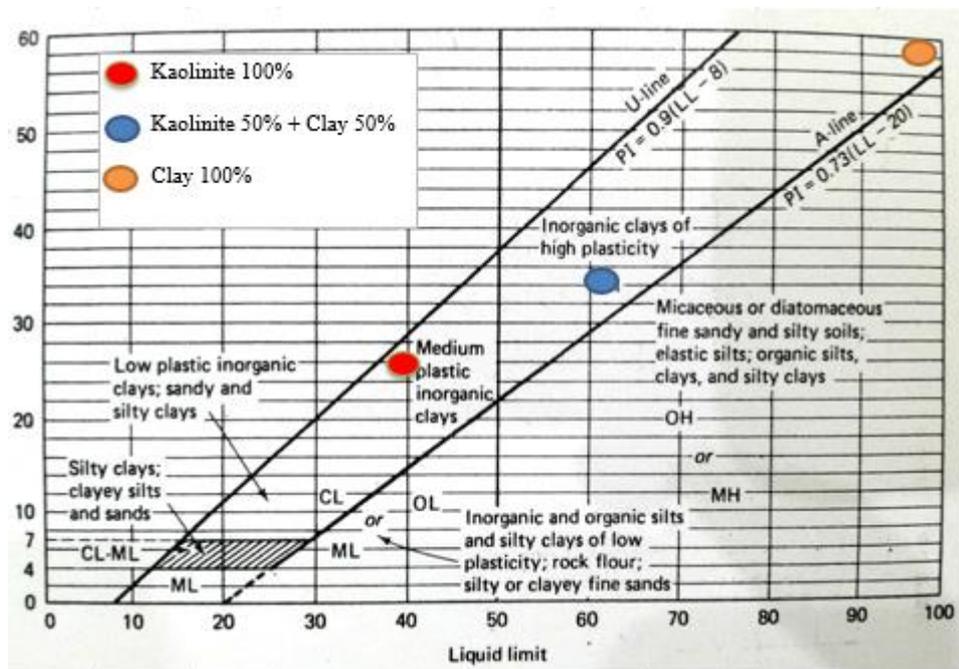
parameter konsolidasi yang dihasilkan dari uji konsolidasi metode konvensional.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sifat Fisik Benda Uji

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa dalam studi ini digunakan 3 jenis tanah dengan campuran antara kaolinite dan tanah lempung dengan nilai plastisitas yang bervariasi yaitu low, medium, dan high plasticity. Harga plastisitas dari sampel yang diuji di plot dalam plasticity chart yang dikembangkan oleh Casagrande (1952) seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Bagan plastisitas untuk masing – masing benda uji

Kualitias dan homogenitas sampel merupakan faktor yang sangat penting dalam melakukan pengujian tanah di laboratorium. Masing – masing benda uji yang dibuat dengan metode *remoulded* dimana tanah dengan nilai plastisitas yang sama telah menunjukkan tingkat homogenitas yang tinggi. Hal tersebut ditunjukkan dengan tidak adanya pesebaran data yang tinggi pada masing – masing nilai parameter fisik tanah. Hasil dari pengujian sifat fisik benda uji ditampilkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Benda Uji

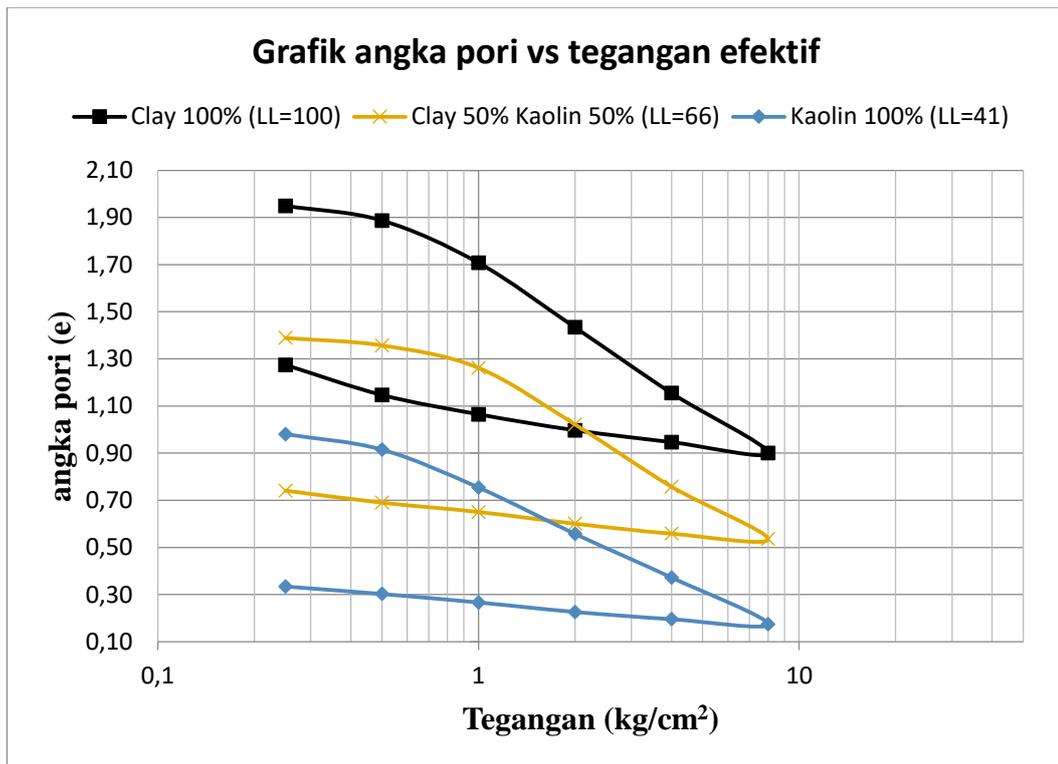
Benda Uji	LL	IP	wc	Gs	γ_d	γ_t	e
	%	%	%		gr/cm ³	gr/cm ³	
Kaolinite 100%	40	25	33.45	2.56	1.343	1.792	1.010
Kaolinite 100%	42	28	33.45	2.56	1.355	1.809	0.992
Kaolinite 50% Clay 50%	68	33	56.25	2.61	1.119	1.697	1.425
Kaolinite 50% Clay 50%	65	35	56.25	2.61	1.122	1.701	1.419
Clay 100%	115	59	71.28	2.87	0.907	1.553	1.993
Clay 100%	116	62	71.28	2.87	0.888	1.521	2.055

4.2 Pengaruh Variasi Nilai Plastisitas Tanah Terhadap Parameter Konsolidasi pada Uji Konsolidasi Oedometer

4.2.1 Pengaruh Nilai Plastisitas Tanah Terhadap Nilai Cc dan Cs

Hasil uji konsolidasi metode konvensional dari masing – masing benda uji ditunjukkan pada Gambar 4.2. dan Tabel 4.2. Nilai batas cair dan indeks plastisitas mempengaruhi nilai angka pori awal (e_0) yang didapatkan. Untuk tegangan prakonsolidasi yang sama, semakin besar nilai batas cair dan indeks plastisitas, semakin tinggi nilai angka pori awal (e_0) yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena semakin besar nilai batas cair maka kemampuan tanah lempung dalam mengikat air akan semakin meningkat, sehingga pada beban yang sama tanah lempung dengan nilai batas cair yang tinggi akan semakin banyak mengandung rongga berisi air.

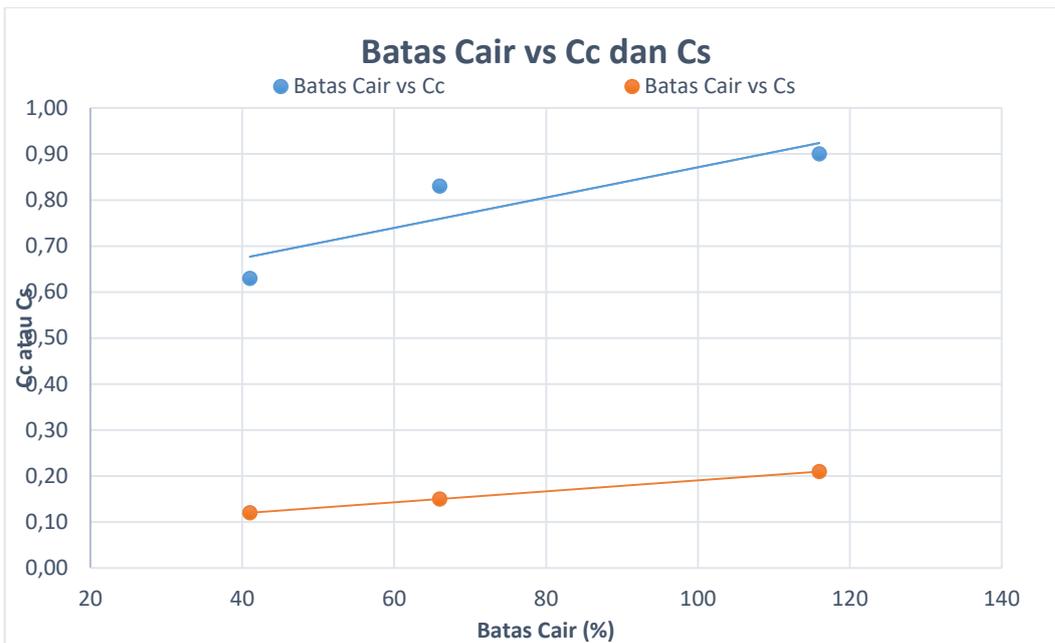
Pengaruh nilai batas cair (LL) dan indeks plastisitas (IP) terhadap nilai indeks kompresi (Cc) dan indeks mengembang (Cs) ditunjukkan oleh Gambar 4.3 dan Gambar 4.4. Semakin besar nilai batas cair (LL), maka nilai Cc dan Cs akan semakin besar. Hal serupa juga terjadi pada hubungan antara indeks plastisitas (IP) terhadap Cc dan Cs. Semakin besar nilai IP, maka nilai Cc dan Cs akan semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai plastisitas tanah maka tanah akan semakin bersifat kompresibel. Hasil penelitian ini juga telah sesuai dengan penelitian oleh Kosasih dan Mochtar (1997) yang menyebutkan bahwa semakin meningkatnya nilai plastisitas tanah (LL dan IP) maka nilai Cc dan Cs juga akan semakin meningkat.



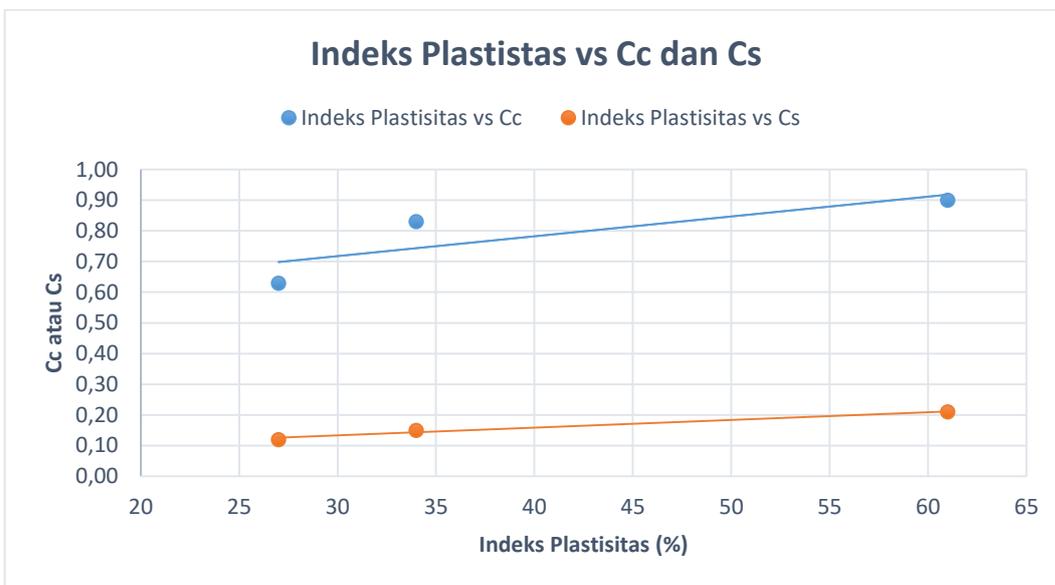
Gambar 4.2 Kurva tegangan regangan hasil uji konsolidasi metode konvensional masing – masing benda uji

Tabel 4.2 Hasil Uji Konsolidasi Metode Konvensional untuk Setiap Benda Uji

Benda Uji	LL	IP	e ₀	C _c	C _s
	%	%			
Kaolinite 100%	40	25	1.010	0.59	0.12
Kaolinite 100%	42	28	0.992	0.64	0.12
Kaolinite 50% Clay 50%	68	33	1.425	0.85	0.16
Kaolinite 50% Clay 50%	65	35	1.419	0.81	0.15
Clay 100%	115	59	1.993	0.92	0.22
Clay 100%	116	62	2.055	0.88	0.20



Gambar 4.3 Pengaruh nilai batas cair terhadap Cc dan Cs

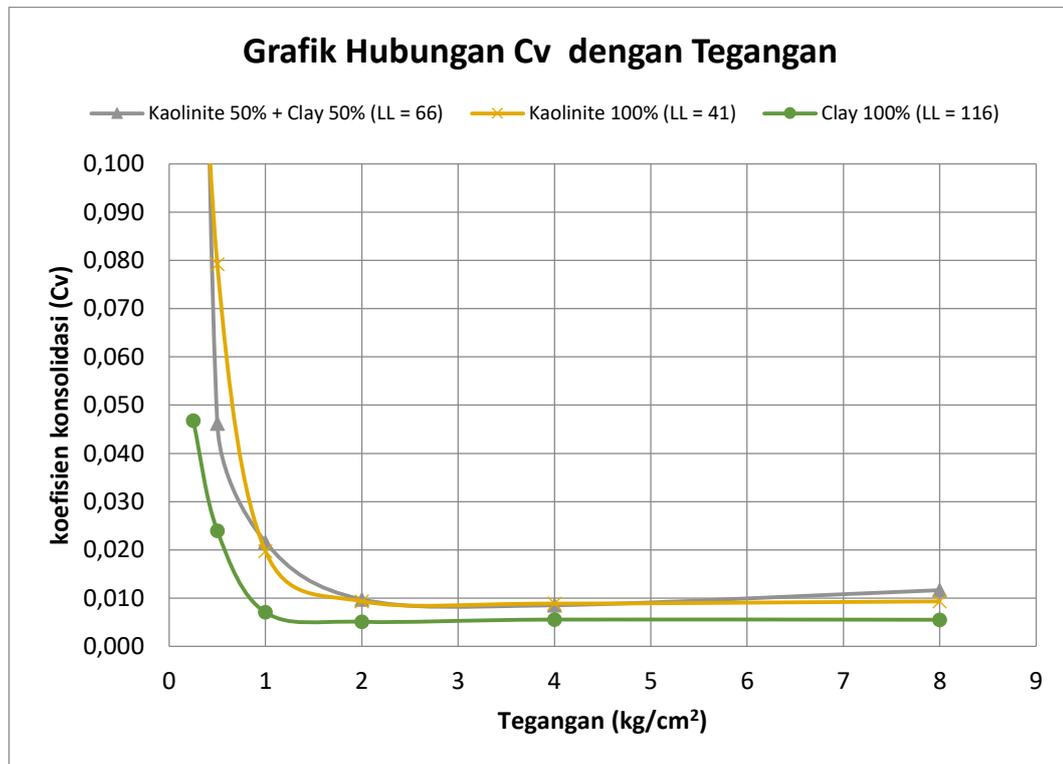


Gambar 4.4 Pengaruh nilai indeks plastistas Terhadap Cc dan Cs

4.2.2 Pengaruh Nilai Plastisitas Tanah Terhadap Nilai Cv

Kurva nilai koefisien konsolidasi (C_v) vs tegangan untuk setiap benda uji ditunjukkan pada Gambar 4.5. Semakin besar nilai plastisitas tanah maka nilai C_v akan semakin mengecil. Hal ini disebabkan karena tanah yang mempunyai plastisitas tinggi mempunyai kemampuan untuk menahan air di dalam pori yang

besar atau mempunyai koefisien permeabilitas yang kecil. Nilai dari C_v berbanding lurus dengan nilai koefisien permeabilitas, maka apabila koefisien permeabilitas mengecil, maka nilai C_v juga akan mengecil.



Gambar 4.5 Pengaruh plastisitas terhadap nilai C_v

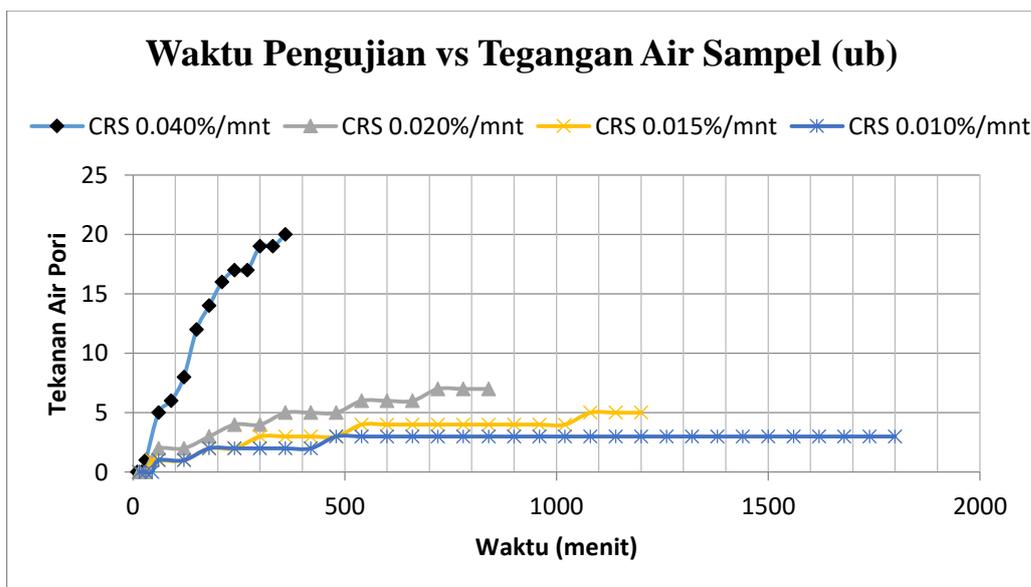
4.3 Pengaruh Kecepatan Regangan pada Uji Konsolidasi Metode CRS

4.3.1 Pengaruh Kecepatan Regangan Terhadap Nilai Tegangan Air Pori Berlebih (U_b)

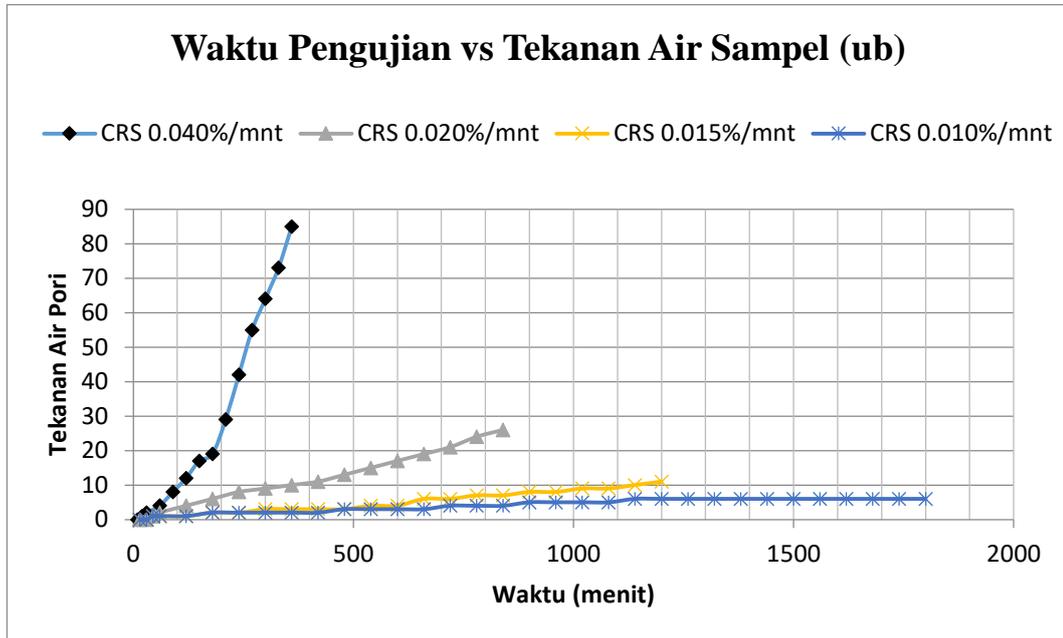
Pada saat uji konsolidasi CRS, aliran air hanya diperbolehkan mengalir ke arah atas saja dan tidak diperbolehkan mengalir ke arah bawah sampel. Sebagai akibatnya, terjadi tegangan air pori berlebih pada bagian bawah sampel akibat pengekangan tersebut. Besar dari tegangan air pori berlebih di bawah sampel dipengaruhi oleh kecepatan regangan yang diberikan pada saat pengujian. Pengaruh kecepatan regangan terhadap nilai tegangan air pori (U_b) pada sampel yang dihasilkan pada saat uji konsolidasi metode CRS ditunjukkan pada Gambar 4.6 sampai Gambar 4.8. Semakin kecil kecepatan regangan yang digunakan dalam uji

konsolidasi metode CRS, maka nilai tegangan air pori di bawah sampel akan semakin kecil. Hal tersebut terjadi karena pada kecepatan regangan yang rendah air mempunyai kesempatan untuk terdisipasi keluar dari dalam tanah sehingga tegangan air pori yang terjadi di bawah sampel menjadi kecil. Sebaliknya apabila kecepatan regangan yang digunakan pada uji konsolidasi metode CRS tinggi, maka air tidak sempat terdisipasi keluar dan akibatnya terjadi tegangan air pori berlebih di bawah sampel (U_b) yang besar.

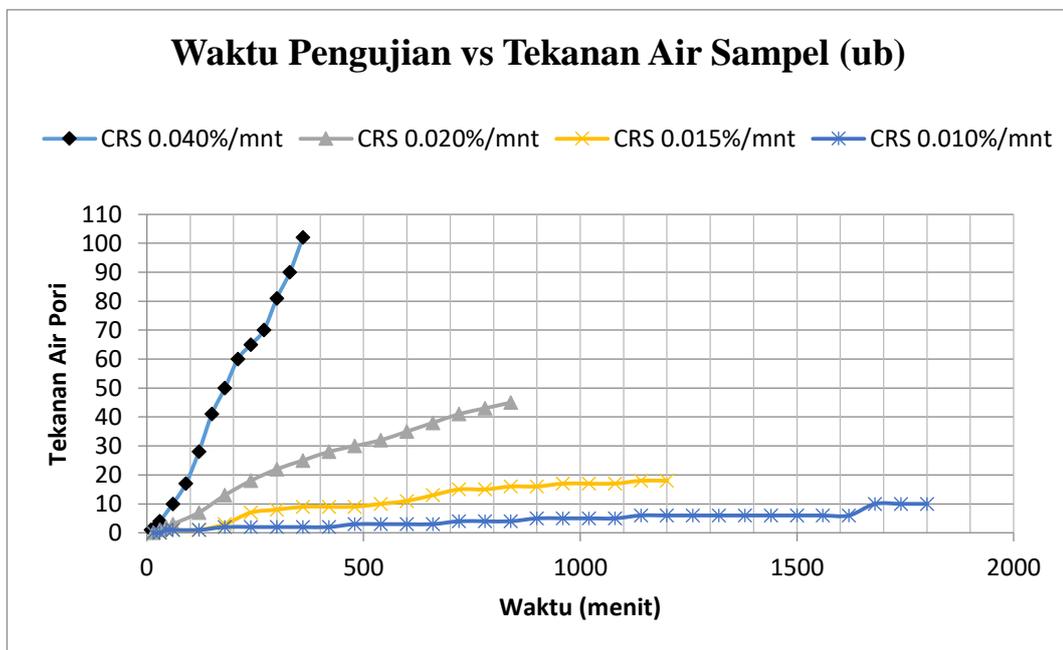
Untuk kecepatan regangan yang sama, semakin besar nilai plastisitas maka tegangan air pori berlebih di bawah sampel (U_b) akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena tanah dengan plastisitas yang tinggi mempunyai kemampuan menahan air (air sulit terdisipasi keluar dari pori – pori tanah) sehingga akan menimbulkan tegangan air yang besar pada bagian bawah sampel. Sebaliknya, tanah dengan plastisitas rendah relatif lebih mudah mengalirkan air, oleh karena itu tegangan air pori berlebih (U_b) yang terjadi akan menjadi relatif lebih kecil dibandingkan dengan tanah dengan plastisitas tinggi. Gambar 4.9 menunjukkan grafik tegangan air pori vs waktu pengujian untuk kecepatan regangan yang sama ($r = 0.04\%/mnt$) dengan variasi nilai plastisitas.



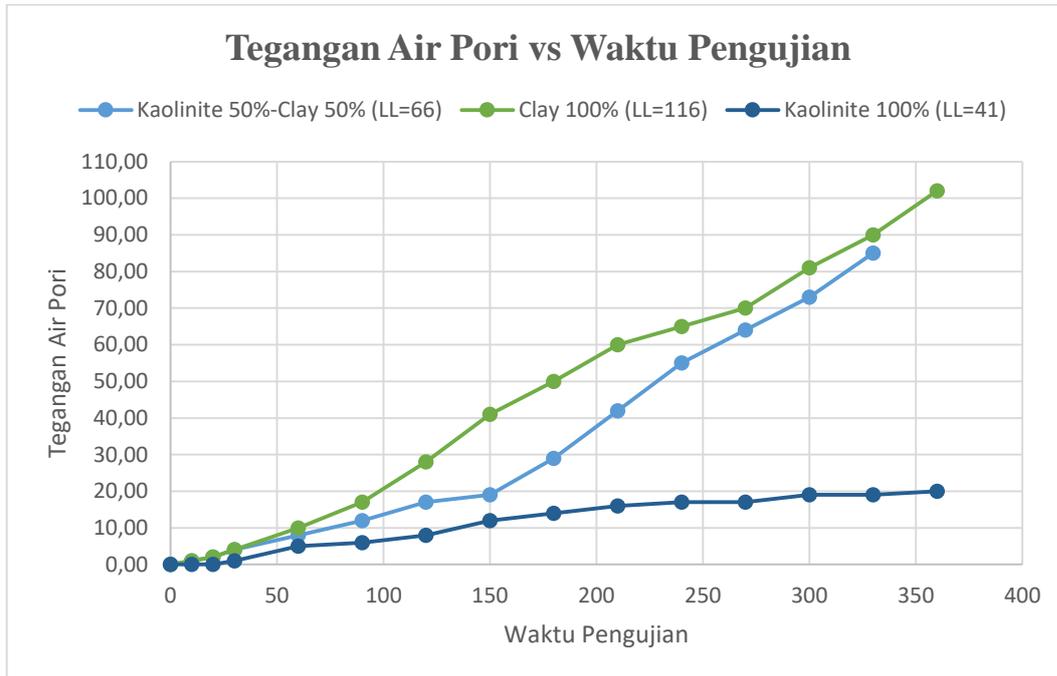
Gambar 4.6 Grafik hubungan waktu pengujian dengan tegangan air pori (U_b) pada bagian bawah sampel untuk benda uji kaolinite 100% ($LL = 41$) pada uji konsolidasi metode CRS



Gambar 4.7 Grafik hubungan waktu pengujian dengan tegangan air pori (U_b) pada bagian bawah sampel untuk benda uji kaolinite 50%-clay 50% ($LL = 66$) pada uji konsolidasi metode CRS



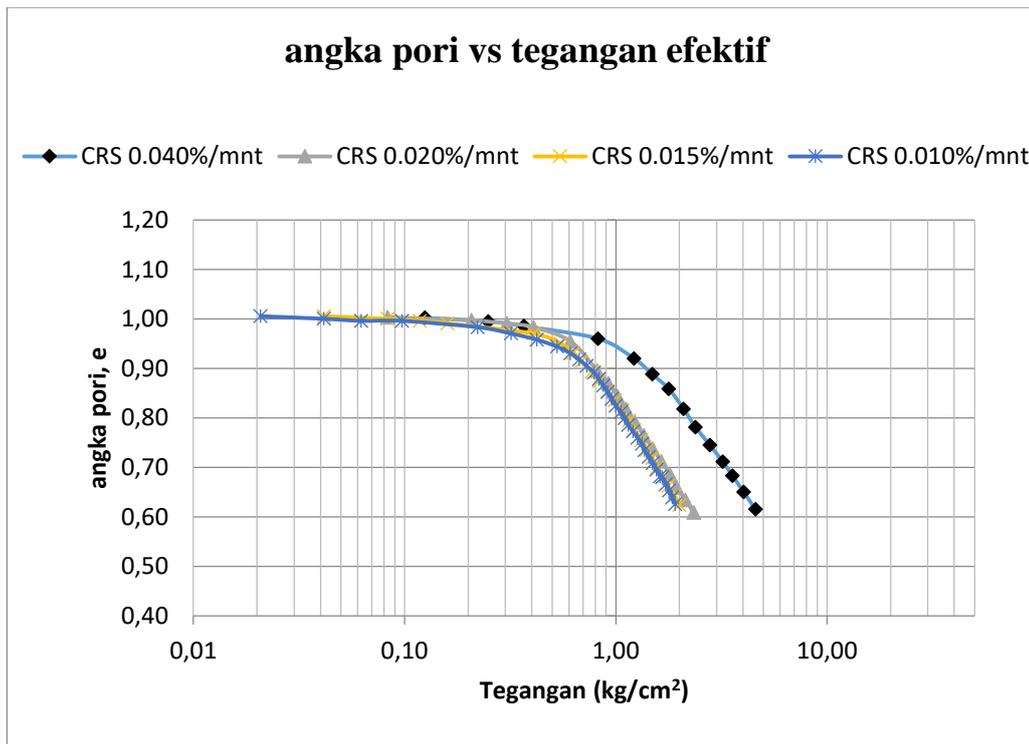
Gambar 4.8 Grafik hubungan waktu pengujian dengan tegangan air pori (U_b) pada bagian bawah sampel untuk benda uji clay 100% ($LL = 116$) pada uji konsolidasi metode CRS



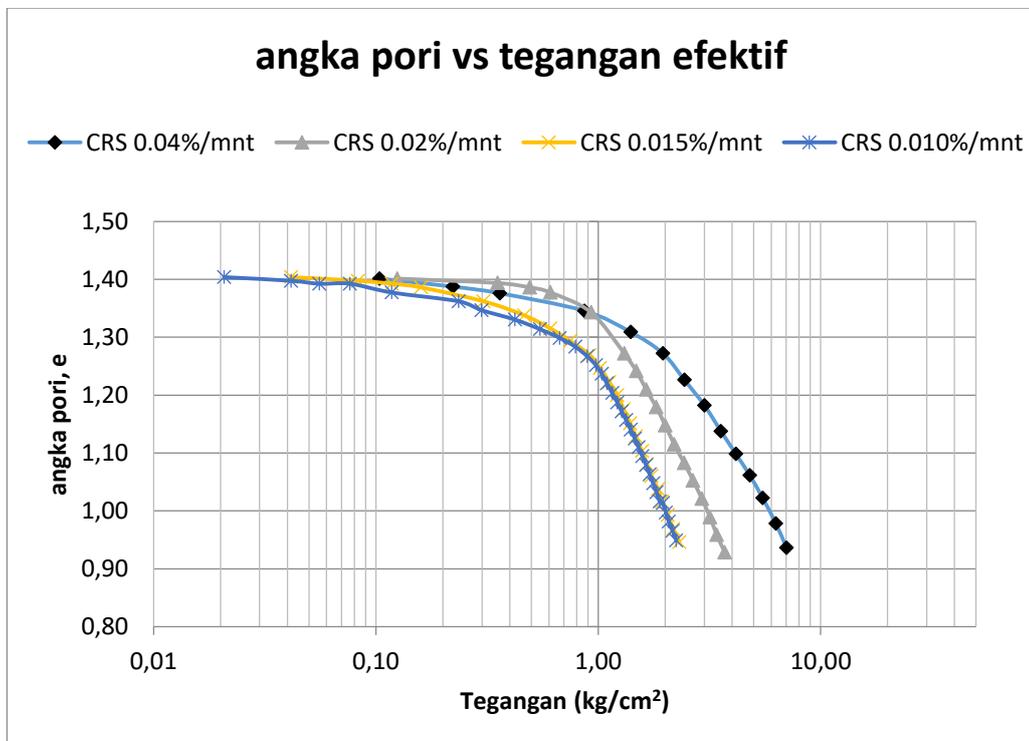
Gambar 4.9 Grafik hubungan antara waktu pengujian dengan tegangan air pori (U_b) pada bagian bawah sampel pada uji konsolidasi crs dengan variasi nilai plastisitas ($r = 0.040\%/menit$)

4.3.2 Pengaruh Kecepatan Regangan Terhadap Perilaku Tegangan Regangan

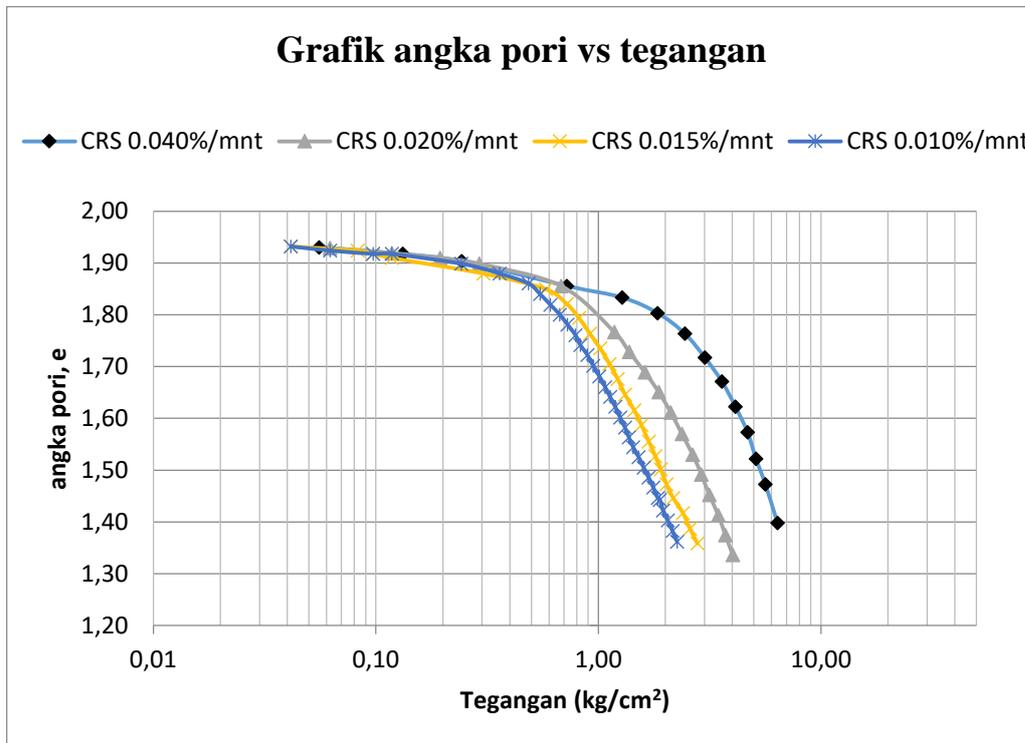
Kurva e vs $\log \sigma'$ masing – masing benda uji dengan variasi nilai kecepatan regangan ditunjukkan pada Gambar 4.10 sampai 4.12. Dari kurva – kurva tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar nilai kecepatan regangan yang digunakan pada saat uji konsolidasi metode CRS, kurva tegangan regangan cenderung bergeser ke sebelah kanan. Hal tersebut terjadi karena pada uji konsolidasi peristiwa konsolidasi primer berlangsung bersamaan dengan konsolidasi sekunder, untuk tegangan yang sama, konsolidasi sekunder cenderung menurunkan nilai angka pori. Besarnya konsolidasi sekunder yang terjadi tergantung dari besarnya kecepatan regangan. Semakin besar kecepatan regangan, semakin kecil peristiwa konsolidasi sekunder yang terjadi; sebagai akibatnya pada tegangan yang sama nilai angka pori menjadi semakin besar. Sebaliknya apabila kecepatan regangan rendah maka peristiwa konsolidasi sekunder akan lebih besar terjadi, sehingga pada tegangan yang sama maka nilai angka pori menjadi semakin mengecil.



Gambar 4.10 Kurva tegangan regangan sampel kaolinite 100% (LL=41) dengan variasi kecepatan regangan



Gambar 4.11 Kurva tegangan regangan sampel kaolinite 50%-clay 50% (LL= 66) dengan variasi kecepatan regangan



Gambar 4.12 Kurva tegangan regangan sampel clay 100% (LL=116) dengan variasi kecepatan regangan

4.3.3 Pengaruh Kecepatan Regangan Terhadap Nilai Tegangan Prakonsolidasi (σ_c)

Hasil nilai tegangan prakonsolidasi (σ_c) untuk masing – masing benda uji dengan variasi nilai kecepatan regangan ditunjukkan pada Tabel 4.3. Pada uji konsolidasi metode CRS, benda uji yang sama akan menghasilkan nilai tegangan prakonsolidasi (σ_c) yang semakin besar apabila digunakan kecepatan regangan yang besar. Hal ini dapat terjadi karena terjadi pergeseran kurva e vs $\log \sigma'$ yang telah dijelaskan di subbab 4.3.2, dimana pergeseran kurva ke kanan akan menyebabkan terjadinya tegangan prakonsolidasi semu. Perubahan pembacaan nilai tegangan prakonsolidasi menjadi lebih besar (semakin ke kanan). Sebaliknya apabila digunakan kecepatan regangan yang kecil pada uji konsolidasi CRS maka grafik e vs $\log \sigma'$ akan bergeser ke sebelah kiri yang menyebabkan pembacaan terhadap tegangan prakonsolidasi (σ_c) menjadi lebih kecil.

Hasil dari penelitian ini telah sesuai dengan studi yang dilakukan oleh Ridwan, M. (2002). Pada studi ini didapatkan semakin besar kecepatan regangan yang dipergunakan pada saat uji konsolidasi metode CRS maka nilai tegangan prakonsolidasinya akan semakin besar. Sebaliknya apabila kecepatan regangan yang digunakan rendah, maka nilai tegangan prakonsolidasinya akan mengecil.

Tabel 4.3 Nilai σ_c dari Hasil Uji Konsolidasi Metode CRS

Batas Cair (%)	Kecepatan Regangan (%/mnt)	Nilai Tegangan prakonsolidasi (kg/cm²)
41	0.040	1.1
	0.020	0.62
	0.015	0.61
	0.010	0.61
66	0.040	1.7
	0.020	1.2
	0.015	0.85
	0.010	0.9
115	0.040	2.5
	0.020	1.2
	0.015	0.85
	0.010	0.79

4.3.4 Pengaruh Kecepatan Regangan Terhadap Nilai Cc

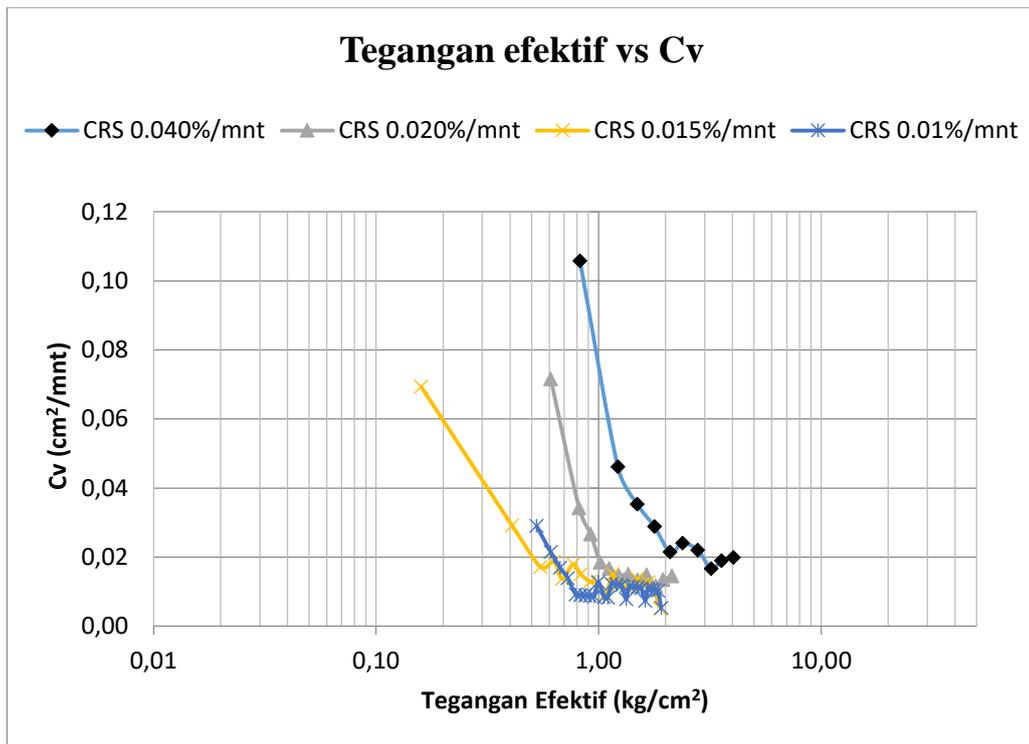
Hasil nilai indeks kompresi (Cc) untuk masing – masing benda uji dengan variasi nilai kecepatan regangan ditunjukkan pada Tabel 4.4. Pada uji konsolidasi metode CRS, nilai Cc untuk kecepatan regangan yang berbeda tidak menunjukkan kecenderungan meningkat ataupun menurun. Jadi kecepatan regangan yang digunakan tidak mempengaruhi nilai indeks kompresi (Cc) yang dihasilkan. Hasil dari penelitian ini juga telah sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya oleh Ridwan, M. (2002).

Tabel 4.4 Nilai Cc dari Hasil Uji Konsolidasi Metode CRS

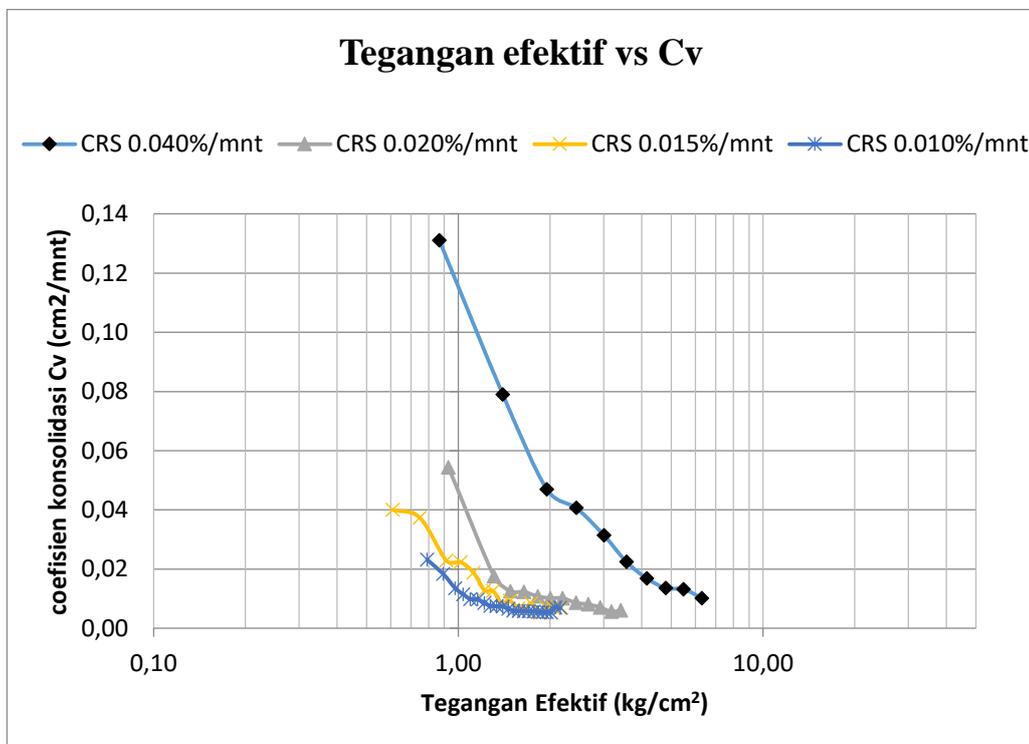
Batas Cair (%)	Kecepatan Regangan (%/mnt)	Cc
41	0.040	0.58
	0.020	0.6
	0.015	0.59
	0.010	0.62
66	0.040	0.81
	0.020	0.79
	0.015	0.85
	0.010	0.83
115	0.040	0.91
	0.020	0.89
	0.015	0.90
	0.010	0.91

4.3.5 Pengaruh Kecepatan Regangan Terhadap Nilai Cv

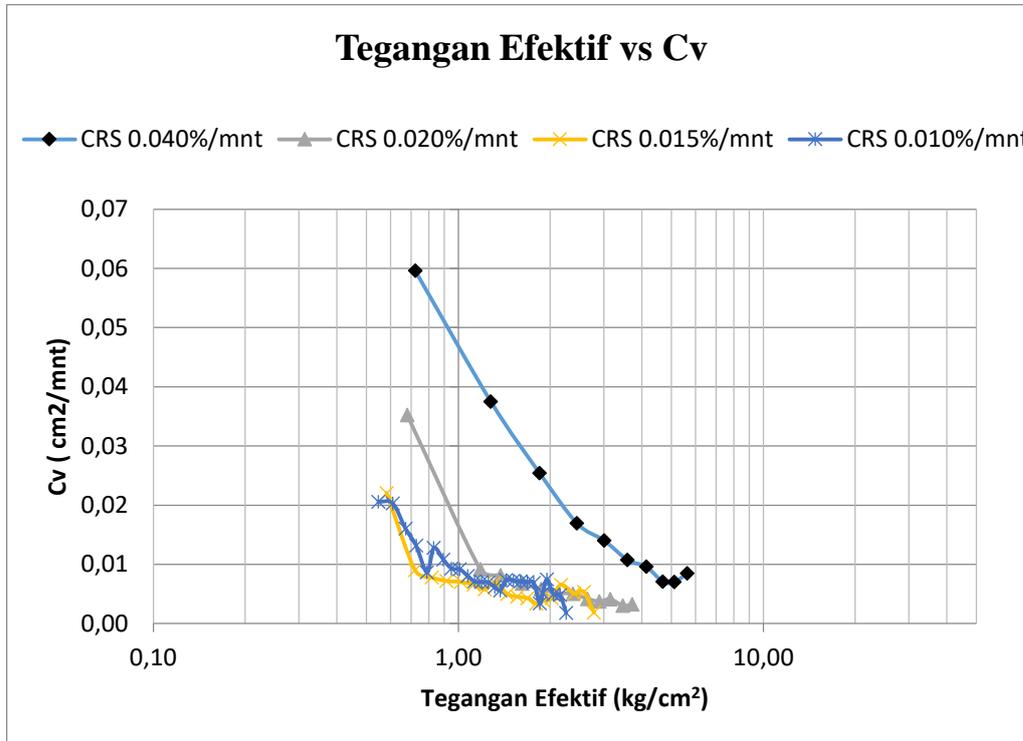
Grafik hubungan antara nilai tegangan dengan nilai Cv untuk masing – masing benda uji dengan variasi nilai kecepatan regangan ditunjukkan oleh Gambar 4.13 sampai 4.15. Untuk tegangan yang sama, semakin besar nilai kecepatan regangan yang digunakan maka nilai Cv juga akan semakin besar, sebaliknya semakin kecil nilai kecepatan regangan yang digunakan maka nilai Cv akan semakin mengecil. Nilai Cv mempunyai nilai yang besar pada awal uji uji konsolidasi CRS (tegangan efektif rendah), selanjutnya menurun dan konvergen pada nilai tegangan efektif yang lebih tinggi. Awal konvergenitas nilai Cv dimulai pada kisaran nilai tegangan prakonsolidasinya. Hal ini terjadi karena seiring dengan penambahan beban, angka pori dari benda uji semakin mengecil sehingga membuat permeabilitas mengecil, lalu membuat nilai Cv juga mengecil pada tegangan efektif yang besar.



Gambar 4.13 Pengaruh kecepatan regangan terhadap nilai Cv pada uji konsolidasi metode CRS pada sampel kaolinite 100% (LL = 41)



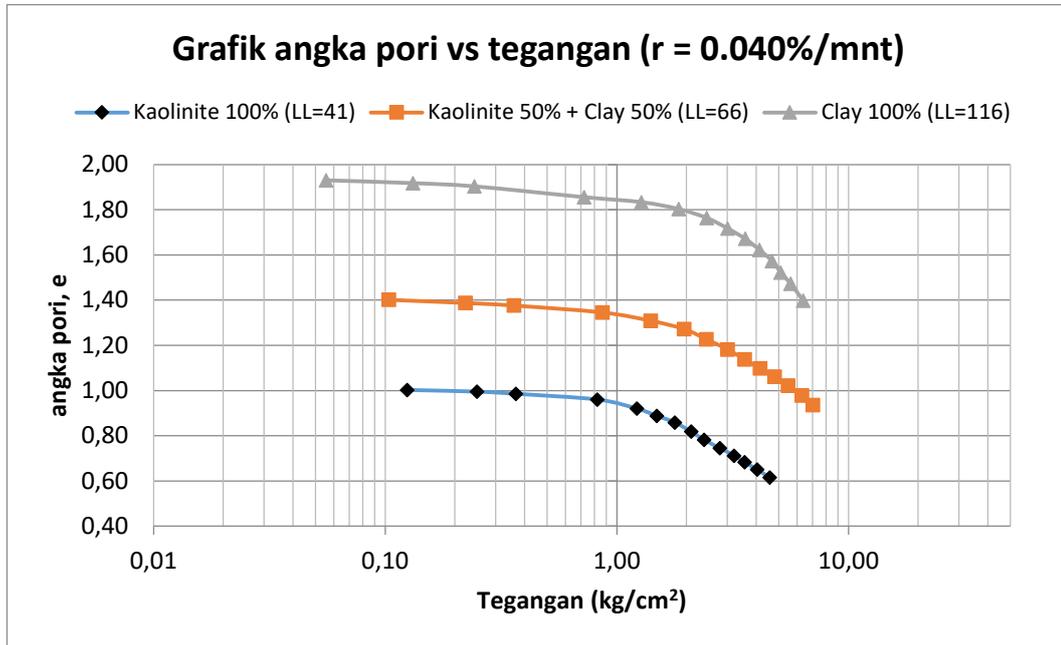
Gambar 4.14 Pengaruh kecepatan regangan terhadap nilai Cv pada uji konsolidasi metode CRS pada sampel kalonite 50%-clay 50% (LL = 66)



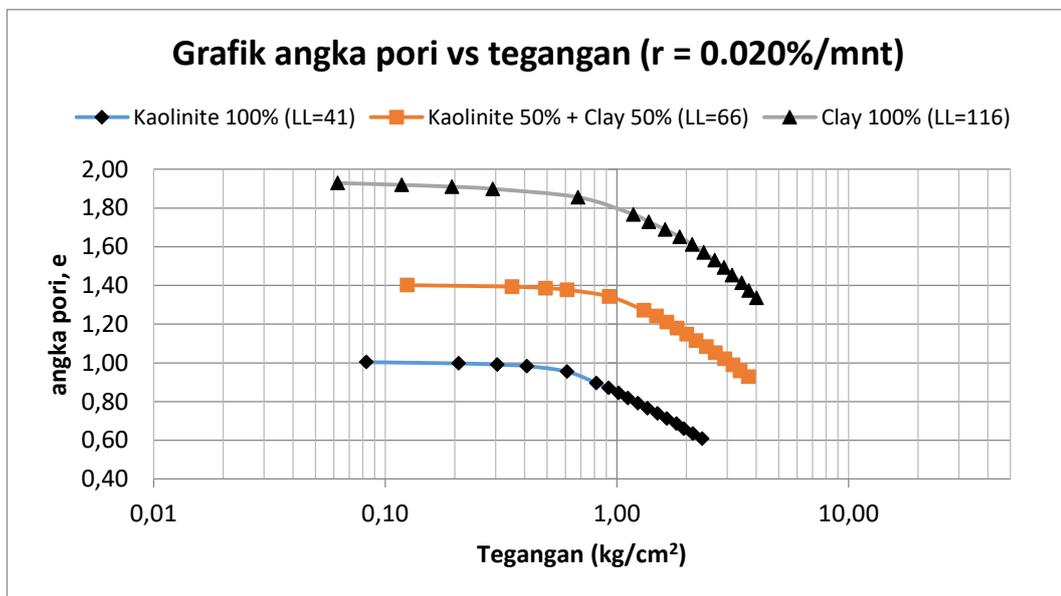
Gambar 4.15 Pengaruh kecepatan regangan terhadap nilai Cv pada uji konsolidasi metode CRS pada sampel clay 100% (LL = 116)

4.4 Pengaruh Nilai Plastisitas Terhadap Parameter Konsolidasi pada Uji Konsolidasi Metode CRS

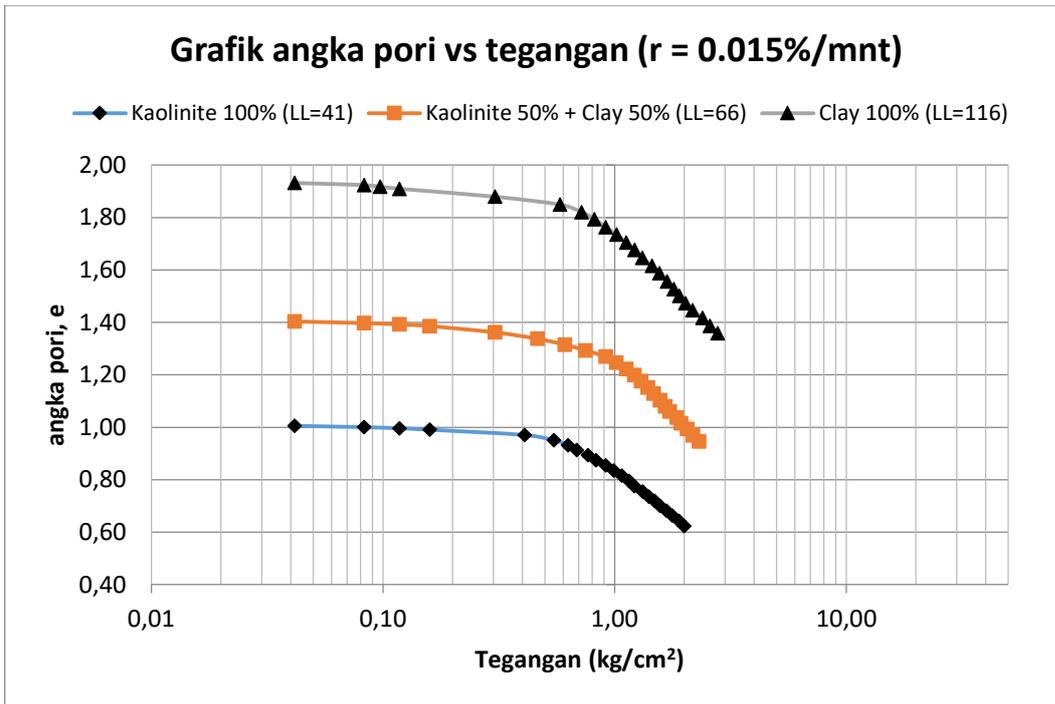
Hasil uji konsolidasi metode CRS dengan kecepatan regangan yang sama untuk benda uji dengan plastisitas yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 4.16 sampai dengan Gambar 4.22 dan Tabel 4.5. Pada kecepatan regangan yang sama, plastisitas tanah mempengaruhi nilai e_0 , C_c dan C_v yang diperoleh. Semakin besar nilai plastisitas, semakin besar nilai e_0 dan C_c yang dihasilkan tetapi semakin besar nilai plastisitas, nilai C_v yang dihasilkan semakin mengecil. Hasil tersebut mempunyai kecenderungan sama dengan hasil uji konsolidasi metode konvensional yang telah dijelaskan pada Subbab 4.2. Jadi dapat disimpulkan bahwa pengaruh plastisitas terhadap parameter konsolidasi pada uji konsolidasi metode CRS untuk kecepatan regangan yang sama adalah sama seperti pada uji konsolidasi metode konvensional.



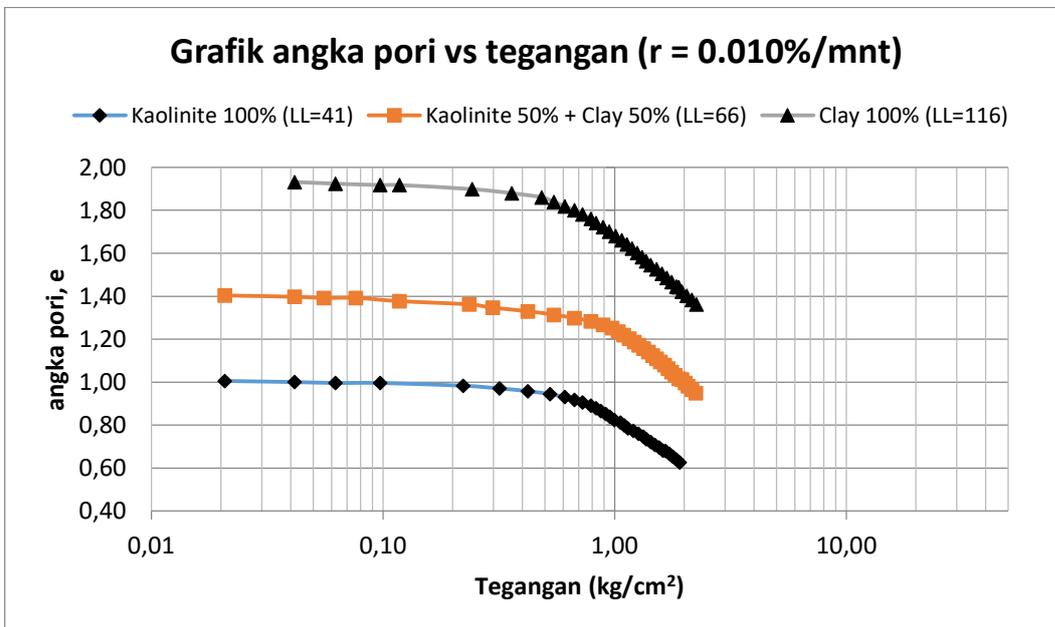
Gambar 4.16 Grafik angka pori vs tegangan pada hasil uji konsolidasi metode CRS dengan $r = 0.040\%/menit$ pada masing – masing benda uji



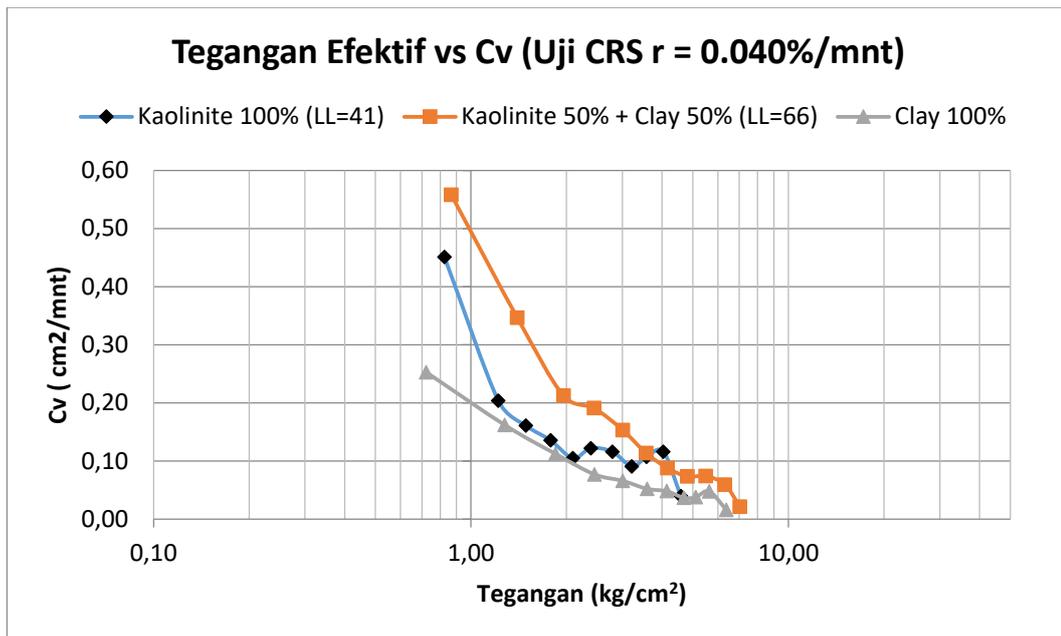
Gambar 4.17 Grafik angka pori vs tegangan pada hasil uji konsolidasi metode CRS dengan $r = 0.020\%/menit$ pada masing – masing benda uji



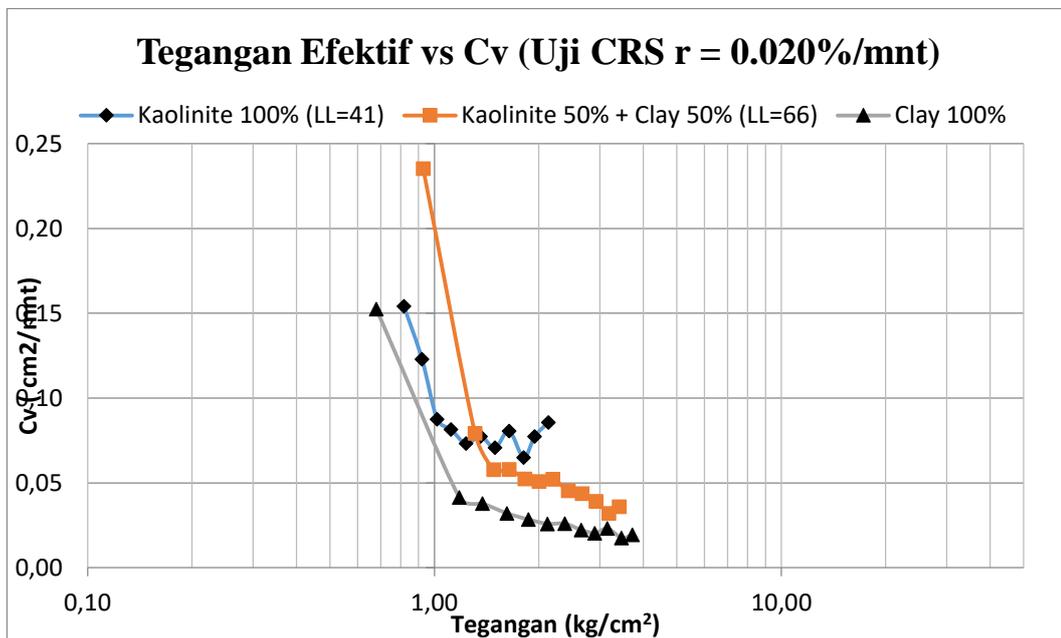
Gambar 4.18 Grafik angka pori vs tegangan pada hasil uji konsolidasi metode CRS dengan $r = 0.015\%/menit$ pada masing – masing benda uji



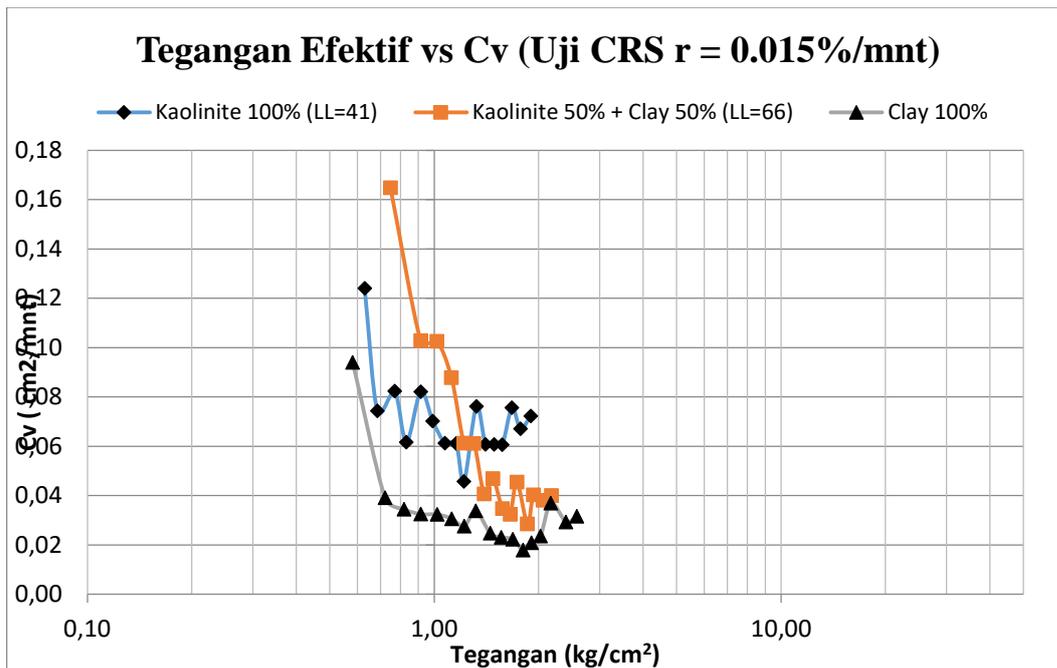
Gambar 4.19 Grafik angka pori vs tegangan pada hasil uji konsolidasi metode CRS dengan $r = 0.010\%/menit$ pada masing – masing benda uji



Gambar 4.20 Grafik Cv vs tegangan pada hasil uji konsolidasi metode CRS dengan r = 0.040%/menit pada masing – masing benda uji



Gambar 4.21 Grafik Cv vs tegangan pada hasil uji konsolidasi metode CRS dengan r = 0.020%/menit pada masing – masing benda uji



Gambar 4.22 Grafik Cv vs tegangan pada hasil uji konsolidasi metode CRS dengan r = 0.015%/menit pada masing – masing benda uji

Tabel 4.5 Nilai Cc dari Hasil Uji Konsolidasi Metode CRS

Kecepatan Regangan (%/mnt)	Batas Cair (%)	e ₀	Cc
0.040	41	0.95	0.58
	66	1.42	0.81
	116	1.98	0.91
0.020	41	0.95	0.6
	66	1.42	0.79
	116	1.98	0.89
0.015	41	0.95	0.59
	66	1.42	0.85
	116	1.98	0.90
0.010	41	0.95	0.62
	66	1.42	0.83
	116	1.98	0.91

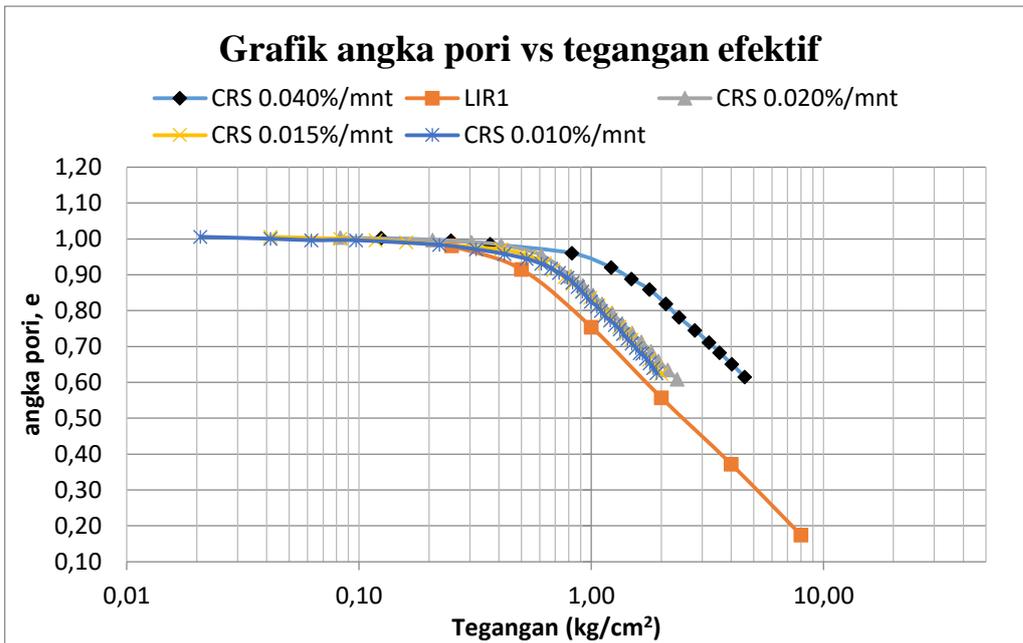
4.5 Perbandingan Nilai Parameter Konsolidasi yang Diperoleh dari Uji Konsolidasi CRS dan Uji Konsolidasi Konvensional

Dalam rangka menentukan kecepatan regangan yang dapat menghasilkan parameter konsolidasi yang akurat, hasil dari uji konsolidasi metode CRS dibandingkan dengan hasil uji konsolidasi metode konvensional seperti ditunjukkan pada Gambar 4.16 sampai dengan Gambar 4.18. Dari kurva – kurva tersebut diketahui bahwa semakin kecil kecepatan regangan yang digunakan dalam uji konsolidasi metode CRS, bentuk kurva tegangan regangan akan semakin mendekati kurva uji konsolidasi konvensional.

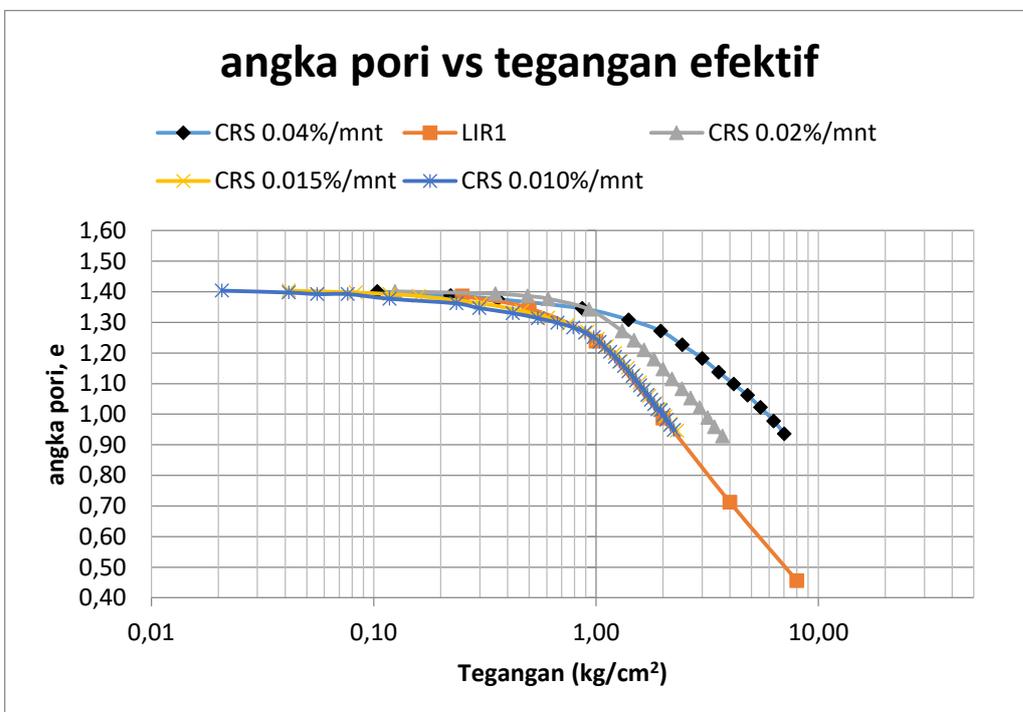
Untuk menentukan kecepatan regangan dalam uji konsolidasi metode CRS agar diperoleh hasil yang akurat terdapat kriteria pemilihan kecepatan regangan yang telah dijelaskan pada Subbab 2.3.2 yaitu:

- Nilai perbandingan antara nilai tegangan air pori dengan tegangan total $U_b/\sigma_{v \text{ maks}} < 20\%$.
- Nilai *Strain Rate Effect* (SRE) < 1.15

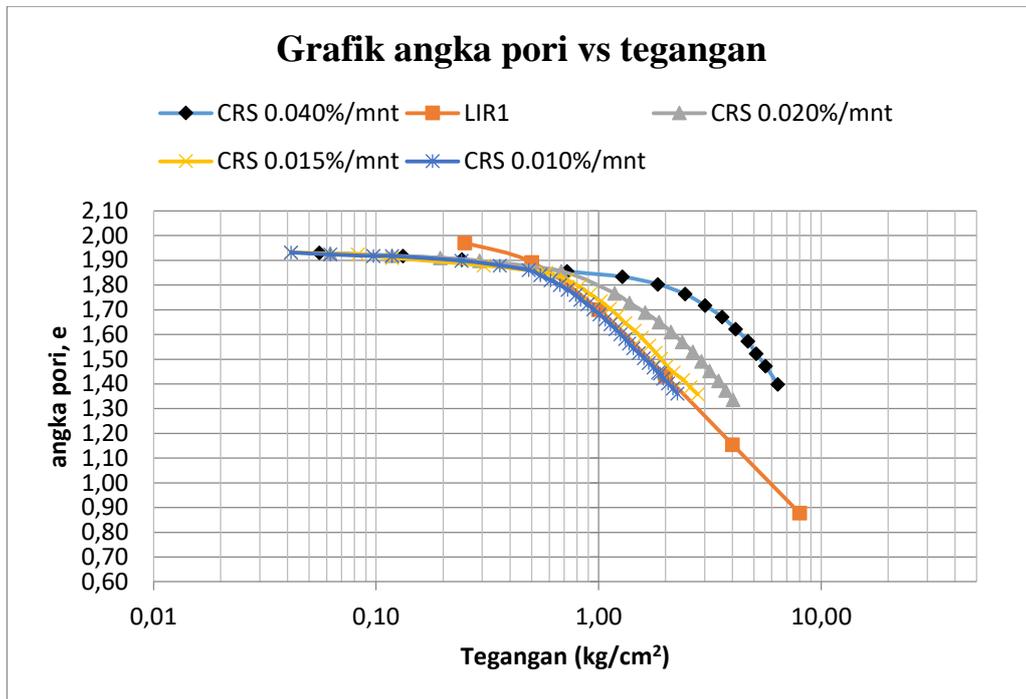
Hasil perhitungan SRE dan $U_b/\sigma_{v \text{ maks}}$ pada masing – masing benda uji dan kecepatan regangan ditampilkan dalam Tabel 4.5. Semakin kecil kecepatan regangan yang digunakan dalam uji konsolidasi metode CRS, maka SRE yang diperoleh akan semakin kecil. Hal ini menandakan bahwa kecepatan menggunakan kecepatan regangan yang kecil dalam uji konsolidasi metode CRS akan mendapatkan hasil yang cukup sesuai dengan uji konsolidasi metode konvensional.



Gambar 4.23 Kurva angka pori vs tegangan efektif hasil uji konsolidasi konvensional dengan uji konsolidasi metode CRS pada Sampel kaolinite 100% (LL = 41)



Gambar 4.24 Perbandingan hasil kurva angka pori vs tegangan efektif hasil uji konsolidasi konvensional dengan uji konsolidasi metode CRS pada sampel kaolinite 50%-clay 50% (LL = 66)

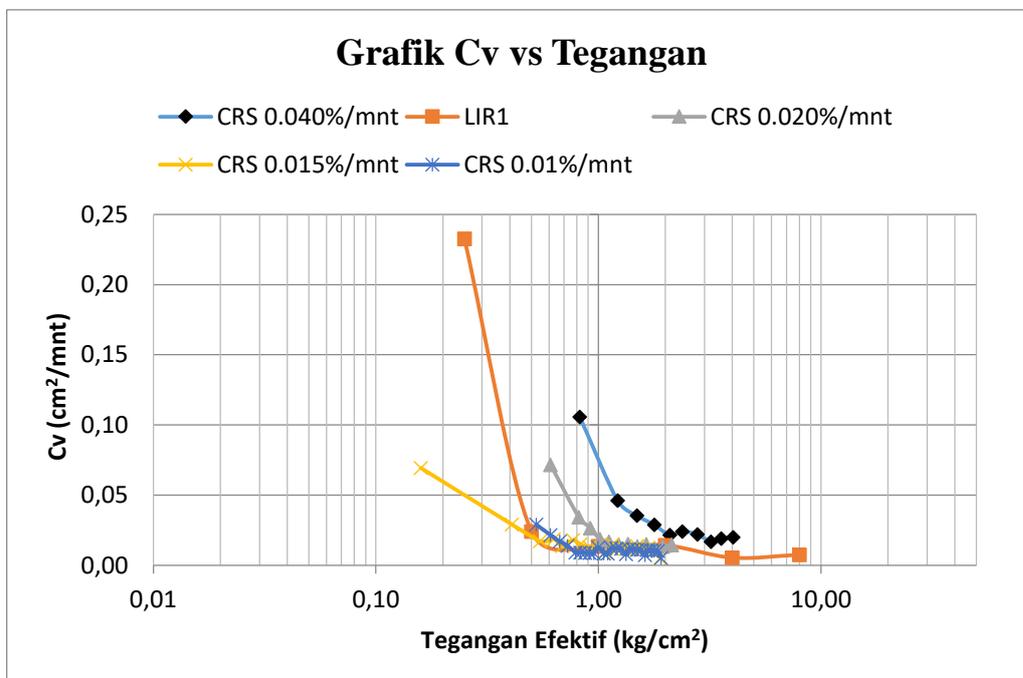


Gambar 4.25 Perbandingan hasil kurva angka pori vs tegangan efektif hasil uji konsolidasi konvensional dengan uji konsolidasi metode CRS pada sampel clay 100% (LL = 116)

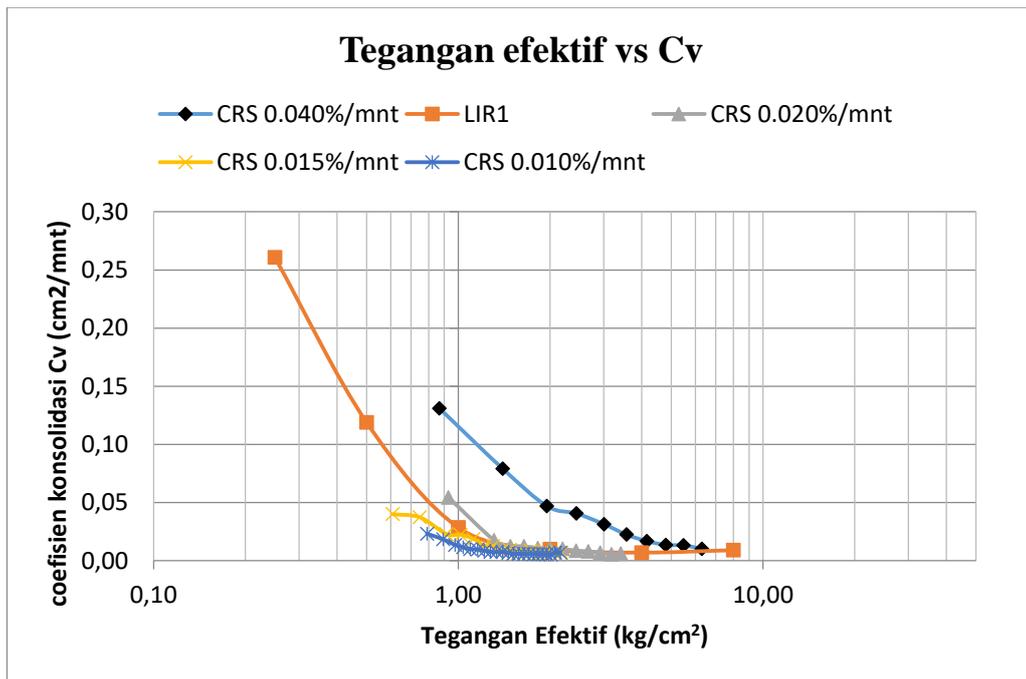
Tabel 4.6 Nilai SRE dari P_c Hasil Uji Konsolidasi Metode CRS dan U_b/σ_v maks

Batas Cair (%)	Kecepatan Regangan (%/mnt)	Nilai Tegangan prakonsolidasi (kg/cm ²)	SRE	U_b/σ_v maks (%)
41	0.040	1.1	2	7.6
	0.020	0.62	1.13	3.9
	0.015	0.61	1.11	4.3
	0.010	0.61	1.11	4
	konvensional	0.55	-	-
66	0.040	1.7	2.12	11.2
	0.020	1.2	1.46	6.7
	0.015	0.85	1.06	4.6
	0.010	0.9	1.09	4.6
	konvensional	0.82	-	-
116	0.040	2.5	3.12	15.1
	0.020	1.2	1.5	12.5
	0.015	0.95	1.18	9.1
	0.010	0.81	1.01	5.4
	konvensional	0.8	-	-

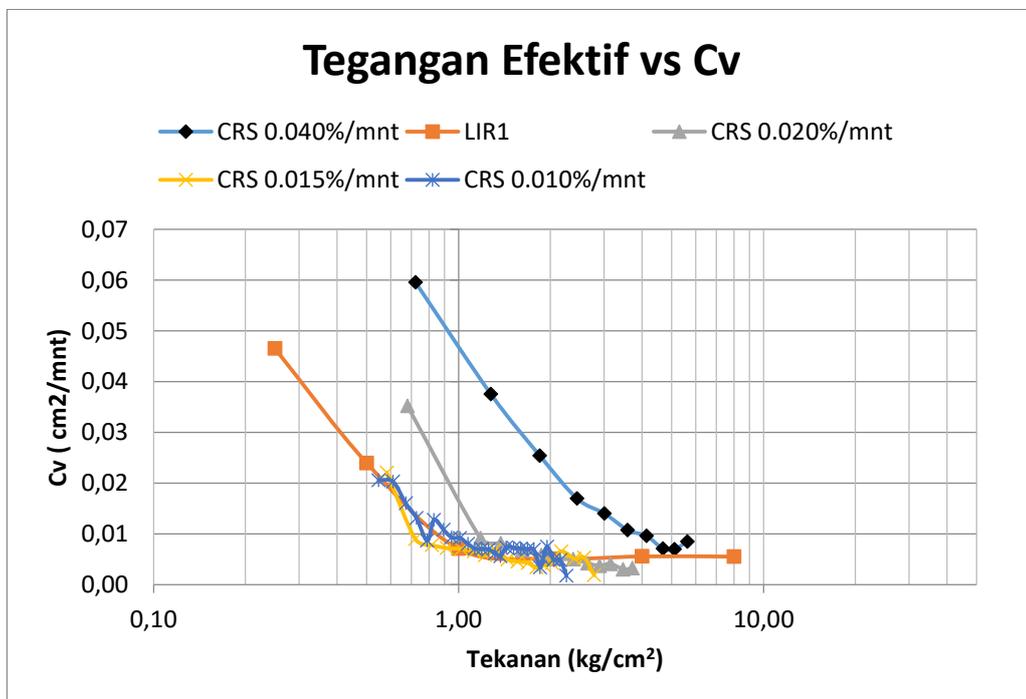
Grafik hubungan antara nilai C_v yang diperoleh dari uji konsolidasi konvensional dan uji konsolidasi CRS ditunjukkan oleh Gambar 4.19 sampai dengan Gambar 4.21. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa untuk ketiga benda uji, grafik C_v vs tegangan efektif yang didapatkan dari uji konsolidasi CRS sudah mendekati nilai C_v yang didapatkan dari uji konsolidasi metode konvensional. Hanya C_v hasil uji konsolidasi CRS dengan kecepatan regangan 0.04%/menit yang tidak mendekati nilai C_v dari hasil uji konsolidasi konvensional.



Gambar 4.26 Perbandingan nilai C_v hasil uji konsolidasi metode konvensional dengan uji konsolidasi metode CRS pada sampel kaolinite 100% ($LL = 41$)



Gambar 4.27 Perbandingan nilai Cv hasil uji konsolidasi konvensional dengan Uji konsolidasi metode CRS pada sampel kaolinite 50% - clay 50% (LL = 66)



Gambar 4.28 Perbandingan nilai Cv hasil uji konsolidasi konvensional dengan uji konsolidasi metode CRS pada sampel clay 100% (LL = 116)

4.6 Persamaan Empiris Pemilihan Kecepatan Regangan Berdasarkan Nilai Plastisitas

Berdasarkan nilai SRE pada subbab 4.4, nilai kecepatan regangan yang sesuai untuk setiap benda uji ditunjukkan oleh Tabel 4.6. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa uji konsolidasi metode CRS dengan benda uji dengan nilai batas cair 41%, 66%, 115% secara berturut – turut akan mendapatkan hasil parameter yang sesuai dengan hasil uji konsolidasi konvensional apabila menggunakan kecepatan regangan masing - masing 0.020%/menit, 0.015%/menit, dan 0.010%/menit.

Dari hasil pada Tabel 4.4 dikembangkan suatu persamaan empiris antara nilai batas cair dan kecepatan regangan yang digunakan dalam uji konsolidasi CRS agar didapatkan nilai parameter konsolidasi yang akurat. Korelasi empiris antara nilai kecepatan regangan dan nilai batas cair dihitung dengan regresi linier dan regresi logaritmik. Grafik dari persamaan empiris tersebut ditampilkan di dalam Gambar 4.22.

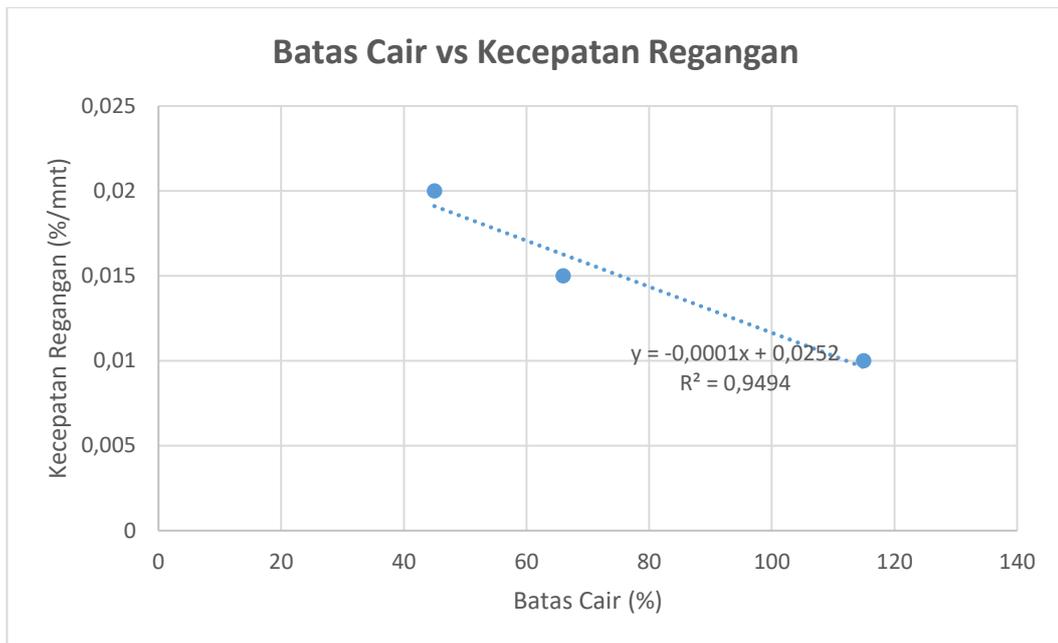
Tabel 4.7 Nilai Kecepatan Regangan yang Sesuai untuk Digunakan pada Uji Konsolidasi Metode CRS

Batas Cair (%)	Kecepatan Regangan (%/mnt)
41	0.020
66	0.015
116	0.010

Nilai dari batas cair mempunyai korelasi yang bagus dengan nilai kecepatan regangan baik linier maupun logaritmik dengan nilai R, masing – masing adalah 0.9494 dan 0.9889. Nilai R mendekati 1.0 menunjukkan korelasi yang kuat antara kedua parameter. Untuk mempermudah penggunaan perumusan empiris ini, maka digunakan perumusan dari regresi linier dengan persamaan:

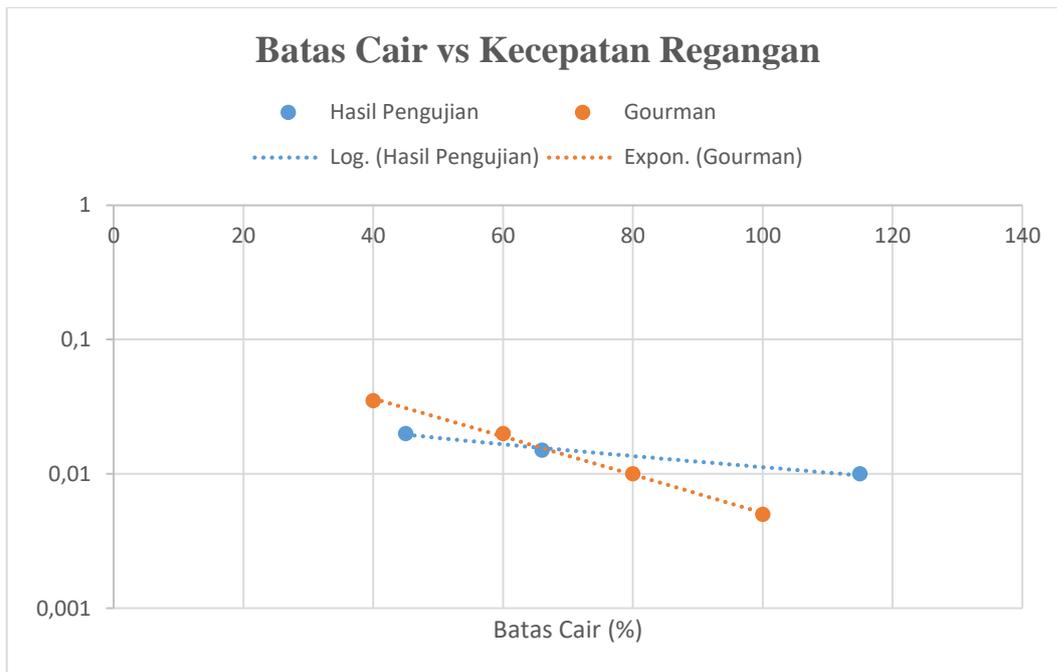
$$\text{Kecepatan Regangan } (r) = -0.0001 LL + 0.025$$

dengan nilai batas cair (LL) dalam % dan kecepatan regangan (r) dalam %/menit.



Gambar 4.29 Grafik Hubungan Antara Batas Cair dan Kecepatan Regangan yang Digunakan pada Uji Konsolidasi Metode CRS

Gourman (1981) telah memberikan kriteria pemilihan kecepatan regangan berdasarkan nilai batas cair (LL) tanah. Gambar 4.23 menunjukkan perbandingan antara kriteria pemilihan kecepatan regangan oleh Gourman (1981) dan kriteria pemilihan kecepatan regangan yang didapat dalam penelitian ini. Terdapat kemiripan hasil pengujian dengan hasil pengujian oleh Gourman (1981) apabila tanah merupakan tanah dengan plastisitas medium. Terjadi perbedaan pada tanah dengan plastisitas rendah, dimana pada penelitian ini digunakan kecepatan regangan yang lebih rendah untuk tanah dengan plastisitas rendah. Untuk tanah dengan plastisitas tinggi, hasil penelitian ini menggunakan kecepatan regangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian oleh Gourman (1981). Deviasi (R) rata – rata antara hasil pengujian dengan hasil oleh Gourman (1981) adalah 23%. Perbedaan hasil yang didapatkan dapat diakibatkan oleh perbedaan jenis tanah yang diuji serta perbedaan pengambilan data pada proses pengujian konsolidasi metode CRS.



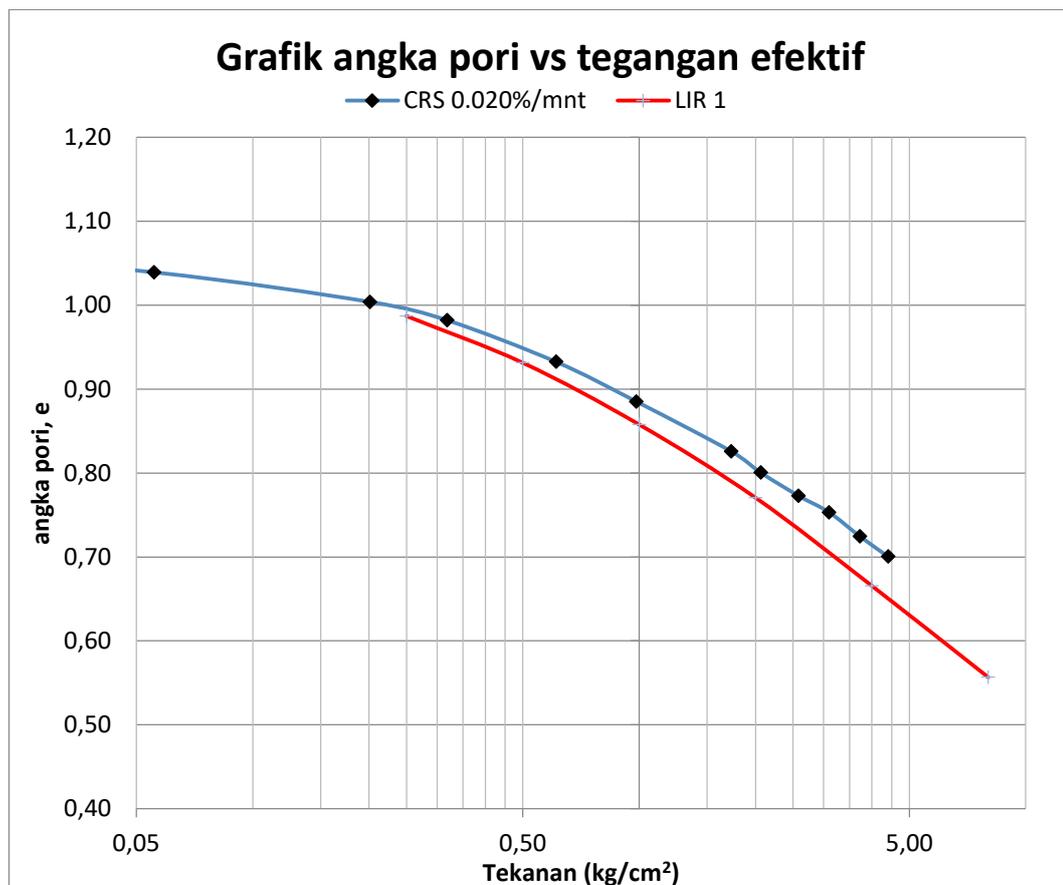
Gambar 4.30 Perbandingan Hasil Korelasi antara Batas Cair dan Kecepatan Regangan yang Dihasilkan Pengujian dengan Hasil Penelitian Gourman (1981)

Untuk menguji validitas dari perumusan yang telah didapatkan dalam penelitian ini, dilakukan analisis uji konsolidasi metode konvensional dan metode CRS dengan menggunakan tanah *undisturbed* yang tersedia di laboratorium mekanika tanah ITS. Kecepatan regangan yang digunakan dalam uji konsolidasi metode CRS dipilih berdasarkan perumusan yang telah didapatkan dari penelitian ini. Hasil dari pengujian sifat fisik dari tanah *undisturbed* ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil pengujian sifat fisik dari benda uji *undisturbed*

Sifat Fisik Benda Uji Undisturbed	
Liquid Limit (LL)	34%
Plastic Limit (IP)	11%
Angka Pori Awal (e_0)	1.116
Kadar Air (w_c)	43.74%
Berat Volume Tanah (γ)	1.768 gr/cm ³
Spesifik Graviti (Gs)	2.59

Berdasarkan perumusan yang telah didapatkan dalam penelitian ini, kecepatan regangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0.0216%/menit atau dapat dibulatkan menjadi 0.020%/menit. Hasil uji konsolidasi tanah *undisturbed* ditunjukkan oleh Gambar 4.31 dan Tabel 4.9. Dari kurva tersebut, didapatkan bahwa hasil konsolidasi metode metode CRS sudah sesuai dengan hasil konsolidasi yang dihasilkan dari hasil uji konsolidasi metode konvensional.



Gambar 4.31 Perbandingan hasil kurva angka pori vs tegangan efektif hasil uji konsolidasi konvensional dengan uji konsolidasi metode CRS pada sampel tanah *undisturbed*

Tabel 4.9 Hasil uji konsolidasi metode konvensional dan CRS pada tanah *undisturbed*

Batas Cair (%)	Kecepatan Regangan (%/mnt)	Cc	σ_c	SRE	U_b/σ_v maks (%)
34	0.020	0.331	0.58	1.038	6%
	konvensional	0.355	0.60	-	-

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan:

1. Modifikasi yang dilakukan untuk uji konsolidasi metode *Constant Rate of Strain* (CRS) adalah menggunakan alat *loading frame* uji triaxial yang dimodifikasi sedemikian rupa sehingga dapat berfungsi untuk memberikan dan mengukur beban yang diberikan serta mengukur regangan yang terjadi. Tabung CRS ini telah dibuat sedemikian rupa untuk memenuhi kondisi yang telah ditetapkan untuk uji konsolidasi metode CRS. Tanah uji di dalam tabung CRS dapat diberikan beban dari atas dan regangan arah axial dikekang ($\epsilon=0$). Aliran air yang diijinkan hanya dapat mengalir pada bagian atas dari sampel saja dan tegangan air pori yang terjadi pada bagian bawah sampel dapat diukur secara manual ataupun dengan menggunakan *pore pressure transducer*
2. Nilai plastisitas mempengaruhi nilai parameter konsolidasi yang dihasilkan dalam uji konsolidasi. Semakin meningkatnya nilai plastisitas (LL dan IP) akan menghasilkan peningkatan nilai pada nilai p_c , C_c dan C_s . Nilai C_v akan menurun dengan semakin meningkatnya nilai plastisitas tanah (LL dan IP)
3. Kecepatan regangan yang digunakan pada uji konsolidasi CRS mempengaruhi nilai tegangan prakonsolidasi (p_c) dan koefisien konsolidasi (C_v). Semakin besar nilai kecepatan regangan maka nilai p_c dan C_v akan semakin besar. Kecepatan regangan tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap nilai indeks kompresi (C_c)
4. Semakin kecil nilai kecepatan regangan pada uji konsolidasi metode CRS, maka nilai SRE (Strain Rate Effect) akan semakin kecil. SRE adalah rasio parameter konsolidasi hasil uji konsolidasi CRS dengan hasil uji konsolidasi metode konvensional.

5. Persamaan empiris yang dihasilkan dari penelitian ini untuk pemilihan kecepatan regangan pada uji konsolidasi metode CRS yang menghasilkan parameter yang bersesuaian dengan hasil uji konsolidasi konvensional adalah sebagai berikut:

$$\text{Kecepatan Regangan } (r) = -0.0001 LL + 0.025$$

Dengan r dalam %/menit

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah:

1. Dalam studi ini digunakan kecepatan regangan antara 0.040%/menit sampai dengan 0.010%/menit. Uji CRS dengan kecepatan regangan kurang dari 0.010%/menit perlu dilakukan untuk mengetahui lebih lanjut mengenai pengaruh kecepatan regangan terhadap nilai parameter konsolidasi yang dihasilkan.

DAFTAR ACUAN

- Adams A.L. (2011), *Laboratory Evaluation of the Constant Rate of Strain and Constant Head Techniques for Measurement of the Hydraulic Conductivity of Fine Grained Soils*, Thesis Magister, Massachusetts Institute of Technology, USA
- American Society for Testing and Material (1996), *Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils D2435*, USA
- Budhu Muni (2000), *Soil Mechanics and Foundation*, 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Craig, R.F. dan Susilo, Budi (1991), *Mekanika Tanah*, Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M. (1993), *Principle of Geotechnical Engineering*, 5th edition, Canada.
- Feng T. (2010), "Some Observation on the Oedometric Consolidation Strain Rate Behaviors of Saturated Clay", *Journal of GeoEngineering*, Vol 5, No 1, hal. 1-7.
- Jia R. (2010), *Consolidation Behavior of Ariake Clay under Constant Rate of Strain*, Disertasi Doktor, Saga University, Jepang
- Mazzeri D.P. (2008), *Normalized Mechanical Properties of Resedimented Gulf of Mexico Clay from Integrated Ocean Drilling Program Expedition Leg 308*, Thesis Magister, Massachusetts Institute of Technology, USA
- Mochtar, N.E dan Wardana, I.G.N (1998), "Korelasi Kecepatan Regangan dan Kadungan Bahan Organik pada Uji Konsolidasi dengan Metode Constant Rate of Strain", *Media Teknik* No.4 Edisi Nopember 1998.
- Mochtar, I.B., Khoiri, M., dan Lastiasih Y. (2012), *Petunjuk Pengujian Tanah di Laboratorium dan Pratikum Mekanika Tanah*, ITS Press, Surabaya.
- Ridwan M. (2002), *Pengaruh Strain Rate Batas Cair dan Kadar Air Tanah Lempung Terhadap Parameter Konsolidasi pada Tes Konsolidasi Metoda Constant Rate of Strain*, Thesis Magister, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

LAMPIRAN 1

Hasil uji Batas Atterberg, Volumetri dan Gravimetri

Kaolinite 100%

A. SPESIFIC GRAVITY							
No.	Uraian		Unit	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata2
1	No. picnometer			18	28	47	
2	Berat picnometer kosong W_p		gr	88.454	84.271	78.601	
3	Berat picno + tanah kering $W1$		gr	106.878	98.162	94.096	
4	Berat tanah kering $W4$	(17)-(16)	gr	18.424	13.891	15.495	
5	Berat picno + air + tanah (setelah divacum) $W2$		gr	347.905	340.941	336.211	
6	Temperatur		°C	29	29	29	
7	Koreksi temperatur			0,9964	0,9964	0,9964	
8	Berat picno. + air suling $W3$		gr	336.81	323.367	327.21	
9	Berat picno. + air + tanah kering	(18)+(22)	gr	355.234	346.258	342.705	
10	Spesific gravity G_s	(18)/((23)-(19))		2,514	2,613	2,635	
11	Spesific gravity terkoreksi G_s	(24)*(20)		2,510	2.608	2,610	2,52

B. BATAS CAIR (LL) DAN BATAS PLASTIS (PL)								
No.	Uraian	Unit	LL					PL
			Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4		
1	No. cawan		58	162	217	172		148
2	Berat cawan	gr	39.14	38.15	44.64	48.53		49.71
3	Berat cawan + tanah basah	gr	71.93	69.11	77.49	90.49		57.08
4	Berat cawan + tanah kering	gr	62.49	59.89	67.07	76.45		55.97
5	Berat air	gr	9.44	9.22	10.42	14.04		1.11
6	Berat tanah kering	gr	23.35	21.74	22.43	27.92		6.26
7	Kadar air (wc)	%	40.428	42.410	46.456	50.287		17.732
8	Jumlah pukulan		54	41	24	15		

Nilai LL = 41, IP = 27

Kaolinite 50% + Clay 50%

A. SPESIFIC GRAVITY							
No.	Uraian		Unit	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata2
1	No. picnometer			30	23	11	
2	Berat picnometer kosong W_p		gr	78.412	87.7	82.545	
3	Berat picno + tanah kering $W1$		gr	119.511	125.174	115.358	
4	Berat tanah kering $W4$	(17)-(16)	gr	41.099	37.474	32.813	
5	Berat picno + air + tanah (setelah divacum) $W2$		gr	352.423	359.263	351.225	
6	Temperatur		°C	29	29	29	
7	Koreksi temperatur			0,9964	0,9964	0,9964	
8	Berat picno. + air suling $W3$		gr	326.718	336.247	331.067	
9	Berat picno. + air + tanah kering	(18)+(22)	gr	367.817	373.721	363.88	
10	Spesific gravity G_s	(18)/((23)-(19))		2.670	2.592	2.593	
11	Spesific gravity terkoreksi G_s	(24)*(20)		2.667	2.590	2.591	2.62

B. BATAS CAIR (LL) DAN BATAS PLASTIS (PL)							
No.	Uraian	Unit	LL				PL
			Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	
1	No. cawan		63	74	228	86	195
2	Berat cawan	gr	42.707	42,691	46.858	48.27	42.58
3	Berat cawan + tanah basah	gr	57.149	54,937	56.723	58.136	44.844
4	Berat cawan + tanah kering	gr	50.617	48,882	53.036	54.578	44.288
5	Berat air	gr	6.532	6,055	3.687	3.558	0.558
6	Berat tanah kering	gr	7.91	6,894	6.178	6.308	1.706
7	Kadar air (wc)	%	82.579	76.264	59.680	56.405	32.708
8	Jumlah pukulan		15	20	30	35	

Nilai LL = 66, IP = 34

Clay 100%

A. SPESIFIC GRAVITY							
No.	Uraian		Unit	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata2
1	No. picnometer			20	83	100	
2	Berat picnometer kosong	W_p	gr	87.806	89.624	89.942	
3	Berat picno + tanah kering	W_1	gr	93.477	98.397	97.556	
4	Berat tanah kering	W_4	(17)-(16)	gr	5.671	8.773	7.614
5	Berat picno + air + tanah (setelah divacum)	W_2	gr	352,423	343.604	342.906	
6	Temperatur		°C	29	29	29	
7	Koreksi temperatur			0,9964	0.9964	0,9964	
8	Berat picno. + air suling	W_3	gr	335.408	337.928	338.205	
9	Berat picno. + air + tanah kering		(18)+(22)	gr	341.079	346.701	345.819
10	Spesific gravity	G_s	(18)/((23)-(19))		2.715	2.833	2.614
11	Spesific gravity terkoreksi	G_s	(24)*(20)		2,705	2.823	2,804

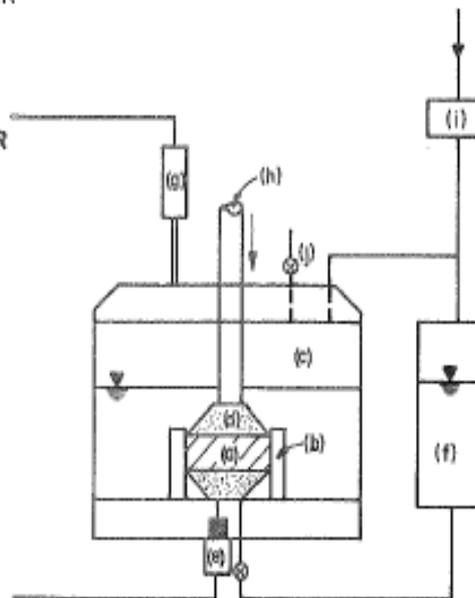
B. BATAS CAIR (LL) DAN BATAS PLASTIS (PL)							
No.	Uraian	Unit	LL				PL
			Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	
1	No. cawan		27	46	195	169	221
2	Berat cawan	gr	42.8	51.08	42.57	46.22	42.88
3	Berat cawan + tanah basah	gr	59.73	76.54	64.189	65.06	53.6
4	Berat cawan + tanah kering	gr	50.34	62.83	53.14	54.94	49.83
5	Berat air	gr	9.39	13.71	11.049	10.12	3.77
6	Berat tanah kering	gr	7.54	11.75	10.57	9.12	6.95
7	Kadar air (wc)	%	124.536	116.681	104.532	101.321	54.245
8	Jumlah pukulan		19	27	38	42	

Nilai LL = 116, IP = 61

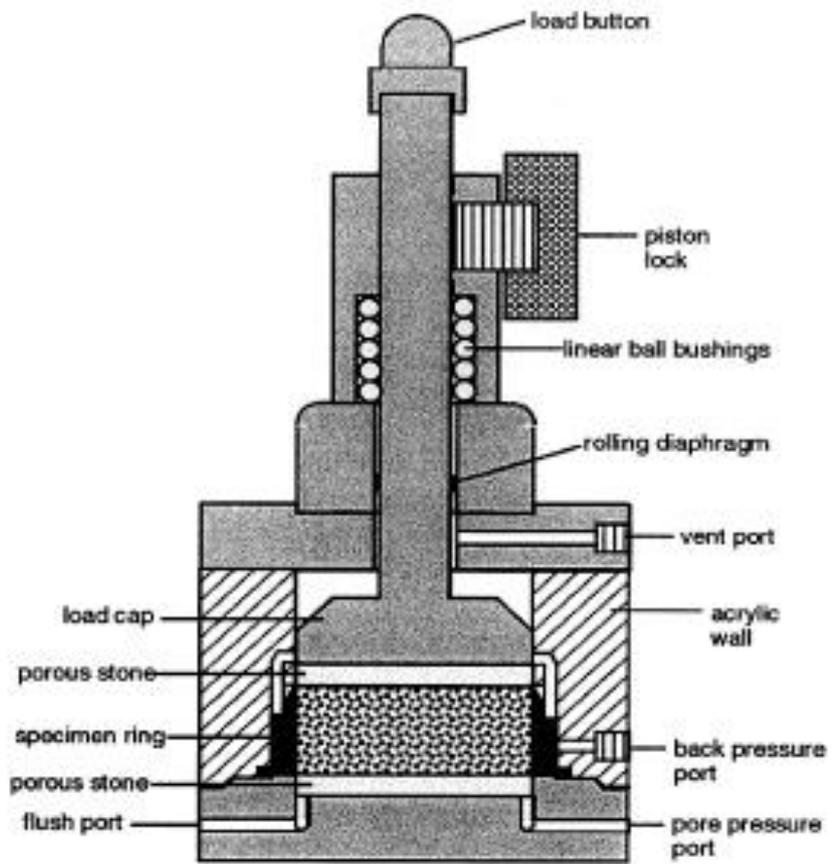
LAMPIRAN 2

Skema dan Langkah - langkah pengujain konsolidasi metode CRS

- (a) SPECIMEN
- (b) CONSOLIDATION RING
- (c) CHAMBER
- (d) POROUS STONE
- (e) PORE PRESSURE TRANSDUCER
- (f) RESERVOIR
- (g) DISPLACEMENT TRANSDUCER
- (h) LOADING RAM
- (i) BACK PRESSURE REGULATOR
- (j) AIR VENT



Gambar. Skema Pengujain CRS (Gourman, 1971)



Gambar. Skema Tabung CRS Trautwein (Rui Jia, 2010)

Adapun langkah–langkah melakukan uji konsolidasi metode CRS adalah sebagai berikut:

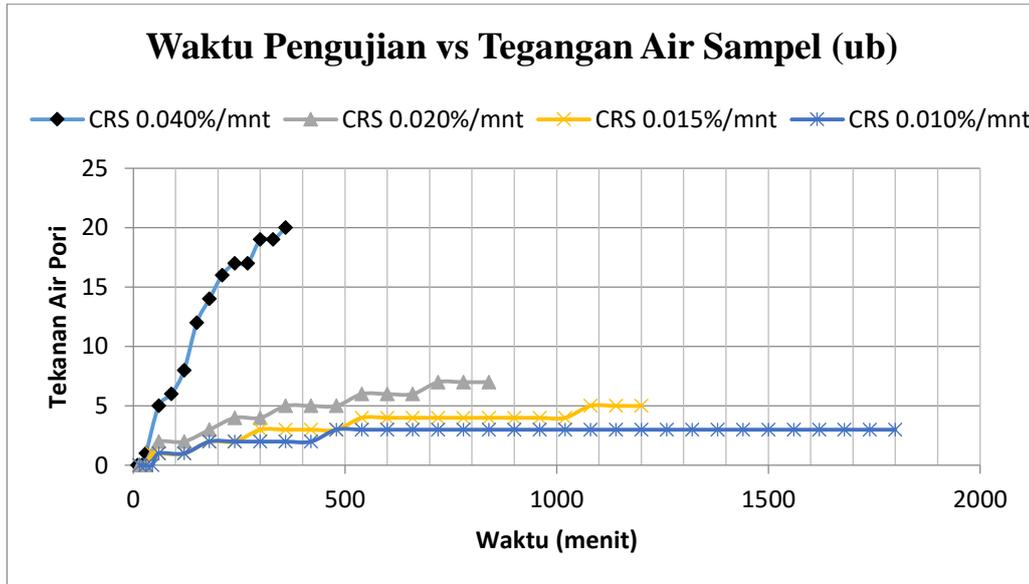
1. Membersihkan dan memberikan pelumas pada bagian dalam dari ring CRS dengan menggunakan sedikit oli. Menimbang berat ring CRS dan kertas filter. Memotong contoh tanah dan mengukur kadar air dari contoh tanah dari sisa pemotongan. Secara perlahan dan hati–hati, contoh tanah dimasukkan ke dalam ring CRS dan memotong sisa contoh tanah sehingga tinggi contoh tanah dan ring CRS sama. Dimensi akhir dari contoh tanah adalah berukuran tinggi 1.9 cm dan diameter 6 cm. Ketika ring sudah penuh berisi tanah, secara hati–hati contoh tanah dikeluarkan dari ring dari *trimming device* dan meratakan tanah yang berlebih di kedua sisi ring. Perataan dapat menggunakan pisau tajam atau kawat. Mencatat berat dari contoh tanah dan *trimming ring*. Meletakkan kertas filter pada kedua sisi contoh tanah.
2. Mempersiapkan perangkat uji dengan mengalirkan air ke dalam selang–selang yang gunanya untuk memastikan bahwa tidak ada udara yang terperangkap di dalam selang. Meletakkan batu porus di bagian bawah dari alat. Meletakkan contoh tanah dan ring diatas batu porus dan meletakkan batu porus lainnya diatas contoh tanah. Mengikat sisi luar dari dasar ring menggunakan karet berbentuk “O”. Hal ini dilakukan guna mencegah kebocoran pada ring pada saat pengujian dilakukan. Meletakkan bagian atas dari alat CRS dan mengencangkan dengan menggunakan sekrup. Menurunkan piston secara perlahan sampai piston menyentuh batu porus bagian atas.
3. Mencatat nilai beban pada *load cell* di nilai nol atau reset nilai beban ke nilai nol dan masukan *load cell* ke dalam frame pembebanan. Buka keran *pore pressure* pada bagian bawah yang menghubungkan batu porus bagian bawah dengan *volume cell*. Pastikan penyumbat pada cell terbuka, mengakibatkan udara bebas masuk dan keluar *cell*. Meluruskan piston dan menaikkan beban secara manual, dan mengukur dengan menggunakan voltmeter. Beban yang diberikan agar tidak terdapat celah antara batu porus dan contoh tanah (*seating pressure*). Mengukur dissipasi dari beban dengan waktu dan juga perubahan

pada LVDT dengan waktu. Pada saat beban dan LVDT stabil untuk periode tertentu, keadaan ini menandakan sudah tidak ada gap antara contoh tanah dan batu porous. Gunakan *seating load* yang kecil (1 sampai 2 kg)

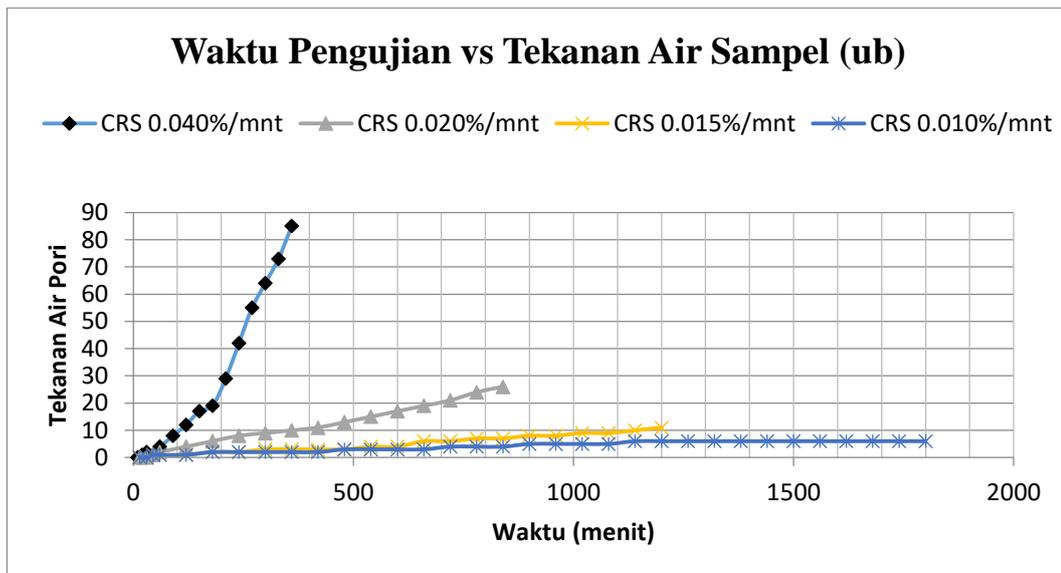
4. Membuka keran yang menghubungkan batu porous bagian atas dan *reservoir cell* yang berisi air. Memberikan *back pressure* untuk menjenuhkan contoh tanah. Setelah proses *back pressure* diberikan, mereset *pressure transducer* pada bagian bawah, dan menutup keran yang menghubungkan batu porous bagian bawah dan *reservoir cell*. Memberikan beban dengan kecepatan regangan tertentu yang diinginkan, hal ini memerlukan spesifikasi dari kecepatan regangan yang diinginkan, total stress maksimal alat dan total regangan yang diijinkan. *Load cell* di dalam penelitian ini mempunyai kapasitas maksimal yaitu 300kg; tegangan aksial total pada contoh tanah adalah 2800 kPa. Pengujian yang dilakukan untuk penelitian ini menggunakan gaya maksimal aksial sebesar 2400 kPa.
5. Mencatat nilai pemampatan benda uji (Δh), tegangan aksial yang diberikan (σ), tegangan air yang terjadi di bawah bagian bawah benda uji (u_b), waktu pembacaan (t) yang dilakukan setiap 10 menit untuk 1 jam pertama, 15 menit untuk 1 jam berikutnya dan 60 menit untuk interval selanjutnya.
6. Mengeluarkan dengan cepat contoh tanah dari alat CRS dengan melepaskan cell pressure dan beban apabila telah tercapai regangan yang diinginkan. Menekan contoh tanah, batu porous dan kertas filter keluar dari ring secara perlahan. Mengukur tinggi dari contoh tanah dan masukkan ke dalam oven untuk dikeringkan selama 24 jam untuk pengujian kadar air.

LAMPIRAN 3

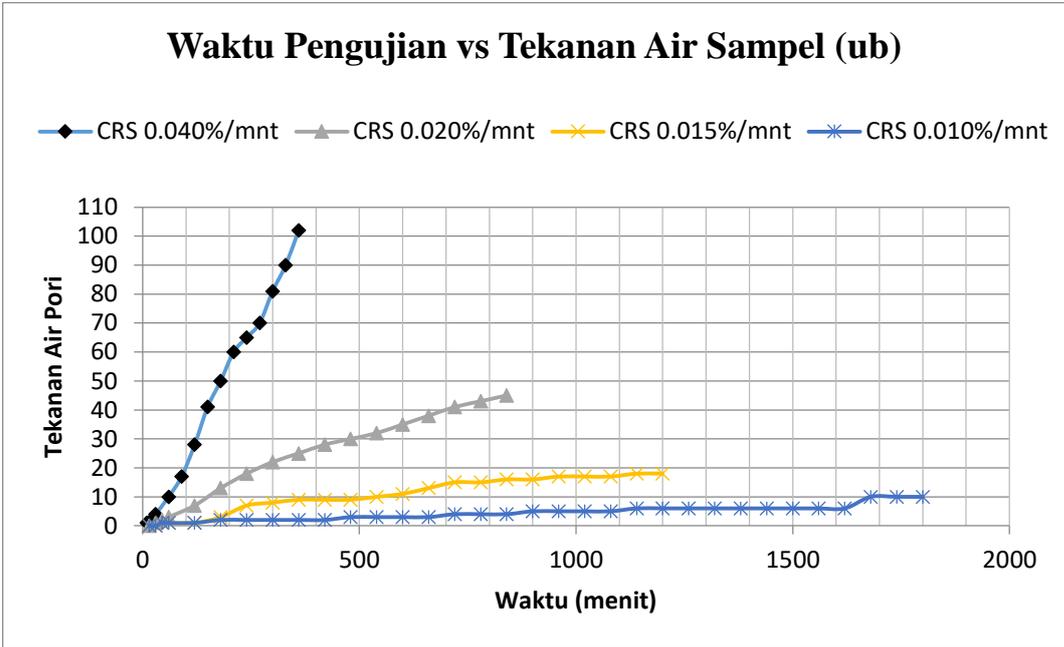
Perhitungan Uji Konsolidasi Metode CRS



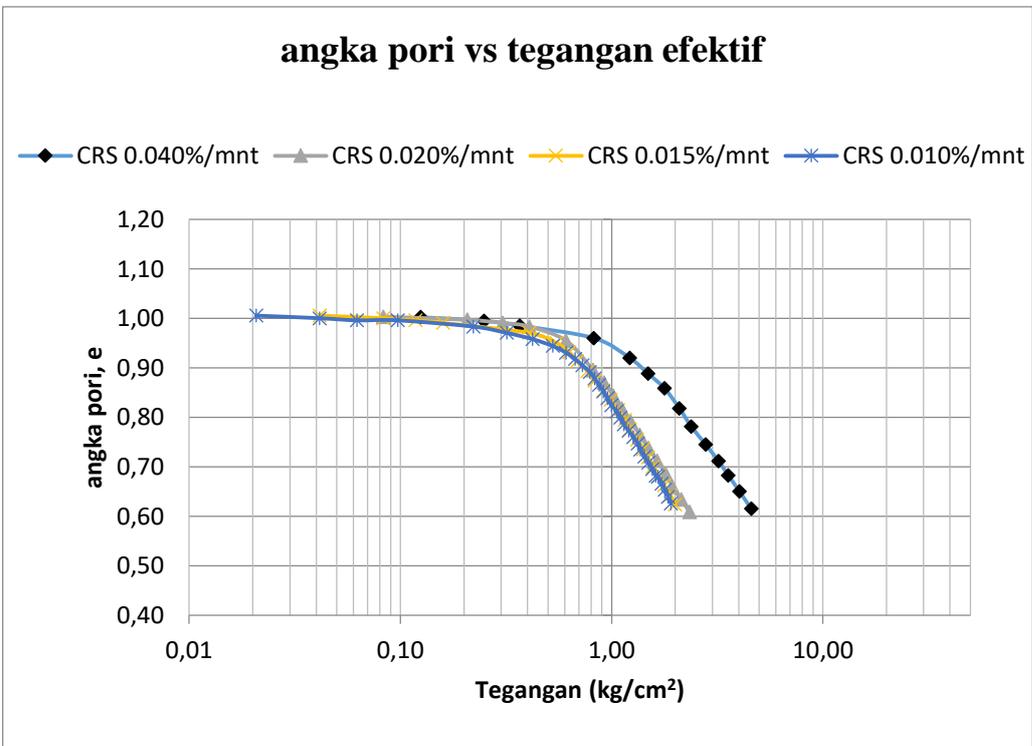
Grafik hubungan waktu pengujian dengan tegangan air pori (U_b) pada bagian bawah sampel untuk benda uji kaolinite 100% ($LL = 41$) pada uji konsolidasi metode CRS



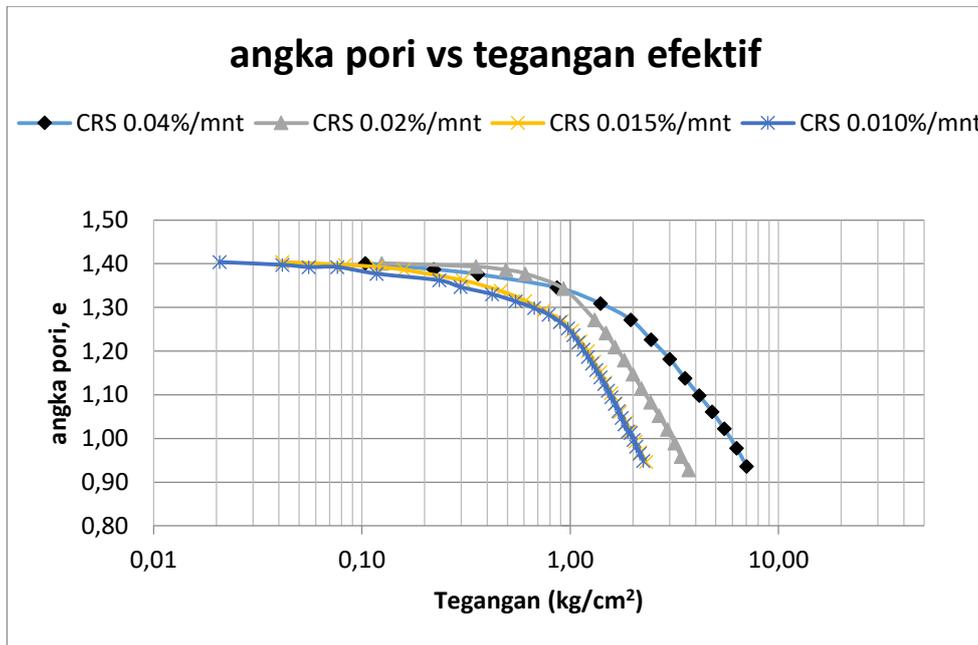
Grafik hubungan waktu pengujian dengan tegangan air pori (U_b) pada bagian bawah sampel untuk benda uji kaolinite 50%-clay 50% ($LL = 66$) pada uji konsolidasi metode CRS



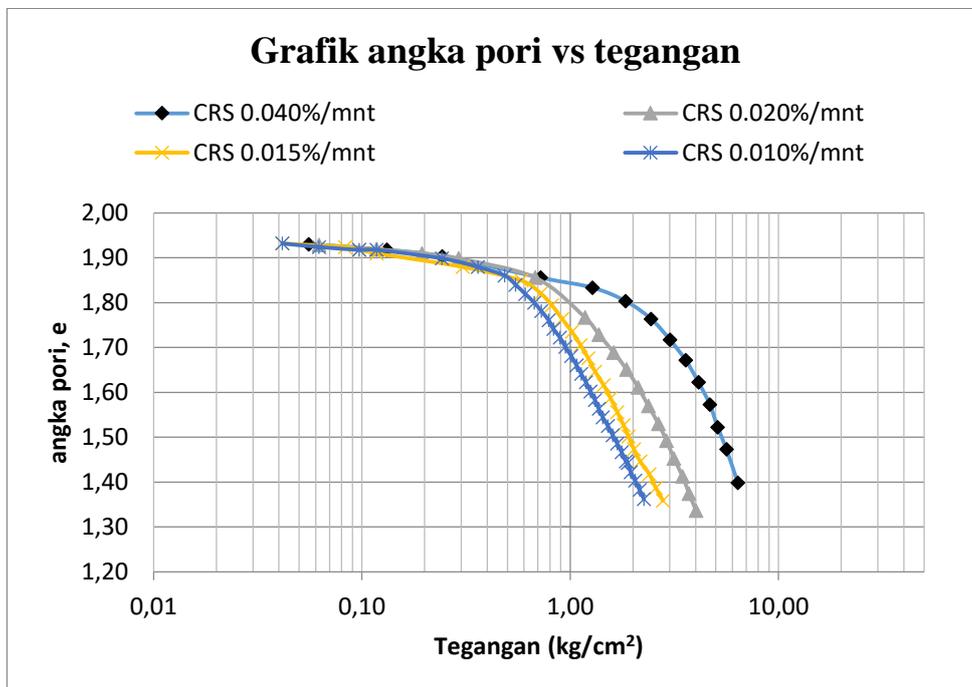
Grafik hubungan waktu pengujian dengan tegangan air pori (U_b) pada bagian bawah sampel untuk benda uji clay 100% ($LL = 116$) pada uji konsolidasi metode CRS



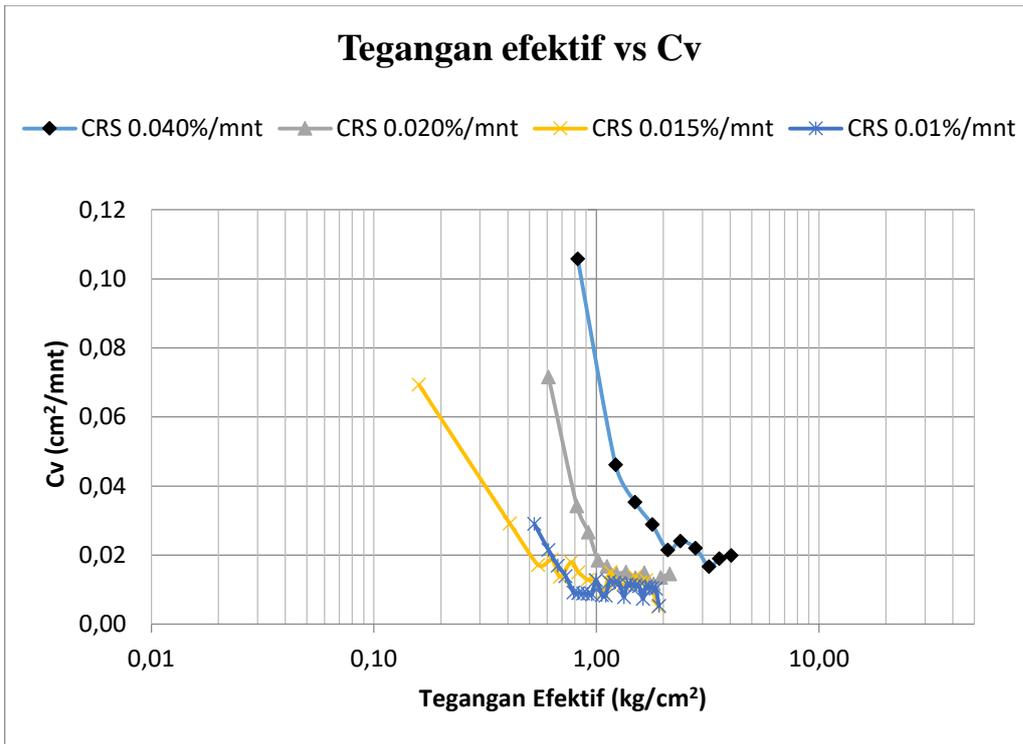
Kurva tegangan regangan sampel kaolinite 100% ($LL=41$) dengan variasi kecepatan regangan



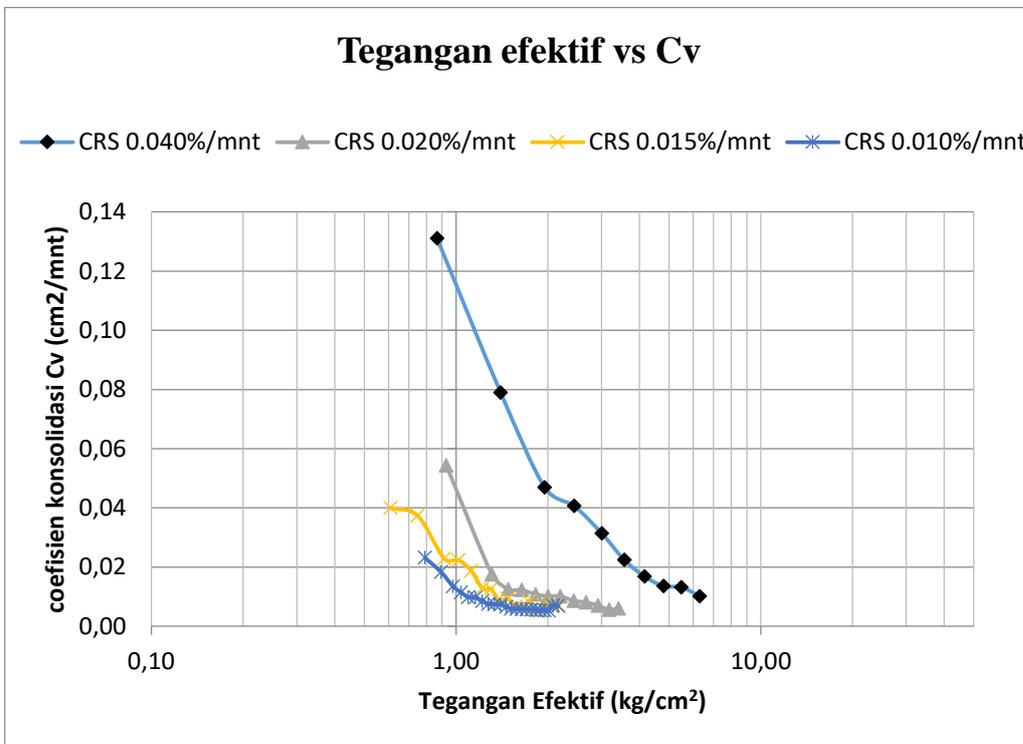
Kurva tegangan regangan sampel kaolinite 50%-clay 50% (LL= 66) dengan variasi kecepatan regangan



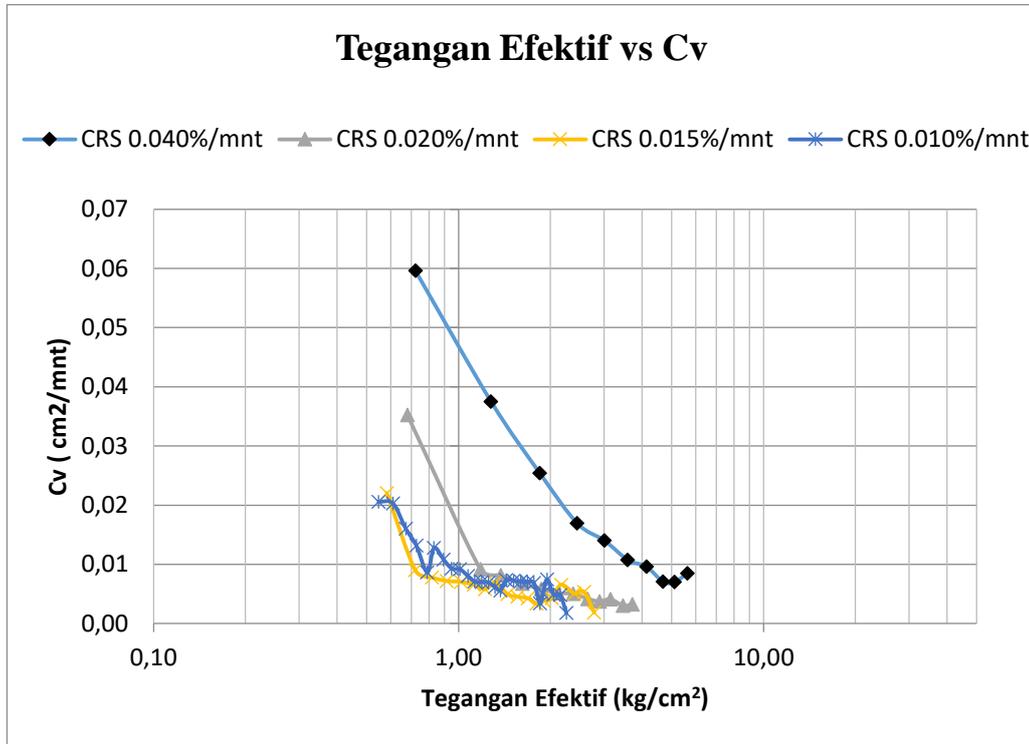
Kurva tegangan regangan sampel clay 100% (LL=116) dengan variasi kecepatan regangan



Pengaruh kecepatan regangan terhadap nilai Cv pada uji konsolidasi metode CRS pada sampel kaolinite 100% (LL = 41)



Pengaruh kecepatan regangan terhadap nilai Cv pada uji konsolidasi metode CRS pada sampel kalonite 50%-clay 50% (LL = 66)



Pengaruh kecepatan regangan terhadap nilai Cv pada uji konsolidasi metode CRS pada sampel clay 100% (LL = 116)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap I Made Wahyu Pramana, dilahirkan di Badung pada tanggal 13 November 1993, merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Ir. I Wayan Arya, M.T. dan dr. Ni Ketut Rumiadikari.

Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Pradnyandari 1, Kerobokan, Badung dan lulus pada tahun 1999, SD Cipta Dharma, Denpasar dan lulus pada tahun 2005, SMPN 3 Denpasar dan lulus pada tahun 2008, serta SMAN 4 Denpasar dan lulus pada tahun 2011. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan Sarjana jurusan Teknik Sipil Universitas Udayana dan lulus tahun 2015 dan melanjutkan pendidikan Pascasarjana jurusan Teknik Sipil ITS bidang studi geoteknik.