



TUGAS AKHIR (RC18-4803)

**ANALISA SUDUT-GESER-DALAM TANAH BERBUTIR
HALUS (*COHESIVE SOIL*) BERDASARKAN
PENDEKTANAN *CRACKED SOIL***

**DANIEL ADRIAN
NRP. 031115400089**

**Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.**

**Dosen Pembimbing II
Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**



TUGAS AKHIR (RC18-4803)

**ANALISA SUDUT-GESER-DALAM TANAH BERBUTIR
HALUS (*COHESIVE SOIL*) BERDASARKAN
PENDEKTANAN *CRACKED SOIL***

DANIEL ADRIAN
NRP. 031154000089

Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing II
Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



FINAL PROJECT (RC18-4803)

**ANALYSIS OF FRICTION ANGLE FOR FINE GRAINED
SOIL (COHESIVE SOIL) ACCORDING TO CRACKED
SOIL APPROACH**

DANIEL ADRIAN
NRP. 0311154000089

Academic Supervisor I
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc. Ph.D

Academic Supervisor II
Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering, Environment, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

**ANALISA SUDUT-GESER-DALAM TANAH BERBUTIR
HALUS (*COHESIVE SOIL*) BERDASARKAN
PENDEKATAN *CRACKED SOIL***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Reguler Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DANIEL ADRIAN
NRP. 03111540000089

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Prof. Ir. Indrasurya B. M. Sc. Ph.D.

Indrasurya B. M. Sc. Ph.D.
(Pembimbing I)

2. Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc., Ph.D.

Noor Endah
(Pembimbing II)

**SURABAYA,
JULI 2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISA SUDUT-GESER-DALAM TANAH BERBUTIR
HALUS (*COHESIVE SOIL*) BERDASARKAN
PENDEKATAN *CRACKED SOIL***

Nama Mahasiswa : Daniel Adrian
NRP : 0311154000089
Departemen : Teknik Sipil – FTSLK, ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.
Prof. Noor Endah, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Penelitian mengenai cracked soil yang telah dilakukan Hutagamissufardal & Mochtar, 2018 adalah memodifikasi alat uji geser yaitu, alat uji geser bisa digunakan untuk mengetahui nilai kohesi dan sudut geser internal tanah pada kondisi tanah retak (cracked soil). Namun, penelitian yang telah dilakukan tidak mempertimbangkan nilai liquid limit dan void ratio dari sampel tanah lempung yang diujikan. Seperti yang diketahui bahwa, nilai kohesi tanah dan sudut geser tanah merupakan fungsi dari jenis tanah dan kepadatan. Jenis tanah dapat diketahui dari plasticity index (PI), plasticity limit (PL), atau liquid limit (LL), sedangkan kepadatan tanah dapat diketahui dari berat jenis tanah (γ) dan void ratio sehingga dibutuhkannya korelasi antara parameter liquid limit dan void ratio dengan nilai sudut geser internal tanah. Selain itu, teori serta pengujian untuk tanah pada kondisi cracked soil masih minim/butuh dikembangkan sehingga dibutuhkan studi lebih lanjut mengenai cracked soil.

Material yang dipakai dalam pengujian adalah tanah lempung dari daerah Surabaya, Bojonegoro, pasir halus, dan kaolinite; material dicampurkan untuk mendapatkan beberapa nilai untuk liquid limit atau plasticity index. Dalam mempersiapkan benda uji, material yang sudah dikumpulkan

dicampurkan dalam keadaan slurry dan diberi beban 1-tahap sesuai konsistensi tanah yang ingin dicapai. Benda uji yang sudah selesai dibebani kemudian diuji dengan tekanan air 0.0 kg/cm², 0.5 kg/cm², dan 1.0 kg/cm² dengan alat uji direct shear sesuai standard ASTM D 6528 dan direct shear modifikasi.

Dari hasil pengujian didapatkan rumusan empiris antara plasticity index dan void ratio dengan nilai sudut geser tanah pada kondisi cracked serta didapatkan korelasi sudut geser tanah pada kondisi cracked tanah adalah sebagai berikut: $\phi = -0.144LL - 20.456e + 50.463$ dan didapatkan korelasi nilai kohesi tanah sebagai berikut: $Cu = -0.179e + 0.4199$

Kata Kunci: Cracked Soil, Liquid Limit, Sudut Geser Tanah, Void Ratio

ANALYSIS OF FRICTION ANGLE FOR FINE GRAINED SOIL (COHESIVE SOIL) ACCORDING TO CRACKED SOIL APPROACH

Student Name : Daniel Adrian
NRP : 0311154000089
Department : Civil Engineering FTSLK-ITS
Academic Supervisor : Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.
Prof. Noor Endah, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Research on cracked soil that Hutagamissufardal & Mochtar, 2018 did were to modify direct shear machine, thus direct shear machine was able to test the spciemen under cracked condition. However, the research didn't consider the liquid limit and void ratio from clay specimens. As is known that the value cohesion and friction angle are the function of soil type and density, therefore the soil type can be determined by the soil value of plasticity index (PI), plasticity limit (PL), or liquid limit (LL). And the soil consistency can be determined by the value soil density and the value of the void ratio, thus the correlation between the liquid limit or plasticity index and void ratio parameter are needed to estimate the friction angle in cracked condition. In addition, further studies are required for soil under cracked condition.

The Material used in this study was clay from Surabaya and Bojonegoro area, fine sand, and kaolinite; they were mixed to obtain various soil liquid limit or plasticity value (from low plasticity to high plasticity). In order to prepare the soil specimens; the materials were mixed in slurry condition and loaded with 1-step loading according to soil consistency value. Specimens that have been finished loaded are tested using water pressure variations of 0.0 kg/cm^2 , 0.5 kg/cm^2 , and 1.0 kg/cm^2 with

a direct shear machine which refers to ASTM D 6528 and modified direct shear machine.

The test results showed that an empirical correlation between the plasticity index and void ratio with friction angle value under the cracked condition with a friction angle under the cracked condition that obtained from this study are: $\phi = -0.144LL - 20.456e + 50.463$ and $Cu = -0.179e + 0.4199$

Key Word: Cracked Soil, Friction Angle, Liquid Limit, Void Ratio

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kasih setia-Mu Tuhan Yesus, penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Penelitian ini merupakan “Analisa Sudut-Geser-Dalam Tanah Berbutir Halus (*Cohesive Soil*) Berdasarkan Pendekatan *Cracked Soil*” yang dimana merupakan analisa pada tanah kohesif untuk mendapatkan perkiraan nilai sudut geser tanah. Selama proses penelitian ini, Engkau Tuhan menyadarkan dan mencelikkan mata dan pikiran ini, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik dan hasilnya dapat menjadi bahan pembelajaran serta bisa mendukung teori *crack soil*.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan apresiasi kepada semua pihak yang membantu dan memberikan bimbingan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Orang tua penulis, Ir. Agustinus Darmawan & Dewiyanis Sujatmo yang sudah dengan sabar membimbing anaknya dan selalu membawa nama anaknya dalam doa.
2. Bapak Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc. P.hD., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak masukan dan ilmu yang sangat bermanfaat, dan selalu sabar dalam membimbing. Beliau yang mengagas dasar pemikiran dari teori *crack soil* ini.
3. Ibu Prof. Ir. Noor Endah, M. Sc., P.hD. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak motivasi, perhatian, dan ajaran dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Tri Hanindy Rendy, ST.MT yang sudah membantu dalam pengambilan material di kawasan Bojonegoro
5. Amanda Permata I. R. selaku wanita yang selalu mendampingi, membantu menyelesaikan, serta

memberikan banyak doa dalam penyelesaian Tugas Akhir ini

6. Saudari Isabella Ruth dan Nailus Saadah yang sudah sangat banyak membantu di laboratorium serta menemani saat pengujian berlangsung
7. Bapak Osias, Umar, Endro, dan Nanang, laboran laboratorium mekanika tanah yang sudah banyak membantu proses pengujian
7. Daniel Kurniawan, Davin Atmaja Lookman, dan Felix Lualdi yang telah membantu serta menemani penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini
8. Steafen Kristian, Vidya Hana H., dan teman-teman CG lainnya yang sudah memberikan dukungan dan bantuan doa
9. Teman-teman Geoteknik Bersatu S58 yang sudah banyak memberikan dukungan dan jawaban atas permasalahan yang dihadapi
10. Orang-orang yang sudah membantu tanpa mengenal kata egois dan lelah, yang tidak bisa disebutkan satu-persatu

Penulis menyadari bahwa dalam proses pengujian dan penyusunan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun merupakan hal yang diharapkan dalam penyempurnaan penelitian ini. Semoga kedepannya Tugas Akhir ini dapat bermanfaat, baik bagi penulis, pembaca maupun bagi kemajuan penelitian khususnya dalam bidang geoteknik.

Surabaya, Juli 2019

Daniel Adrian

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan	5
1.4.1 Tujuan Utama	5
1.4.2 Tujuan Detail	5
1.5. Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Parameter Tanah	7
2.1.1 <i>Liquid Limit</i> (Batas Cair)	7
2.1.2 <i>Void Ratio</i> (Angka Pori)	8
2.1.3 Berat Volume (<i>Unit Weight</i>)	11
2.2 Pengujian <i>Initial</i> Tanah	12
2.2.1 <i>Atterberg Limit Test</i>	12
2.2.2 <i>Volumetric-Gravimetric Analysis</i>	16

2.3	Karakteristik Tanah Lempung	17
2.3.	Pembuatan <i>Slurry</i>	19
2.3.1	Pemberian Pembebanan	20
2.4	<i>Unconfined Compression Test</i>	21
2.5	<i>Direct Shear Test</i> (Uji Geser Langsung)	23
2.5.1	<i>Direct Shear Modification</i>	27
2.6	Teori <i>Cracked Soil</i>	30
BAB III	METODOLOGI	33
3.1.	Bagan Alir Rancang Penelitian	33
3.2	Studi Literatur	35
3.3	Pengujian <i>Sample</i> Tanah (<i>Initial</i>)	36
3.4	Pembuatan Benda Uji dengan Variasi Konsistensi	38
3.5	Pengujian Konsistensi Tanah dengan <i>Unconfined Compression Test</i>	38
3.6	Pengujian Tahanan Geser Tanah	39
3.6.1	Pengujian Tahanan Geser Tanah dengan <i>Direct Shear</i>	39
3.6.2	Pengujian Tahanan Geser Tanah dengan <i>Direct Shear Modification</i>	40
3.7.	Analisa Hasil	40
3.8.	Penjadwalan Penelitian	41
BAB IV	HASIL PENGUJIAN	43
4.1.	Pengambilan Sampel Tanah <i>Disturbed</i>	43
4.2.	Hasil Uji Tanah (<i>Initial</i>)	45
4.3	Penentuan Persentase Campuran Benda Uji dengan Konsistensi Bervariasi	46
4.4	Pembuatan <i>Sample Undisturbed</i> dari <i>Slurry</i>	48

4.4.1	Pembuatan <i>Slurry</i> untuk Liquid Limit $\pm 30\%$	49
4.4.2	Pembuatan <i>Slurry</i> untuk Liquid Limit $\pm 60\%$	51
4.4.3	Pembuatan <i>Slurry</i> untuk Liquid Limit $\pm 90\%$	52
4.4.4	Pembebanan <i>Slurry</i>	54
4.5	Penentuan Nilai Kohesi dari Sample <i>Undisturbed</i> dari <i>Slurry</i>	57
4.6	Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	62
4.7	Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i> Modifikasi	71
4.7.1	Hasil Pengujian dengan Tekanan Air 0.5 kg/cm ²	77
4.7.2	Hasil Pengujian dengan Tekanan Air 1.0 kg/cm ²	85
BAB V	ANALISA HASIL	95
5.1	Hal yang Memengaruhi Nilai Sudut Geser Internal Tanah (ϕ) dalam Keadaan Utuh & 100% <i>Cracked</i>	95
5.1.1	Pengaruh Nilai <i>Liquid Limit/Plasticity Index</i> terhadap Nilai Sudut Geser Tanah (ϕ)	99
5.1.2	Pengaruh Nilai <i>Void Ratio</i> terhadap Nilai Sudut Geser Tanah (ϕ)	102
5.2	Hal yang Memengaruhi Nilai Kohesi Tanah dalam Keadaan Utuh & 100% <i>Cracked</i>	106
5.2.1	Pengaruh Nilai Liquid Limit terhadap Nilai Kohesi	108
5.2.2	Pengaruh Nilai Void Ratio terhadap Nilai Kohesi	111
5.3	Hubungan antara Sudut Geser Tanah pada Kondisi Utuh dengan 100% <i>Cracked</i>	113

BAB VI PENUTUP	119
6.1 Kesimpulan	119
5.2 Saran	121
DAFTAR PUSTAKA	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Mekanisme Penjalaran Retakan	2
Gambar 2. 1	Batas-batas Atterberg	8
Gambar 2. 2	Pengujian Liquid Limit (LL): (a) alat uji batas cair; (b) alat untuk menggores; (c) contoh tanah sebelum diuji; (d) contoh tanah setelah diuji	13
Gambar 2. 3	Pengujian <i>Liquid Limit</i> dalam Mangkok Kuningan	14
Gambar 2. 4	Pengujian Plastic Limit	15
Gambar 2. 5	Pengujian Shrinkage Limit	15
Gambar 2. 6	Cara Pengujian untuk Mendapatkan Volume Sampel Tanah	16
Gambar 2. 7	Grafik USCS untuk Klasifikasi Tanah	18
Gambar 2. 8	Sketsa Alat Pembebanan (Tampak Depan)	19
Gambar 2. 9	Sketsa Alat Pembebanan (Tampak Atas)	20
Gambar 2. 10	Alat Uji <i>Unconfined Compression Test</i>	22
Gambar 2. 11	Garfik Kuat Tekan Versus <i>Axial Strain</i>	23
Gambar 2. 12	Pengaturan <i>Direct Shear Test</i>	24
Gambar 2. 13	Gambaran Pengujian <i>Direct Shear Test</i>	25
Gambar 2. 14	Grafik <i>Horizontal Disp.</i> Versus <i>Shear Stress</i>	26
Gambar 2. 15	Grafik <i>Normal/Axial Stress</i> Versus <i>Shear Stress</i>	27
Gambar 2. 16	Alat <i>Direct Shear</i> Modifikasi: (a) Skema Alat Uji Modifikasi; (b) Water Input Apparatus; (c) Shear Box pada Alat Uji Modifikasi	30
Gambar 3. 1	Bagan Alir Rancang Penelitian	35
Gambar 3. 2	Bagan Alir Pengujian pada Variasi <i>Liquid Limit</i> untuk Setiap Konsistensi Tanah	37
Gambar 4. 1	Letak Pengambilan Sampel (Robotika, ITS)	44
Gambar 4. 2	Letak Pengambilan Sampel (Kanor, Bojonegoro)	44

Gambar 4. 3	Grafik Rekap Uji <i>Liquid Limit</i> 30%	47
Gambar 4. 4	Grafik Rekap Uji <i>Liquid Limit</i> 60%	48
Gambar 4. 5	Campuran dan Hasil <i>Slurry</i> (LL = 30%)	50
Gambar 4. 6	Campuran dan Hasil <i>Slurry</i> (LL = 60%)	52
Gambar 4. 7	Campuran dan Hasil <i>Slurry</i> (LL = 90%)	54
Gambar 4. 8	Grafik Hasil Pengujian <i>Unconfined Compression Test</i> (1)	59
Gambar 4. 9	Grafik Hasil Pengujian <i>Unconfined Compression Test</i> (2)	59
Gambar 4. 10	Persiapan Benda Uji untuk 100% <i>Cracked</i> ($u = 0 \text{ kg/cm}^2$)	63
Gambar 4. 11	Grafik Hubungan <i>Horizontal Displacement & Shear Stress</i> ($u = 0 \text{ kg/cm}^2$) Utuh: (a) <i>Soft Soil</i> , (b) <i>Medium Stiff Soil</i> (c) <i>Stiff Soil</i>	64
Gambar 4. 12	Grafik Hubungan <i>Shear Strength & Axial Stress</i> ($u = 0 \text{ kg/cm}^2$) Utuh: (a) <i>Soft Soil</i> , (b) <i>Medium Stiff Soil</i> (c) <i>Stiff Soil</i>	66
Gambar 4. 13	Grafik Hubungan <i>Horizontal Displacement & Shear Stress</i> ($U = 0 \text{ kg/cm}^2$) <i>Cracked</i> : (a) <i>Soft Soil</i> , (b) <i>Medium Stiff Soil</i> (c) <i>Stiff Soil</i>	68
Gambar 4. 14	Grafik Hubungan <i>Shear Strength & Axial Stress</i> ($u = 0 \text{ kg/cm}^2$) 100% <i>Cracked</i> : (a) <i>Soft Soil</i> , (b) <i>Medium Stiff Soil</i> (c) <i>Stiff Soil</i>	70
Gambar 4. 15	Pencetakan Benda Uji untuk <i>Direct Shear Test</i>	71
Gambar 4. 16	Persiapan Benda Uji	72
Gambar 4. 17	Pemasukan Benda Uji ke Dalam Alat <i>Direct Shear</i> Modifikasi	72
Gambar 4. 18	Dial Di- <i>set</i> dalam Keadaan Nol	73
Gambar 4. 19	Pemberian Tekanan Air	73
Gambar 4. 20	Pemberian Tekanan Air + Beban <i>Axial/Normal</i>	74
Gambar 4. 21	Hasil Pengujian untuk Benda Uji 100% Utuh (1)	75

Gambar 4. 22	Hasil Pengujian untuk Benda Uji 100% Utuh (2)	75
Gambar 4. 23	Hasil Pengujian dari 100% <i>Cracked</i>	76
Gambar 4. 24	Grafik Hubungan <i>Horizontal Displacement & Shear Stress</i> ($U = 0.5 \text{ kg/cm}^2$) Utuh: (a) <i>Soft Soil</i> , (b) <i>Medium Stiff Soil</i> (c) <i>Stiff Soil</i>	78
Gambar 4. 25	Grafik Hubungan <i>Shear Strength & Axial Stress</i> ($u = 0.5 \text{ kg/cm}^2$) Utuh: (a) <i>Soft Soil</i> , (b) <i>Medium Stiff Soil</i> (c) <i>Stiff Soil</i>	80
Gambar 4. 26	Grafik Hubungan <i>Horizontal Displacement & Shear Stress</i> ($U = 0.5 \text{ kg/cm}^2$) 100% <i>Cracked</i> : (a) <i>Soft Soil</i> , (b) <i>Medium Stiff Soil</i> (c) <i>Stiff Soil</i>	82
Gambar 4. 27	Grafik Hubungan <i>Shear Strength & Axial Stress</i> ($u = 0.5 \text{ kg/cm}^2$) 100% <i>Cracked</i> : (a) <i>Soft Soil</i> , (b) <i>Medium Stiff Soil</i> (c) <i>Stiff Soil</i>	84
Gambar 4. 28	Grafik Hubungan <i>Horizontal Displacement & Shear Stress</i> ($U = 1.0 \text{ kg/cm}^2$) Utuh: (a) <i>Soft Soil</i> , (b) <i>Medium Stiff Soil</i> (c) <i>Stiff Soil</i>	87
Gambar 4. 29	Grafik Hubungan <i>Shear Strength & Axial Stress</i> ($u = 1.0 \text{ kg/cm}^2$) Utuh: (a) <i>Soft Soil</i> , (b) <i>Medium Stiff Soil</i> (c) <i>Stiff Soil</i>	89
Gambar 4. 30	Grafik Hubungan <i>Horizontal Displacement & Shear Stress</i> ($U = 1.0 \text{ kg/cm}^2$) 100% <i>Cracked</i> : (a) <i>Soft Soil</i> , (b) <i>Medium Stiff Soil</i> (c) <i>Stiff Soil</i>	91
Gambar 4. 31	Grafik Hubungan <i>Shear Strength & Axial Stress</i> ($u = 1.0 \text{ kg/cm}^2$) 100% <i>Cracked</i> : (a) <i>Soft Soil</i> , (b) <i>Medium Stiff Soil</i> (c) <i>Stiff Soil</i>	93
Gambar 5. 1	Pengaruh Tekanan Air pada Tanah LL: 30%: (a) Kondisi Utuh, (b) Kondisi 100% <i>Cracked</i>	96
Gambar 5. 2	Pengaruh Tekanan Air pada Tanah LL: 60%: (a) Kondisi Utuh, (b) Kondisi 100% <i>Cracked</i>	97
Gambar 5. 3	Pengaruh Tekanan Air pada Tanah LL: 90%: (a) Kondisi Utuh, (b) Kondisi 100% <i>Cracked</i>	98
Gambar 5. 4	Grafik <i>Liquid Limit</i> VS ϕ : (a) 0.0 kg/cm^2 , (b) 0.5 kg/cm^2 , (c) 1.0 kg/cm^2	101

Gambar 5. 5	Grafik Hubungan Void Ratio dengan ϕ : (a) 0.0 kg/cm^2 , (b) 0.5 kg/cm^2 , (c) 1.0 kg/cm^2	104
Gambar 5. 6	Grafik Hubungan Tekanan Air dengan Kohesi Tanah pada Kondisi Utuh: (a) LL: 30%, (b) 60%, (c) 90%	108
Gambar 5. 7	Grafik Hubungan <i>Liquid Limit</i> dengan Kohesi Tanah pada Kondisi Utuh: (a) 0.0 kg/cm^2 , (b) 0.5 kg/cm^2 , (c) 1.0 kg/cm^2	110
Gambar 5. 8	Hubungan Void Ratio dengan Nilai Kohesi Tanah: (a) 0.0 kg/cm^2 , (b) 0.5 kg/cm^2 , (c) 1.0 kg/cm^2	112
Gambar 5. 9	Grafik Hubungan ϕ dengan ϕ_{cr}	115
Gambar 5. 10	Hal yang Menyebabkan Penurunan Nilai Sudut Geser Tanah	116
Gambar 5. 11	Penyebab Terjadinya Kenaikan Nilai Sudut Geser Tanah	117

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Rentang Angka Pori untuk setiap Jenis Tanah	9
Tabel 2. 2	Korelasi Nilai Kohesi, N-SPT, dan Sondir dengan Konsistensi Tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung)	17
Tabel 2. 3	Rentang Harga dari Konsistensi Tanah & Nilai Kuat Tekan	23
Tabel 4. 1	Rekap Hasil Pengujian Tanah Robotika	45
Tabel 4. 2	Rekap Hasil Pengujian Tanah Kanor, Bojonegoro	46
Tabel 4. 3	Rekapan Perhitungan Pembebanan	55
Tabel 4. 4	Rekap Data <i>Slurry</i> (LL:30%)	56
Tabel 4. 5	Rekap Data <i>Slurry</i> (LL:60%)	56
Tabel 4. 6	Rekap Data <i>Slurry</i> (LL:90%)	57
Tabel 4. 7	Hasil Pengujian <i>Unconfined Compression Test</i>	58
Tabel 4. 8	Rekomendasi Beban untuk Tanah dengan LL: 30%	60
Tabel 5. 1	Prediksi dari Parameter Sudut Geser Tanah Berdasarkan Nilai <i>Liquid Limit, Plasticity Index</i> , dan <i>Void Ratio</i>	105
Tabel 5. 2	Rekapan untuk Sudut Geser Tanah	114

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB I

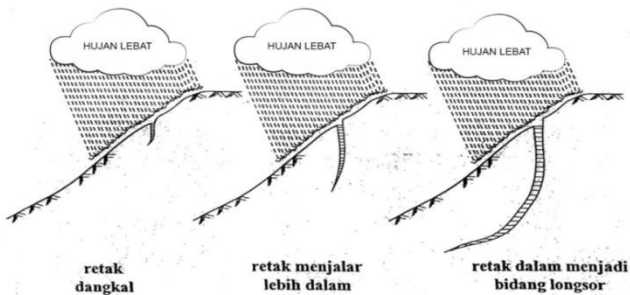
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kelongsoran adalah peristiwa Bergeraknya massa batuan atau tanah dengan berbagai tipe seperti jatuhnya bebatuan atau gumpalan tanah. Penyebab umum peristiwa kelongSORan adalah adanya gaya gravitasi bumi yang menyebabkan tanah Bergerak. Menurut Mochtar, (2011) penyebab kelongSORan lainnya terjadi akibat adanya keretakan pada tanah yang disebabkan oleh adanya penyusutan pada permukaan tanah, pergerakan tanah dimasa lalu, pergerakan tanah yang cukup kuat (getaran yang berasal dari gempa bumi), adanya sedimen berlapis dan berselang-seling dengan lapisan pasir tipis pada lapisan tanah lanau-lempung yang tebal, serta adanya pelapukan akar tanaman. Selain itu, Peristiwa kelongSORan biasanya terjadi pada tanah yang hanya memiliki sudut geser/*internal friction* (tidak mempunyai nilai kohesi tanah/nilai kohesi tanah yang sangat kecil).

Pada kenyataannya tanah yang memiliki nilai kohesi dan sudut geser tanah pada lereng yang relatif datar dan yang telah lama stabil tiba-tiba mengalami kelongSORan pada saat kondisi hujan lebat, terutama bila hujan berlangsung lama serta memiliki intensitas yang tinggi. Pada intensitas hujan lebat hingga sangat lebat, debit air hujan yang masuk ke dalam bidang retak yang disebabkan oleh salah satu penyebab di atas akan lebih besar dari pada debit air yang keluar dari bidang retak. Hal ini mengakibatkan celah pada retakan terisi air seluruhnya akibat debit air hujan yang masuk lebih besar dari debit air hujan yang keluar pada retakan sehingga mengakibatkan timbulnya celah lain pada bidang retak sesuai dengan arah aliran keluarnya air dan bisa saja aliran keluarnya air hujan yang terbentuk searah bidang longsor.

Dari studi sebelumnya (Hutagamisufardal & Mochtar, 2018) dijelaskan bahwa pengaruh bidang retak memengaruhi nilai kohesi tanah. Semakin panjang bidang *cracked* (retakan), maka semakin menurun pula nilai kohesi tanah tersebut sehingga nilai kohesi bisa saja menghilang dan yang tersisa adalah sudut geser tanahnya saja. Selain itu, retakan searah bidang longsor yang muncul akibat aliran air hujan lambat laun akan semakin besar dan secara langsung akan dipenuhi oleh pasir karena hujan dan aliran air yang cukup kuat membuat partikel halus tanah asli terbawa sehingga menyisakan pasir (material berukuran lebih besar). Inilah yang menjadi penyebab utama mengapa lereng yang sudah bertahun-tahun stabil, tiba-tiba mengalami kelongsoran pada saat hujan lebat. Peristiwa yang terjadi akibat hujan deras ini mengakibatkan sifat tahanan geser di dalam retakan tanah seolah-olah seperti tanah pasir (*behaving like sand*) (Mochtar, 2011). Mekanisme penjarangan bidang retak ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Mekanisme Penjarangan Retakan
(Sumber: Hutagamissufardal & Mochtar, 2018)

Telah ada beberapa metode untuk mengetahui nilai kohesi tanah dan sudut geser tanah pada kondisi retak (*crack*). Salah satu cara yang sudah ada yaitu, dengan melakukan pengujian *shear strength* tanah. Namun, pengujian dari *shear*

strength pada *crack soil* belum banyak dikembangkan. Selain itu, pengujiannya sangat mahal dan proses pun lama. Sehingga Hutagamissufardal & Mochtar, (2018) mengemukakan teori mengenai pengujian *crack soil*. Teori *crack soil* diperoleh melalui pengujian *shear strength* pada *crack soil* di laboratorium dengan cara menguji sampel tanah pada alat uji. Pengujian tersebut didapatkan dengan memodifikasi alat geser langsung (*direct shear*), dengan cara memodifikasi kotak uji geser (*shear box*) serta menambahkan *water input system* agar benda uji dapat menerima tekanan air seperti kondisi di lapangan pada saat hujan lebat (*saturated soil*).

Dari hasil modifikasi alat uji geser langsung (*direct shear*) didapatkan nilai kohesi dan nilai sudut geser tanah pada kondisi retak (*crack*). Namun, penelitian yang dilakukan dari alat geser langsung (*direct shear*) yang telah dimodifikasi tidak mempertimbangkan parameter *liquid limit* dan *void ratio* dari sampel benda uji. Sesuai dengan teori *shear strength* yang telah diketahui, bahwa nilai kohesi tanah dan sudut geser tanah adalah fungsi dari jenis tanah dan kepadatan. Jenis tanah dapat diketahui dari *plasticity index* (PI), *plasticity limit* (PL), atau *liquid limit* (LL), sedangkan kepadatan tanah dapat diketahui dari berat jenis tanah (γ_t) dan *void ratio* (Hvorslev,1936), sehingga dapat dibuat korelasi antara nilai *plasticity index* dan *void ratio* untuk memprediksi nilai kohesi dan sudut geser tanah pada tanah retak. Oleh sebab itu, diusulkan penulisan lanjut mengenai “Analisa Sudut-Geser-Dalam Tanah Halus (*Cohesive Soil*) Berdasarkan Pendekatan *Cracked Soil*” untuk mengetahui korelasi antara *liquid limit* dan *void ratio* terhadap nilai sudut geser tanah pada kondisi *crack*.

1.2. Rumusan Masalah

Dari pemaparan latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang perlu dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

- Bagaimana pengaruh nilai *liquid limit* dan *void ratio* tanah lempung terhadap nilai sudut geser tanah?
- Bagaimana pengaruh nilai *liquid limit* dan *void ratio* tanah lempung terhadap nilai kohesi tanah?
- Bagaimana pengaruh tekanan air yang diberikan terhadap hasil parameter kohesi dan sudut geser tanah?
- Bagaimana korelasi antara sudut geser dan nilai kohesi tanah pada kondisi *crack* dengan tanah pada kondisi utuh?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Jenis tanah yang digunakan adalah tanah lempung yang mempunyai nilai kohesi dan sudut geser tanah yang relative kecil
- Kondisi tanah yang diuji adalah dalam kondisi utuh dan retak untuk mendapatkan parameter pada saat tanah utuh dan 100% *cracked*
- Tekanan air yang diberikan untuk pengujian tahanan geser tanah modifikasi adalah sebesar 0.0 kg/cm²; 0.5 kg/cm²; dan 1.0 kg/cm² (tekanan air konstan)
- Dasar metode pelaksanaan pengujian pada penelitian ini mengacu pada ASTM D-2166M-13 untuk pengujian kuat tekan bebas dan ASTM D 6528 untuk pengujian tahanan geser tanah
- Penelitian dilakukan dengan alat uji geser langsung yang telah dimodifikasi oleh Hutagamissufardal & Mochtar, 2018

1.4. Tujuan

1.4.1 Tujuan Utama

Tujuan utama penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui korelasi antara sudut geser tanah dengan mempertimbangkan nilai *liquid limit* dan *void ratio* pada tanah kondisi utuh dan 100% *cracked*.

1.4.2 Tujuan Detail

1. Mengetahui hubungan untuk mendapatkan nilai sudut geser tanah pada kondisi 100% *cracked*
2. Membandingkan hasil pada kondisi utuh dan kondisi 100% *cracked*
3. Membandingkan hasil pengujian direct shear dengan alat *direct shear* biasa dan *direct shear* yang telah dimodifikasi

1.5. Manfaat

Manfaat dari penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui korelasi antara sudut geser tanah dengan *liquid limit* dan *void ratio* pada kondisi *cracked* sehingga tidak perlu melakukan proses pengujian *cracked soil* di laboratorium untuk mengetahui nilai sudut geser internal tanah pada kondisi 100% *cracked*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Parameter Tanah

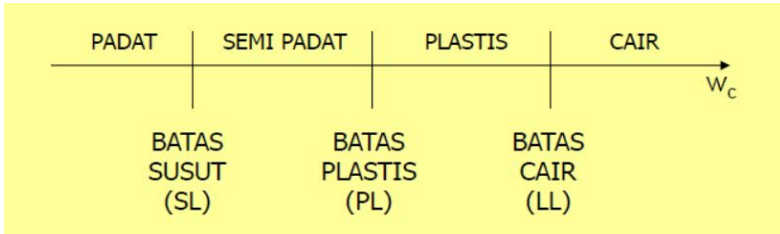
Suatu acuan pengukur untuk mengetahui jenis tanah, sifat fisik, dan mekanis suatu tanah. Tiap jenis tanah mempunyai nilai dari tiap parameter yang berbeda. Jenis tanah dalam suatu wilayah dapat berbeda jenis bergantung pada kontur dan letak wilayah tanah diambil. Faktor yang memengaruhi nilai dari setiap parameter tanah diantaranya adalah kandungan air dalam tanah, suhu lingkungan, dan kelembaban. Adapun parameter yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

2.1.1 *Liquid Limit (Batas Cair)*

Apabila suatu tanah mengandung mineral lempung, maka tanah tersebut dapat diremas-remas (remolded) tanpa menimbulkan retakan (crack) pada tanah. Sifat kohesif ini disebabkan karena adanya air yang terserap di sekeliling permukaan dari partikel lempung. Pada awal tahun 1900, seorang ilmuwan Swedia bernama Atterberg mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Pada pengujiannya, kadar air yang sangat tinggi dicampurkan dengan tanah hingga tanah menjadi sangat lembek seperti cairan. Hasil dari pengujian Atterberg ini, atas dasar air yang dikandung dalam tanah yang dapat dipisahkan menjadi empat keadaan dasar, yaitu: padat, semi padat, plastis, dan cair seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Kadar air yang terdapat dalam tanah dinyatakan dalam presentase, dimana perubahan tekstur dari keadaan padat hingga

semi-padat didefinisikan dengan *shrinkage limit* (SL). Dari keadaan semi-padat hingga plastis didefinisikan dengan *plastic limit* (PL). Dan dari keadaan plastis ke keadaan cair didefinisikan dengan *liquid limit* (LL). Ketiga batas ini dikenal dengan *Atterberg limits* dan pengujian ini dikenal sebagai *Atterberg Limit Test*.



Gambar 2. 1 Batas-batas Atterberg

Sumber: (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik, Noor Endah, 1995)

2.1.2 *Void Ratio* (Angka Pori)

Hubungan volume yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*), dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*). Angka pori didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat (persamaan 2.1). Masing-masing jenis tanah memiliki rentang nilai *void ratio* (angka pori) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1. Percobaan *volumetric-gravimetric* digunakan untuk menentukan nilai *void ratio* (angka pori).

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.1)$$

Dimana,

e = *void ratio* (angka pori)

V_v = *volume void* (volume pori)

V_s = *volume Soil* (volume tanah)

Tabel 2. 1 Rentang Angka Pori untuk setiap Jenis Tanah

Keterangan	USCS	Void ratio [-]			Referensi
		min	max	<i>Specific value</i>	
Well graded gravel, sandy gravel, with little or no fines	GW	0.26	0.46		[1] ¹
Poorly graded gravel, sandy gravel, with little or no fines	GP	0.26	0.46		[1]
Silty gravels, silty sandy gravels	GM	0.18	0.28		[1]
Gravel	(GW-GP)	0.30	0.60		[2] ²
Clayey gravels, clayey sandy gravels	GC	0.21	0.37		[1]
Glacial till, very mixed grained	(GC)	-	-	0.25	[4] ³ , [5] ⁴
Well graded sands,	SW	0.29	0.74		[1] , [2]

¹ Swiss Standard SN 670 010b, Characteristic Coefficients of soils, Association of Swiss Road and Traffic Engineers

² Das, B., *Advanced Soil Mechanics*. Taylor & Francis, London & New York, 2008.

⁴ Terzaghi, K., Peck, R., and Mesri, G., *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Wiley, New York, 1996.(4)

⁵ Obrzud R. & Truty, A. THE HARDENING SOIL MODEL - A PRACTICAL GUIDEBOOK Z Soil.PC 100701 report, revised 31.01.2012(5)

gravelly sands, with little or no fines					
Coarse sand	(SW)	0.35	0.75		[2]
Fine sand	(SW)	0.40	0.85		[2]
Poorly graded sands, gravelly sands, with little or no fines	SP	0.30	0.75		[1] , [2]
Silty sands	SM	0.33	0.98		[1] , [2]
Clayey sands	SC	0.17	0.59		[1]
Inorganic silts, silty or clayey fine sands, with slight plasticity	ML	0.26	1.28		[1]
Uniform inorganic silt	(ML)	0.40	1.10		[3]
Inorganic clays, silty clays, sandy clays of low plasticity	CL	0.41	0.69		[1]
Organic silts and organic silty clays of low plasticity	OL	0.74	2.26		[1] , [3] ⁵
Silty or sandy clay	(CL-OL)	0.25	1.80		[3]

(Sumber: Geotechdata.info, Soil void ratio)

³ Hough, B., Basic soil engineering. Ronald Press Company, New York, 1969.

2.1.3 Berat Volume (*Unit Weight*)

Berat volume merupakan berat tanah per satuan volume (persamaan 2.2). Berbeda dengan massa jenis, berat volume bisa berubah-ubah bergantung pada percepatan gravitasi. Pengaruh yang paling memengaruhi nilai berat volume adalah suhu. Selain itu, tekanan yang diberikan berpengaruh juga untuk nilai berat volume.

Berat volume suatu tanah dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu: saturated unit weight dan dry unit weight. Perbedaan dari ketiga berat volume ini ada pada kadar airnya (*water content*). Perumusan untuk saturated unit weight dapat dilihat pada persamaan 2.3 dan untuk dry unit weight dapat dilihat pada persamaan 2.4.

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s(1 + W_c)}{V} \quad (2.2)$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{\gamma_w G_s}{1 + e} \quad (2.3)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{\gamma_w(G_s + e)}{1 + e} \quad (2.4)$$

Dimana,

- γ = *unit weight* (berat jenis)
- γ_d = *dry unit weight* (berat jenis kering)
- γ_{sat} = *saturated unit weight* (berat jenis jenuh)
- W = berat total
- W_s = berat tanah
- W_w = berat air
- W_c = *water content* (kadar air)
- V = volume total
- e = angka pori
- G_s = *specific gravity*

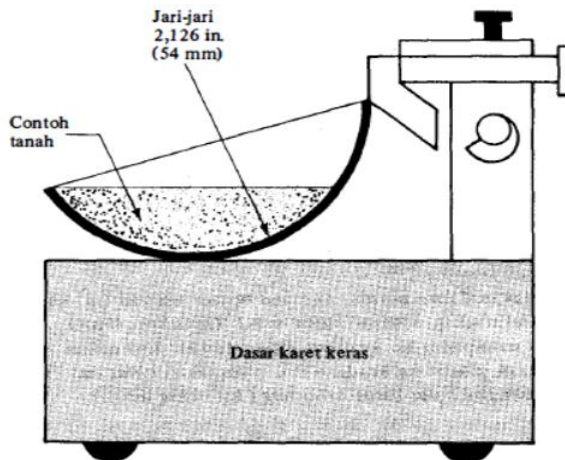
2.2 Pengujian *Initial Tanah*

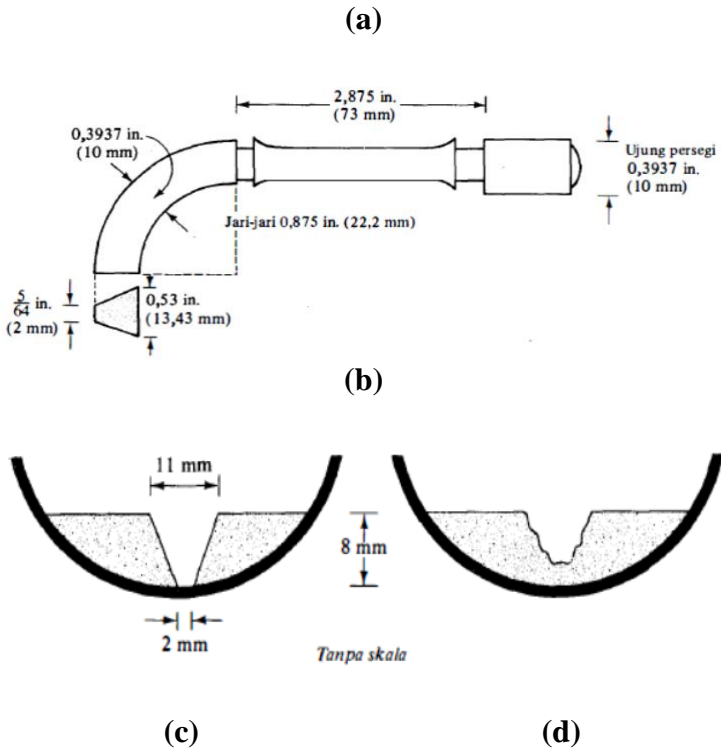
Dalam mengetahui nilai dari tiap parameter tanah dibutuhkan pengujian untuk tiap sampel tanah yang diambil dari lokasi tertentu. Pengujian yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

2.2.1 *Atterberg Limit Test*

Atterberg Limit Test adalah pengujian yang digunakan untuk mengetahui nilai *liquid limit* (LL), *plastic limit* (PL), dan *shrinkage limit* (SL) suatu tanah. Pengujian Atterberg terdiri dari tiga pengujian yaitu: pengujian *liquid limit* (LL), pengujian *plastic limit* (PL), dan pengujian *shrinkage limit* (SL).

Untuk pengujian nilai *liquid limit* (LL) dilakukan pengujian *liquid limit*. Alat yang digunakan untuk pengujian nilai *liquid limit* dapat dilihat pada Gambar 2.2. Untuk mengetahui nilai dari *plastic limit* (PL) dapat dilakukan pengujian *plastic limit* dapat dilihat pada Gambar 2.4. Sedangkan untuk mengetahui nilai *shrinkage limit* (SL) dapat dilihat pada Gambar 2.5.





Gambar 2. 2 Pengujian Liquid Limit (LL): (a) alat uji batas cair; (b) alat untuk menggores; (c) contoh tanah sebelum diuji; (d) contoh tanah setelah diuji
(Sumber: Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik, Noor Endah, 1995)

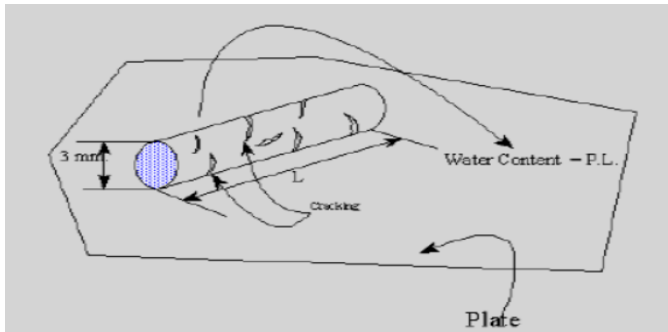
Skema dari alat yang digunakan untuk menentukan batas cair diberikan dalam Gambar 2.2a. Alat tersebut terdiri dari mangkok kuningan yang bertumpu pada dasar karet yang keras. Mangkok kuningan dapat diangkat dan dijatuhkan di alas dasar karet keras tersebut dengan sebuah pengungkit eksentris (cam) dijalankan oleh suatu alat pemutar. Untuk melakukan uji batas

cair, pasta tanah diletakkan di dalam mangkok kuningan kemudian digores tepat di tengahnya dengan menggunakan alat penggores standar (Gambar 2.2b). Dengan menjalankan alat pemutar, mangkok kemudian dinaik-turunkan dari ketinggian 0,3937 in (10 mm). Kadar air, dinyatakan dalam persen, dari tanah yang dibutuhkan untuk menutup goresan yang berjarak 0,5 in. (12,7 mm) sepanjang dasar contoh tanah di dalam mangkok (lihat Gambar 2.2c dan 2.2d) sesudah 25 pukulan didefinisikan sebagai *liquid limit* (batas cair).

Uji batas cair paling sedikit empat kali pada tanah yang sama tetapi pada kadar air yang berbeda-beda sehingga jumlah pukulan (N), yang dibutuhkan untuk menutup goresan bervariasi antara 15 dan 35. Gambar 2.3 menunjukkan foto dari alat uji batas cair dengan contoh tanah diletakkan di dalam mangkok kuningan pada saat awal pengujian.

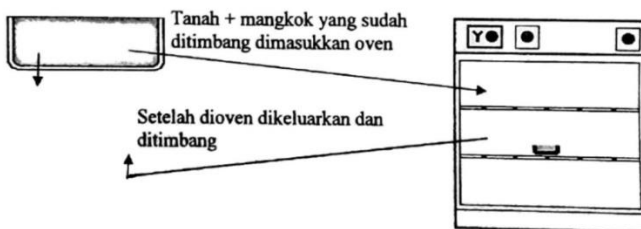


Gambar 2. 3 Pengujian *Liquid Limit* dalam Mangkok Kuningan
(Sumber: <https://www.mathalino.com>)



Gambar 2. 4 Pengujian Plastic Limit
(Sumber: Noor Endah, 2015)

Pengujian *plastic limit* (PL) Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air, dinyatakan dalam persen, dimana tanah apabila digulung sampai dengan diameter 3,2 mm menjadi retak-retak. Batas plastis merupakan batas terendah dari tingkat keplastisan suatu tanah. Cara pengujiannya adalah sangat sederhana, yaitu dengan cara menggulung massa tanah hingga berbentuk elipsoidal dengan telapak tangan di atas kaca datar.

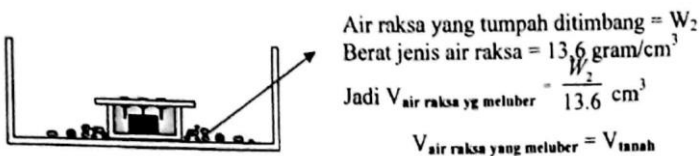


Gambar 2. 5 Pengujian Shrinkage Limit
(Sumber: Petunjuk Pengujian Praktikum Mekanika Tanah,
Mochtar)

Suatu tanah akan menyusut apabila air yang dikandungnya secara perlahan-lahan hilang dalam tanah. Dengan hilangnya air secara terus menerus, tanah akan mencapai suatu tingkat keseimbangan dimana penambahan kehilangan air tidak akan menyebabkan perubahan volume. Kadar air, dinyatakan dalam persen, di mana perubahan volume suatu massa tanah berhenti didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Uji batas susut dilakukan di laboratorium dengan menggunakan suatu mangkok porselin yang mempunyai diameter kira-kira 1,75 in (44,4 mm) dan tinggi kira-kira 0,5 in (12,7 mm). Bagian dalam dari mangkok dilapisi dengan vaselin (petroleum jelly), kemudian diisi dengan tanah basah sampai penuh.

2.2.2 Volumetric-Gravimetric Analysis

Dalam menentukan parameter *void ratio* (angka pori) dan *unit weight* (berat volume) dilakukan dengan pengujian *volumetric-gravimetric*. Cara pengujian dilakukan dengan penimbangan sampel tanah terlebih dahulu serta pengukuran volume tanah. Pengukuran volume sampel tanah dilakukan dengan cara memasukan sampel tanah ke dalam cawan berisi raksa lalu diratakan dengan *fiberglass* yang memiliki tiga paku ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 2.6. Dari hasil pengujian yang telah diolah didapatkan nilai *void ratio* (angka pori).



Gambar 2. 6 Cara Pengujian untuk Mendapatkan Volume Sampel Tanah

(Sumber: Petunjuk Pengujian Praktikum Mekanika Tanah, Mochtar)

2.3 Karakteristik Tanah Lempung

Tanah terdiri dari kumpulan mineral, bahan-bahan organik, dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak di atas batuan dasar (*bed rock*). Menurut K. Terzaghi, tanah terdiri atas butiran-butiran material hasil pelapukan massa batuan massive, dimana ukuran butirannya sebesar bongkoahan, berangka, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan kontak butirnya yang tidak tersementasi termasuk bahan organik.

Lapisan tanah yang disebut lapisan tanah lunak adalah lempung (*clay*) atau lanau (*silt*) yang mempunyai harga standard penetration test (SPT) dengan N (jumlah pukulan) lebih kecil dari 4; atau tanah organik seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi. Maka dari itu, terdapat korelasi antara nilai kohesi tanah, N-SPT, dan sondir dengan konsistensi tanah yang lain seperti dijelaskan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Korelasi Nilai Kohesi, N-SPT, dan Sondir dengan Konsistensi Tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung)

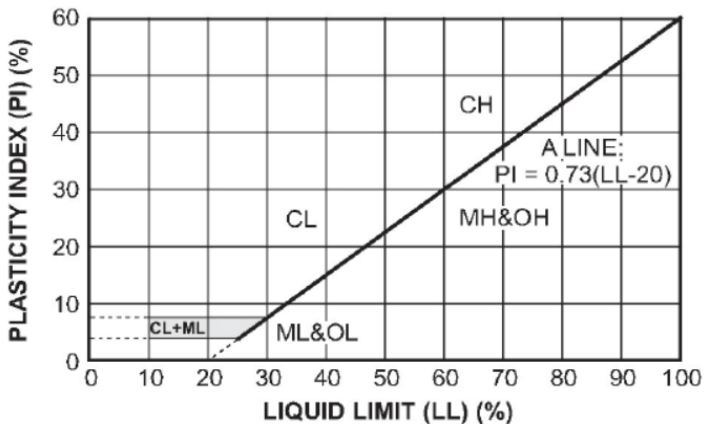
Konsistensi Tanah	Cu (Kg/cm ²)	SPT, N	Sondir, qn (Kg/cm ²)
Sangat lunak (<i>very soft</i>)	< 0.125	< 2.5	< 7.5
Lunak (<i>soft</i>)	0.125 – 0.25	2.5 – 5	7.5 – 15
Sedang (<i>medium stiff</i>)	0.25 – 0.5	5 – 10	15 – 30
Kaku (<i>Stiff</i>)	0.5 – 1.0	10 – 20	30 – 60
Sangat Kaku (<i>very stiff</i>)	1.0 – 2.0	20 – 40	60 – 120
Keras (<i>Hard</i>)	>2.0	> 40	> 120

(Sumber: Mochtar, 2006; revised, 2012)

Tanah lempung merupakan jenis tanah berbutir halus dengan ukuran $<2\mu\text{m}$ atau $<5\mu\text{m}$ (ASTM D653-03). Tanah lempung merupakan tanah kohesif yang memiliki:

- Nilai *void ratio* berkisar antara 0,75 – 1,80 (Hough, B, 1969)
- *Specific Gravity* berkisar antara 2,70 sampai dengan 2,90

Tanah lempung memiliki gaya geser yang kecil, kemampuan yang besar, dan koefisien permeabilitas yang kecil. Nilai kekuatan geser tanah lempung lembek ditentukan dari ikatan antar butiran antar partikel tanah. Pada kenyataannya tanah lempung yang telah lama stabil tiba-tiba mengalami kelongsoran. Hal ini, membuktikan bahwa tanah lempung tidak dapat mengalirkan air dengan baik sehingga retakan dalam tanah diisi oleh air dan terjadi peningkatan tegangan air tanah (*pore water pressure build-up*) (Hutagamissufardal & Mochtar, 2018).



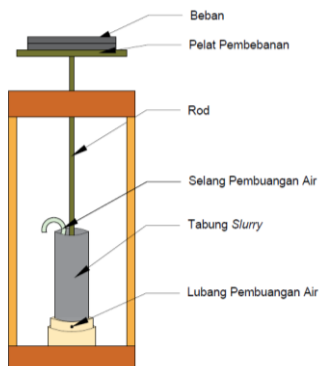
Gambar 2. 7 Grafik USCS untuk Klasifikasi Tanah
(Sumber: Unified Soil Classification System, CALTRANS)

2.3. Pembuatan *Slurry*

Pembuatan *slurry* bertujuan untuk membuat *disturbed sample* menjadi *undisturbed sample*, dengan cara:

1. Tanah *disturbed sample* dikeringkan terlebih dahulu dibawah sinar matahari
2. Setelah kering, tanah ditumbuk hingga halus
3. Setelah ditumbuk hingga halus, tanah disaring dengan menggunakan saringan. Tanah yang dipakai adalah tanah yang lolos ayakan no. 40
4. Butiran tanah yang lolos ayakan no. 40 akan dibuat untuk proses pembuatan *slurry*
5. Proses pencampuran tanah dengan penambahan air sebesar 1 – 2 kali nilai liquid limit tanah tersebut
6. Tanah yang sudah dicampur kemudian diaduk hingga rata dan campuran tersebut dimasukkan kedalam tabung *slurry*
7. Tabung yang sudah berisi tanah kemudian ditekan dengan beban yang telah direncanakan

Untuk proses lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.8 dan Gambar 2.9 mengenai sketsa alat pembebanan.



Gambar 2. 8 Sketsa Alat Pembebanan (Tampak Depan)
(Sumber: Ilustrasi Pribadi)



Gambar 2. 9 Sketsa Alat Pembebanan (Tampak Atas)
(Sumber: <http://www-udc.ig.utexas.edu>)

2.3.1 Pemberian Pembebanan

Proses pemberian pembebanan bertujuan untuk mengatur konsistensi tanah yang nantinya akan dijadikan benda uji. Beban yang diberikan disesuaikan dengan nilai kohesi tanah yang hendak dicapai. Tabel 2.2 Korelasi Nilai Kohesi, N-SPT, dan Sondir dengan Konsistensi Tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung) menunjukkan rentang nilai kohesi tanah dari setiap konsistensi. Rumusan yang hendak digunakan dalam memberikan beban untuk mencapai nilai kohesi (konsistensi tanah tertentu) adalah sebagai berikut:

1. Untuk harga PI tanah < 120%

$$C_u = 0.0737 + (0.1899 - 0.0016 \text{ PI}) \sigma_v' \quad (2.5)$$

2. Untuk harga PI tanah > 120%

$$C_u = 0.0737 + (0.0454 - 0.00004 \text{ PI}) \sigma_v' \quad (2.6)$$

Dari persamaan 2.5 dapat diketahui pemberian beban vertikal untuk pembuatan benda uji *slurry*. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\frac{(Cu-0.0737) \times A}{(0.1899-0.0016 PI)} = Fv \quad (2.7)$$

Dimana,

Cu : Nilai Kohesi Tanah (kg/cm²)

PI : *Plasticity Index* Tanah

$\sigma v'$: Tegangan Tanah Vertikal Effektif (kg/cm²)

A : Area Tabung *Slurry* (cm²)

Fv : Beban Vertikal (kg)

2.4 *Unconfined Compression Test*

Unconfined Compression Test merupakan pengujian untuk mendapatkan nilai kohesi tanah. Dalam pengujian *unconfined compression test* (kuat tekan bebas) hasil yang didapat merupakan kuat tekan dari benda uji tersebut. Nilai kohesi tanah merupakan nilai kuat tekan benda uji yang dibagi dua dari nilai kuat tekan benda uji tersebut pada kondisi keruntuhan (bila *dial* yang terbaca sudah lebih dari tiga kali). Berikut rumusan yang digunakan dalam menentukan nilai kohesi tanah:

$$Su = \frac{qu}{2} \quad (2.7)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{Lo} \times 100\% \quad (2.8)$$

$$A = \frac{Ao}{\left(1 - \frac{\varepsilon}{100}\right)} \quad (2.9)$$

$$\sigma (qu) = P/A \quad (2.10)$$

Dimana,

Su : *Shear Strength* (kg/cm²)

Qu: *Unconfined Compressive Strength* (kg/cm²)

ε : Regangan Axial

ΔL : Perbedaan Panjang (cm)

Lo : Tinggi Awal Benda Uji (cm)

A : Luas Terkoreksi (cm²)

A_0 : Luas Awal (cm^2)

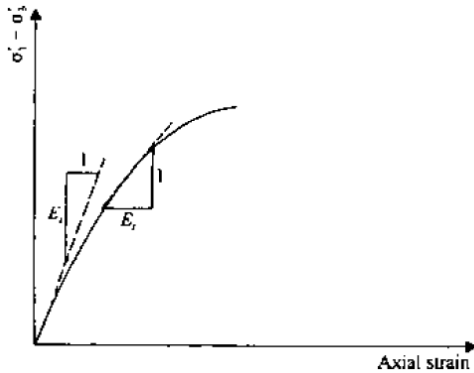
σ : Kuat Tekan (*Compressive Strength*) (kg/cm^2)

P : *Applied Load* (kg)

Pada pengujian *unconfined compression test* mengacu pada standard pengujian ASTM D2166M-13 dan AASHTO T-208-70. Dalam pengujiannya tanah dipotong (trim) terlebih dahulu dengan menggunakan trimmer. Minimum diameter benda uji adalah 30 mm (1.3 in) dan untuk tinggi benda uji minimal 2 – 2.5 diameter benda uji. Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan menaruh benda uji yang sudah terpotong di alat *unconfined compression test*. Pada saat pelaksanaan pengujian dilakukan dengan kecepatan tekan yang konstan. Kecepatan tekan yang diberikan bernilai hingga regangan yang terjadi mencapai $\frac{1}{2}$ sampai 2%/menit.



Gambar 2. 10 Alat Uji *Unconfined Compression Test*
(Sumber: <http://tassinstruments.com>)



Gambar 2. 11 Garfik Kuat Tekan Versus *Axial Strain*
(Sumber: Advance Soil Mechanics 3rd Edition, Braja M. Das)

Tabel 2. 3 Rentang Harga dari Konsistensi Tanah & Nilai Kuat Tekan

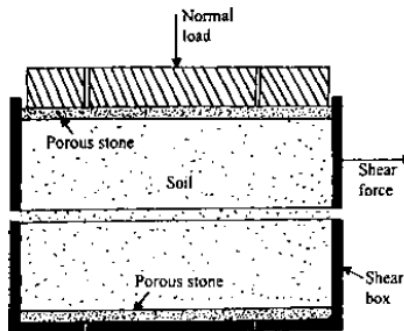
Consistency	q_u (kN/m^2)
Very soft	0–24
Soft	24–48
Medium	48–96
Stiff	96–192
Very stiff	192–383
Hard	>383

(Sumber: Advance Soil Mechanics 3rd Edition, Braja M. Das)

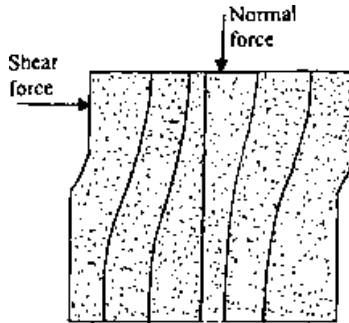
2.5 *Direct Shear Test* (Uji Geser Langsung)

Direct shear test (uji geser langsung) digunakan untuk mengetahui nilai kohesi tanah dan nilai sudut internal tanah. Dalam pengujiannya, hasil dari *direct shear test* ini adalah *shear*

stress dan *axial stress*. *Shear stress* merupakan kuat tahanan tanah yang terbaca pada dial deformation dengan gaya yang diberikan dari samping pada benda uji, yang nantinya akan dikalikan dengan kalibrasi proving ring yang dipakai, sehingga menghasilkan suatu gaya tahanan dari tanah yang diuji. Sedangkan *axial stress* merupakan gaya tekan dari atas yang diberikan pada benda uji secara konstan (diatur diawal pengujian). Direct shear test mengacu pada standard pengujian ASTM D3080M – 11 dan AASHTO T-236-08. Dapat dilihat pada Gambar 2.12 dan Gambar 2.13.



Gambar 2. 12 Pengaturan *Direct Shear Test*
(Sumber: Advance Soil Mechanics 3rd Edition, Braja M. Das)



Gambar 2. 13 Gambaran Pengujian *Direct Shear Test*
(Sumber: Advance Soil Mechanics 3rd Edition, Braja M. Das)

Proses pengujian direct shear test dilakukan sebanyak tiga kali dengan tekanan yang diberikan sebesar 0.065 kg/cm², 0.130 kg/cm², dan 0.260 kg/cm². Pemberian tekanan dilakukan agar mendapatkan nilai *normal/axial stress* (σ_3) sedangkan *shear stress* (σ_1) didapat dari pembacaan *horizontal load dial* (pada *proving ring*). Dengan tiga variasi nilai σ_1 maka akan didapatkan nilai shear stress yang berbeda-beda. Semakin besar nilai σ_1 , maka nilai σ_3 akan semakin besar pula. Adapun rumusan yang digunakan dalam pengujian direct shear adalah sebagai berikut:

$$\sigma_1 = P/A^* \quad (2.11)$$

$$\sigma_3 = P^*/A^* \quad (2.12)$$

1. Untuk $\delta/r < 0.6$

$$A^* = \pi r^2 - 2\delta r \quad (2.13)$$

2. Untuk $\delta/r > 0.6$

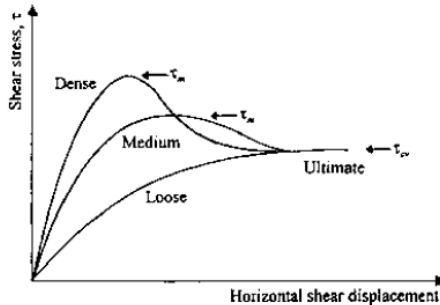
$$A^* = [(\pi r^2 - 2r^2 \cdot \sin^{-1}(\frac{0.5\delta}{r})) - (\delta r \cdot \cos^{-1}(\frac{0.5\delta}{r}))] \quad (2.14)$$

Dimana,

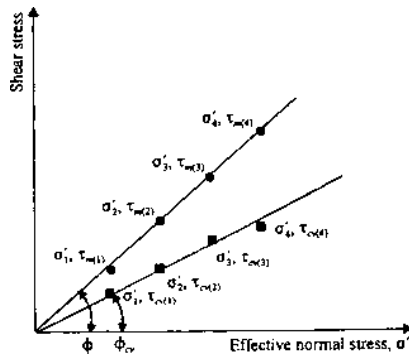
σ_1 : *Normal/Axial Stress* (kg/cm²)

- σ_3 : *Shear Stress* (kg/cm²)
 P : *Beban Vertikal* (kg)
 P* : *Beban Horizontal max* (kg)
 A* : *Luas Terkoreksi*
 δ : *Horizontal Deformation* (cm)
 r : *Jari-jari Sample* (cm)

Hasil dari pengujian diplotkan berdasarkan nilai *normal stress versus shear stress* untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut internal tanah dan *horizontal displacement versus shear stress* untuk mengetahui pergeseran (displacement) maksimum yang terjadi pada pengujian. Gambar 2.14 dan 2.15 merupakan grafik yang digunakan dalam pengujian *direct shear* pada tanah berpasir hingga pasir.



Gambar 2. 14 Grafik *Horizontal Disp. Versus Shear Stress*
 (Sumber: Advance Soil Mechanics 3rd Edition, Braja M. Das)



Gambar 2. 15 Grafik *Normal/Axial Stress Versus Shear Stress*
(Sumber: Advance Soil Mechanics 3rd Edition, Braja M. Das)

2.5.1 *Direct Shear Modification*

Kelongsoran lereng yang sering terjadi di Indonesia umumnya terjadi pada kondisi pada lereng-lereng yang sudah lama stabil tiba-tiba mengalami kelongsoran. Padahal telah dilakukan perhitungan dan pendekatan bahwa lereng tersebut tidak akan mengalami kelongsoran. Hal inilah yang mendasari Hutagamissifardal & Mochtar untuk melakukan modifikasi alat uji tekan langsung (*direct shear*) untuk *cracked soil*.

Alat uji modifikasi *direct shear* oleh Hutagamissufardal & Mochtar dapat mengukur nilai kohesi dan sudut geser tanah pada kondisi *cracked soil*. Penambahan *water input apparatus* pada rangka utama dapat mensimulasikan tanah dalam keadaan *saturated* (jenuh). Selain itu, modifikasi pada *shear box* juga dilakukan agar *shear box* dapat memberikan tekanan air seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.16.

Hasil yang didapatkan pada percobaan sebelumnya membuktikan bahwa,

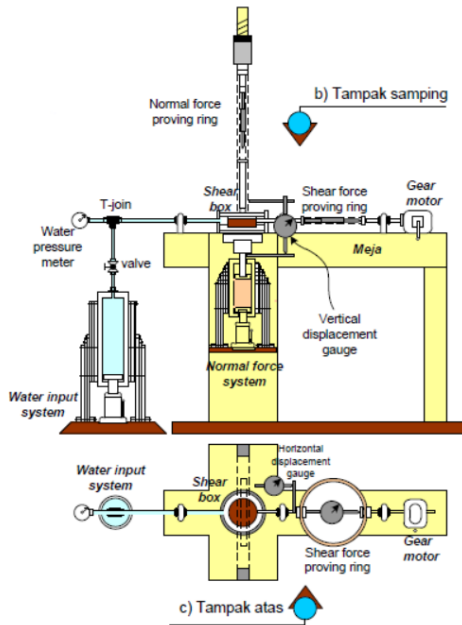
1. Panjang bidang retak sangat berpengaruh pada nilai kohesi. Semakin panjang bidang retak pada benda uji, maka akan semakin menurunkan nilai kohesi tanah

(diasumsikan nilai kohesi tanah adalah 0 bila *cracked* terjadi 100%).

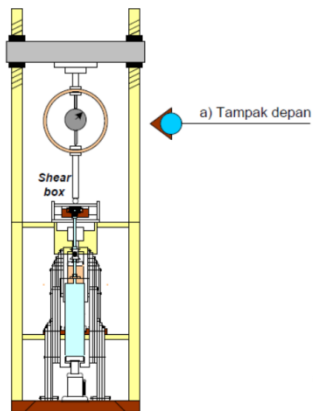
2. Panjang bidang retak tidak memengaruhi nilai dari kohesi tanah.
3. Nilai sudut internal/geser tanah tidak dipengaruhi oleh panjang bidang retak melainkan dipengaruhi oleh bentuk, gradasi, dan ukuran butiran dalam tanah tersebut. Apabila gradasi tanah tidak seragam maka nilai sudut internal/geser tanah akan meningkat pula.
4. Peningkatan sudut internal/geser juga akan terjadi pada butiran yang kasar (*ber-angular*) dibandingkan dengan butiran yang berbentuk bulat (Mitchel, 1976).

Kegiatan penelitian pengujian geser tanah di laboratorium ditunjukkan untuk mendapatkan sifat fisik tanah dan mekanis tanah. Pengujian geser tanah dilakukan dengan beberapa variabel pengujian yaitu:

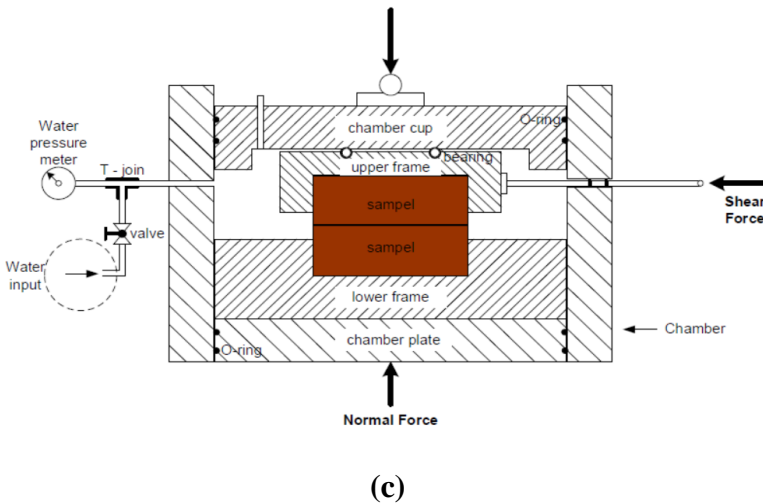
- Pengujian untuk sampel tanah yang telah mengalami retak sebagian sampai penuh
- Pengujian untuk sampel tanah yang bidang retaknya diberi tekanan air yang berbeda-beda



(a)



(b)



Gambar 2. 16 Alat *Direct Shear* Modifikasi: (a) Skema Alat Uji Modifikasi; (b) Water Input Apparatus; (c) Shear Box pada Alat Uji Modifikasi

(Sumber: Hutagamissufardal & Mochtar, 2018)

2.6 Teori *Cracked Soil*

- (Mochtar, 2011)

Keretakan pada tanah yang disebabkan oleh beberapa penyebab yaitu, adanya penyusutan pada permukaan tanah, pergerakan tanah dimasa lalu, pergerakan tanah yang cukup kuat (getaran yang berasal dari gempa bumi), adanya sedimen berlapis dan berselang-seling dengan lapisan pasir tipis pada lapisan tanah lanau-lempung yang tebal, serta adanya pelapukan akar tanaman. Pada intensitas hujan tinggi, keretakan yang ada pada tanah akan terisi oleh air hujan sehingga menyebabkan adanya tekanan air tambahan. Selain itu, material halus tanah ikut terbawa aliran air hujan sehingga membuat keretakan semakin besar dan retakan akan terisi oleh material tanah yang lebih besar (pasir atau batuan).

- (Hutagamissufardal, 2018)

Hasil temuan dari penelitian Hutagamissufardal, 2018 menjelaskan bahwa, panjang bidang retak sangat berpengaruh pada nilai kohesi tanah. Panjang bidang retak tidak berpengaruh pada nilai kohesi tanah. Bidang retak tidak begitu berpengaruh pada nilai sudut geser tanah, dengan artian nilai kohesi dan sudut geser internal tanah pada kondisi utuh dan pada kondisi *cracked* adalah sama. Semakin banyak pasir dalam bidang retak maka akan semakin meningkatkan nilai sudut geser internal tanah. Pasir dalam bidang retak akan merubah sifat tanah yang semula tanah kohesif menjadi tanah non-kohesif. Pengaruh tekanan air dalam pengujian pada nilai sudut geser internal tidak berpengaruh, sedangkan pada kohesi tanah berpengaruh sedikit (tekanan air membesar nilai kohesi tanah menurun).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

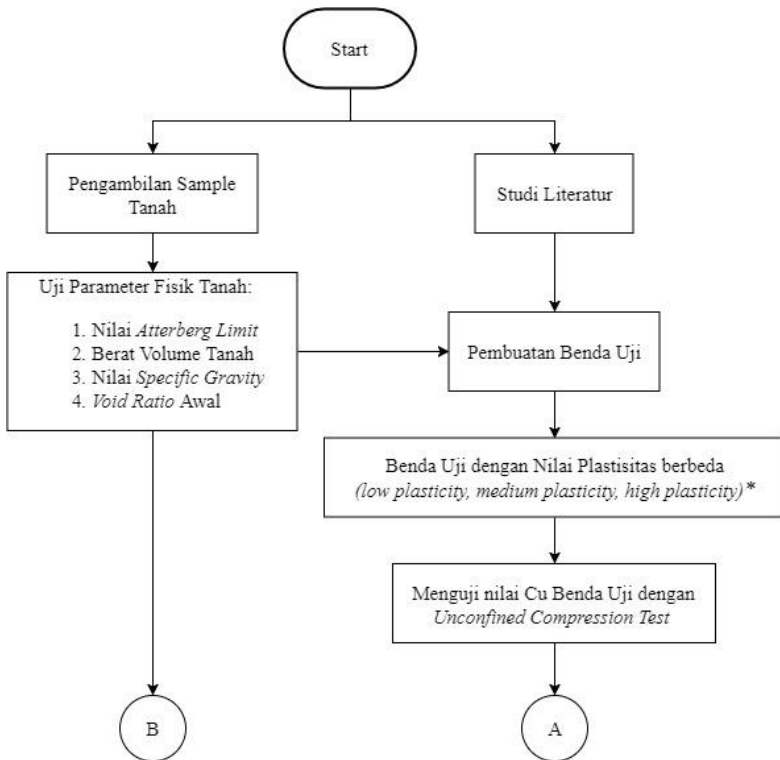
BAB III METODOLOGI

3.1. Bagan Alir Rancang Penelitian

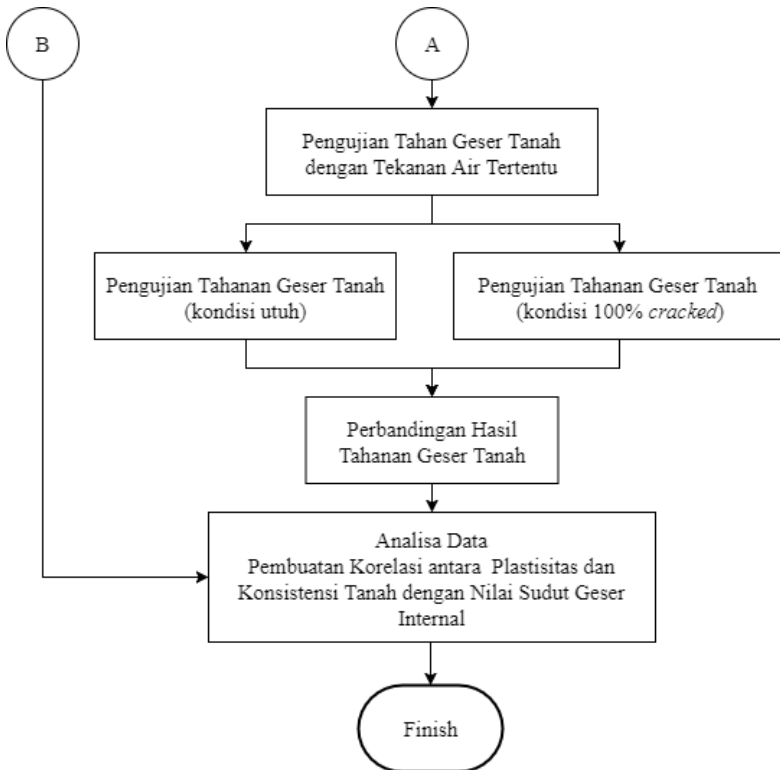
Penelitian ini adalah penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium dengan melakukan uji tahanan geser tanah pada kondisi utuh dan pada kondisi 100% *cracked*. Adapun tahapan penelitian adalah sebagai berikut (Gambar 3.1):

1. Pengujian *initial* tanah untuk parameter fisik tanah yang meliputi, nilai *atterberg limit*, berat volume tanah, *specific gravity*, dan *void ratio* awal.
2. Pembuatan benda uji berdasarkan nilai plastisitas tanah yang bervariasi: *low plasticity*, *medium plasticity*, dan *high plasticity* dengan rentang nilai *liquid limit* (batas cair) dan *plasticity index* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.
3. Melakukan tes *Unconfined Compression Test* untuk masing-masing benda uji untuk mengetahui rumus pembebanan yang digunakan sudah tepat.
4. Melakukan tes *direct shear* pada kondisi utuh dan 100% *cracked* untuk mengetahui nilai kohesi dan sudut internal tanah.
5. Analisa hasil pengujian dan pembuatan korelasi antara nilai plastisitas tanah dan konsistensi tanah terhadap nilai sudut internal tanah.

Adapun kegiatan penelitian ini disajikan ke dalam diagram alir seperti pada Gambar 3.1 Bagan Alir Rancang Penelitian



*Untuk penjelasan lebih lanjut mengenai *clustering* mengenai pembuatan benda uji dapat dilihat pada diagram alir pengujian tanah dengan variasi *liquid limit* dan *void ratio* (Gambar 3.2)



Gambar 3. 1 Bagan Alir Rancang Penelitian

3.2 Studi Literatur

Studi Literatur yang dimaksud adalah mengumpulkan bahan-bahan yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan penelitian ini. Bahan studi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Referensi mengenai konsistensi tanah lempung.
- Penelitian terdahulu mengenai parameter kekuatan geser tanah berdasarkan pendekatan bidang retak pada bidang longsor.

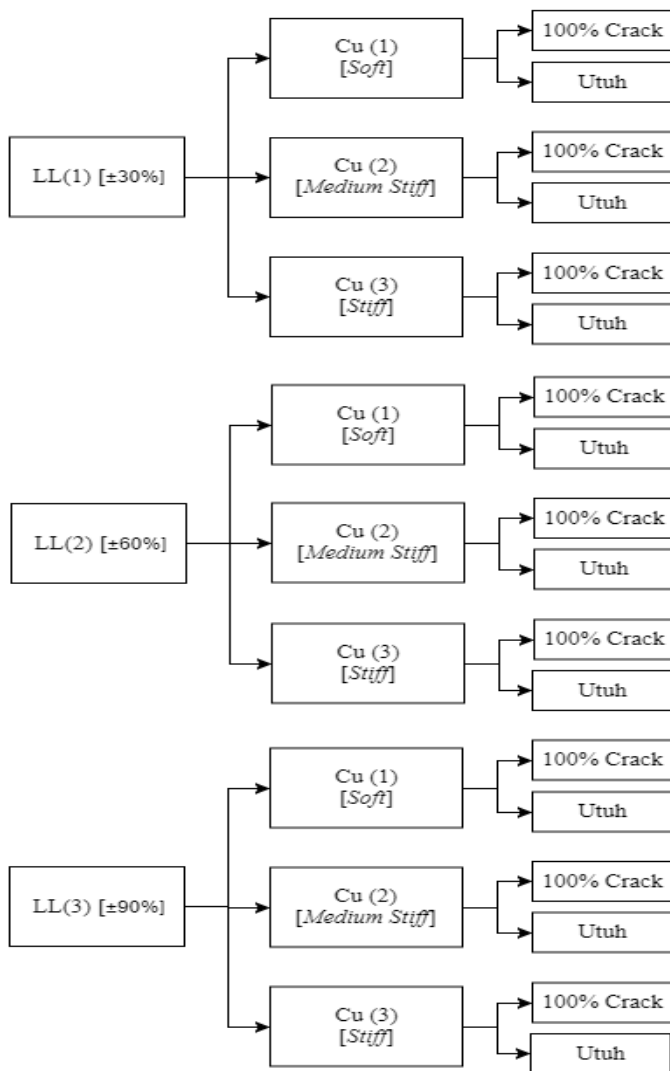
- Analisis hasil penelitian terdahulu untuk mengetahui cara penggunaan alat uji tahanan geser yang telah dimodifikasi.
- Referensi mengenai pengujian tahanan geser tanah.

3.3 Pengujian *Sample Tanah (Initial)*

Pada pengujian karakteristik tanah, tanah yang telah diperoleh dari *disturbed sample* akan diuji untuk memperoleh beberapa parameter sebagai berikut:

- Uji sifat fisik (Volumetri dan Gravimetri Test) untuk mendapatkan data *water content* (*wc*), berat volume (γ), *void ratio* (*e*), *porosity* (*n*), dan *specific gravity* (*Gs*).
- Uji plastisitas (*Atterberg Limit Test*) untuk mendapatkan data konsistensi tanah (*PI*, *LL*, *PL*)

Setelah didapatkan variasi nilai *liquid limit* tanah lempung dari setiap sampel benda uji maka, sampel yang digunakan adalah $\pm 30\%$ - $\pm 90\%$, maka dilakukan pembagian kelompok pengujian. Penjelasan lebih lanjut mengenai pengujian tanah dengan variasi *liquid limit* dan *void ratio* dapat dilihat pada Gambar 3.3. Bagan Alir Pengujian pada Variasi *Liquid Limit* untuk Setiap Konsistensi Tanah.



Gambar 3. 2 Bagan Alir Pengujian pada Variasi *Liquid Limit* untuk Setiap Konsistensi Tanah

3.4 Pembuatan Benda Uji dengan Variasi Konsistensi

Pengambilan sampel tanah dilakukan menggunakan cangkul (*disturbed sample*). Sebelum proses pengambilan sampel tanah, perlu dilaksanakan survey lokasi untuk mendapatkan informasi lokasi lahan yang memiliki tanah dengan nilai *liquid limit* yang diinginkan. Dalam penelitian ini digunakan tanah lempung dengan konsistensi *soft*, *medium stiff*, dan *stiff*.

Jika lokasi telah ditentukan, maka dilakukan pengambilan tanah pada lokasi yang telah ditentukan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Lahan dibersihkan dan digali sedalam 50 cm – 100 cm
2. Secara perlahan lahan yang sudah dibersihkan, kemudian tanah yang telah dibersihkan diambil dengan menggunakan cangkul
3. Tanah yang sudah diambil ditaruh di dalam karung kosong yang nantinya akan dikeringkan sebelum dilakukan penumbukan
4. Setelah tanah dikeringkan kurang lebih 1-2 hari tanah ditumbuk/dihaluskan dengan menggunakan penghalus hingga lolos ayakan no 40
5. Kemudian dilakukan pembuatan sample tanah dari butiran tanah yang lolos ayakan no. 40
6. Tanah yang lolos ayakan no. 40 diberi air sejumlah 1-3 LL tanah tersebut
7. Setelah diberi air dan diaduk hingga merata maka campuran tanah tersebut dimasukan ke dalam tabung pembebanan (untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada subbab 4.4)

3.5 Pengujian Konsistensi Tanah dengan *Unconfined Compression Test*

Setelah mengetahui parameter tanah, tahapan selanjutnya adalah pengujian *unconfined compression test* dari setiap sampel

tanah. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kohesi dari masing-masing benda uji tersebut serta mengetahui beban yang diberikan apakah sudah tepat untuk pembuatan benda uji alat *direct shear* yang modifikasi. Untuk satu kali uji diperlukan 1 (satu) buah sampel tanah dari setiap konsistensi tanah (*soft*, *medium stiff*, dan *stiff*).

Rumusan yang dipakai adalah rumus Ardana dan Mochtar, 1999 untuk mendapatkan beban yang diberikan pada pembuatan benda uji, seperti pada rumus (2.5) dan (2.6) . Dari hasil pembebanan tersebut diketahui beban dan kadar air yang digunakan dalam pembuatan benda uji untuk pengujian *direct shear* modifikasi pada kondisi utuh dan 100% *cracked*.

3.6 Pengujian Tahanan Geser Tanah

Pengujian *direct shear* (tahanan geser tanah) dimaksudkan untuk mendapatkan nilai kohesi tanah dan sudut geser internal tanah. Tekanan yang dilakukan dalam pengujian ini adalah sebesar 0.0 kg/cm²; 0.5 kg/cm²; dan 1.0 kg/cm². Pengujian dengan tekanan air yang berbeda dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik parameter tanah yang didapat dari pengujian *direct shear*.

3.6.1 Pengujian Tahanan Geser Tanah dengan *Direct Shear*

Pengujian geser tanah untuk tekanan air 0.0 kg/cm² dilakukan dengan menggunakan alat *direct shear* yang mengacu pada ASTM D 6528. Benda uji yang digunakan adalah tanah yang dihasilkan dari *slurry*, dengan konsistensi masing-masing *soft*, *medium stiff*, dan *stiff*. Dari hasil pengujian dengan menggunakan alat *direct shear* didapatkan parameter tanah yaitu, *Cu* (nilai kohesi tanah) dan sudut geser internal tanah. Beban pengujian yang digunakan adalah sebesar 2 kg, 4 kg, dan 8 kg dengan diameter sampel sebesar 6.25 cm. Kondisi tanah yang diujikan adalah pada kondisi utuh dan 100% *cracked*.

3.6.2 Pengujian Tahanan Geser Tanah dengan *Direct Shear Modification*

Pengujian geser tanah dilakukan dengan menggunakan alat *direct shear* yang telah dimodifikasi oleh Hutagamissufardal & Mochtar (2018). Hasil dari modifikasinya adalah *shear box* yang dibuat dapat menerima tekanan air. Pemberian tekanan air bertujuan agar benda uji di dalam *shear box* sesuai dengan kondisi di lapangan (*saturated soil*). Selain itu, alat uji geser yang telah dimodifikasi dapat menguji parameter tanah dalam kondisi retak. Jadi alat yang dibuat dapat menguji tanah dalam kondisi retak yang sesuai dengan kondisi tanah pada lereng di lapangan.

Masing-masing benda uji dengan variasi yang telah ditentukan diuji menggunakan alat *direct shear* yang telah dimodifikasi. Bidang retak yang diuji hanya retak dengan kondisi 100% *crack*. Besarnya beban yang diberikan disesuaikan dengan pemberian beban dari alat *direct shear* (Lampiran 5) Pengujian yang dilakukan adalah dengan tekanan air sebesar 0.5 kg/cm² dan 1.0 kg/cm².

3.7. Analisa Hasil

Analisa data hasil pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter nilai *liquid limit* dan konsistensi tanah terhadap nilai sudut internal tanah. Beberapa hal yang dianalisis berdasarkan data hasil pengujian sifat fisik tanah, pengujian plastisitas tanah, dan pengujian *direct shear* modifikasi adalah sebagai berikut:

1. Menghitung pengaruh penambahan pasir halus pada tanah lempung dengan indeks plastisitas <120% pada rumus Ardana dan Mochtar, 1999.
2. Menghitung pengaruh nilai *liquid limit* dan konsistensi tanah terhadap nilai sudut internal tanah pada kondisi utuh dan kondisi 100% *cracked*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL PENGUJIAN

4.1. Pengambilan Sampel Tanah *Disturbed*

Pengambilan sampel tanah dilakukan di dua daerah untuk memenuhi persyaratan *liquid limit* (LL) yang telah ditentukan. Daerah pengambilan pertama sampel tanah berada di kawasan Gedung Robotika ITS (Gambar 4.1) dan daerah pengambilan tanah kedua di kabupaten Kanor, Bojonegoro (Gambar 4.2). Tanah diambil hanya dibagian permukaannya saja. Tanah pada bagian permukaan tersebut diambil dengan menggunakan cangkul (*disturb sample*). Kemudian masing-masing tanah yang telah diambil diuji *liquid limit* melalui uji *atterberg limit*.

Tanah dengan *liquid limit* $\pm 90\%$ diambil di kawasan Gedung Robotika. Untuk tanah dengan *liquid limit* $\pm 60\%$ dilakukan pengujian pencampuran berat kering kaolinite dengan tanah dari kawasan Gedung Robotika ITS. Sedangkan untuk tanah dengan *liquid limit* $\pm 30\%$ dilakukan juga pengujian pencampuran berat kering tanah dari kabupaten Kanor, Bojonegoro dengan pasir halus (*fine sand*).



Gambar 4. 1 Letak Pengambilan Sampel (Robotika, ITS)
(Sumber: Dok. Pribadi)



Gambar 4. 2 Letak Pengambilan Sampel (Kanor, Bojonegoro)
(Sumber: Dok. Pribadi)

4.2. Hasil Uji Tanah (*Initial*)

Pengujian benda uji tanah dilakukan untuk memperoleh parameter tanah. Pengujian yang dilakukan yakni, pengujian atterberg limit tanah lempung serta kaolinite untuk mendapatkan nilai *liquid limit* (LL); *plasticity limit* (PL); dan *plasticity index* (PI), uji gradasi tanah untuk mengetahui fraksi tanah dan klasifikasi tanah, serta uji *volumetric-gravitmetri* untuk mengetahui nilai *void ratio* (angka pori); berat jenis tanah; dan *specific gravity* (Gs). Data uji parameter tiap tanah dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4. 1 Rekap Hasil Pengujian Tanah Robotika

Lokasi	Gedung Robotika ITS
Kondisi Cuaca	Hujan Ringan - Hujan Sedang
Waktu Pengambilan	Desember 2018
γ_t	1,251 gr/cm ³
γ_d	0,914 gr/cm ³
Void Ratio (angka pori)	1,957
Specific Gravity (Gs)	2,691
Water Content (Wc)	36,91%
Degree of Saturation (SR)	52,07%
Liquid Limit (LL)	87,00%
Plasticity Limit (PL)	42,43%
Plasticity Indes (PI)	44,57%
Fraksi Lempung	69,90%
Fraksi Lanau	29,10%
Fraksi Pasir	1,00%
Klasifikasi USCS	MH (Elastic Silt)
Klasifikasi AASHTO	A-7-5 (Clay Soil)

(Sumber: Data Primer)

Tabel 4. 2 Rekap Hasil Pengujian Tanah Kanor, Bojonegoro

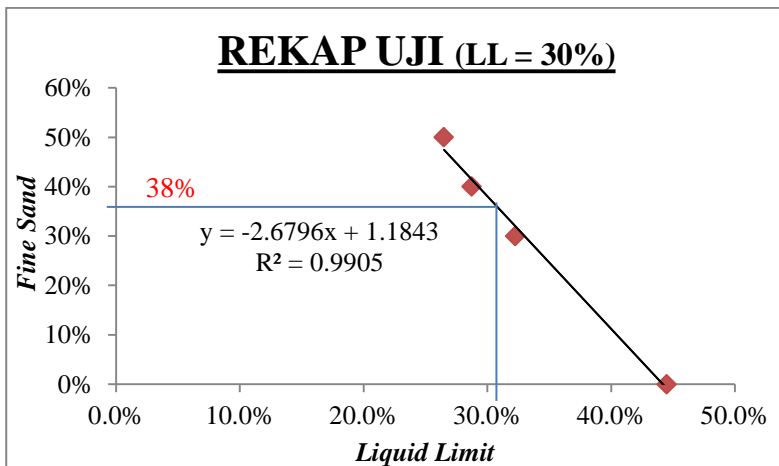
Lokasi	Kab. Kanor, Bojonegoro
Kondisi Cuaca	Hujan Ringan - Hujan Sedang
Waktu Pengambilan	Februari 2019
γ_t	1,115 gr/cm ³
γ_d	0,859 gr/cm ³
Void Ratio (angka pori)	2,216
Specific Gravity (Gs)	2,745
Water Content (Wc)	29,75%
Degree of Saturation (SR)	37,32%
Liquid Limit (LL)	44,50%
Plasticity Limit (PL)	23,43%
Plasticity Indes (PI)	21,07%
Fraksi Lempung	48,80%
Fraksi Lanau	31,60%
Fraksi Pasir	19,60%
Klasifikasi USCS	CL (Lean Clay)
Klasifikasi AASHTO	A-7-5 (Clay Soil)

(Sumber: Data Primer)

4.3 Penentuan Persentase Campuran Benda Uji dengan Konsistensi Bervariasi

Untuk mendapatkan nilai *liquid limit* (LL) tanah yang ingin dicapai maka, dilakukan proses pencampuran. Proses pencampuran dilakukan sebanyak dua kali untuk mencapai nilai *liquid limit* (LL) sebesar $\pm 30\%$ dan $\pm 60\%$. Bahan yang digunakan untuk mendapatkan *liquid limit* (LL) $\pm 30\%$ adalah tanah lempung dari kabupaten Kanor, Bojonegoro yang dicampur dengan *fine sand*/pasir halus (lolos ayakan no. 50, tertahan no. 200). Sedangkan, untuk mendapatkan nilai *liquid limit* (LL) $\pm 60\%$ adalah tanah lempung dari Robotika, ITS yang dicampurkan dengan kaolinite (dengan LL = 47%).

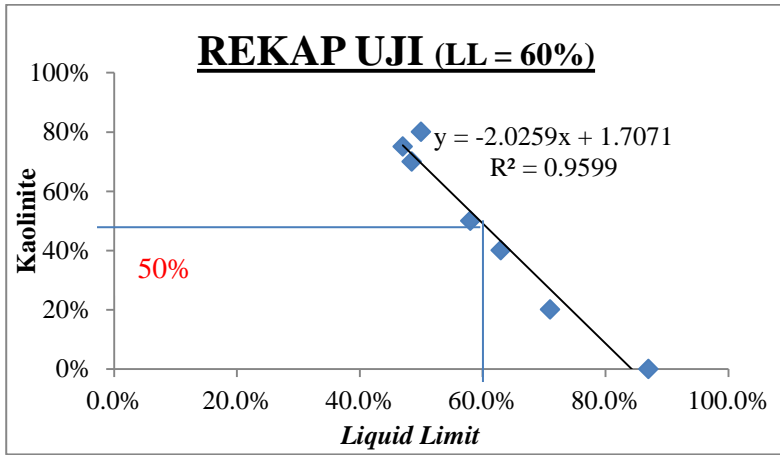
Dari hasil pengujian pencampuran tanah dengan cara coba-coba didapatkan komposisi *fine sand*/pasir halus dan tanah lempung kabupaten Kanor, Bojonegoro. Didapatkan *fine sand*/pasir halus sebanyak 38,04% \cong 40% dan tanah lempung kab. Kanor, Bojonegoro sebanyak 61,96% \cong 60 Gambar 4.4 menunjukkan grafik dari hasil coba-coba untuk mendapatkan nilai *liquid limit* (LL) yang direncanakan (sebesar $\pm 30\%$).



Gambar 4. 3 Grafik Rekap Uji *Liquid Limit* 30%
(Sumber: Data Primer)

Percobaan berikutnya adalah pencampuran kaolinite dengan tanah lempung dari Robotika ITS. Percobaan dilakukan juga dengan cara coba-coba komposisi kaolinite dengan tanah lempung dari Robotika ITS. Kemudian, didapatkan komposisi kaolinite dan tanah lempung masing-masing sebesar 49,16% \cong 50% untuk kaolinite dan 50,84% \cong 50% untuk tanah lempung dari Robotika ITS. Gambar 4.5 menunjukkan grafik dari hasil coba-

coba untuk mendapatkan nilai *liquid limit* (LL) yang direncanakan (sebesar $\pm 60\%$).



Gambar 4. 4 Grafik Rekap Uji *Liquid Limit* 60%
(Sumber: Data Primer)

Hasil percobaan pencampuran untuk mendapatkan hasil *liquid limit* (LL) yang ditentukan digunakan untuk pembuatan *slurry*. Dalam pembuatan *slurry*, berat kering disesuaikan sesuai dengan komposisi yang didapat dari percobaan pencampuran tanah untuk *liquid limit* (LL) yang ditetapkan sebesar 30% dan 60%. *Slurry* yang sudah dibuat kemudian dibebankan sesuai dengan perhitungan sesuai dengan rumus Ardana & Mochtar, 1999 (rumus 2.5).

4.4 Pembuatan Sample *Undisturbed* dari *Slurry*

Pembuatan benda uji tanah dengan menggunakan tanah lempung (*disturb sample*) yang sudah didapat untuk nilai *liquid*

limit (LL) $\pm 90\%$. Variasi nilai *liquid limit* (LL) untuk nilai *liquid limit* $\pm 30\%$ dan $\pm 60\%$ dilakukan dengan pencampuran tanah lempung (*disturb sample*) dengan berbagai jenis material seperti yang sudah dicari komposisinya pada subbab 4.3.

4.4.1 Pembuatan *Slurry* untuk Liquid Limit $\pm 30\%$

Pembuatan *slurry* untuk nilai *liquid limit* (LL) $\pm 30\%$ menggunakan tanah yang diambil dari Kabupaten Kanor, Bojonegoro. Tanah *disturb sample* yang diambil pertama-tama dikeringkan terlebih dahulu. Tanah yang sudah dalam kondisi kering ditumbuk dengan menggunakan alu (penumbuk). Tanah yang sudah halus kemudian diayak dengan menggunakan ayakan no. 40. Tanah yang sudah lolos ayakan no. 40 adalah tanah yang dipakai untuk membuat *slurry*. Seusai dengan komposisi yang didapat dari pengujian pencampuran tanah untuk nilai *liquid limit* (LL) $\pm 30\%$ (Gambar 4.3) adalah 40% *fine sand*/ pasir halus dan 60% tanah lempung dari kab. Kanor, Bojonegoro. Langkah-langkah pembuatan *slurry* untuk tanah *remoulded* adalah sebagai berikut:

1. Tanah yang sudah lolos ayakan no. 40 kemudian dicampur dengan air dengan kadar air mencapai 1-2 kali nilai *liquid limit*-nya. Tanah dan air yang sudah tercampur kemudian di-*mix* dengan menggunakan *mixer* atau alat pencampur hingga membentuk *slurry* (seperti bubur).
2. Sebelum *slurry* dimasukan, tabung *slurry* diberi pelumas (*oil/grease*) agar menurangi gaya lekatan atau gesekan antara butiran tanah dengan tabung *slurry* itu sendiri. Kemudian, *slurry* dimasukan ke dalam tabung *slurry* dengan tinggi tabung ± 30 cm. di bawah tabung diberikan batu porus dan kertas filter, setelah tabung terisi, bagian atas *slurry* juga ditutup dengan kertas filter dan batu porus.

3. Tanah yang sudah ada dalam tabung *slurry* diberikan beban satu tahap dengan tegangan prakonsolidasi yang diinginkan (lihat perhitungan pembebanan). Tanah dapat dikatakan selesai konsolidasi apabila sudah tidak terjadi penurunan/tidak keluarnya air dalam waktu 24 jam dengan beban tetap. Sebelum tanah dikeluarkan dari tabung, tanah dibiarkan mengembang sampai pada kondisi *over consolidated*; setelah itu contoh tanah dikeluarkan dari tabung dan siap untuk pengujian berikutnya.

Berikut contoh perhitungan material yang dibutuhkan untuk pembuatan campuran benda uji dengan nilai liquid limit = 30%:

-> Tanah yang dibutuhkan: 1200 gram

-> Persentase:

1. Clay Kanor : $60\% \times 1200 \text{ gram} = 720 \text{ gram}$

2. Pasir Halus : $40\% \times 1200 \text{ gram} = 480 \text{ gram}$

-> Kebutuhan Air:

$1.5LL \times 1200 \text{ gram} = 1.5 \times 30\% \times 1200 \text{ gram} = 540 \text{ gram}$



Gambar 4.5 Campuran dan Hasil *Slurry* (LL = 30%)
(Sumber: Dok. Pribadi)

4.4.2 Pembuatan *Slurry* untuk Liquid Limit $\pm 60\%$

Pembuatan *slurry* untuk nilai *liquid limit* (LL) $\pm 60\%$ menggunakan tanah yang diambil dari Robotika ITS. Tanah *disturb sample* yang diambil pertama-tama dikeringkan terlebih dahulu. Tanah yang sudah dalam kondisi kering ditumbuk dengan menggunakan alu (penumbuk). Tanah yang sudah halus kemudian diayak dengan menggunakan ayakan no. 40. Tanah yang sudah lolos ayakan no. 40 adalah tanah yang dipakai untuk membuat *slurry*. Sesuai dengan komposisi yang didapat dari pengujian pencampuran tanah untuk nilai *liquid limit* (LL) $\pm 60\%$ (Gambar 4.4) adalah 50% kaolin dan 50% tanah lempung dari Robotika ITS. Langkah-langkah pembuatan *slurry* untuk tanah *remoulded* adalah sebagai berikut:

1. Tanah yang sudah lolos ayakan no. 40 kemudian dicampur dengan air dengan kadar air mencapai 1-2 kali nilai *liquid limit*-nya. Tanah dan air yang sudah tercampur kemudian di-*mix* dengan menggunakan *mixer* atau alat pencampur hingga membentuk *slurry* (seperti bubur).
2. Sebelum *slurry* dimasukkan, tabung *slurry* diberi pelumas (*oil/grease*) agar menurangi gaya lekatan antara butiran tanah dengan tabung *slurry* itu sendiri. Kemudian, *slurry* dimasukkan ke dalam tabung *slurry* dengan tinggi tabung ± 30 cm. di bawah tabung diberikan batu porous dan kertas filter, setelah tabung terisi, bagian atas *slurry* juga ditutup dengan kertas filter dan batu porous.
3. Tanah yang sudah ada dalam tabung *slurry* diberikan beban satu tahap dengan tegangan prakonsolidasi yang diinginkan (lihat perhitungan pembebanan). Tanah dapat dikatakan selesai konsolidasi apabila sudah tidak terjadi penurunan/tidak keluarnya air dalam waktu 24 jam dengan beban tetap. Sebelum tanah dikeluarkan dari tabung, tanah dibiarkan mengembang sampai pada kondisi *over consolidated*; setelah itu contoh

tanah dikeluarkan dari tabung dan siap untuk pengujian berikutnya.

Berikut contoh perhitungan material yang dibutuhkan untuk pembuatan campuran benda uji dengan nilai liquid limit = 60%:

-> Tanah yang dibutuhkan: 1200 gram

-> Persentase:

1. Clay Robotik: $50\% \times 1200 \text{ gram} = 600 \text{ gram}$

2. Kaolinite : $50\% \times 1200 \text{ gram} = 600 \text{ gram}$

-> Kebutuhan Air:

$1.5LL \times 1200 \text{ gram} = 1.5 \times 60\% \times 1200 \text{ gram} = 1080 \text{ gram}$



Gambar 4. 6 Campuran dan Hasil *Slurry* (LL = 60%)
(Sumber: Dok. Pribadi)

4.4.3 Pembuatan *Slurry* untuk Liquid Limit $\pm 90\%$

Pembuatan *slurry* untuk nilai *liquid limit* (LL) $\pm 90\%$ menggunakan tanah yang diambil dari Robotika ITS. Tanah *disturb sample* yang diambil pertama-tama dikeringkan terlebih

dahulu. Tanah yang sudah dalam kondisi kering ditumbuk dengan menggunakan alu (penumbuk). Tanah yang sudah halus kemudian diayak dengan menggunakan ayakan no. 40. Langkah-langkah pembuatan *slurry* untuk tanah *remoulded* adalah sebagai berikut:

1. Tanah yang sudah lolos ayakan no. 40 kemudian dicampur dengan air dengan kadar air mencapai 1-2 kali nilai *liquid limit*-nya. Tanah dan air yang sudah tercampur kemudian di-*mix* dengan menggunakan *mixer* atau alat pencampur hingga membentuk *slurry* (seperti bubur).
2. Sebelum *slurry* dimasukkan, tabung *slurry* diberi pelumas (*oil/grease*) agar menurangi gaya lekatan antara butiran tanah dengan tabung *slurry* itu sendiri. Kemudian, *slurry* dimasukkan ke dalam tabung *slurry* dengan tinggi tabung ± 30 cm. di bawah tabung diberikan batu porus dan kertas filter, setelah tabung terisi, bagian atas *slurry* juga ditutup dengan kertas filter dan batu porus. (lihat Gambar 4.6)
3. Tanah yang sudah ada dalam tabung *slurry* diberikan beban satu tahap dengan tegangan prakonsolidasi yang diinginkan (lihat perhitungan pembebanan). Tanah dapat dikatakan selesai konsolidasi apabila sudah tidak terjadi penurunan/tidak keluarnya air dalam waktu 24 jam dengan beban tetap. Sebelum tanah dikeluarkan dari tabung, tanah dibiarkan mengembang sampai pada kondisi *over consolidated*; setelah itu contoh tanah dikeluarkan dari tabung dan siap untuk pengujian berikutnya.

Berikut contoh perhitungan material yang dibutuhkan untuk pembuatan campuran benda uji dengan nilai *liquid limit* = 30%:

-> Tanah yang dibutuhkan: 1200 gram

-> Kebutuhan Air:

$$1.5LL \times 1200 \text{ gram} = 1.5 \times 90\% \times 1200 \text{ gram} = 1620 \text{ gram}$$



Gambar 4.7 Campuran dan Hasil *Slurry* (LL = 90%)
(Sumber: Dok. Pribadi)

4.4.4 Pembebanan *Slurry*

Pembebanan ditujukan untuk memenuhi konsistensi tanah yang ingin dicapai (lihat Tabel 2.2). Dengan rumusan Ardana & Mochtar, 1999 maka didapatkan beban yang ingin diberikan pada slurry tersebut.

Contoh perhitungan:

$$C_u = 0.0737 + (0.1899 - 0.0016 PI) \sigma_v'$$

$$\frac{(C_u - 0.0737)}{(0.1899 - 0.0016 PI)} = \sigma_v'$$

$$\frac{(C_u - 0.0737) \times A}{(0.1899 - 0.0016 PI)} = F_v$$

- > Cu : 0.25 kg/cm² (Medium Stiff Soil)
 -> A : 42.08 cm²
 -> PI (%): 44.57

$$\frac{(0.25-0.0737) \times 42.08}{(0.1899-0.0016 \times 44.57)} = 62.57 \text{ kg}$$

Dari rumusan dan contoh perhitungan di atas maka dapat disimpulkan masing-masing tanah dengan *liquid limit* yang berbeda dan nilai kohesi yang hendak dicapai sesuai konsistensi tanah yang berbeda menghasilkan beban yang berbeda pula. Namun, pada tanah dengan LL: ±30% dengan nilai PI: 8.94% rumus Ardana & Mochtar, 1999 mengalami perubahan karena adanya persentase pasir halus yang terdapat dalam campuran pembuatan benda uji. Hasil rekapan perhitungan beban yang diberikan untuk benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Rekapan Perhitungan Pembebanan

Perhitungan Pembebanan						
Harga LL, PL & PI		Taksiran Nilai Cu			Tekanan	Beban
		Konsistensi Tanah	Cu (kg/cm²)	Cu [use]	Konsolidasi	Konsolidasi
		Very Soft	0,000 - 0,125	0.10 kg/cm ²	0.15 kg/cm ²	12.85 kg
LL (%) =	±30	Soft	0,125 - 0,250	0.15 kg/cm ²	0.43 kg/cm ²	37.29 kg
PL (%) =	19.81	Medium Stiff	0,250 - 0,500	0.25 kg/cm ²	1.00 kg/cm ²	86.16 kg
PI (%) =	8.94	Stiff	0,500 - 1,000	0.50 kg/cm ²	2.43 kg/cm ²	208.33 kg
		Very Stiff	1,000 - 2,000	1.00 kg/cm ²	5.28 kg/cm ²	452.67 kg
		Very Soft	0,000 - 0,125	0.10 kg/cm ²	0.18 kg/cm ²	7.61 kg
LL (%) =	±60%	Soft	0,125 - 0,250	0.15 kg/cm ²	0.52 kg/cm ²	22.07 kg
PL (%) =	30.23	Medium Stiff	0,250 - 0,500	0.25 kg/cm ²	1.21 kg/cm ²	51.00 kg
PI (%) =	27.77	Stiff	0,500 - 1,000	0.50 kg/cm ²	2.93 kg/cm ²	123.33 kg
		Very Stiff	1,000 - 2,000	1.00 kg/cm ²	6.37 kg/cm ²	267.98 kg
		Very Soft	0,000 - 0,125	0.10 kg/cm ²	0.22 kg/cm ²	9.33 kg
LL (%) =	±90%	Soft	0,125 - 0,250	0.15 kg/cm ²	0.64 kg/cm ²	27.08 kg
PL (%) =	42.43	Medium Stiff	0,250 - 0,500	0.25 kg/cm ²	1.49 kg/cm ²	62.57 kg
PI (%) =	44.57	Stiff	0,500 - 1,000	0.50 kg/cm ²	3.59 kg/cm ²	151.29 kg
		Very Stiff	1,000 - 2,000	1.00 kg/cm ²	7.81 kg/cm ²	328.73 kg

(Sumber: Data Primer)

Tabel 4. 4 Rekap Data *Slurry* (LL:30%)

Soft Soil		Med. Stiff Soil		Stiff Soil	
eo	2.343	eo	2.343	eo	2.343
γ	1.401 gr/cm ³	γ	1.507 gr/cm ³	γ	1.527 gr/cm ³
wc aw	45.00%	wc aw	45.00%	wc aw	45.00%
wc ak	27.89%	wc ak	25.75%	wc ak	24.89%
e1	1.721	e1	1.487	e1	1.438
h0	18.80 cm	h0	28.50 cm	h0	28.80 cm
h1	15.30 cm	h1	21.20 cm	h1	21.00 cm
Δh	3.50 cm	Δh	7.30 cm	Δh	7.80 cm
T(req)	4 Hari	T(req)	4 Hari	T(req)	5 Hari
Gs	2.98	Gs	2.98	Gs	2.98

(Sumber: Data Primer)

Tabel 4. 5 Rekap Data *Slurry* (LL:60%)

Soft Soil		Med. Stiff Soil		Stiff Soil	
eo	2.773	eo	2.773	eo	2.773
γ	1.503 gr/cm ³	γ	1.650 gr/cm ³	γ	1.741 gr/cm ³
wc aw	90.00%	wc aw	90.00%	wc aw	90.00%
wc ak	56.69%	wc ak	51.04%	wc ak	45.86%
e1	1.638	e1	1.316	e1	1.119
h0	21.60 cm	h0	18.90 cm	h0	23.50 cm
h1	15.10 cm	h1	11.60 cm	h1	13.20 cm
Δh	6.50 cm	Δh	7.30 cm	Δh	10.30 cm
T(req)	5 Hari	T(req)	4 Hari	T(req)	4 Hari
Gs	2.530	Gs	2.530	Gs	2.530

(Sumber: Data Primer)

Tabel 4. 6 Rekap Data Slurry (LL:90%)

Soft Soil (UNDISTURBED)		Med. Stiff Soil		Stiff Soil	
eo	2.486	eo	2.486	eo	2.486
γ	1.251 gr/cm ³	γ	2.127 gr/cm ³	γ	2.321 gr/cm ³
wc aw	36.91%	wc aw	108.00%	wc aw	108.00%
wc ak		wc ak	63.83%	wc ak	58.33%
e1		e1	1.073	e1	0.836
h0		h0	22.70 cm	h0	28.10 cm
h1		h1	13.50 cm	h1	14.80 cm
Δh		Δh	9.20 cm	Δh	13.30 cm
T(req)		T(req)	6 Hari	T(req)	6 Hari
Gs	2.691	Gs	2.691	Gs	2.691

(Sumber: Data Primer)

4.5 Penentuan Nilai Kohesi dari Sample *Undisturbed* dari *Slurry*

Setelah *slurry* yang telah dimasukan ke dalam tabung dibebani sesuai dengan rumusan Ardana & Mochtar, 1999 (rumus 2.5) maka, dilakukan pengujian *unconfined compression test* untuk mengetahui bahwa hasil pembebanan (benda uji) dari rumusan Ardana & Mochtar, 1999 sudah sesuai dengan nilai konsistensi tanah yang hendak dicapai. Setiap hasil pembebanan untuk konsistensi tanah tertentu diuji sebanyak satu hingga dua kali untuk mengetahui apakah nilai kohesi tanah sudah memenuhi nilai kohesi yang ingin dicapai. Berikut langkah pengujian dan contoh perhitungan pada pengujian *unconfined compression test*:

Langkah pengujian:

1. Benda uji yang telah dibebani dikeluarkan dari tabung *slurry*
2. Sesuai dengan metode pengujian (ASTM D2166M-13) minimal diameter benda uji adalah 30 mm (1.3 in) dan tinggi minimal adalah 2 – 2.5 diameter, maka diambil diameter sebesar 36 mm dan tinggi sesuai dengan metode pengujian

3. Setelah benda uji dipotong/dibentuk sesuai dengan metode pengujian, maka langkah berikutnya adalah diuji. Kecepatan meregang benda uji diatur agar tetap konstan dan sesuai dengan metode pengujian ($\frac{1}{2}\%$ - 2% /menit)
4. Pengujian dikatakan selesai bila sudah ada pengulangan angka sebanyak 3 atau 4 kali
5. Catat hasil pengujian pada lembar yang sudah disiapkan untuk pengujian *unconfined compression test*
6. Grafik untuk mengetahui nilai q_u dan S_u dibuat
7. Dari grafik yang sudah dibuat, didapatkan nilai q_u dan S_u

Hasil rekapan semua pengujian *unconfined compression test* dapat dilihat pada lampiran.

Contoh perhitungan:

LL : $\pm 60\%$

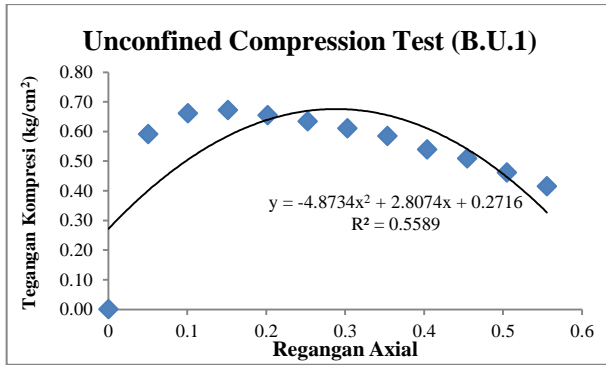
Data awal :

Benda Uji	Berat sample	Tinggi Sample	Diameter Sample	Luas (Ao)	Volume
1	130.82 gr	7.92 cm	3.60 cm	10.18 cm ²	80.62 cm ³
2	130.71 gr	7.99 cm	3.60 cm	10.18 cm ²	81.33 cm ³

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian *Unconfined Compression Test*

Perhitungan Benda Uji 1								
waktu	bacaan dial deformasi	Beban dial	Deformasi tanah	Regangan Axial	Faktor Koreksi Luas	Luas terkoreksi	Beban Total	Tegangan Kompresi
[a]	[b]	[c]	[d]	[e]	[f]	[g]	[h]	[i]
sec	(units)	(units)	Δh (cm)	$\epsilon = \Delta h/h$	1- ϵ	$A' = A_o/[f]$	$P = [c] \times LRC$	$\sigma = [h]/[g]$ (kg/cm ²)
0	0	0.0	0.0	0.000	0.000	10.18 cm ²	0.00 kg	0.00
30	40	11.0	0.4	0.051	0.949	10.72 cm ²	6.33 kg	0.59
60	80	13.0	0.8	0.101	0.899	11.32 cm ²	7.48 kg	0.66
90	120	14.0	1.2	0.152	0.848	12.00 cm ²	8.05 kg	0.67
120	160	14.5	1.6	0.202	0.798	12.76 cm ²	8.34 kg	0.65
150	200	15.0	2.0	0.253	0.747	13.62 cm ²	8.63 kg	0.63
180	240	15.5	2.4	0.303	0.697	14.60 cm ²	8.92 kg	0.61
210	280	16.0	2.8	0.354	0.646	15.75 cm ²	9.20 kg	0.58
240	320	16.0	3.2	0.404	0.596	17.08 cm ²	9.20 kg	0.54
270	360	16.5	3.6	0.455	0.545	18.66 cm ²	9.49 kg	0.51
300	400	16.5	4.0	0.505	0.495	20.57 cm ²	9.49 kg	0.46
330	440	16.5	4.4	0.556	0.444	22.90 cm ²	9.49 kg	0.41

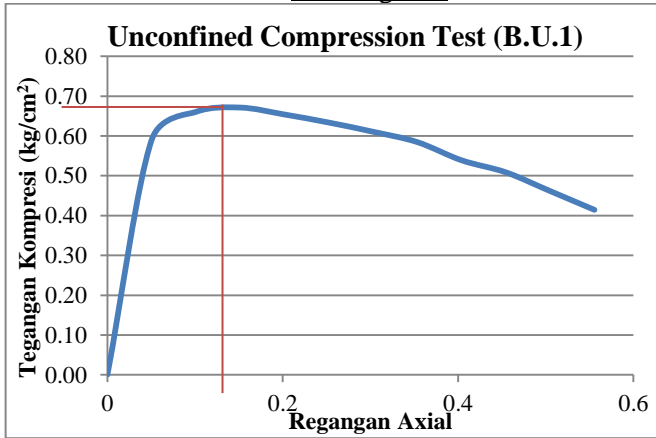
(Sumber: Data Primer)



Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengujian *Unconfined Compression Test* (1)
(Sumber: Data Primer)

$$Q_u = \underline{0.676 \text{ kg/cm}^2}$$

$$S_u = \underline{0.338 \text{ kg/cm}^2}$$



Gambar 4. 9 Grafik Hasil Pengujian *Unconfined Compression Test* (2)
(Sumber: Data Primer)

$$Q_u = \underline{0.68 \text{ kg/cm}^2}$$

$$S_u = \underline{0.34 \text{ kg/cm}^2}$$

Dari kedua grafik di atas, Gambar 4.8 & Gambar 4.9 didapatkan nilai S_u tanah untuk LL: $\pm 60\%$ sebesar 0.338 kg/cm^2 dan 0.34 kg/cm^2 . Tanah yang telah dibebani pada tabung slurry selama ± 4 hari termasuk tanah dengan konsistensi medium stiff. Beban yang diberikan sesuai dengan rumusan Ardana dan Mochtar (1999) sebesar 51 kg dan hasil S_u tanah termasuk untuk tanah dengan konsistensi *medium stiff*. Hal ini menunjukkan bahwa beban yang diberikan untuk tanah dengan konsistensi medium stiff yang hendak dicapai sudah sesuai (Lampiran 2).

Hasil pembebanan untuk tanah dengan LL: $\pm 60\%$ dan $\pm 90\%$ dengan konsistensi *soft*, *medium stiff*, dan *stiff* sudah sesuai. Namun, seperti yang sudah disebut sebelumnya bahwa ada perubahan perumusan Ardana dan Mochtar (1999) untuk LL: $\pm 30\%$. Hal ini disebabkan karena persentase dominan dalam campuran tanah adalah pasir halus. Maka dari itu, disarankan untuk memperhitungkan gesekan antara tanah dengan tabung *slurry*. berikut adalah rekomendasi rumusan untuk tanah yang dominan pasir halus:

Tabel 4. 8 Rekomendasi Beban untuk Tanah dengan LL: 30%

Harga LL, PL & PI	Taksiran Nilai C_u			Tekanan	Beban Konsolidasi	Hasil
	Konsistensi Tanah	C_u (kg/cm^2)	C_u [use]	Konsolidasi	(tanpa ϕ)	(tanpa ϕ)
LL (%) = ± 30	Very Soft	0,000 - 0,125	0.10 kg/cm^2	0.15 kg/cm^2	6.08 kg	-
	Soft	0,125 - 0,250	0.15 kg/cm^2	0.43 kg/cm^2	17.64 kg	-
PL (%) = 19.81	Medium Stiff	0,250 - 0,500	0.25 kg/cm^2	1.00 kg/cm^2	40.77 kg	0.13 kg/cm^2
PI (%) = 8.94	Stiff	0,500 - 1,000	0.50 kg/cm^2	2.43 kg/cm^2	98.57 kg	0.23 kg/cm^2
	Very Stiff	1,000 - 2,000	1.00 kg/cm^2	5.28 kg/cm^2	214.19 kg	-

(Sumber: Data Primer)

Dari hasil yang didapatkan bahwa beban tanpa nilai sudut geser tanah (*friction angle*) yang diberikan terhadap benda uji kurang (tidak memenuhi konsistensi tanah yang hendak dicapai). Maka dari itu, diusulkan pemberian harga *friction angle* sebesar 10° - 15° sehingga rumusan Ardana & Mochtar, 1999 (pers. 2.5) mengalami sedikit perubahan. Penurunan rumusnya adalah sebagai berikut:

$$\sigma_p' = \sigma_v' - \tau$$

$$\frac{Pp'}{A} = \frac{P - \sigma_v' \cdot \tan(\delta) \cdot (1 - \sin(\phi)) \cdot 0.25H \cdot \pi D}{0.25\pi D^2}$$

$$\sigma_p' = \sigma_v' - \sigma_v' \cdot \tan(\delta) \cdot (1 - \sin(\phi)) \cdot \frac{H}{D}$$

$$\sigma_p' = \sigma_v' \left(1 - \frac{\tan(\delta) \cdot (1 - \sin(\phi)) \cdot H}{D} \right)$$

$$\sigma_v' = \frac{\sigma p'}{\left(1 - \frac{\tan(\delta) \cdot (1 - \sin(\phi)) \cdot H}{D} \right)}$$

$$P_v' = \frac{\sigma p' \times A}{\left(1 - \frac{\tan(\delta) \cdot (1 - \sin(\phi)) \cdot H}{D} \right)} \quad (3.1)$$

$$Cu = 0.0737 + (0.1899 - 0.0016 PI) \sigma_v' \quad (2.5)$$

dari persamaan 2.5 didapatkan:

$$\sigma p' = \frac{(Cu - 0.0737)}{(0.1899 - 0.0016 PI)} \quad (3.2)$$

Masukan persamaan 5.3 ke dalam persamaan 5.2. Sehingga rumus Ardana & Mochtar, 1999 menjadi:

$$P_v' = \frac{\left(\frac{(Cu - 0.0737)}{(0.1899 - 0.0016 PI)} \times A \right)}{\left(1 - \frac{\tan(\delta) \cdot (1 - \sin(\phi)) \cdot H}{D} \right)}$$

$$Cu = 0.0737 + (0.1899 - 0.0016 PI) \sigma_v' \left(1 - \frac{\tan(\delta) \cdot (1 - \sin(\phi)) \cdot H}{D} \right)$$

Dengan syarat:

1. Persentase pasir halus $>50\%$
2. Asumsi $\phi = \delta$, dalam kasus ini $\phi = 10^\circ-15^\circ$
3. Nilai kohesi tanah dalam kg/cm^2

4.6 Hasil Pengujian *Direct Shear*

Setelah mengetahui pembebanan yang digunakan untuk membuat benda uji pada pengujian *unconfined compression test*, maka langkah selanjutnya adalah menguji nilai kohesi dan sudut internal tanah baik dalam kondisi utuh maupun 100% *cracked* pada pengujian *direct shear*. Tekanan *axial/normal* yang diberikan sesuai dengan subbab 2.5. Pada pengujian *direct shear* dengan tekanan air 0.0 kg/cm^2 dilakukan dengan menggunakan alat seperti biasa (tidak bisa diberikan tekanan air) yang mengacu pada ASTM D 6528. Adapun langkah dan contoh perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Benda uji (*slurry*) yang sudah dibebani diambil dan dibentuk sesuai bentuk benda uji yang diinginkan
2. Setelah benda uji selesai dibentuk sesuai bentuk yang diinginkan, benda uji tersebut dimasukan kedalam alat *direct shear*. Untuk kondisi 100% *cracked* benda uji diberi bidang retak secara sengaja dengan menggunakan *trimmer* (kawat besi) pada bagian tengah antara *upper frame* dengan *lower frame* (Gambar 4.10)
3. Benda uji yang sudah disesuaikan bentuk dan kondisinya dimasukan ke dalam *shear box* untuk dilakukan pengujian
4. Pemberian beban *axial/normal* pada benda uji
5. Pengujian *direct shear* dimulai
6. Pengujian dihentikan bila sudah ada empat kali pengulangan angka pada *horizontal dial load*
7. Setiap nilai *liquid limit* untuk masing-masing konsistensi tanah yang berbeda diuji sebanyak tiga kali untuk

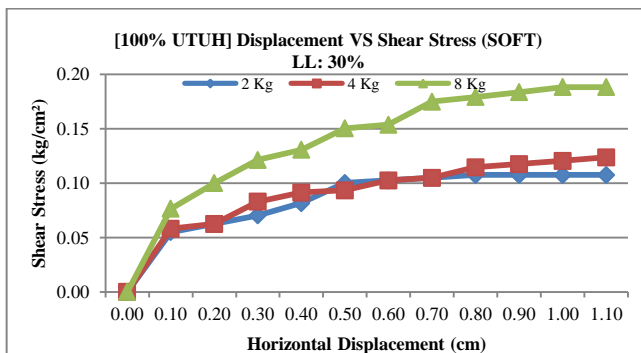
mendapatkan nilai kohesi dan sudut internal tanah dari hasil rekapan.

8. Dalam proses perhitungan dapat digunakan rumusan 2.11, 2.12, 2.13, dan 2.14 untuk mendapatkan nilai *axial/normal stress* dan *shear stress*

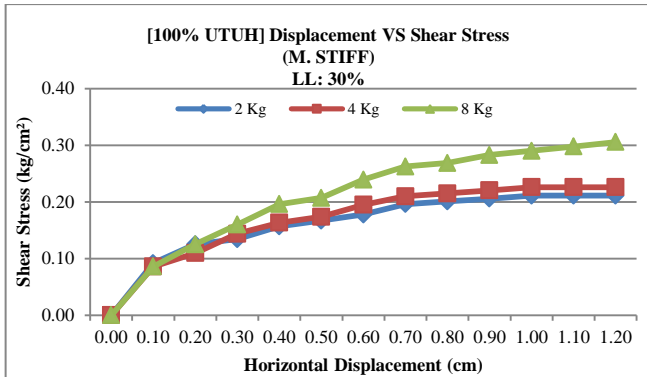


Gambar 4. 10 Persiapan Benda Uji untuk 100% *Cracked* ($u = 0$ kg/cm^2)
(Sumber: Dok. Pribadi)

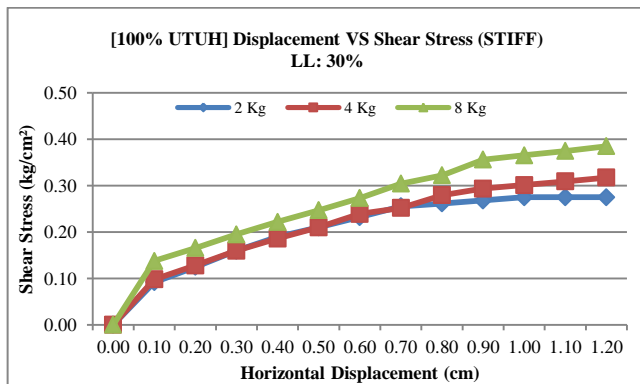
Berikut merupakan grafik-grafik yang dihasilkan dari pengujian direct shear dengan tekanan air sebesar 0 kg/cm^2 untuk kondisi utuh.



(a)



(b)

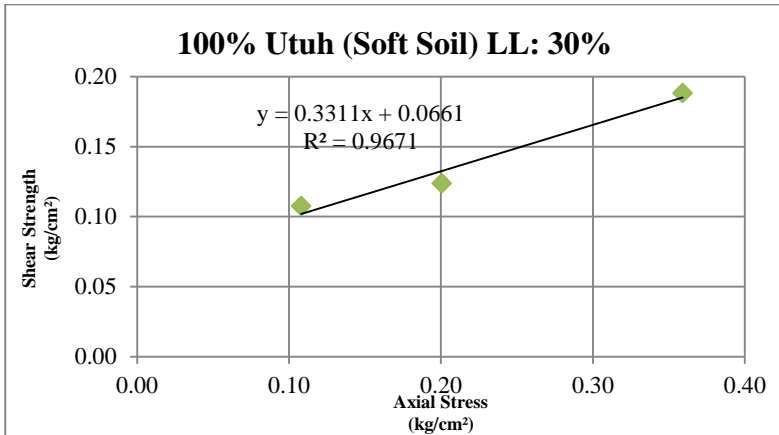


(c)

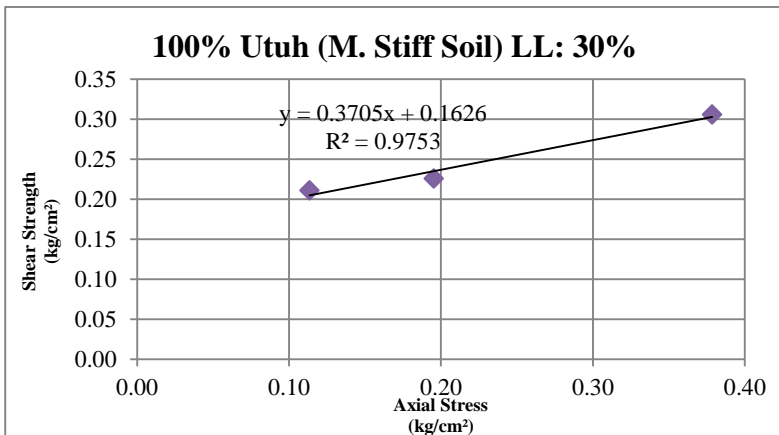
Gambar 4. 11 Grafik Hubungan *Horizontal Displacement* & *Shear Stress* ($u = 0 \text{ kg/cm}^2$) Utuh: (a) *Soft Soil*, (b) *Medium Stiff Soil* (c) *Stiff Soil*
(Sumber: Data Primer)

Dari hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 dapat dilihat pola interaksi tanah antara *horizontal displacement* dan *shear stress* untuk masing-masing konsistensi tanah. Dari data diatas

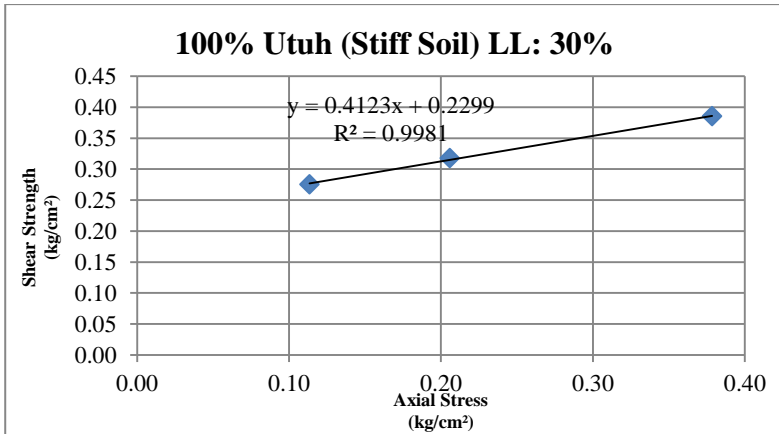
kemudian dibuat grafik hubungan antara *shear strength* dan *axial stress* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12.



(a)



(b)



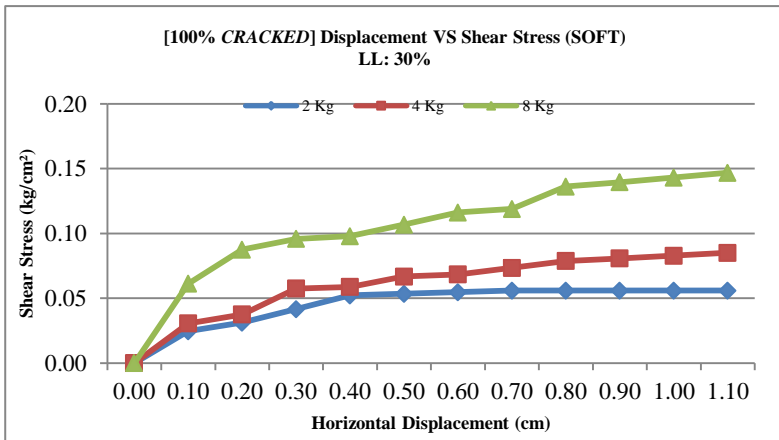
(c)

Gambar 4. 12 Grafik Hubungan *Shear Strength & Axial Stress* ($u = 0 \text{ kg/cm}^2$) Utuh: (a) *Soft Soil*, (b) *Medium Stiff Soil* (c) *Stiff Soil* (Sumber: Data Primer)

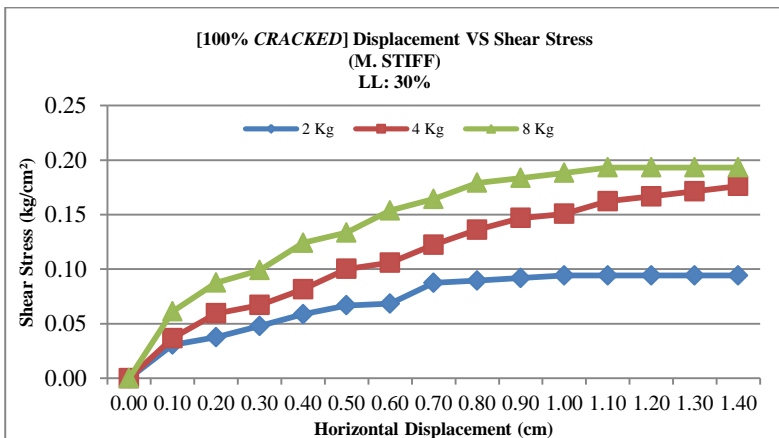
Dari grafik (Gambar 4.12) yang dihasilkan dapat dilihat besarnya nilai sudut geser tanah dan nilai kohesi tanah untuk LL: 30% dari persamaan yang dihasilkan. Arc-tangen dari gradient persamaan tersebut merupakan sudut geser tanah dan konstanta sebagai nilai kohesi tanah. Dapat dilihat bahwa gradient dan konstanta akan semakin besar seiring kenaikan dari konsistensi tanah. Hal ini menunjukkan bahwa tanah yang semakin besar nilai konsistensinya maka sudut geser dan kohesinya juga akan semakin bertambah.

Grafik *horizontal displacement & shear stress* dapat dilihat pada Lampiran 3 dan grafik hubungan *shear strength & axial stress* dapat dilihat pada Lampiran 4

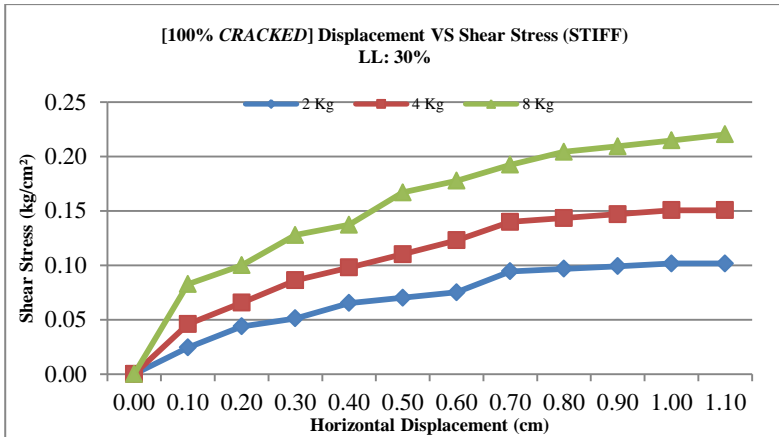
Berikut merupakan grafik-grafik yang dihasilkan dari pengujian *direct shear* dengan tekanan air sebesar 0.0 kg/cm^2 untuk kondisi 100% *cracked*.



(a)



(b)

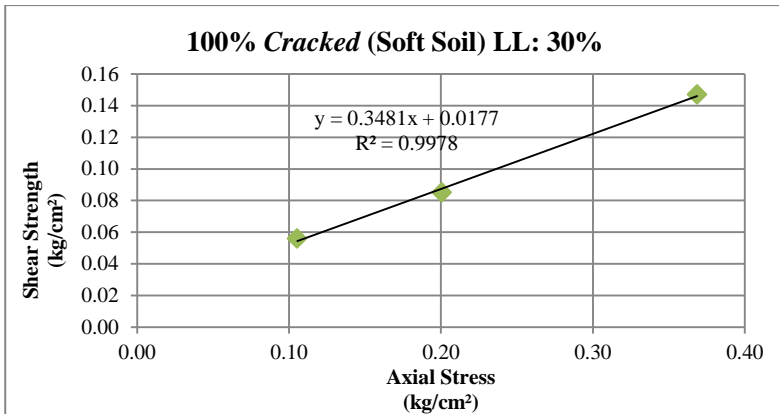


(c)

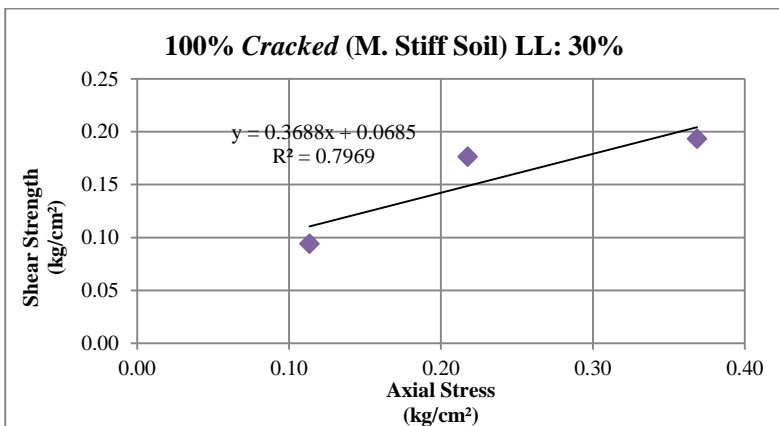
Gambar 4. 13 Grafik Hubungan *Horizontal Displacement* & *Shear Stress* ($U = 0 \text{ kg/cm}^2$) Cracked: (a) *Soft Soil*, (b) *Medium Stiff Soil* (c) *Stiff Soil*

(Sumber: Data Primer)

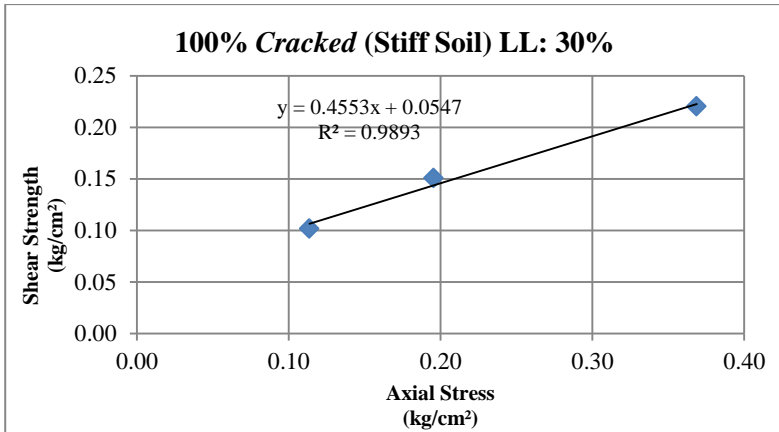
Dari hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 dapat dilihat pola interaksi tanah antara *horizontal displacement* dan *shear stress* untuk masing-masing konsistensi tanah. Dari data diatas kemudian dibuat grafik hubungan antara *shear strength* dan *axial stress* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 14 Grafik Hubungan Shear Strength & Axial Stress ($u = 0 \text{ kg/cm}^2$) 100% Cracked: (a) *Soft Soil*, (b) *Medium Stiff Soil* (c) *Stiff Soil*

(Sumber: Data Primer)

Dari hasil pengujian pada benda uji yang telah mengalami 100% *cracked* didapatkan nilai kohesi yang sangat kecil dan nilai sudut geser yang tidak jauh berubah dari kondisi utuh (bandingkan Gambar 4.13 & Gambar 4.13). Hal ini membuktikan bahwa pada kondisi 100% *cracked* nilai kohesi tanah mengalami penurunan hingga menjadi konsistensi *very soft*. Maka dari itu, nilai kohesi tanah dapat diabaikan.

Parameter lainnya seperti nilai sudut geser dan kohesi pada konsistensi tanah stiff tidak sesuai jika dibandingkan dengan hasil pengujian *unconfined compression test*. Nilai kohesi tanah tidak mencapai konsistensi *stiff* dengan pengujian *direct shear* tanpa tekanan air, sedangkan jika menggunakan *unconfined compression test* dengan beban yang sama pada saat pembuatan sampel didapatkan nilai kohesi yang sesuai dengan konsistensi tanah yang hendak dicapai. Dengan demikian hasil dari pengujian *direct shear* ini pada konsistensi *medium stiff* hingga *stiff* untuk

mengetahui parameter sudut geser tanah dan nilai kohesi tanah kurang sesuai.

4.7 Hasil Pengujian *Direct Shear* Modifikasi

Pengujian *direct shear* modifikasi ditujukan untuk mengetahui parameter kohesi dan sudut internal tanah pada kondisi utuh & 100% *cracked*. Tidak berbeda jauh dengan pengujian *direct shear* biasa (tanpa tekanan air), pengujian juga menggunakan beban *axial/normal* pada benda uji dan diukur kekuatan *shear stress*-nya melalui *horizontal dial load*. Tekanan air yang diberikan pada semua benda uji masing-masing sebesar 0.5 kg/cm^2 dan 1.0 kg/cm^2 . Tekanan air dijaga agar tetap konstan.

Adapun langkah pengujian dan contoh perhitungan pengujian adalah sebagai berikut:

Langkah Pengujian:

Kondisi utuh:

1. Benda uji (*slurry*) yang sudah dibebani diambil dan dibentuk sesuai bentuk benda uji yang diinginkan [Gambar 4.15]



Gambar 4. 15 Pencetakan Benda Uji untuk *Direct Shear Test*
(Sumber: Dok. Pribadi)

2. Benda uji yang sudah disesuaikan bentuknya dimasukkan ke dalam shear box untuk dilakukan pengujian [Gambar 4.16 & Gambar 4.17]



Gambar 4. 16 Persiapan Benda Uji
(Sumber: Dok. Pribadi)



Gambar 4. 17 Pemasukan Benda Uji ke Dalam Alat *Direct Shear*
Modifikasi
(Sumber: Dok. Pribadi)

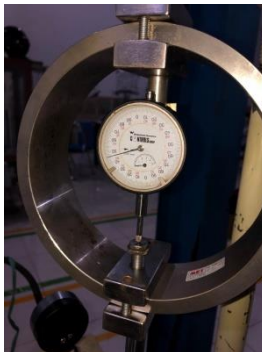
3. Dipastikan semua dial dalam keadaan 0, memastikan juga *shear box* telah terisi penuh oleh air (tidak ada ruang kosong)

[Gambar 4.18]



Gambar 4. 18 Dial Di-*set* dalam Keadaan Nol
(Sumber: Dok. Pribadi)

4. Tekanan air diberikan sesuai yang telah ditentukan (bila tekanan air berkurang, maka adanya kebocoran yang terjadi di dalam *shear box*) [Gambar 4.19]



Gambar 4. 19 Pemberian Tekanan Air
(Sumber: Dok. Pribadi)

5. Pemberian beban *axial/normal* pada benda uji yang sudah diberi tekanan air yang telah disesuaikan [Gambar 4.20]



Gambar 4. 20 Pemberian Tekanan Air + Beban *Axial/Normal*
(Sumber: Dok. Priibadi)

6. Pengujian *direct shear* dimulai
7. Pengujian dihentikan bila sudah ada empat kali pengulangan angka pada *horizontal dial load*
7. Setiap nilai *liquid limit* untuk masing-masing konsistensi tanah yang berbeda diuji sebanyak tiga kali untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut internal tanah dari hasil rekapan.
8. Dalam proses perhitungan dapat digunakan rumusan 2.11, 2.12, 2.13, dan 2.14 untuk mendapatkan nilai *axial/normal stress* dan *shear stress*

Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22. Rekapan semua pengujian *direct shear test* (100% utuh) dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4. 21 Hasil Pengujian untuk Benda Uji 100% Utuh (1)
(Sumber: Dok. Pribadi)

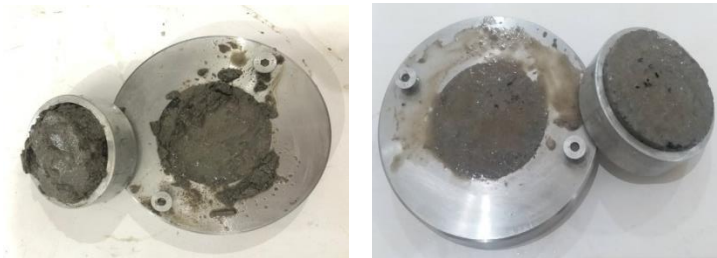


Gambar 4. 22 Hasil Pengujian untuk Benda Uji 100% Utuh (2)
(Sumber: Dok. Pribadi)

Kondisi 100% cracked:

1. Benda uji (*slurry*) yang sudah dibebani diambil dan dibentuk sesuai bentuk benda uji yang diinginkan
2. Setelah benda uji selesai dibentuk sesuai bentuk yang diinginkan, benda uji diberi bidang retak secara sengaja dengan menggunakan *trimmer* (kawat besi) pada bagian tengah antara *upper frame* dengan *lower frame* (lihat Gambar 2.16) (Gambar 4.23)
3. Benda uji yang sudah disesuaikan bentuk dan kondisinya dimasukkan ke dalam shear box untuk dilakukan pengujian

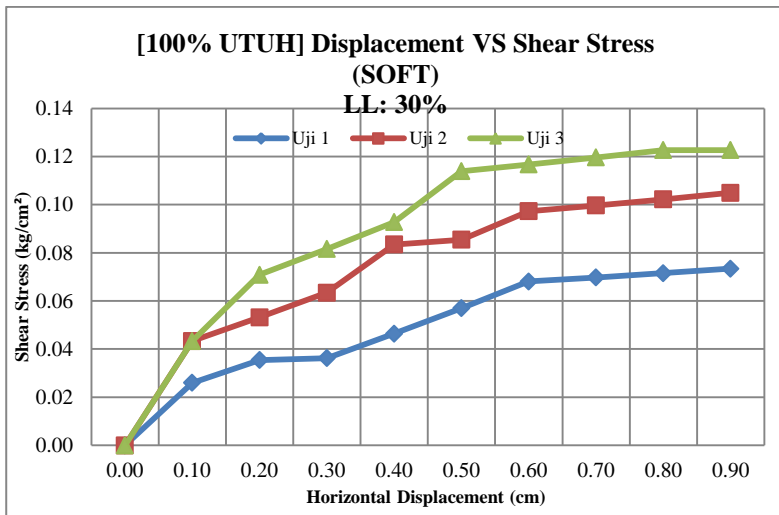
4. Dipastikan semua dial dalam keadaan 0, memastikan juga *shear box* telah terisi penuh oleh air (tidak ada ruang kosong)]
4. Tekanan air diberikan sesuai yang telah ditentukan (bila tekanan air berkurang, maka adanya kebocoran yang terjadi di dalam *shear box*)
5. Pemberian beban *axial/normal* pada benda uji yang sudah diberi tekanan air
6. Pengujian *direct shear* dimulai
7. Pengujian dihentikan bila sudah ada empat kali pengulangan angka pada *horizontal dial load*
7. Setiap nilai *liquid limit* untuk masing-masing konsistensi tanah yang berbeda diuji sebanyak tiga kali untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut internal tanah dari hasil rekapan.
8. Dalam proses perhitungan dapat digunakan rumusan 2.11, 2.12, 2.13, dan 2.14 untuk mendapatkan nilai *axial/normal stress* dan *shear stress*



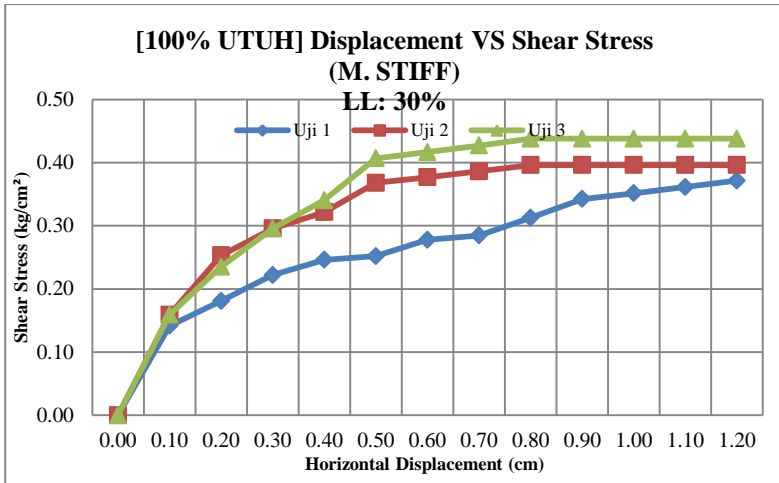
Gambar 4. 23 Hasil Pengujian dari 100% *Cracked*
(Sumber: Dok. Pribadi)

4.7.1 Hasil Pengujian dengan Tekanan Air 0.5 kg/cm^2

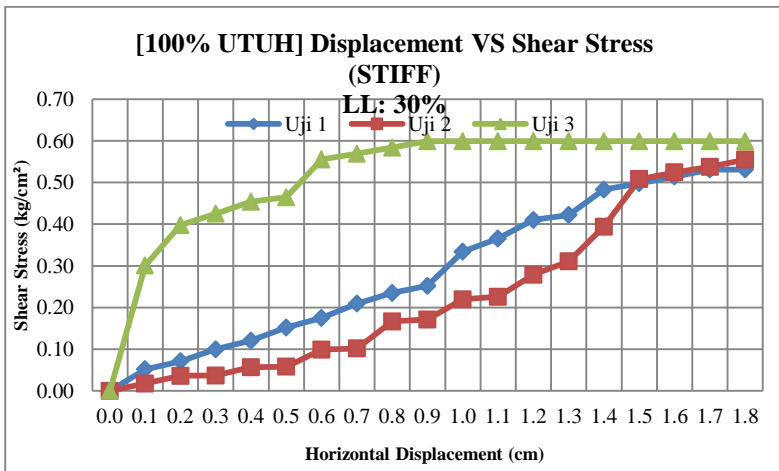
Pengujian *direct shear* untuk kondisi utuh & 100% *cracked* dilakukan dengan menggunakan dua variasi tekanan air. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui pola/karakteristik tanah bila diuji dengan menggunakan tekanan air yang berbeda. Berikut adalah hasil pengujian dengan menggunakan tekanan air sebesar 0.5 kg/cm^2 untuk kondisi utuh.



(a)



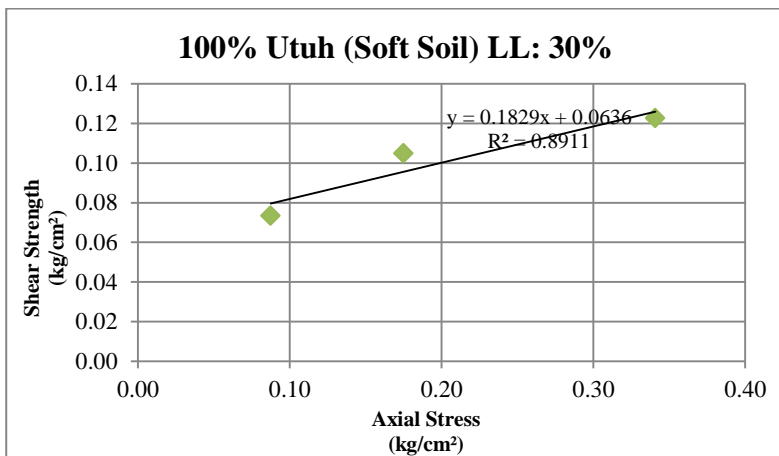
(b)



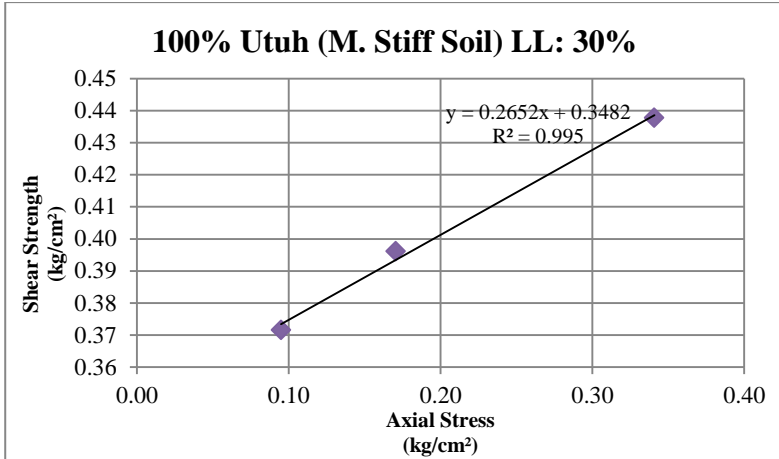
(c)

Gambar 4. 24 Grafik Hubungan *Horizontal Displacement* & *Shear Stress* ($U = 0.5 \text{ kg/cm}^2$) Utuh: (a) *Soft Soil*, (b) *Medium Stiff Soil* (c) *Stiff Soil*
(Sumber: Data Primer)

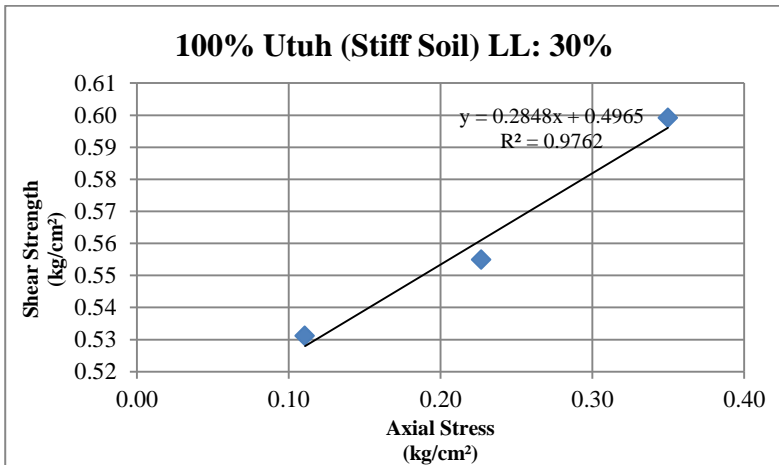
Dari hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.24 dapat dilihat pola interaksi tanah antara *horizontal displacement* dan *shear stress* untuk masing-masing konsistensi tanah. Uji 1 adalah pengujian dengan beban axial sebesar 2 kg, uji 2 adalah pengujian dengan beban axial sebesar 4 kg, dan uji 3 dengan beban 8 kg. Dari data diatas kemudian dibuat grafik hubungan antara *shear strength* dan *axial stress* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.25.



(a)



(b)



(c)

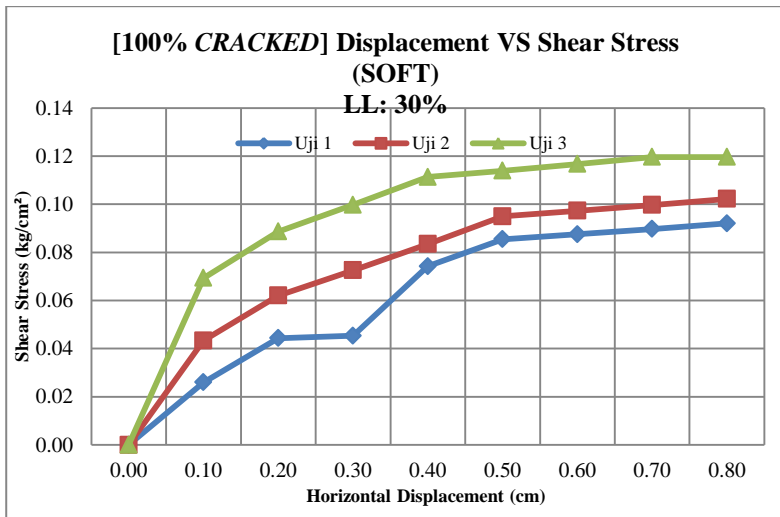
Gambar 4. 25 Grafik Hubungan *Shear Strength* & *Axial Stress* ($u = 0.5 \text{ kg/cm}^2$) Utuh: (a) *Soft Soil*, (b) *Medium Stiff Soil* (c) *Stiff Soil*

(Sumber: Data Primer)

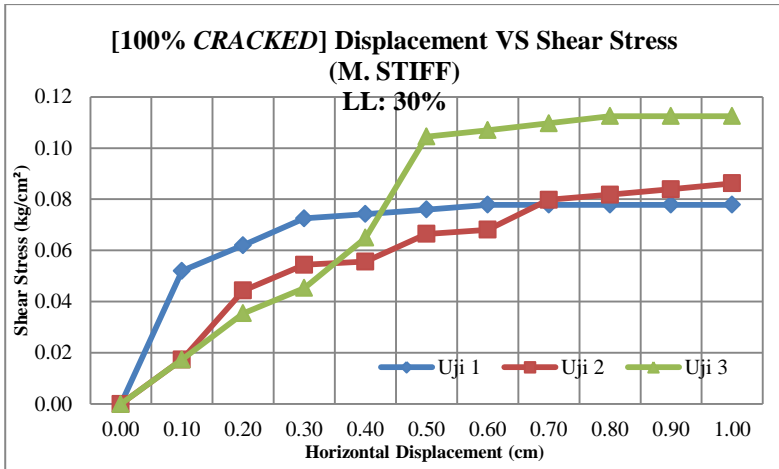
Dari grafik (Gambar 4.25) yang dihasilkan dapat dilihat besarnya nilai sudut geser tanah dan nilai kohesi tanah untuk LL: 30% dari persamaan yang dihasilkan. Arc-tangen dari gradient persamaan tersebut merupakan sudut geser tanah dan konstanta sebagai nilai kohesi tanah. Dapat dilihat bahwa gradient dan konstanta akan semakin besar seiring kenaikan dari konsistensi tanah. Hal ini menunjukkan bahwa tanah yang semakin besar nilai konsistensinya maka sudut geser dan kohesinya juga akan semakin bertambah. Namun, jika dibandingkan dengan hasil sebelumnya (kondisi utuh dengan nilai tekanan air 0.0 kg/cm^2) terjadi penurunan nilai sudut geser tanah.

Grafik *horizontal displacement & shear stress* dapat dilihat pada Lampiran 3 dan grafik hubungan *shear strength & axial stress* dapat dilihat pada Lampiran 4

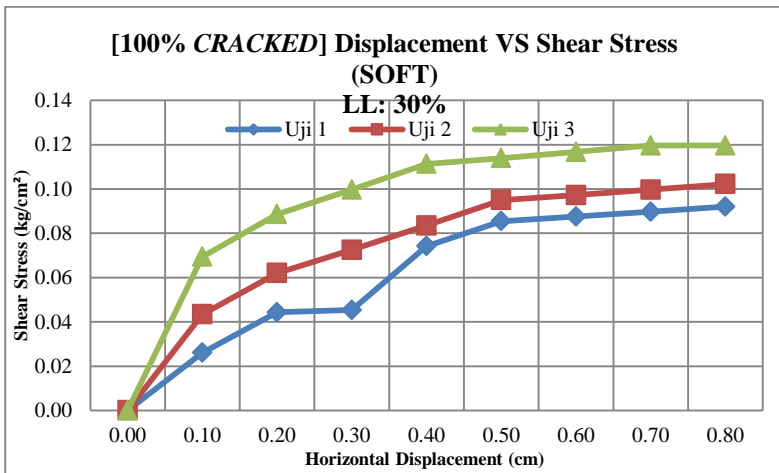
Berikut merupakan grafik-grafik yang dihasilkan dari pengujian *direct shear* dengan tekanan air sebesar 0.5 kg/cm^2 untuk kondisi 100% *cracked*.



(a)



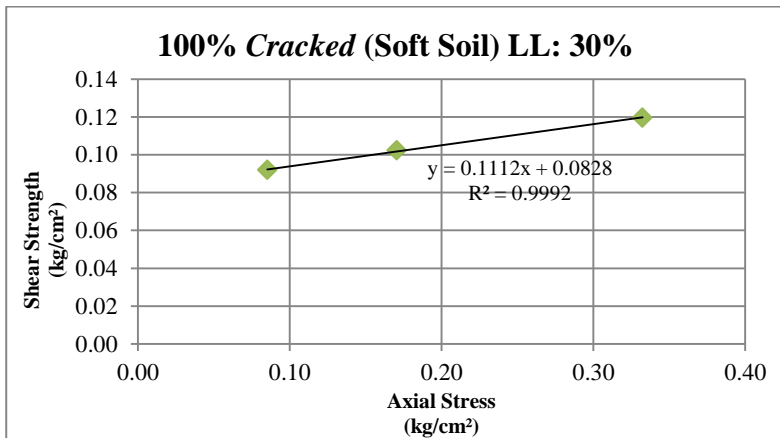
(b)



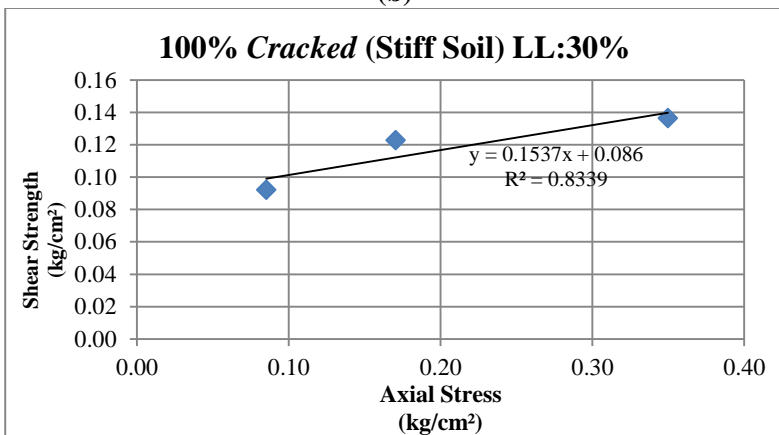
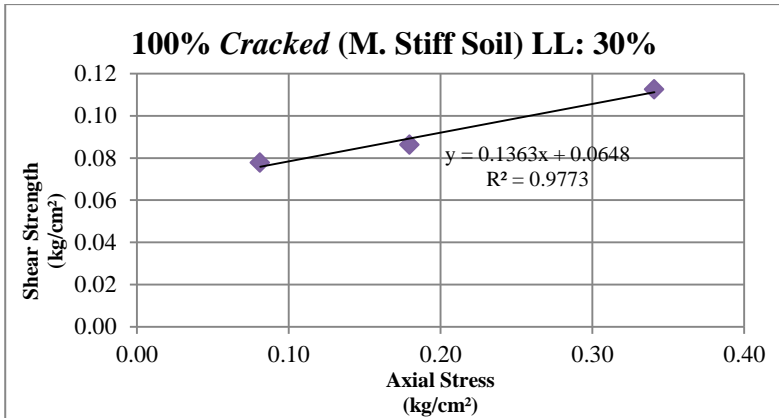
(c)

Gambar 4. 26 Grafik Hubungan *Horizontal Displacement* & *Shear Stress* ($U = 0.5 \text{ kg/cm}^2$) 100% Cracked: (a) *Soft Soil*, (b) *Medium Stiff Soil* (c) *Stiff Soil*
(Sumber: Data Primer)

Dari hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.26 dapat dilihat pola interaksi tanah antara *horizontal displacement* dan *shear stress* untuk masing-masing konsistensi tanah. Uji 1 adalah pengujian dengan beban axial sebesar 2 kg, uji 2 adalah pengujian dengan beban axial sebesar 4 kg, dan uji 3 dengan beban 8 kg. Dari data diatas kemudian dibuat grafik hubungan antara *shear strength* dan *axial stress* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.27.



(a)



Gambar 4. 27 Grafik Hubungan *Shear Strength* & *Axial Stress* ($u = 0.5 \text{ kg/cm}^2$) 100% Cracked: (a) *Soft Soil*, (b) *Medium Stiff Soil*
(c) *Stiff Soil*
(Sumber: Data Primer)

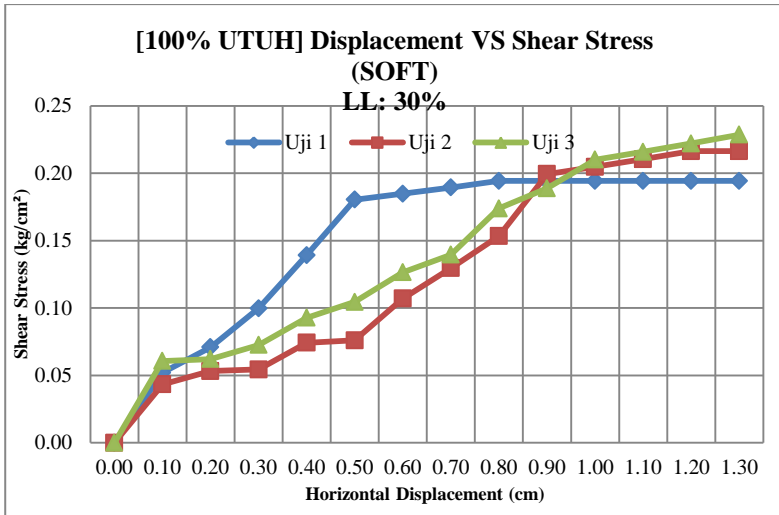
Dari grafik (Gambar 4.27) yang dihasilkan dapat dilihat besarnya nilai sudut geser tanah dan nilai kohesi tanah untuk LL: 30% dari persamaan yang dihasilkan. Arc-tangen dari gradient

persamaan tersebut merupakan sudut geser tanah dan konstanta sebagai nilai kohesi tanah. Dapat dilihat bahwa gradient dan konstanta akan semakin besar seiring kenaikan dari konsistensi tanah. Hal ini menunjukkan bahwa tanah yang semakin besar nilai konsistensinya maka sudut geser dan kohesinya juga akan semakin bertambah. Namun, jika dibandingkan dengan hasil sebelumnya (kondisi 100% *cracked* dengan nilai tekanan air 0.0 kg/cm²) terjadi penurunan nilai sudut geser tanah.

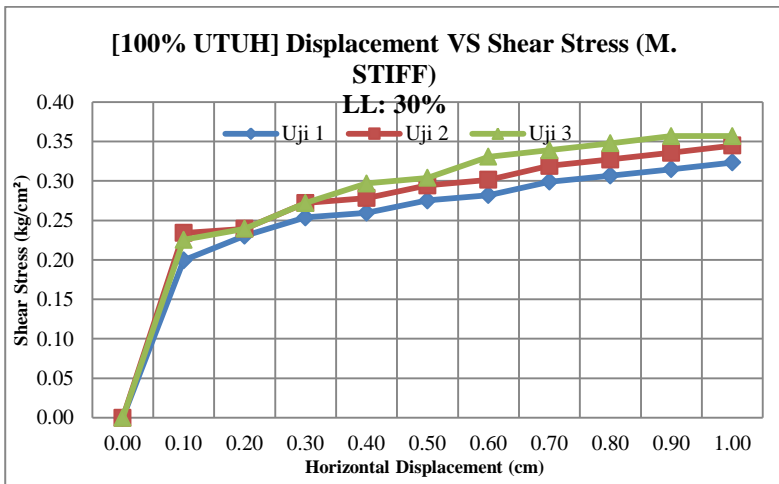
Grafik *horizontal displacement & shear stress* dapat dilihat pada Lampiran 3 dan grafik hubungan *shear strength & axial stress* dapat dilihat pada Lampiran 4

4.7.2 Hasil Pengujian dengan Tekanan Air 1.0 kg/cm²

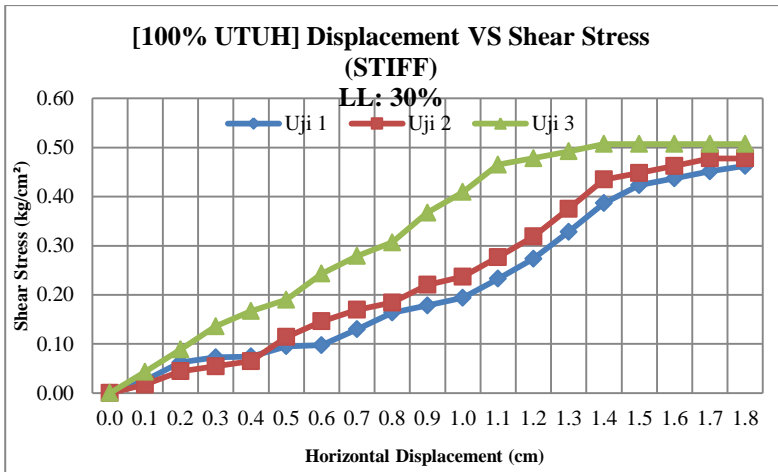
Pengujian *direct shear* untuk kondisi utuh & 100% *cracked* dilakukan dengan menggunakan dua variasi tekanan air. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui pola/karakteristik tanah bila diuji dengan menggunakan tekanan air yang berbeda. Pengujian ini dilakukan seperti langkah-langkah pengujian sebelumnya. Berikut adalah hasil pengujian dengan menggunakan tekanan air sebesar 1.0 kg/cm² untuk kondisi utuh.



(a)



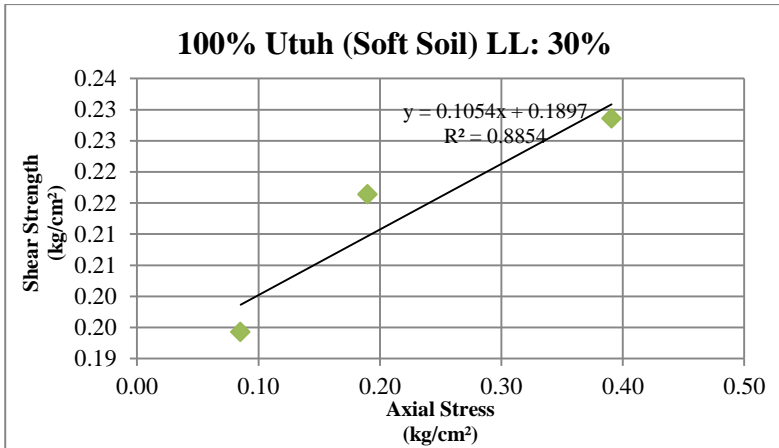
(b)



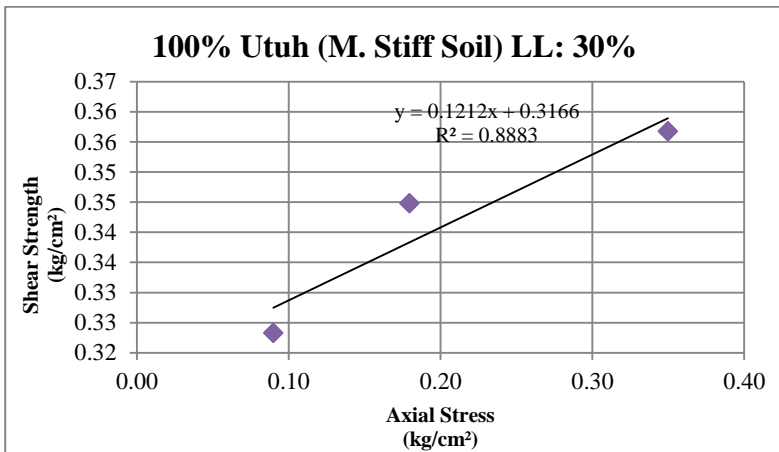
(c)

Gambar 4. 28 Grafik Hubungan *Horizontal Displacement* & *Shear Stress* ($U = 1.0 \text{ kg/cm}^2$) Utuh: (a) *Soft Soil*, (b) *Medium Stiff Soil* (c) *Stiff Soil*
(Sumber: Data Primer)

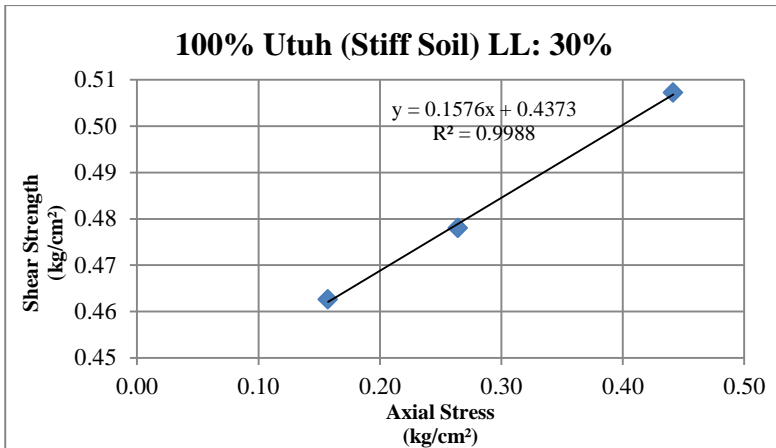
Dari hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.28 dapat dilihat pola interaksi tanah antara *horizontal displacement* dan *shear stress* untuk masing-masing konsistensi tanah. Uji 1 adalah pengujian dengan beban axial sebesar 2 kg, uji 2 adalah pengujian dengan beban axial sebesar 4 kg, dan uji 3 dengan beban 8 kg. Dari data diatas kemudian dibuat grafik hubungan antara *shear strength* dan *axial stress* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.29.



(a)



(b)



(c)

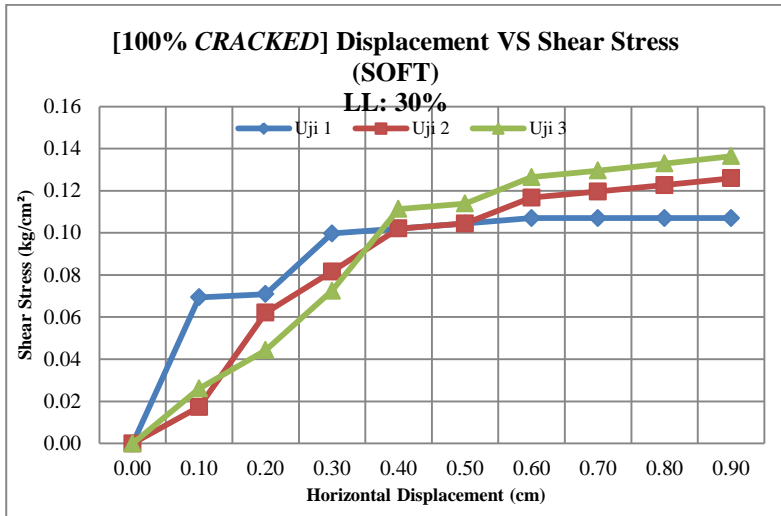
Gambar 4. 29 Grafik Hubungan *Shear Strength & Axial Stress* ($u = 1.0 \text{ kg/cm}^2$) Utuh: (a) *Soft Soil*, (b) *Medium Stiff Soil* (c) *Stiff Soil*

(Sumber: Data Primer)

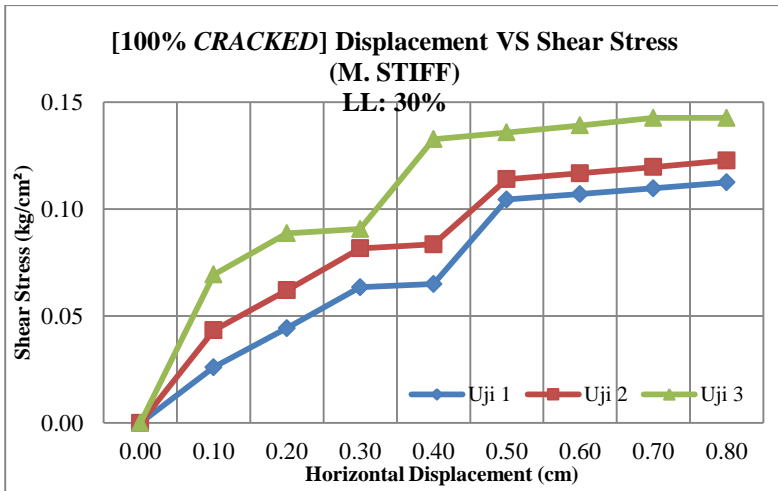
Dari grafik (Gambar 4.29) yang dihasilkan dapat dilihat besarnya nilai sudut geser tanah dan nilai kohesi tanah untuk LL: 30% dari persamaan yang dihasilkan. Arc-tangen dari gradient persamaan tersebut merupakan sudut geser tanah dan konstanta sebagai nilai kohesi tanah. Dapat dilihat bahwa gradient dan konstanta akan semakin besar seiring kenaikan dari konsistensi tanah. Hal ini menunjukkan bahwa tanah yang semakin besar nilai konsistensinya maka sudut geser dan kohesinya juga akan semakin bertambah. Namun, jika dibandingkan dengan hasil sebelumnya (kondisi utuh dengan nilai tekanan air baik 0.0 kg/cm^2 dan 0.5 kg/cm^2) terjadi penurunan nilai sudut geser tanah.

Grafik *horizontal displacement & shear stress* dapat dilihat pada Lampiran 3 dan grafik hubungan *shear strength & axial stress* dapat dilihat pada Lampiran 4

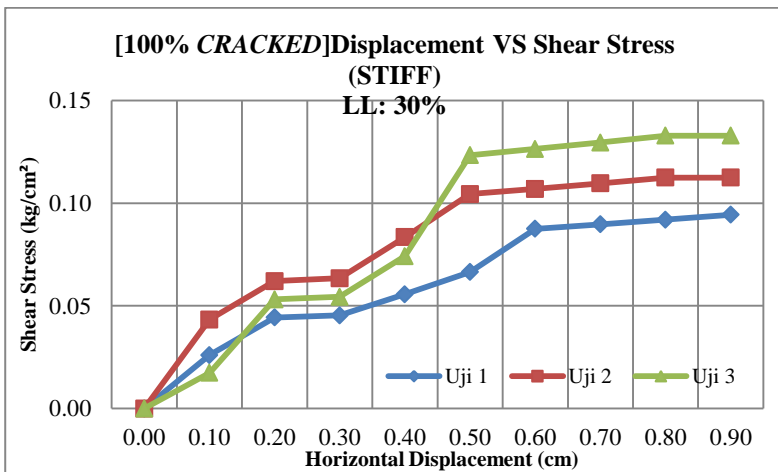
Berikut merupakan grafik-grafik yang dihasilkan dari pengujian *direct shear* dengan tekanan air sebesar 1.0 kg/cm^2 untuk kondisi 100% *cracked*.



(a)



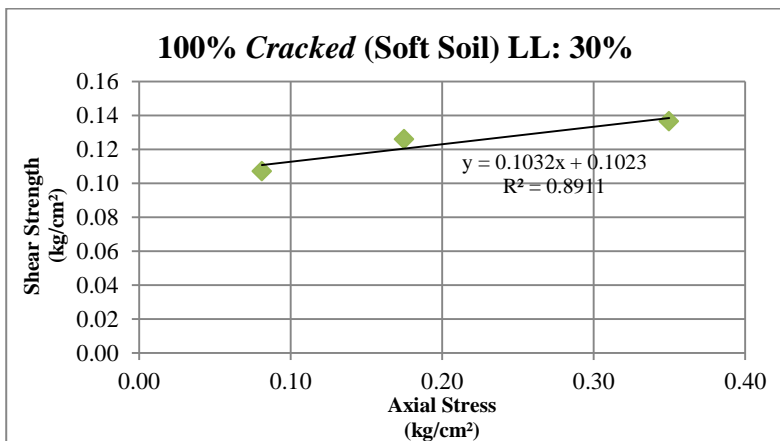
(b)



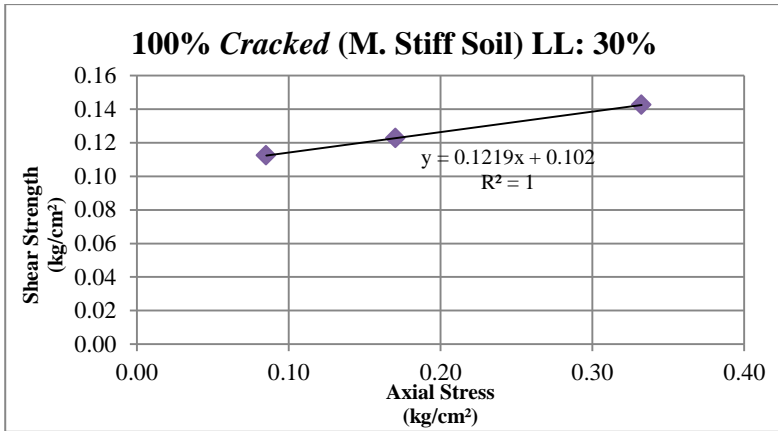
(c)

Gambar 4. 30 Grafik Hubungan *Horizontal Displacement* & *Shear Stress* ($U = 1.0 \text{ kg/cm}^2$) 100% Cracked: (a) *Soft Soil*, (b) *Medium Stiff Soil* (c) *Stiff Soil*
(Sumber: Data Primer)

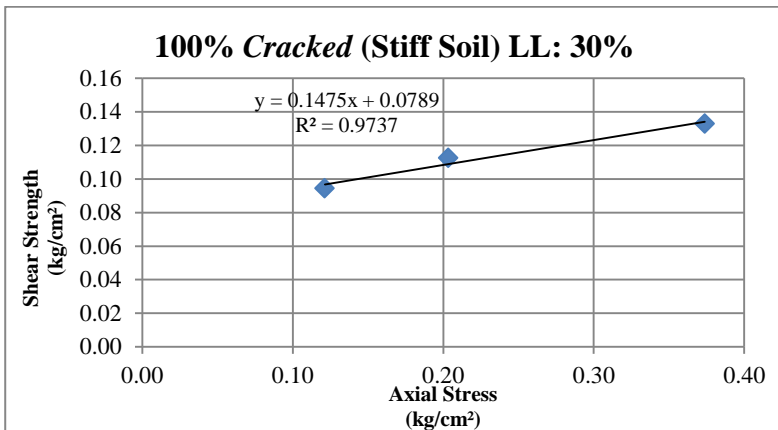
Dari hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.30 dapat dilihat pola interaksi tanah antara *horizontal displacement* dan *shear stress* untuk masing-masing konsistensi tanah. Uji 1 adalah pengujian dengan beban axial sebesar 2 kg, uji 2 adalah pengujian dengan beban axial sebesar 4 kg, dan uji 3 dengan beban 8 kg. Dari data diatas kemudian dibuat grafik hubungan antara *shear strength* dan *axial stress* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.31.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 31 Grafik Hubungan *Shear Strength* & *Axial Stress* ($u = 1.0 \text{ kg/cm}^2$) 100% Cracked: (a) *Soft Soil*, (b) *Medium Stiff Soil* (c) *Stiff Soil*
(Sumber: Data Primer)

Dari grafik yang dihasilkan dapat dilihat besarnya nilai sudut geser tanah dan nilai kohesi tanah untuk LL: 30% dari

persamaan yang dihasilkan. Arc-tangen dari gradient persamaan tersebut merupakan sudut geser tanah dan konstanta sebagai nilai kohesi tanah. Dapat dilihat bahwa gradient dan konstanta akan semakin besar seiring kenaikan dari konsistensi tanah. Hal ini menunjukkan bahwa tanah yang semakin besar nilai konsistensinya maka sudut geser dan kohesinya juga akan semakin bertambah. Namun, jika dibandingkan dengan hasil sebelumnya (kondisi utuh dengan nilai tekanan air baik 0.0 kg/cm^2 dan 0.5 kg/cm^2) terjadi penurunan nilai sudut geser tanah.

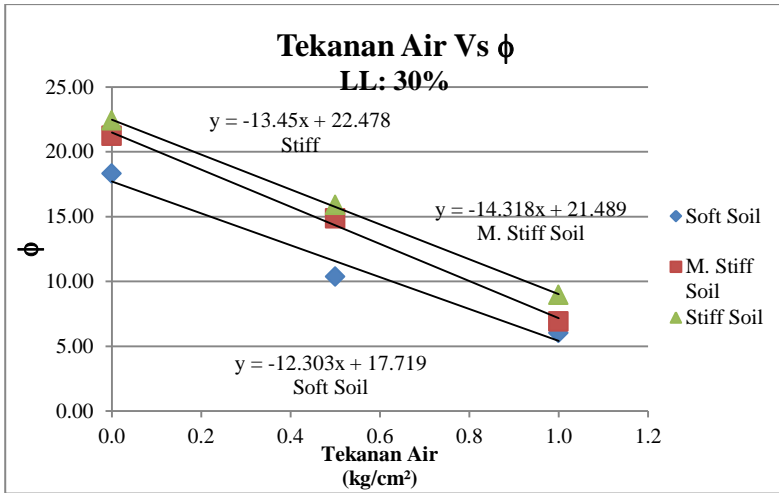
Grafik *horizontal displacement & shear stress* dapat dilihat pada Lampiran 3 dan grafik hubungan *shear strength & axial stress* dapat dilihat pada Lampiran 4

BAB V

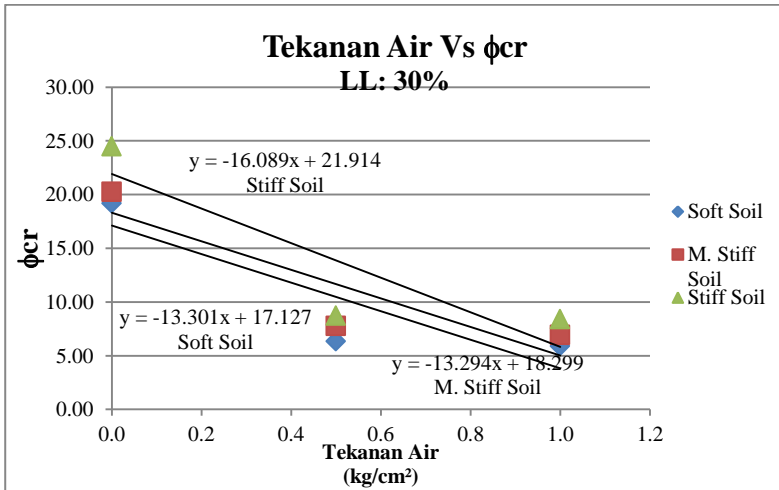
ANALISA HASIL

5.1 Hal yang Memengaruhi Nilai Sudut Geser Internal Tanah (ϕ) dalam Keadaan Utuh & 100% *Cracked*

Nilai *liquid limit* yang hendak diteliti pada penelitian ini adalah 30%, 60%, dan 90% yang nantinya akan diberikan beban agar mencapai suatu nilai konsistensi tertentu. Hasil yang didapat dari pengujian *direct shear* baik dengan tekanan air 0.0 kg/cm², 0.5 kg/cm², dan 1.0 kg/cm² menunjukkan bahwa variasi tekanan air yang diberikan memengaruhi nilai sudut internal tanah dan memengaruhi nilai kohesi suatu tanah (tidak begitu signifikan). Tanah dengan nilai *liquid limit* 30%, 60%, dan 90% menunjukkan karakteristik/pola yang sama bila diberi tekanan air. Semakin besar tekanan air maka nilai sudut geser internal tanah dan nilai kohesi tanah juga akan menurun (Bab 4.6 dan 4.7). Gambar 5.1, Gambar 5.2, dan Gambar 5.3 menunjukkan adanya penurunan sudut geser tanah bila tekanan air yang diberikan semakin besar.

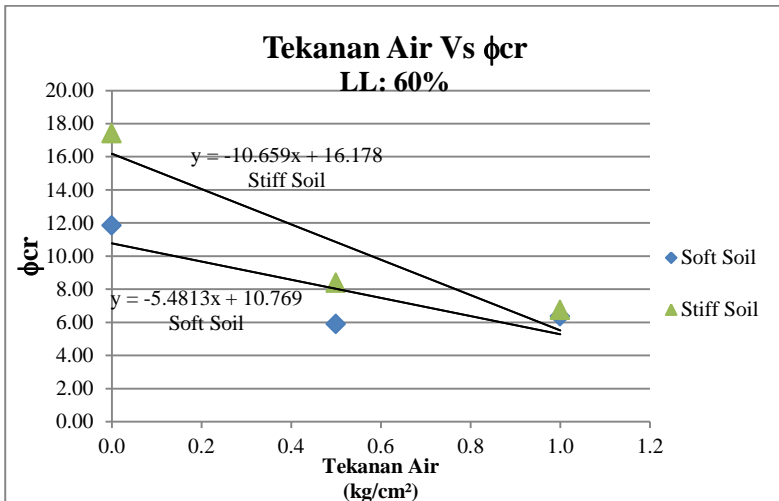
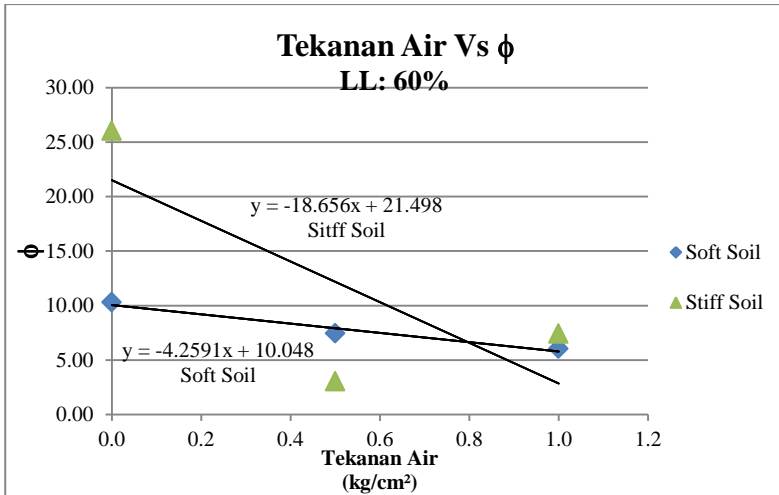


(a)

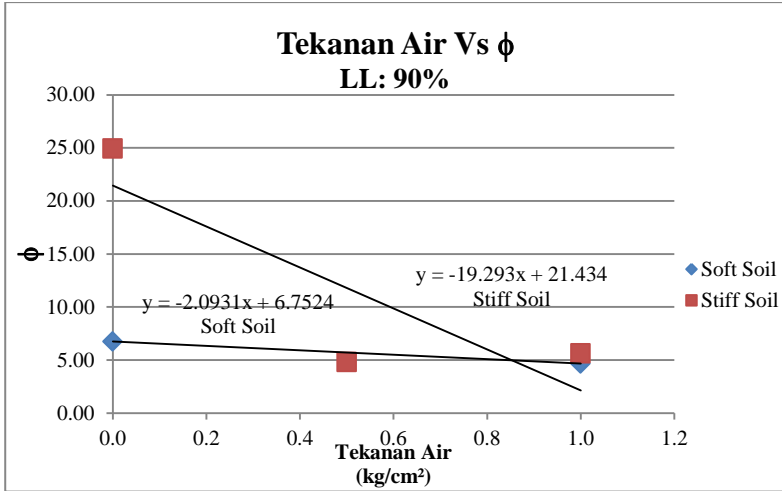


(b)

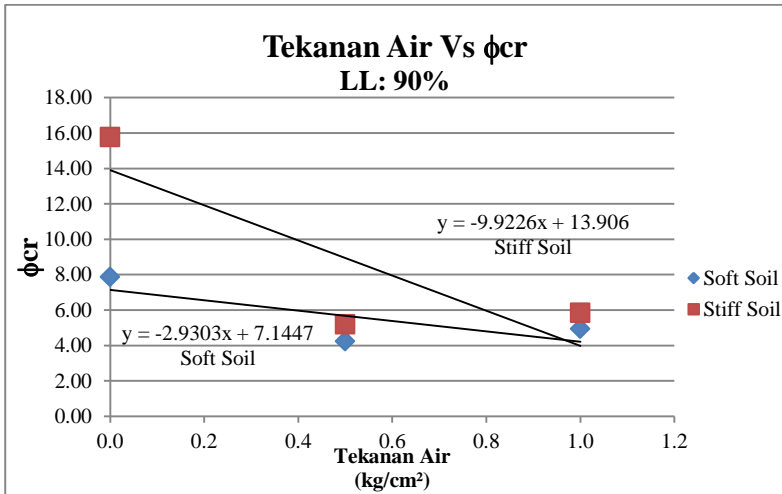
Gambar 5. 1 Pengaruh Tekanan Air pada Tanah LL: 30%: (a) Kondisi Utuh, (b) Kondisi 100% Cracked
 (Sumber: Data Primer)



Gambar 5.2 Pengaruh Tekanan Air pada Tanah LL: 60%: (a) Kondisi Utuh, (b) Kondisi 100% Cracked
(Sumber: Data Primer)



(a)



(b)

Gambar 5.3 Pengaruh Tekanan Air pada Tanah LL: 90%: (a) Kondisi Utuh, (b) Kondisi 100% *Cracked*
(Sumber: Data Primer)

Dari Gambar 5.1, Gambar 5.2, dan Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa tanah dengan semua konsistensi (*soft*, *medium stiff*, dan *stiff*) dengan LL: 30%-90% mengalami penurunan seiring bertambahnya tekanan air. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Hutagmissufardal, 2018 didapatkan tidak adanya pengaruh tekanan air pada nilai sudut geser tanah. Namun, dari studi ini didapatkan adanya pengaruh tekanan air terhadap nilai sudut geser tanah. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini untuk pengujian dengan menggunakan tekanan air belum tentu benar. Hal ini disebabkan karena dalam pengujian dengan menggunakan tekanan air, *chamber* dari alat *direct shear* modifikasi mengalami penambahan volume yang menyebabkan pemberian beban vertikal tidak sepenuhnya terkena benda uji sehingga ada beberapa data yang tidak digunakan dalam penentuan korelasi sudut geser tanah dari data pengujian dengan tekanan air.

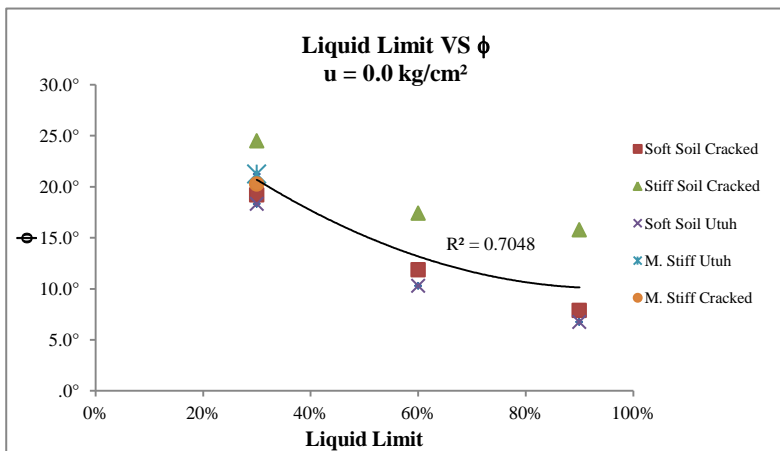
5.1.1 Pengaruh Nilai *Liquid Limit/Plasticity Index* terhadap Nilai Sudut Geser Tanah (ϕ)

Dari hasil pengujian *direct shear* didapatkan sudut geser/internal tanah yang bervariasi. Pada pengujian dengan nilai *liquid limit* 30% didapatkan nilai sudut geser yang paling besar baik untuk nilai sudut geser pada kondisi utuh maupun kondisi 100% *cracked*. Hal ini disebabkan karena adanya persentase pasir halus dalam campuran benda uji. Sedangkan dalam benda uji yang lain didapatkan nilai sudut geser/internal yang lebih kecil. Hal ini disebabkan oleh benda uji merupakan campuran dari tanah yang berbutir halus.

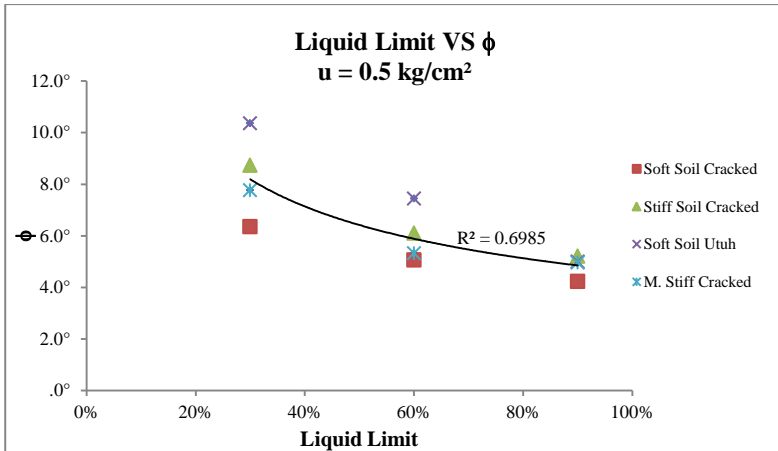
Pada penelitian yang dilakukan oleh Hutagamissufardal, 2018 didapatkan bahwa sudut geser internal tanah pada kondisi utuh dan *cracked* adalah sama. Pada studi ini didapatkan nilai sudut geser/internal pada kondisi 100% *cracked* tanah juga tidak mengalami banyak (ada beberapa yang berubah) perubahan dari nilai sudut geser tanah pada kondisi utuh sepenuhnya. Dari

pengujian juga dapat diketahui bahwa, presentase adanya pasir dalam benda uji memengaruhi besarnya nilai sudut geser tanah.

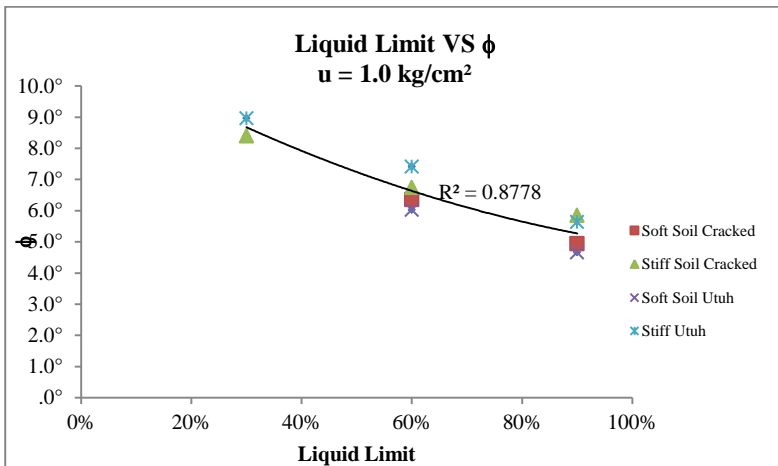
Sebelum mengetahui pengaruh nilai *liquid limit* dan *void ratio* terhadap nilai sudut geser tanah pada kondisi 100% *cracked*, maka dilihat terlebih dahulu interaksi dari setiap data yang ada. Gambar 5.4 dan Gambar 5.5 menunjukkan hubungan antara nilai *liquid limit* dan *void ratio* terhadap sudut geser tanah pada kondisi 100% *cracked*.



(a)



(b)



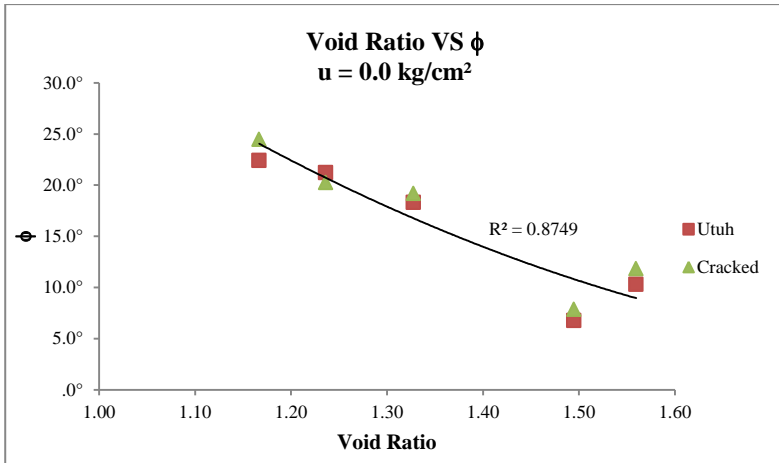
(c)

Gambar 5. 4 Grafik *Liquid Limit* VS ϕ : (a) 0.0 kg/cm^2 , (b) 0.5 kg/cm^2 , (c) 1.0 kg/cm^2
(Sumber: Data Primer)

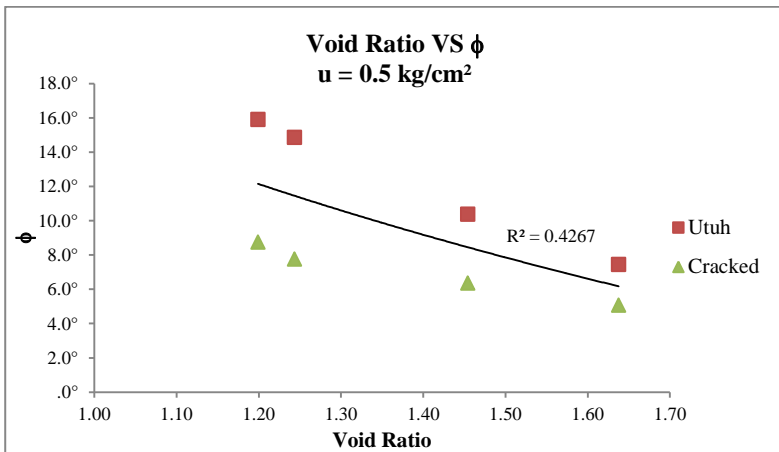
Pada pengujian 2019, tanah dimampatkan dengan menggunakan sampel buatan dari *slurry consolidometer* dengan beban satu tahap sesuai dengan rumusan Ardana & Mochtar, 1999. Dari Gambar 5.4 untuk masing-masing tekanan air yang diberikan pada sampel didapatkan karakteristik tanah untuk setiap konsistensi. Semakin besar nilai *liquid limit/plasticity index*-nya maka, semakin kecil nilai sudut geser tanahnya. Hal ini disebabkan oleh hubungan ukuran butiran tanah yang linier dengan nilai *liquid limit/plasticity index*-nya. Pada tanah yang dominan lempung seperti pada LL: 90% didapatkan nilai sudut geser terkecil karena tanah dengan LL: 90% mempunyai ukuran butiran yang lebih kecil jika dibandingkan dengan LL: 30% dan LL: 60%. Untuk tanah dengan LL: 30% didapatkan nilai sudut geser yang cukup besar, hal ini disebabkan karena persentase dominan dalam tanah adalah pasir halus. Sehingga, pengaruh nilai *liquid limit* sangat berpengaruh pada nilai sudut geser tanah.

5.1.2 Pengaruh Nilai *Void Ratio* terhadap Nilai Sudut Geser Tanah (ϕ)

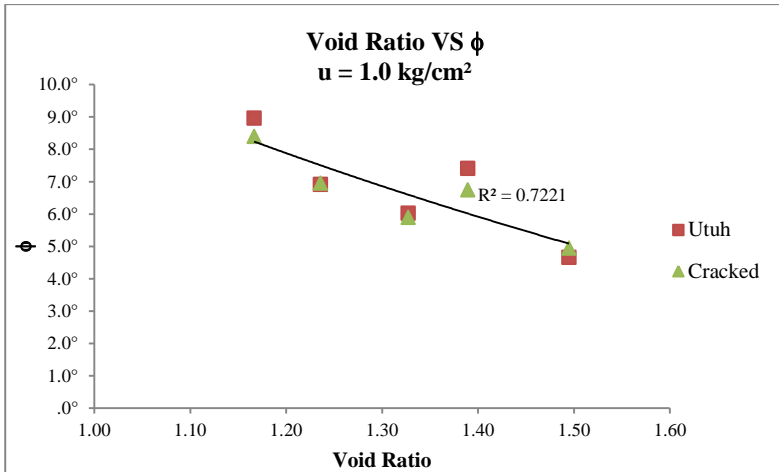
Nilai *void ratio* tanah yang diujikan pada *direct shear* didapatkan dari total penurunan pada *slurry consolidometer*. Didapatkan nilai *void ratio* sesuai dengan Tabel 4.4, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6. Nilai *void ratio* tanah didapatkan dari pengujian *volumetric-gravimetry* campuran *slurry*. Adapun hasil yang didapatkan adalah semakin kecil nilai *void ratio* maka semakin besar sudut geser tanah yang terjadi. Hal ini disebabkan oleh butiran yang semakin dekat dan membentuk suatu sudut tahanan antar butiran tanah tersebut. Gambar 5.5 menjelaskan pengaruh nilai *void ratio* terhadap sudut geser tanah untuk masing-masing nilai *liquid limit/plasticity index*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 5.5 Grafik Hubungan Void Ratio dengan ϕ : (a) 0.0 kg/cm^2 , (b) 0.5 kg/cm^2 , (c) 1.0 kg/cm^2
(Sumber: Data Primer)

Jika dilihat dari kedua grafik di atas (Gambar 5.4 & Gambar 5.5) ada kesamaan karakteristik antara *liquid limit* dengan *void ratio*. Namun, nilai *void ratio* tidak begitu berpengaruh terhadap nilai sudut geser tanah, mengingat nilai *void ratio* bisa berubah-ubah mengikuti dengan jenis tanah. Dalam penelitian ini didapatkan hal yang paling berpengaruh adalah nilai *liquid limit/plasticity index* tanah yang diujikan, mengingat semakin rendah nilai *liquid limit* tanah maka, tanah tersebut semakin kasar (*granular soil*) dan semakin tinggi nilai *liquid limit* maka, tanah tersebut semakin halus (*cohesive soil*).

Pada pengujian dengan menggunakan alat *direct shear modification* didapatkan bahwa sulit untuk menggunakan alat *direct shear modification* jika ingin menggunakan tekanan air. Hal ini disebabkan oleh adanya penambahan volume *chamber* yang menyebabkan naiknya tutup *chamber* bagian atas sehingga menyulitkan pemberian tekanan vertikal. Tidak adanya tanda

pada alat yang menunjukkan bahwa benda uji sudah terkena beban vertikal juga menyulitkan pengujian dengan menggunakan tekanan air. Sehingga dalam pembentukan parameter nilai sudut geser tanah digunakan tekanan air 0.0 kg/cm^2 saja.

Oleh karena itu, dapat dibuat korelasi antara sudut geser tanah dengan *plasticity index & void ratio* dengan menggunakan data pengujian dengan tekanan air 0.0 kg/cm^2 . Pembuatan korelasi dilakukan untuk mengetahui hubungan *plasticity index & void ratio* terhadap nilai sudut geser tanah baik pada kondisi utuh atau pada kondisi 100% *cracked*. Dengan melakukan *multiple regression* antara nilai *liquid limit/plasticity index* dan *void ratio* dengan sudut geser tanah pada kondisi 100% *cracked*. Maka didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 5. 1 Prediksi dari Parameter Sudut Geser Tanah dari Nilai *Liquid Limit & Void Ratio*

Correlation	R ²	Regression
$\phi = -0.144LL - 20.456e + 50.463$	99.60%	<i>Multiple Variable</i>
$\phi = 23.288e - 0.3357LL$	94.43%	<i>Multiple Variable</i>

(Sumber: Data Primer)

Dari Tabel 5.1 korelasi tersebut untuk mendapatkan parameter sudut geser tanah. Dapat dilihat nilai R² yang menunjukkan angka kepastian untuk memprediksi parameter sudut geser tanah. Semakin besar nilai R² maka, semakin mendekati baik pula hasil prediksi parameter sudut geser tanah. Kedua regresi diuji coba untuk mendapatkan nilai *void ratio* dengan variasi nilai *liquid limit* dan didapatkan hasil yang kurang sesuai dengan data *void ratio* untuk regresi kedua dengan nilai R² sebesar 94.43%. dengan demikian dapat dipakai korelasi pertama untuk mengetahui nilai sudut geser tanah yaitu:

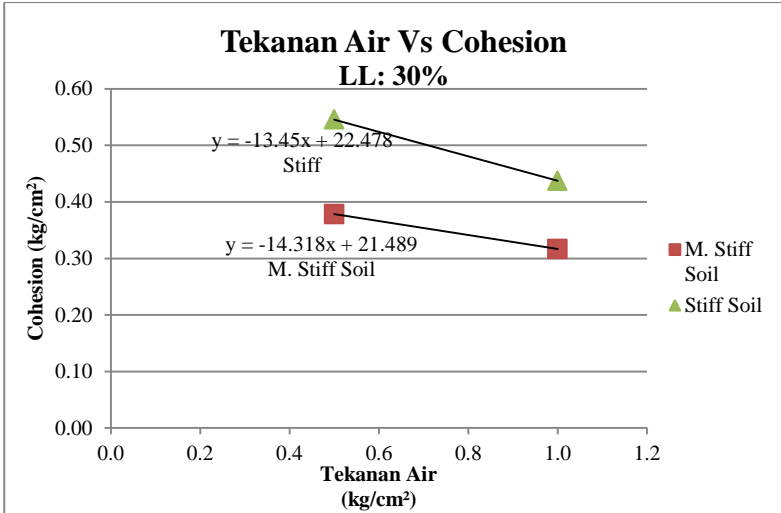
$$\phi = (-0.144LL - 20.456e + 50.463) \quad (5.1)$$

(LL tidak dalam persentase)

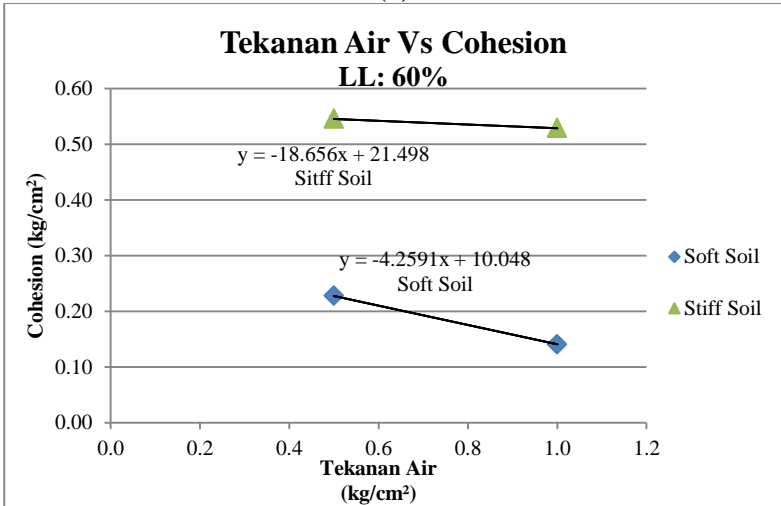
5.2 Hal yang Memengaruhi Nilai Kohesi Tanah dalam Keadaan Utuh & 100% Cracked

Nilai kohesi tanah yang didapat dari pengujian mengalami sedikit penurunan akibat adanya tekanan air. Jika tekanan air semakin besar maka nilai kohesi tanah akan semakin kecil. Namun, pemberian tekanan air tidak begitu memengaruhi secara signifikan penurunan nilai kohesi tanah jika dibandingkan dengan penurunan nilai kohesi bila diberi bidang retak (*cracked*). Hasil rekapan dapat dilihat pada Gambar 5.6

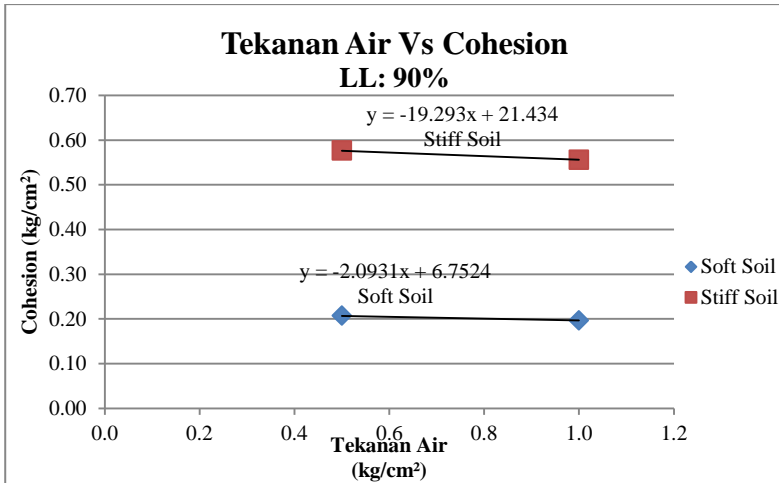
Hasil pada pengujian *direct shear* untuk tekanan air sebesar 0 kg/cm^2 didapatkan bahwa alat tersebut kurang sesuai untuk menguji tanah kohesif (berbutir halus). Hal ini ditunjukkan pada hasil-hasil nilai sudut geser dan nilai kohesi tanah tersebut. Sebelum melakukan pengujian *direct shear* sampel tanah diuji dengan menggunakan *unconfined compression test* untuk mengetahui nilai kohesi tanah. Pada pengujian *unconfined compression test* untuk nilai *liquid limit* dengan beban awal *medium stiff* didapatkan nilai kohesi tanah sebesar 0.57 kg/cm^2 (Lampiran 3 & Lampiran 4) sedangkan pada pengujian pada *direct shear* di dapatkan 0.29 kg/cm^2 dengan nilai sudut geser tanah sebesar 26.06° (Lampiran 3 & Lampiran 4). Hal ini menunjukkan bahwa, pengujian *direct shear* pada alat uji yang sesuai dengan ASTM D 6528 kurang baik dalam menguji tanah kohesif (berbutir halus).



(a)



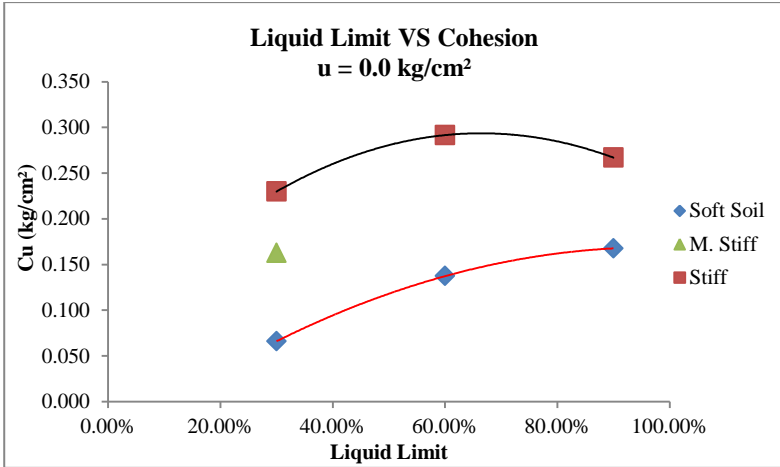
(b)



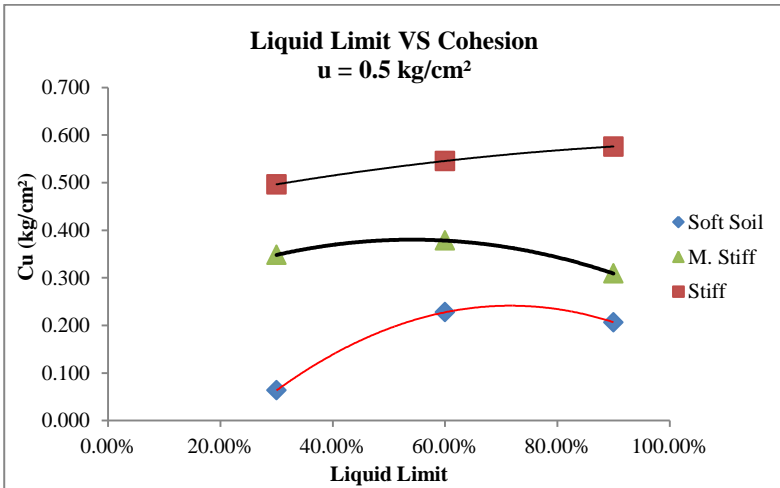
Gambar 5. 6 Grafik Hubungan Tekanan Air dengan Kohesi Tanah pada Kondisi Utuh: (a) LL: 30%, (b) 60%, (c) 90% (Sumber: Data Primer)

5.2.1 Pengaruh Nilai Liquid Limit terhadap Nilai Kohesi

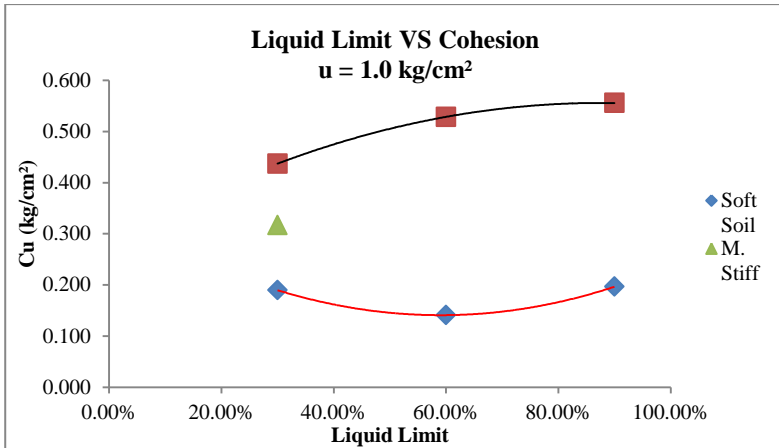
Dari hasil pengujian *direct shear* didapatkan nilai kohesi tanah yang bervariasi. Namun, dari hasil pengujian didapatkan bahwa nilai *liquid limit* kurang signifikan memengaruhi nilai kohesi tanah. Hal ini disebabkan oleh tanah berbutir halus akan mempunyai nilai kohesi tanah yang kurang lebih sama. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.7.



(a)



(b)



(c)

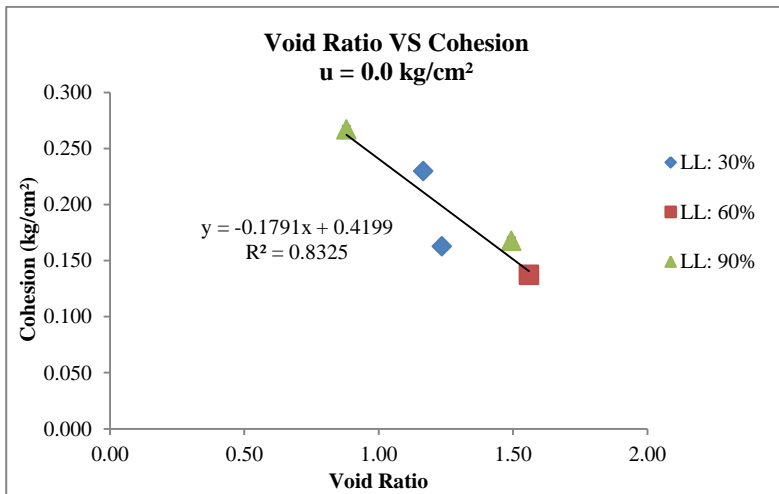
Gambar 5. 7 Grafik Hubungan *Liquid Limit* dengan Kohesi Tanah pada Kondisi Utuh: (a) 0.0 kg/cm², (b) 0.5 kg/cm², (c) 1.0 kg/cm²

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan sebelumnya, dengan tekanan air konstan sebesar 0.0 kg/cm², 0.5 kg/cm², dan 1.0 kg/cm² didapatkan nilai kohesi tanah pada kondisi 100% *cracked* mengalami kehilangan nilai kohesi hingga dapat diasumsikan nilai kohesi tanah tersebut sama dengan konsistensi *very soft* atau dapat diabaikan saja (dapat dilihat pada lampiran). Hal ini membuktikan bahwa nilai kohesi akan menghilang karena benda uji diberi bidang retak (*cracked*) sebesar 100% sepanjang benda uji.

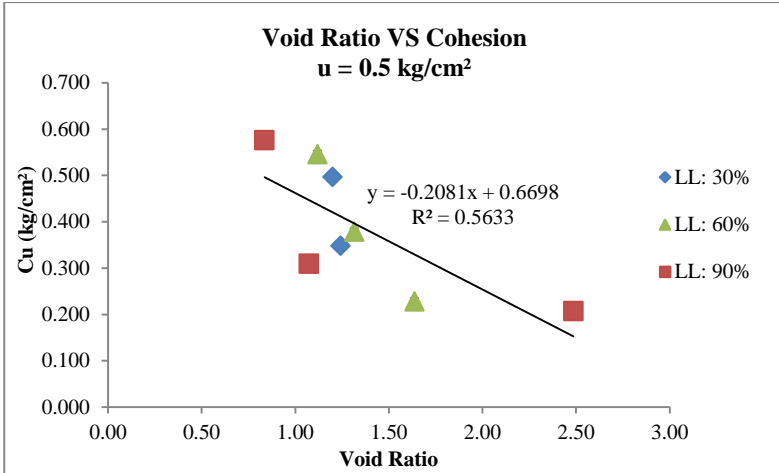
Gambar 5.7 menunjukkan interaksi nilai *liquid limit* dengan nilai kohesi tanah. Dapat dilihat bahwa trendline yang ada kurang begitu baik dalam merencanakan nilai kohesi tanah. Dengan demikian, di nilai *liquid limit* kurang berpengaruh pada nilai kohesi tanah.

5.2.2 Pengaruh Nilai Void Ratio terhadap Nilai Kohesi

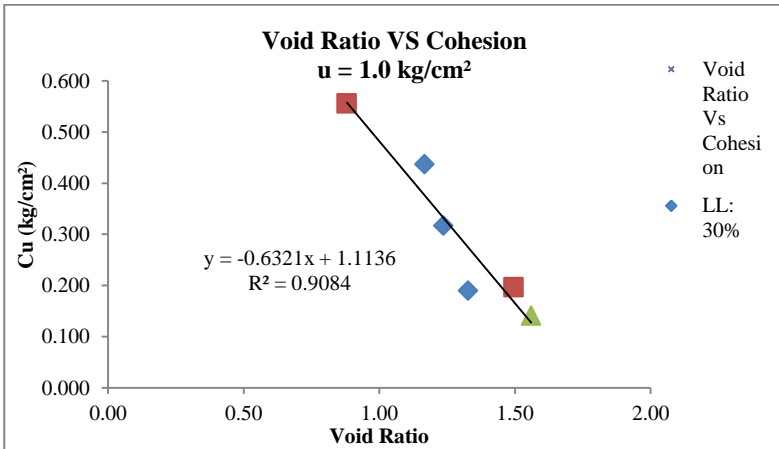
Selain tekanan air yang memengaruhi nilai kohesi didapati bahwa adanya pengaruh nilai *void ratio* terhadap nilai kohesi tanah. Hal ini dibuktikan dari hasil pengujian antara nilai *void ratio* dengan nilai kohesi tanah, Gambar 5.8. Semakin kecil nilai *void ratio* maka nilai kohesi tanah akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena jarak antar butiran tanah yang semakin dekat sehingga meningkatkan daya lekatan antar butiran tanah tersebut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. 8 Hubungan Void Ratio dengan Nilai Kohesi Tanah: (a) 0.0kg/cm², (b) 0.5 kg/cm², (c) 1.0 kg/cm² (Sumber: Data Primer)

Pada pengujian dengan menggunakan alat *direct shear modification* didapatkan bahwa sulit untuk menggunakan alat *direct shear modification* jika ingin menggunakan tekanan air. Hal ini disebabkan oleh adanya penambahan volume *chamber* yang menyebabkan naiknya tutup *chamber* bagian atas sehingga menyulitkan pemberian tekanan vertikal. Tidak adanya tanda pada alat yang menunjukkan bahwa benda uji sudah terkena beban vertikal juga menyulitkan pengujian dengan menggunakan tekanan air. Sehingga dalam pembentukan parameter nilai kohesi tanah digunakan tekanan air 0.0 kg/cm^2 saja.

Dari pengujian untuk mengetahui nilai sudut geser dan nilai kohesi tanah didapatkan beberapa data yang kurang baik. Hal ini mengakibatkan hubungan antara *void ratio* dan nilai *liquid limit* dengan nilai kohesi kurang baik. Hal ini mengakibatkan adanya beberapa data yang tidak dimasukkan ke dalam pembuatan korelasi. Namun, setelah ada beberapa data yang tidak dipakai dapat disimpulkan bahwa, ada pengaruh yang cukup signifikan antara nilai sudut geser tanah dengan nilai *liquid limit* dan sedikit pengaruh dari nilai *void ratio* tanah serta adanya pengaruh yang signifikan antara nilai kohesi tanah dengan *void ratio* dan sedikit pengaruh dari nilai *liquid limit*. Sehingga, dapat dibuat korelasi antara nilai *void ratio* dengan nilai kohesi tanah dengan nilai R^2 sebesar 83.25% adalah sebagai berikut:

$$C_u = -0.1791e+ 0.4199 \quad (5.2)$$

5.3 Hubungan antara Sudut Geser Tanah pada Kondisi Utuh dengan 100% Cracked

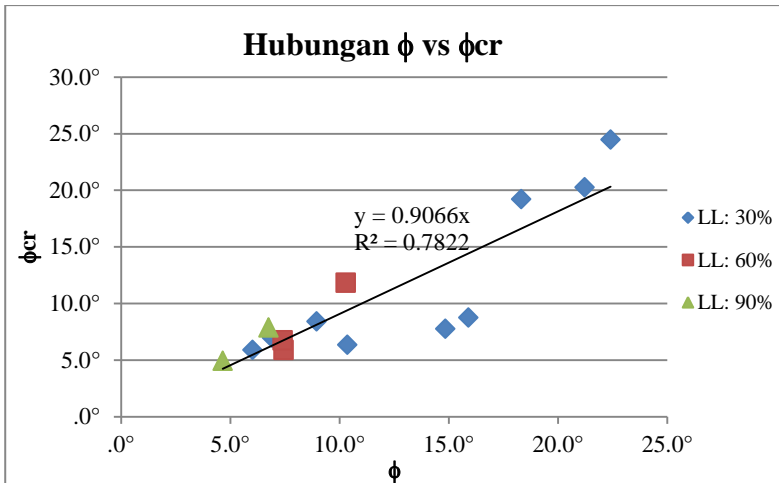
Penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya oleh Hutagamissufardal, 2018 didapatkan bahwa nilai sudut geser tanah pada kondisi utuh dan *cracked* tidak mengalami perubahan. Pembuatan perbandingan antara sudut geser tanah pada kondisi 100% *cracked* dan utuh guna melihat apakah ada perubahan pada sudut geser tanah tersebut dan mengetahui beberapa penyebab yang terjadi pada saat pembuatan benda uji kondisi 100%

cracked. Adapun data-data yang dihasilkan dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.2. Berikut adalah hasil rekapitan dari semua pengujian untuk nilai sudut geser tanah baik dalam keadaan utuh maupun 100% *cracked*.

Tabel 5. 2 Rekapitan untuk Sudut Geser Tanah

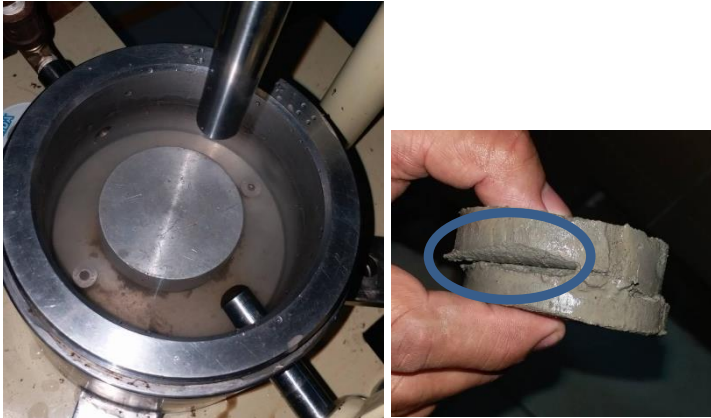
LL	PI	Tekanan Air	Konsistensi	ϕ	ϕ_{cr}
30%	8.94%	0.00 kg/cm ²	Soft Soil	18.32°	19.19°
			M. Stiff Soil	21.23°	20.24°
			Stiff Soil	22.41°	24.48°
		0.50 kg/cm ²	Soft Soil	10.36°	6.35°
			M. Stiff Soil	14.85°	7.76°
			Stiff Soil	15.90°	8.74°
		1.00 kg/cm ²	Soft Soil	6.02°	5.89°
			M. Stiff Soil	6.91°	6.95°
			Stiff Soil	8.96°	8.39°
60%	27.77%	0.00 kg/cm ²	Soft Soil	10.29°	11.84°
		0.50 kg/cm ²	Soft Soil	7.44°	5.89°
		0.00 kg/cm ²	Stiff Soil	7.41°	6.75°
90%	44.57%	0.00 kg/cm ²	Soft Soil	6.75°	7.87°
		1.00 kg/cm ²	Soft Soil	4.66°	4.94°

(Sumber: Data Primer)



Gambar 5. 9 Grafik Hubungan ϕ dengan ϕ_{cr}
(Sumber: Data Primer)

Pada Tabel 5.2 dapat dilihat bahwa sudut geser tanah ada yang mengalami penurunan dan kenaikan jika dibandingkan dengan sudut geser pada kondisi 100% *cracked*. Ada beberapa hal yang menyebabkan kenaikan dan penurunan nilai sudut geser tanah pada kondisi 100% *cracked*. Jika dilihat pada Gambar 5.9 mengenai grafik hubungan antara sudut geser tanah pada kondisi utuh dan 100% *cracked* dapat disimpulkan bahwa ϕ_{cr} sama dengan 0.91ϕ . Namun, jika diperhatikan pada proses pengujian kenaikan dan penurunan sudut geser tanah pada kondisi 100% *cracked* disebabkan karena adanya kesalahan dalam pembuatan benda uji pada kondisi 100% *cracked*. Gambar 5.10 dan Gambar 5.11 menjelaskan penyebab terjadinya penurunan maupun kenaikan nilai sudut geser tanah.



Gambar 5. 10 Hal yang Menyebabkan Penurunan Nilai Sudut Geser Tanah
(Sumber: Dok. Pribadi)

Dari Gambar 5.9 dapat dilihat bahwa terjadinya penurunan nilai sudut geser tanah adalah adanya jumlah material yang tidak sama dengan kondisi utuh. Adanya beberapa material yang ikut keluar saat pengujian berlangsung menyebabkan adanya luasan yang berkurang dalam pengujian tersebut. Selain itu, pada saat pembuatan bidang retak terdapat material tanah yang juga ikut tergerus/hilang sebagian akibat pemberian bidang retak (*crack*) pada benda uji.



Gambar 5. 11 Penyebab Terjadinya Kenaikan Nilai Sudut Geser Tanah
(Sumber: Dok. Pribadi)

Gambar 5.10 menunjukkan penyebab terjadinya kenaikan nilai sudut geser tanah pada kondisi 100% *cracked* yaitu, terbentuknya sudut dalam benda uji (pemotongan yang kurang baik). Terbentuknya sudut dalam benda uji memungkinkan terjadinya kenaikan nilai sudut geser tanah.

Ada kemungkinan bahwa, panjang bidang retak tidak berpengaruh terhadap nilai sudut geser tanah. Namun, dalam pelaksanaannya susah sekali untuk mendapatkan bidang retak yang benar-benar lurus atau tanpa kehilangan beberapa material dalam benda uji. Oleh sebab itu, disarankan adanya alat khusus untuk mencetak benda uji untuk kondisi 100% *cracked*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka diperoleh kesimpulan penelitian sebagai berikut:

1. Seperti yang telah diketahui bahwa nilai sudut geser internal tanah dipengaruhi oleh bentuk butiran (angular atau tidak), gradasi tanah yang diujikan, dan ukuran butiran tanah (Mitchel, 1976) maka dari itu, selain hal yang telah disebutkan di atas, beberapa faktor lain yang memengaruhi nilai sudut geser internal tanah dalam studi ini adalah:
 - a. Nilai *plasticity index/liquid limit* pada tanah berpengaruh pada nilai sudut geser tanah. Hal ini disebabkan karena tanah yang mempunyai nilai *plasticity index/liquid limit* yang besar akan mempunyai ukuran butiran yang semakin halus.
 - b. Nilai *void ratio* pada tanah berpengaruh pada nilai sudut geser tanah yang diujikan. Hal ini disebabkan karena jika nilai *void ratio* mengecil maka, jarak antara butiran tanah akan semakin dekat. Butiran yang semakin dekat akan meningkatkan sudut geser tanah dan membuat butiran tanah mengalami kontak secara langsung dengan butiran yang lainnya sehingga meningkatkan nilai sudut geser tanah.

Pada studi ini, korelasi nilai *liquid limit* dan *void ratio* mempunyai hasil yang lebih baik dalam memprediksi nilai sudut geser tanah. Hal ini dibuktikan oleh nilai R^2 dari regresi yang didapat. Korelasi empiris yang didapatkan dari studi ini adalah sebagai berikut:

$$\phi = (-0.144LL - 20.456e + 50.463) \quad (6.1)$$

Dari persamaan 6.1 didapatkan nilai R^2 sebesar 99.60%. Maka perumusan empiris ini dapat digunakan untuk mengestimasi nilai sudut geser tanah dengan nilai *liquid limit* tertentu. Untuk menggunakan rumusan korelasi nilai sudut geser tanah digunakan nilai *liquid limit* tanpa persentase. Selain itu, didapatkan korelasi untuk memprediksi nilai kohesi tanah dengan nilai R^2 sebesar 83.25% adalah sebagai berikut:

$$C_u = -0.1791e + 0.4199 \quad (6.2)$$

2. Nilai kohesi tanah yang didapatkan dalam studi untuk tanah kondisi 100% *cracked* sangat kecil (bisa diasumsikan tidak mempunyai nilai kohesi tanah) dan hanya tersisa nilai sudut geser tanahnya saja. Namun, dari hasil studi didapatkan bahwa nilai sudut geser tanah pada kondisi 100% *cracked* didapatkan ada yang mengalami kenaikan dan penurunan. Hal ini mungkin disebabkan karena pada saat pemotongan benda uji tidak begitu rata atau baik sehingga pada benda uji terdapat sudut yang membuat nilai sudut geser tanah pada kondisi 100% *cracked* menjadi lebih besar dari kondisi utuh. lebih besar dari nilai sudut geser tanah pada kondisi utuh. Sebaliknya, untuk sudut geser yang mengalami penurunan diakibatkan oleh adanya beberapa butiran yang keluar dari benda uji saat pengetesan atau proses pemotongan yang terlalu keras sehingga tanah ikut terbawa dan menempel pada *trimmer* dan mengakibatkan adanya perubahan volume tanah. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa rentang nilai sudut geser tanah kondisi 100% *cracked* adalah 0.8-1.3 kali sudut geser pada kondisi utuh

3. Jika dibandingkan hasil parameter tanah yang diuji didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Alat *direct shear* biasa (tidak bisa diberi tekanan air) kurang direkomendasikan untuk mengukur parameter tanah kohesif.
 - b. Alat *direct shear* modification dapat mengukur parameter tanah kohesif.
 - c. Alat *direct shear* modification dapat mengukur nilai sudut geser dan nilai kohesi tanah saat diberi tekanan air.
4. Adanya perubahan rumusan Ardana & Mochtar, 1999 karena adanya kandungan (persentase) pasir halus pada campuran material pembuatan benda uji dengan nilai *liquid limit* 30%. Hal ini yang menunjukkan bahwa penggunaan rumusan Ardana & Mochtar, 1999 perlu meninjau gradasi dari tanah yang ditinjau. Berikut rumusan yang dirumuskan untuk memperbaiki rumusan Ardana & Mochtar, 1999:

$$C_u = 0.0737 + (0.1899 - 0.0016PI) \sigma_v' \left(1 - \frac{\tan(\delta) \cdot (1 - \sin(\phi)) \cdot H}{D} \right)$$

Dengan syarat:

1. Persentase pasir halus >50%
2. Asumsi $\phi = \delta$, nilai $\phi = 10^\circ - 15^\circ$ (bergantung pada jenis tanah dominan)
3. Nilai kohesi tanah dalam kg/cm^2

5.2 Saran

Saran untuk tugas akhir ini adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai *cracked soil*, terkait dengan parameter tanah yang perlu dimasukkan kedalam rumusan/korelasi.
2. Perlu memvariasikan nilai tekanan air yang diberikan pada benda uji, baik dalam kondisi utuh sepenuhnya maupun 100% *cracked*.

3. Adanya kalibrasi gesekan antara shear box bagian atas dengan penutup chamber bagian atas yang harus dimasukkan dalam pengujian untuk mendapatkan parameter tanah.
4. Agar lebih mudah membaca hasil parameter tanah dibutuhkan, perlu dilakukan proses komputasi (pembacaan menggunakan komputer)
5. Proses pemberian tekanan air masih menggunakan alat konvensional (menggunakan dongkrak), alangkah lebih baik jika pemberian tekanan air dengan menggunakan alat seperti pada *triaxial machine*
6. Dongkrak yang moveable pada bagian bawah chamber harus digunakan lebih hati-hati dikarenakan bisa saja dongkrak menekan chamber bagian bawah miring sehingga chamber bagian bisa saja mengalami kerusakan/melekok. Hal ini bisa saja menyebabkan proses pemberian tekanan air menjadi lebih sulit.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardana, Made Dodiek W., **Pengaruh Tegangan Overburden Efektif Dan Plastisitas Tanah Terhadap Kekuatan Geser Undrained Tanah Lempung Berkonsistensi Sangat Lunak Sampai Kaku Yang Terkonsolidasi Normal**, 1999
- ASTM. D-2166M-13. **Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soils.**
- ASTM D-6528. **Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Fine Grain Soils.**
- ASTM D-653-03. **Standard Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids.**
- Bentley Stephen, P., Carter, M., **Soil Properties And Their Correlations**, John Wiley & Sons, 2016
- Das, B. M., Endah, N., & Mochtar, I. B. (1995). **MEKANIKA TANAH Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)**, 1–291.
- Das, B., **Advanced Soil Mechanics**. Taylor & Francis, London & New York, 2008.
- Das, Braja M. 2011. **Principal of Foundation Engineering Third Edition, SI**. USA:Cengage Learning
- Das, Braja M. 2011. **Principal of Foundation Engineering Seventh Edition, SI**. USA:Cengage Learning

Geomechanics Laboratory. **RESEDIMENTATION**. [online].
<http://www-udc.ig.utexas.edu/geofluids/Lab/resed.php>
[diakses 1 Juli 2019]

Hutagamissufardal, Mochtar, I. B., & Mochtar, N. E. B. (2018).
**The Effect of Cracks Propagation on Cohesion and
Internal Friction Angle for High Plasticity Clay**, *13*(5),
2504–2507.

Hutagamissufardal, Mochtar, I. B., & Mochtar, N. E. B (2016)
**Cracks In Soils And Their Implication For
Geotechnical Engineering**, (November), 15–16

Hough, B., **Basic soil engineering**. Ronald Press Company, New
York, 1969

Hvorslev, J. M. **Physical Components of the Shear Strength of
Saturated Clays**. Mississippi, 1961

Ke, L., & Takahashi, A. (2014). **Experimental investigations on
suffusion characteristics and its mechanical
consequences on saturated cohesionless soil**. *Soils and
Foundations*, *54*(4), 713–730.

MATHalino Engineering Mathematics. **Determination of
Liquid, Plastic, and Shrinkage Limits**. [online].
[https://www.mathalino.com/reviewer/geotechnical-
engineering/consistency-soil-atterberg-limits](https://www.mathalino.com/reviewer/geotechnical-engineering/consistency-soil-atterberg-limits). [diakses
Septembr 2018]

Mochtar, I. B., Khoiri, Lastiasih. **Petunjuk Pengujian Tanah Di
Laboratorium Dan Mekanika Tanah**. Surabaya: ITS Press

- Mochtar, I. B. (2011). **A New Method of Perceiving Slope Stability Concept Based on Field Evidences.** *Proceedings of HATTI Seminar*, (July 23rd).
- Obrzud R. & Truty, A. **The Hardening Soil Model - A Practical Guidebook** *Z Soil*. PC 100701 report, revised 31.01.2012(5)
- Omar, T., & Sadrekarimi, A. (2014). **Effects of multiple corrections on triaxial compression testing of sands.** *Journal of GeoEngineering*, 9(2), 75–83.
- Pramana, I Made W. (2018). **Empirical Correlation Between Soil Plasticity and Consolidation Parameter of Remoulded Clay.** 12th International Conference on Building Design, Materials, Civil and Transportation Engineering (BDMCTE-18).
- Raymond, G. P. (1997). **Shearing strength of soils.** *Geotechnical Enineering*, 99–112.
- Swiss Standard SN 670 010b, **Characteristic Coefficients of soils**, Association of Swiss Road and Traffic Engineers
- Terzaghi, K., Peck, R., and Mesri, G., **Soil Mechanics in Engineering Practice.** Wiley, New York, 1996.(4)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

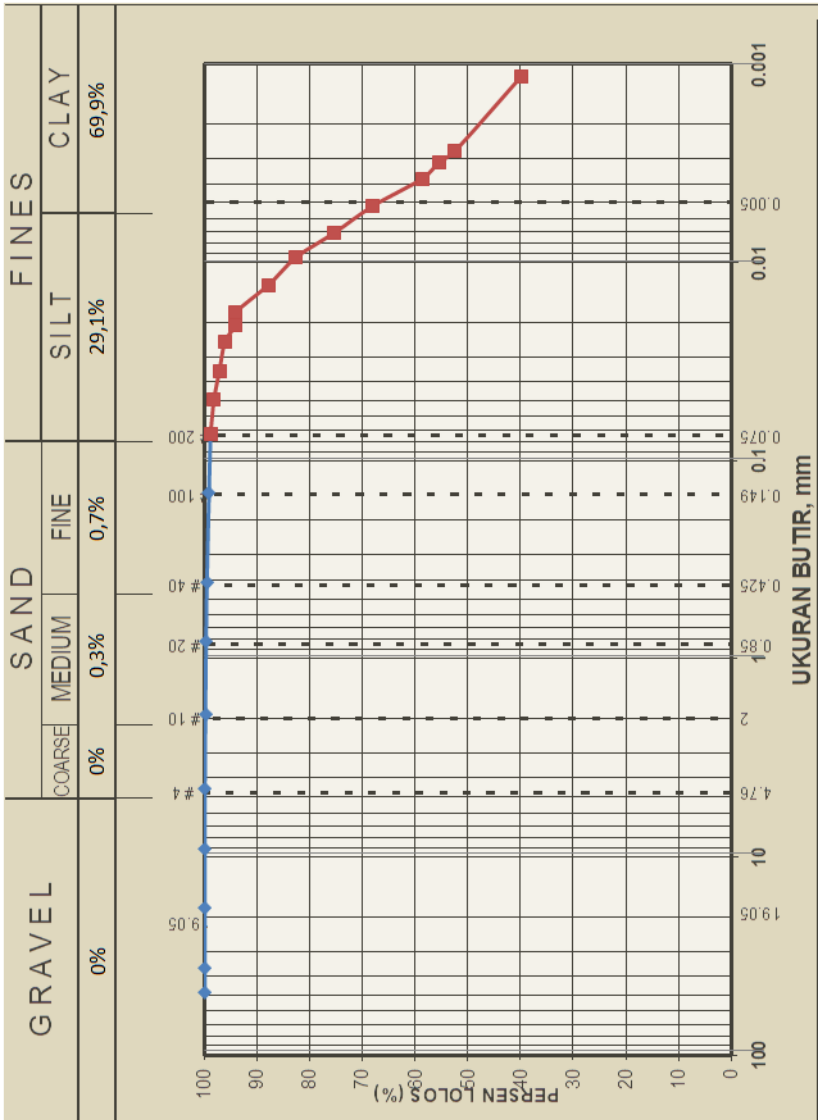
LAMPIRAN 1 (Initial Tanah)

Clay Robotika:

Sample		Robotika	ANALISA AYAKAN			
Berat tanah kering		200.00 gr				
Berat mangkok		55.59 gr				
Sieve Diameter		Berat tertahan + cawan	Berat tertahan - cawan	% Berat tanah yang tertahan	% Kumulatif yang tertahan	% Passing
No sieve	Sieve	gr	gr	%	%	%
2"	50.800					100.000
1,5"	38.100					100.000
3/4"	19.100					100.000
3/8"	9.500					100.000
4	4.760					100.000
10	2.000	55.75	0.15	0.08	0.08	99.923
20	0.850	55.84	0.25	0.12	0.20	99.799
40	0.425	55.89	0.30	0.15	0.35	99.648
100	0.149	56.34	0.75	0.38	0.73	99.272
200	0.075	56.13	0.54	0.27	1.00	99.001
	Pan	253.59	198.00			
	W total		200.00			

HIDROMETER

Gs	2.691	a	0.991
Ct	2.15	Zo	+4
Time (min)	Temp	R	Rcp
0.5	28	52	50.15
1		51.5	49.65
2		51	49.15
3		50	48.15
4		50	48.15
8		47	45.15
16		44.5	42.65
30		41	39.15
60		37.5	35.65
120		33	31.15
180		31.5	29.65
240		30	28.15
1440		24	22.15

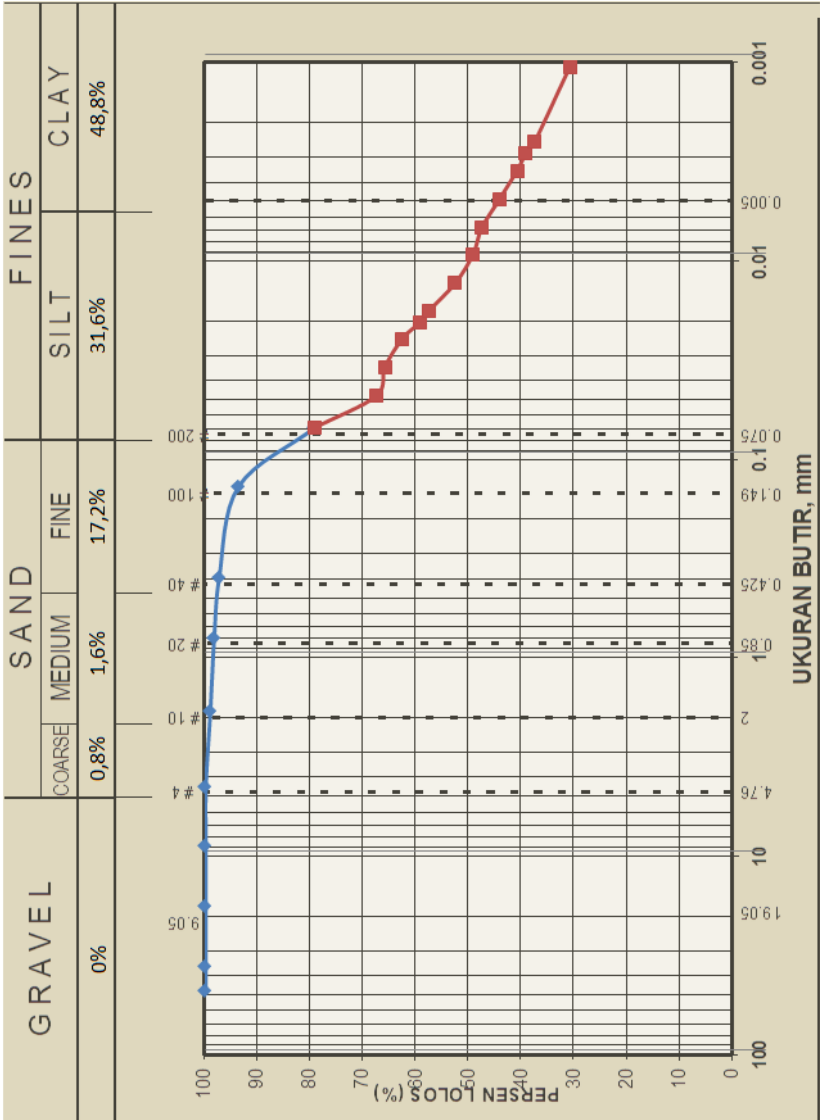


Clay Soil Kanor, Bojonegoro:

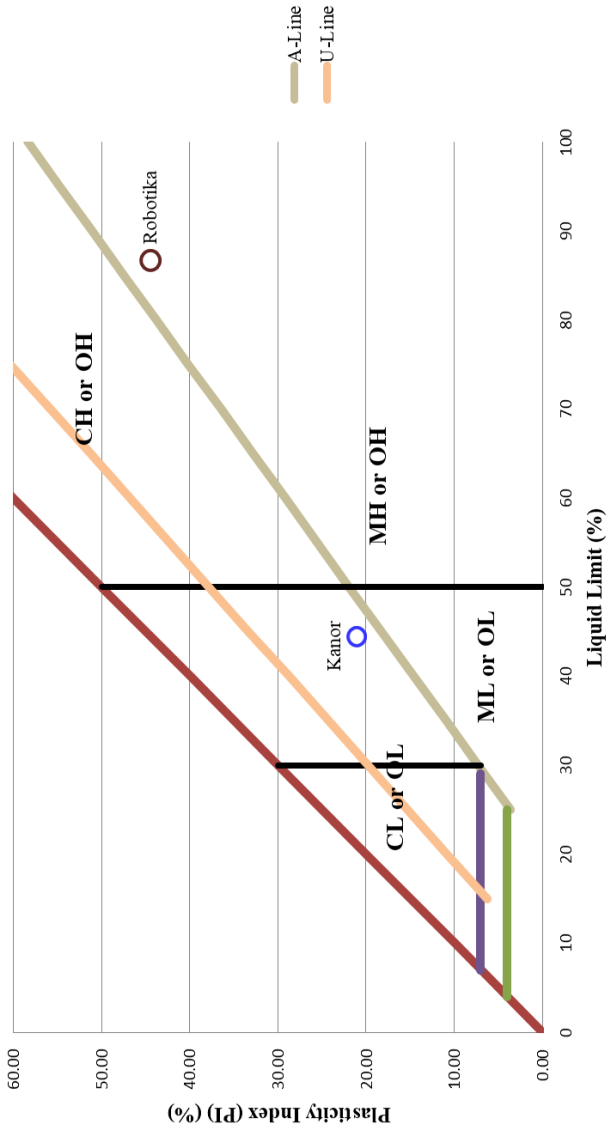
Sample		Kanor, Bojonegoro				
Berat tanah kering		200.00 gr				
Berat mangkok		26.94 gr				
Sieve Diameter		Berat tertahan + cawan	Berat tertahan - cawan	% Berat tanah yang tertahan	% Kumulatif yang tertahan	% Passing
No sieve	Sieve	gr	gr	%	%	%
2"	50.800					100.000
1,5"	38.100					100.000
3/4"	19.100					100.000
3/8"	9.500					100.000
4	4.760	26.99	0.05	0.02	0.02	99.977
10	2.000	28.53	1.59	0.79	0.82	99.182
20	0.850	28.33	1.39	0.70	1.51	98.487
40	0.425	28.73	1.79	0.90	2.41	97.592
100	0.149	33.80	6.86	3.43	5.84	94.160
200	0.075	54.41	27.47	13.74	19.58	80.424
	Pan	187.79	160.85			
	W total		200.00			

HIDROMETER

Gs	2.745	a	0.979
Ct	2.15	Zo	+4
Time (min)	Temp	R	Rcp
0.5	28	46	44.15
1		45	43.15
2		43	41.15
3		41	39.15
4		40	38.15
8		37	35.15
16		35	33.15
30		34	32.15
60		32	30.15
120		30	28.15
180		29	27.15
240		28	26.15
1440	24	22.15	



Plasticity Chart USCS



Analisa Berat Volume & *Specific Gravity*

Clay Soil Robotika

Berat Volume Tanah

1	No Cawan		86	128
2	Berat cawan kosong	gr	48.282	46.002
3	Berat cawan + tanah basah	gr	86.046	83.68
4	Berat cawan + tanah kering	gr	76.3	73.1
5	Berat cawan peluberan	gr	97.019	
6	Berat cawan peluberan + Hg luber	gr	407.461	413.01
7	Berat Hg luber (no 6 - no 5)	gr	310.442	315.991
8	Berat tanah basah (no 3 - no 2)	gr	37.764	37.678
9	Volume tanah (no 7/13.6)	cc	29.960	30.368
10	Berat air (no 3 - no 4)	gr	9.746	10.58
11	Berat tanah kering (no 4 - no 2)	gr	28.018	27.098
12	Berat/Volume tanah (no 8/no 9) [γ]	gr/cc	1.260	1.241
13	Berat/Volume tanah (γ) [Rata-rata]	gr/cc	1.251	
14	Berat/Volume kering (no 11/ no 9) [γ_d]	gr/cc	0.935	0.892
15	Berat/Volume kering (γ_d) [Rata-rata]	gr/cc	0.914	
16	Kadar air (no 10/no 11) %	%	34.78%	39.04%
17	Derajat kejenuhan (no 14*no 29/no 19)	%	55.29%	48.85%
18	Kadar pori (no 19/(1 + no 19)) %	%	58.83%	71.31%
19	Angka pori (no 28/no 27)	%	1.4289	2.4858
20	Angka Pori		1.9573	

Specific Gravity Tanah

19	No pikno		23	26
20	Berat Pikno kosong	gr	87.627	80.757
21	Berat Pikno + air suling	gr	336.262	329.521
22	Berat Pikno + tanah kering	gr	122.353	104.147
23	Berat Pikno + tanah + air (no 21 + no 26)	gr	370.988	352.911
24	Berat Pikno + tanah + air (setelah divakum)	gr	358.676	344.215
25	Temp	C	27.5	27.5
26	Berat tanah kering (no 22-no 20)	gr	34.726	23.39
27	Volume butir (no 11/ no 29) V_s	cc	12.335	8.712
28	Volume pori (no 9 - no 27) V_v	cc	17.626	21.656
29	Specific gravity (no 11*A/(no 23-no 24))		2.271	3.110
30	Specific Gravity		2.691	

Clay Soil Kanor, Bojonegoro

Berat Volume Tanah

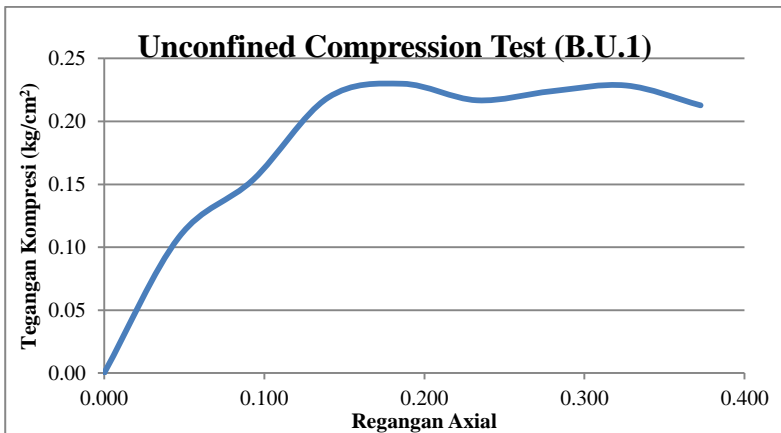
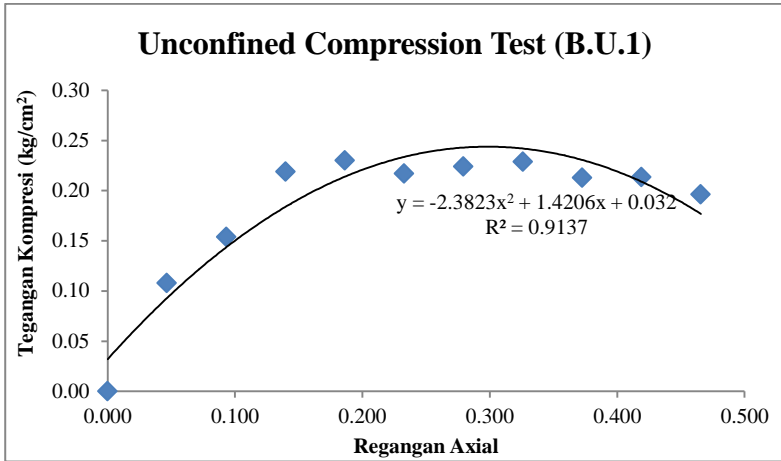
1	No Cawan		212	123	139
2	Berat cawan kosong	gr	39.541	47.281	43.263
3	Berat cawan + tanah basah	gr	64.26	73.142	61.382
4	Berat cawan + tanah kering	gr	58.538	67.33	57.187
5	Berat cawan peluberan	gr	97.03		
6	Berat cawan peluberan + Hg luber	gr	297.1	289.7	246.7
7	Berat Hg luber (no 6-no 5)	gr	200.07	192.67	246.7
8	Berat tanah basah (no3-no2)	gr	24.719	25.861	18.119
9	Volume tanah (no 7/13.6)	cc	21.846	21.301	18.140
10	Berat air (no 3-no 4)	gr	5.722	5.812	4.195
11	Berat tanah kering (no 4-no 2)	gr	18.997	20.049	13.924
12	Berat/Volume tanah (no 8/no 9) [g]	gr/cc	1.132	1.214	0.999
13	Berat/Volume tanah (g) [Rata-rata]	gr/cc	1.115		
14	Berat/Volume kering (no 11/ no 9) [gd]	gr/cc	0.870	0.941	0.768
15	Berat/Volume kering (gd) [Rata-rata]	gr/cc	0.859		
16	Kadar air (no 10/no 11) %	%	30.12%	28.99%	30.13%
17	Derajat kejenuhan (no 14*no 29/no 17)	%	38.50%	41.38%	32.07%
18	Kadar pori (no 17/(1+no 17)) %	%	68.03%	65.93%	72.11%
19	Angka pori (no 28/no 27)	%	2.1280	1.9351	2.5861
20	Angka Pori		2.2164		

Specific Gravity Tanah

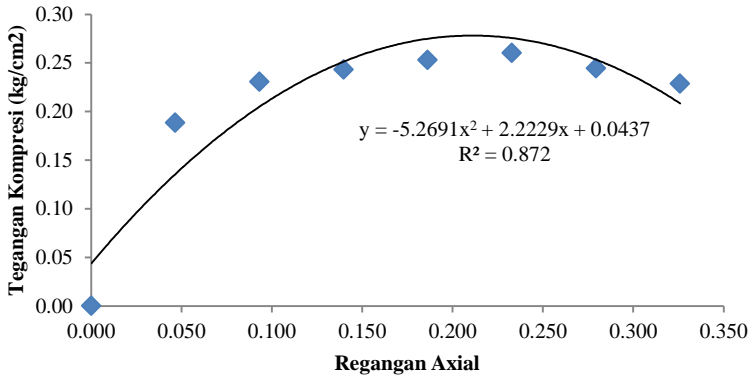
19	No pikno		23	6	32
20	Berat Pikno kosong	gr	87.647	83.253	84.655
21	Berat Pikno + air suling	gr	336.407	331.961	333.304
22	Berat Pikno + tanah kering	gr	106.685	103.381	98.625
23	Berat Pikno + tanah + air (no 20+no 26)	gr	355.445	352.089	347.274
24	Berat Pikno + tanah + air (setelah divakum)	gr	348.474	344.845	342.225
25	Temp	C			
26	Berat tanah kering (no 21-no 19)	gr	19.038	20.128	13.97
27	Volume butir (no 11/ no 29) Vs	cc	6.984	7.257	5.058
28	Volume pori (no 9 - no 27) Vv	cc	14.862	14.044	13.081
29	Specific gravity (no 11*A/(no 23-no 24))		2.720	2.763	2.753
30	Specific Gravity		2.745		

LAMPIRAN 2 (Unconfined Compression Test)

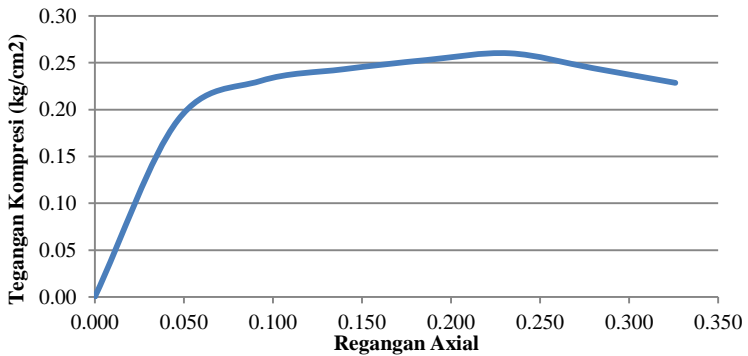
(LL:30%) [Soft Soil] (tanpa ϕ)

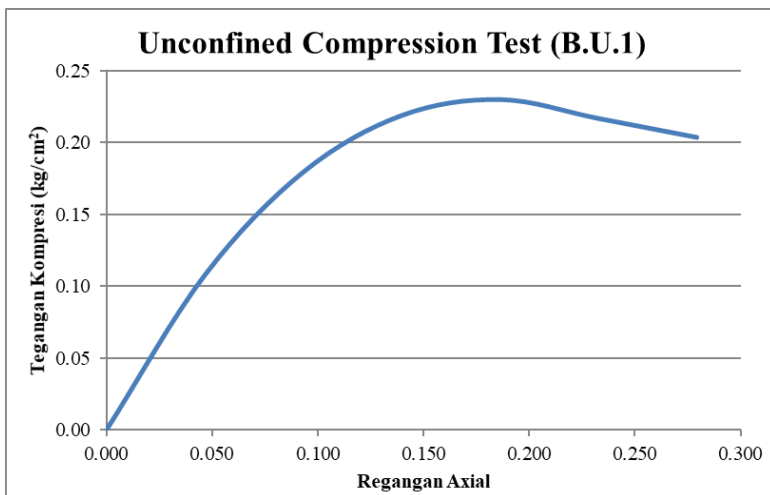
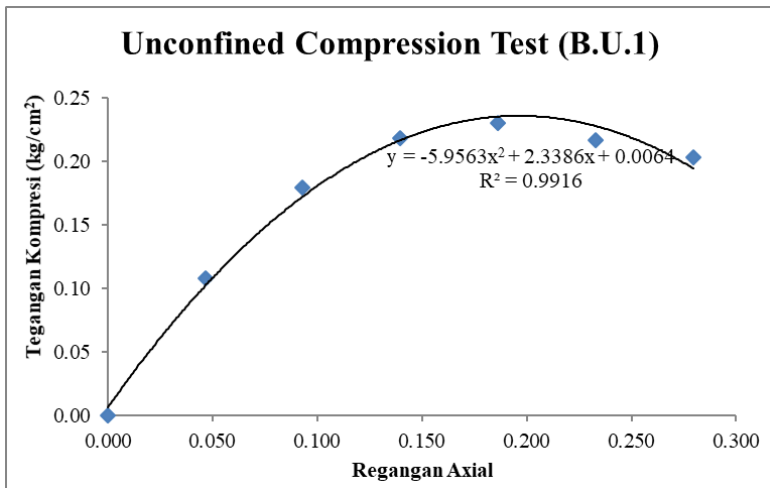


Unconfined Compression Test (B.U.2)

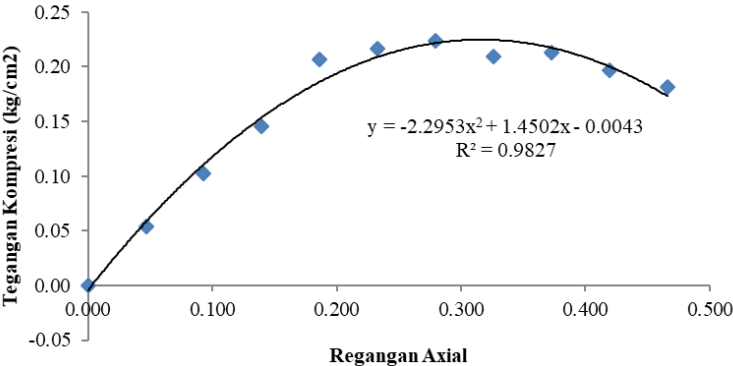


Unconfined Compression Test (B.U.2)

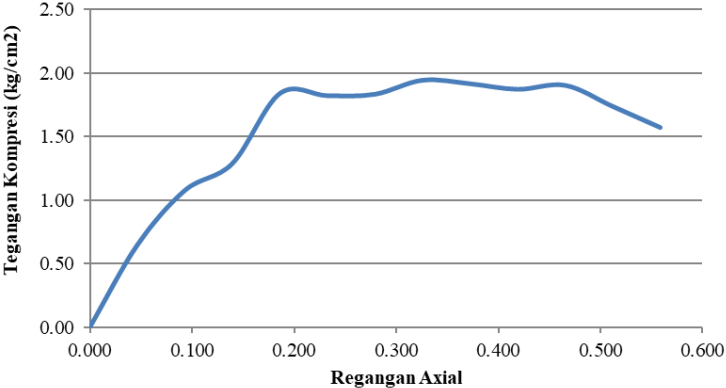


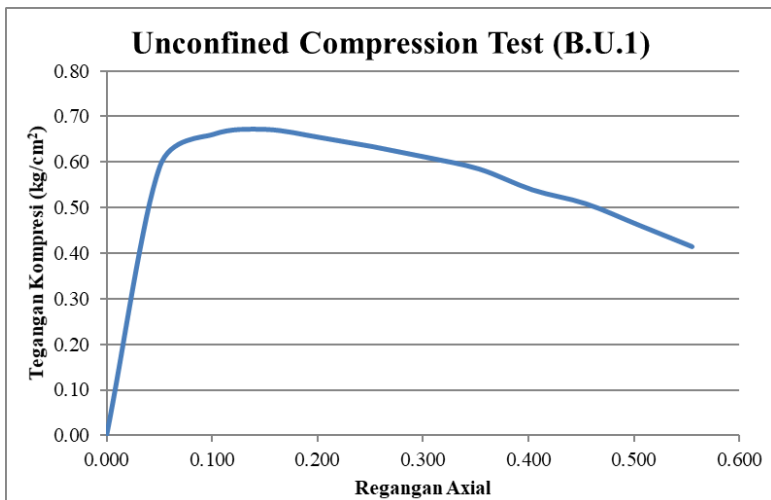
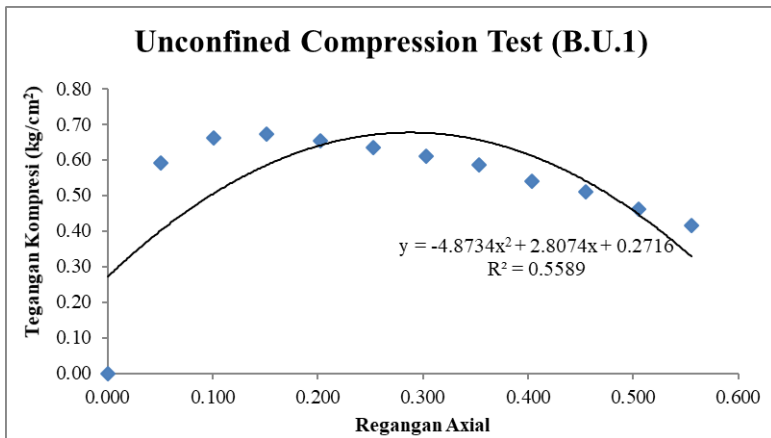
(LL:30%) [Soft Soil] (tanpa ϕ)

Unconfined Compression Test (B.U.2)

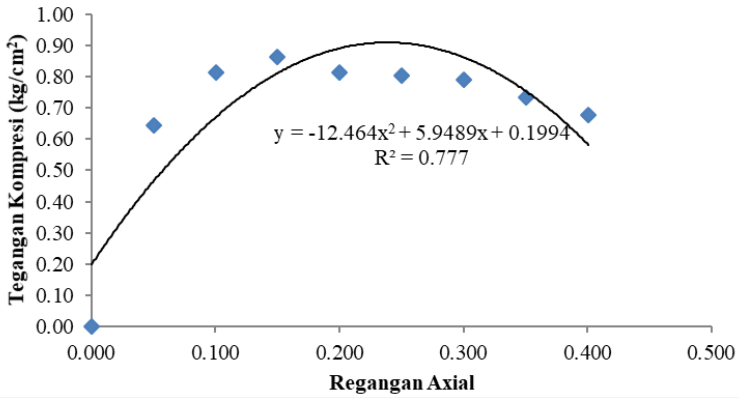


Unconfined Compression Test (B.U.2)

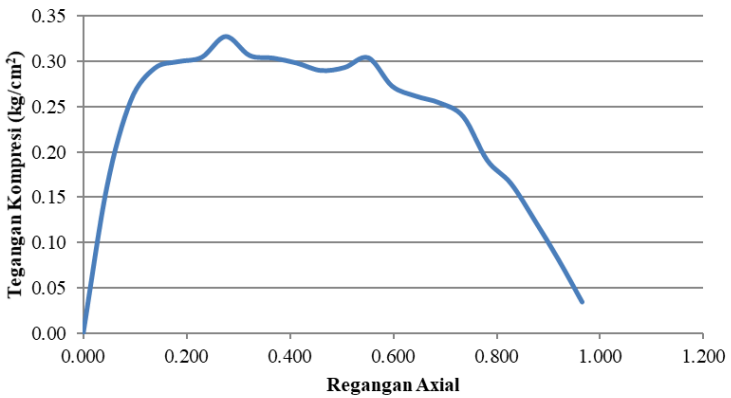


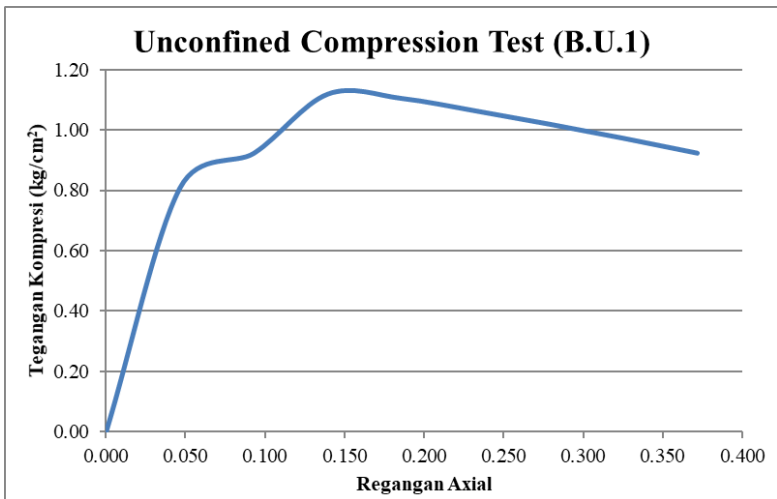
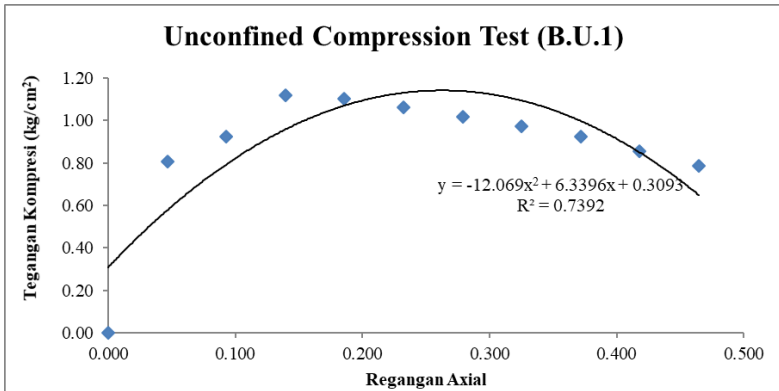
(LL:60%) [Medium Stiff Soil]

Unconfined Compression Test (B.U.2)

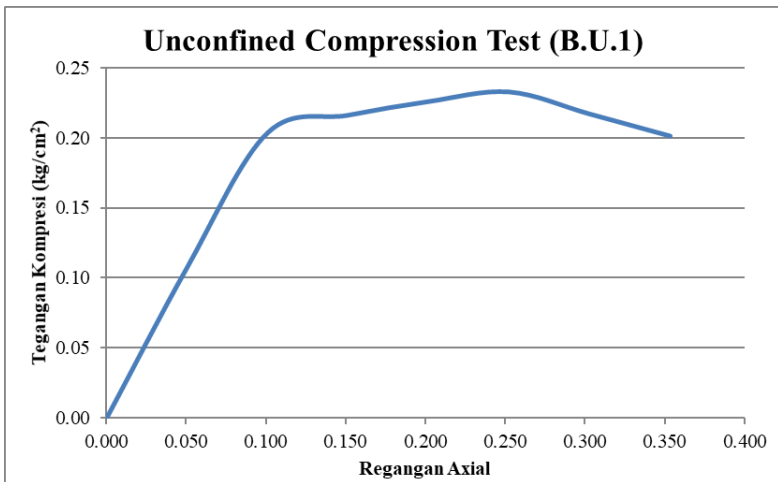
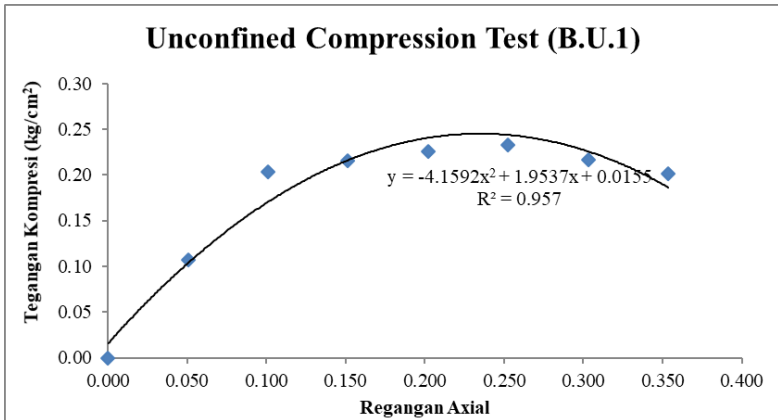


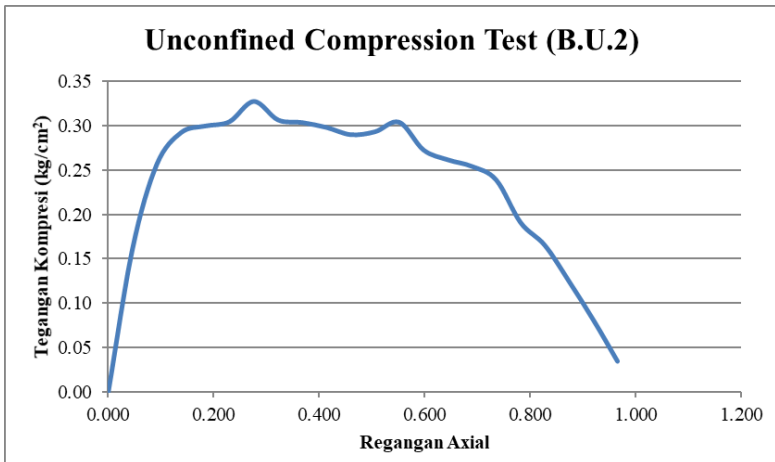
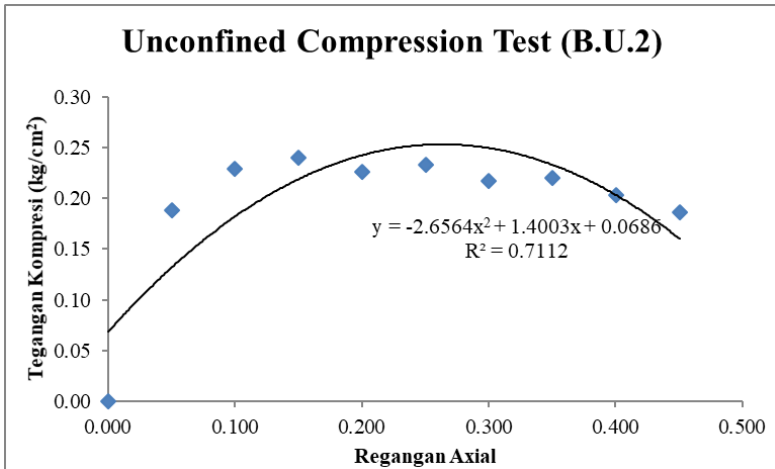
Unconfined Compression Test (B.U.2)



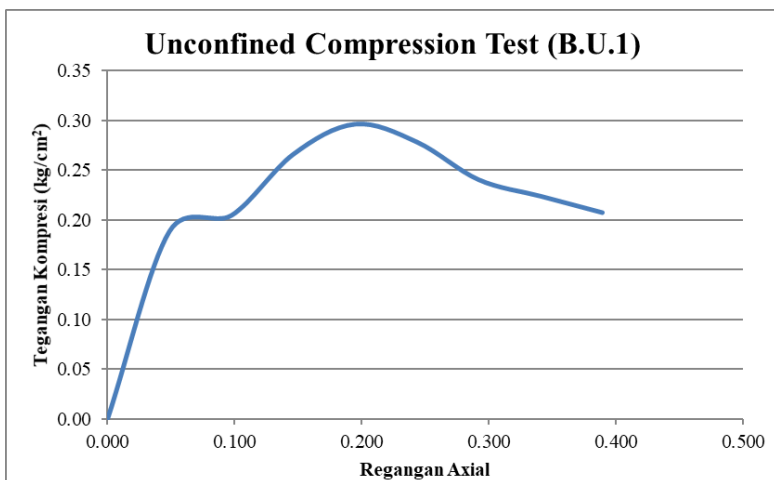
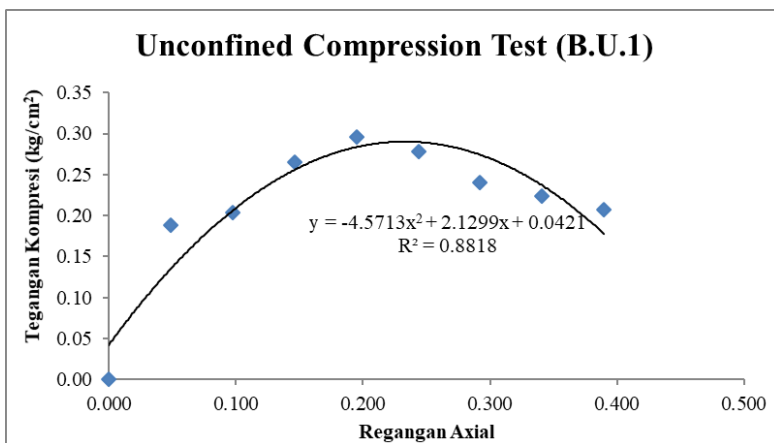
(LL:60%) [Stiff Soil]

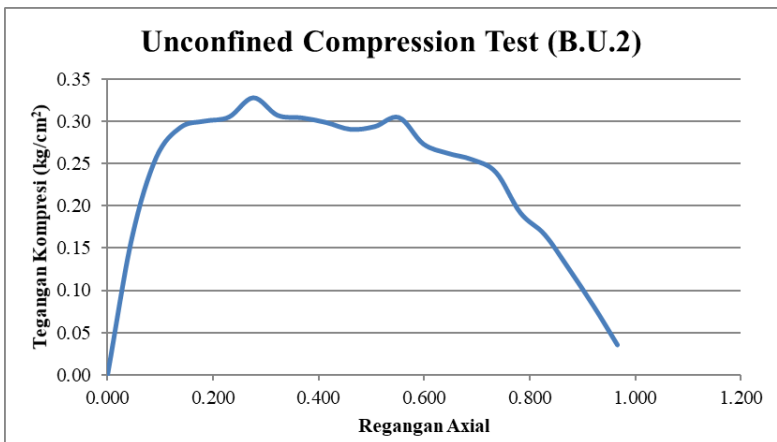
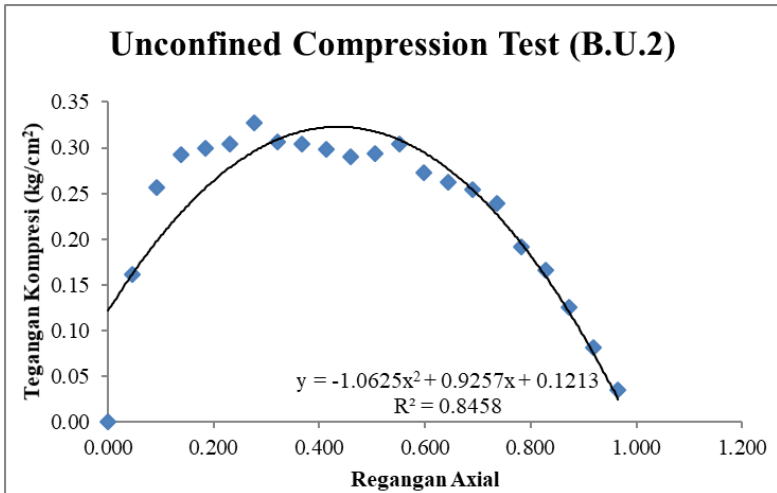
(LL:60%) [Soft Soil]



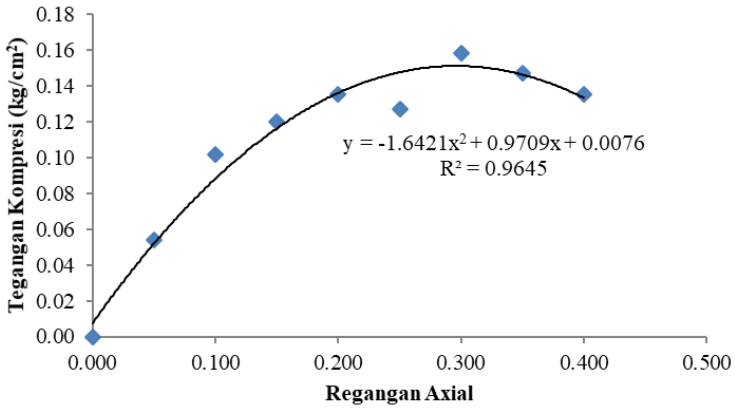


(LL:90%) [Soft Soil/Undisturbed Sample]

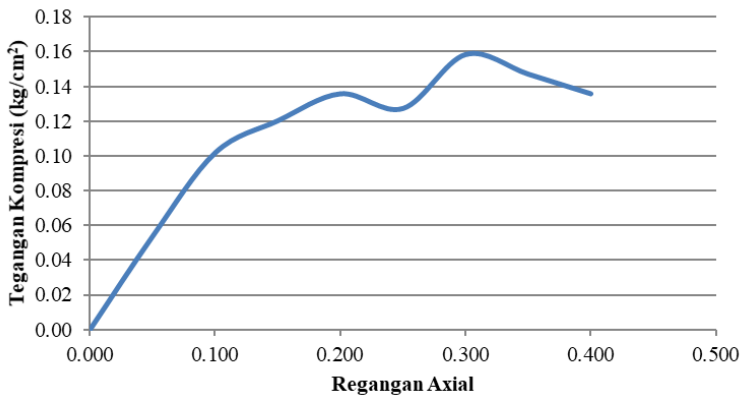


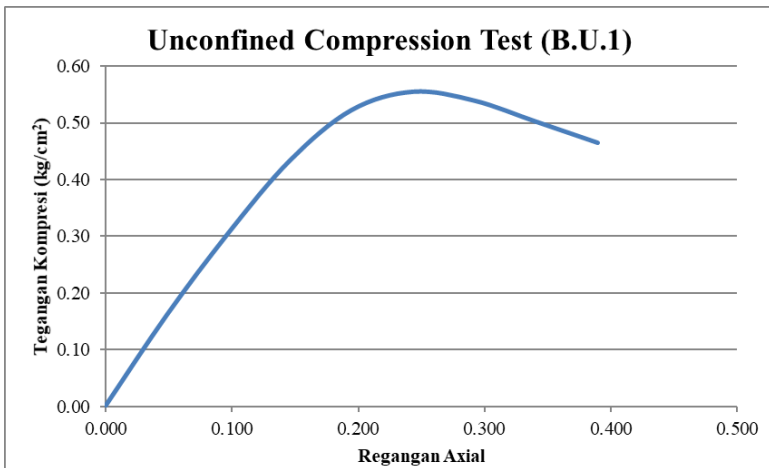
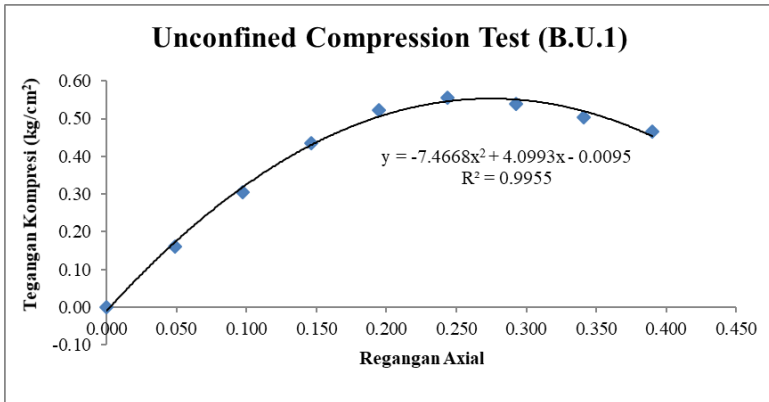


Unconfined Compression Test (B.U.3)

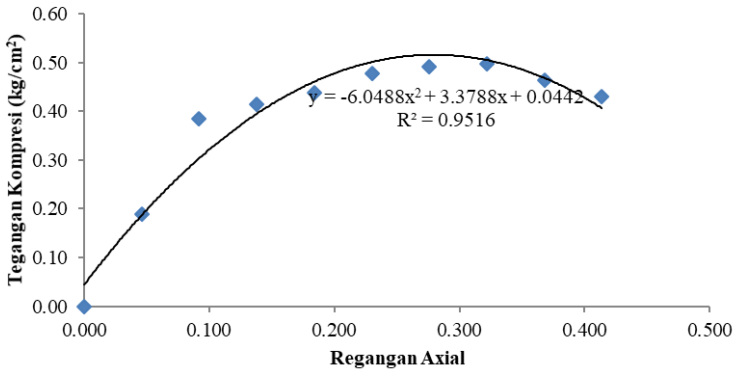


Unconfined Compression Test (B.U.3)

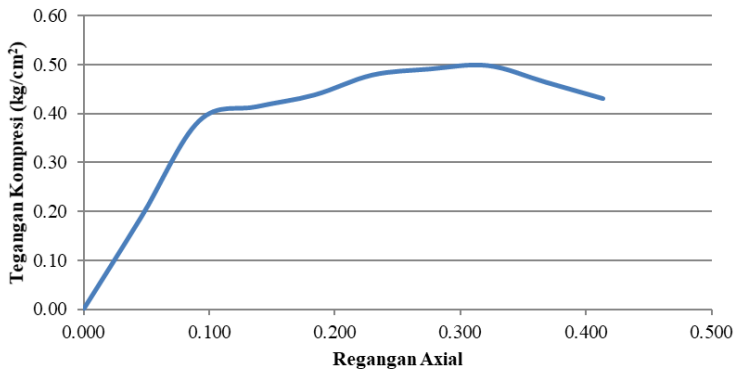


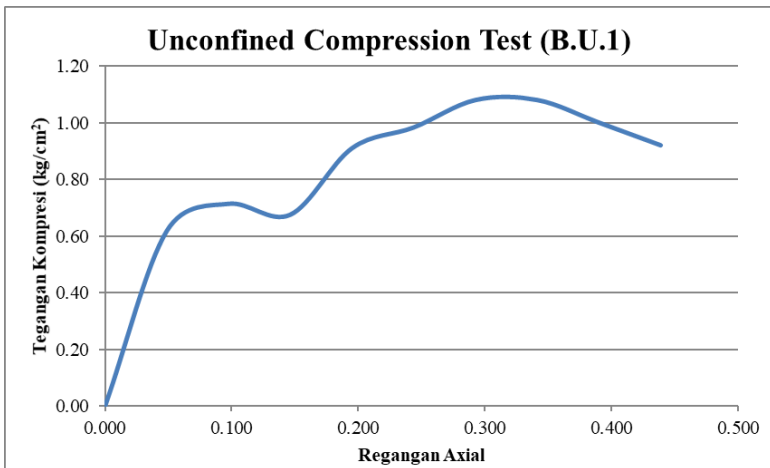
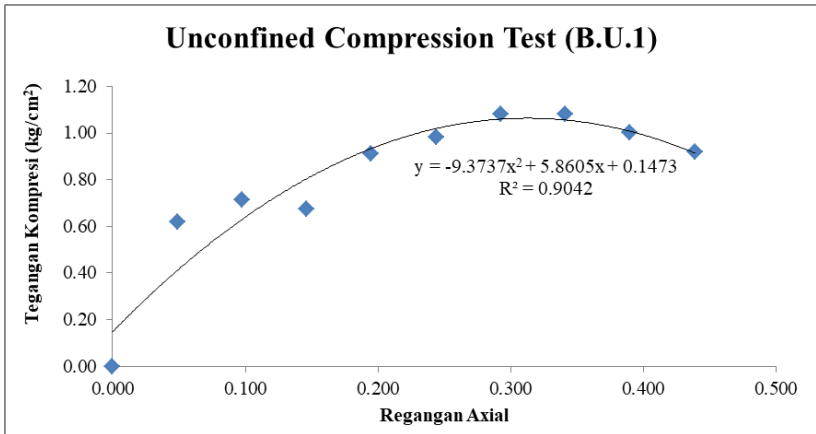
(LL:90%) [Medium Stiff]

Unconfined Compression Test (B.U.2)



Unconfined Compression Test (B.U.2)

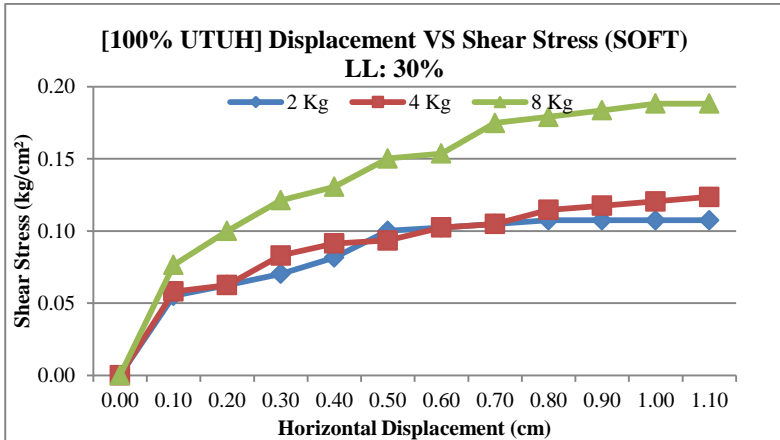


(LL:90%) [Stiff Soil]

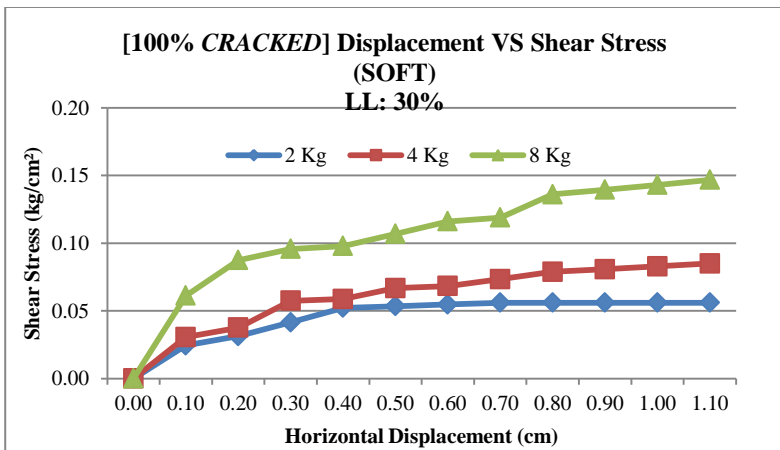
LAMPIRAN 3 (Direct Shear Test)

Tekanan Air = 0.0 kg/cm²

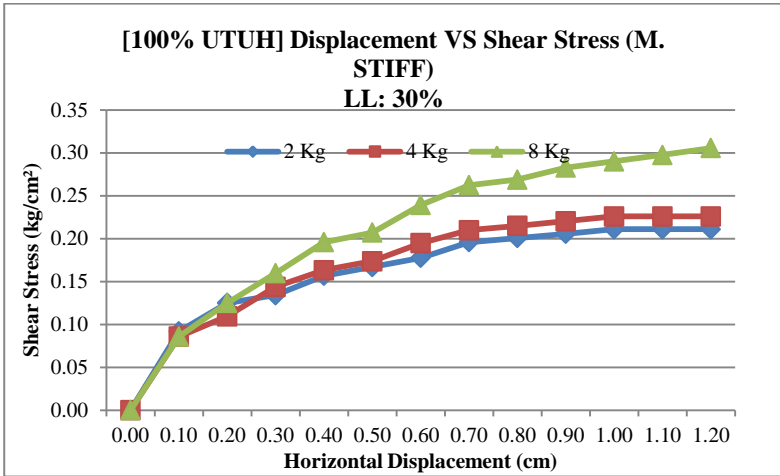
LL: 30% (Soft) (100% utuh)



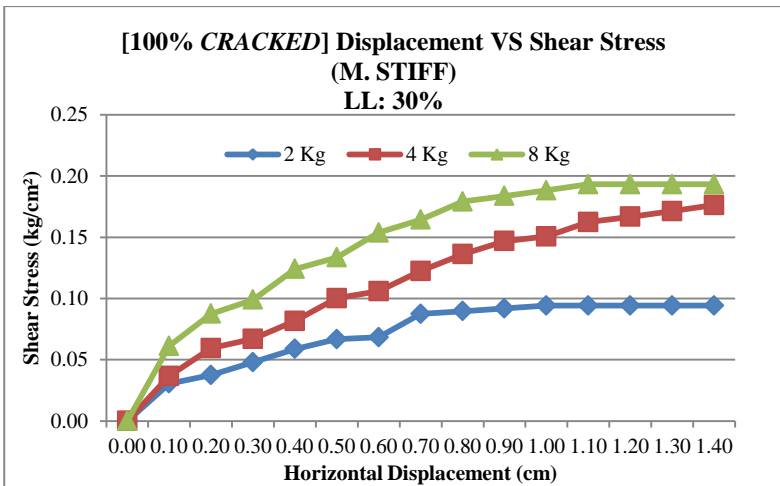
LL: 30% (Soft) (100% cracked)



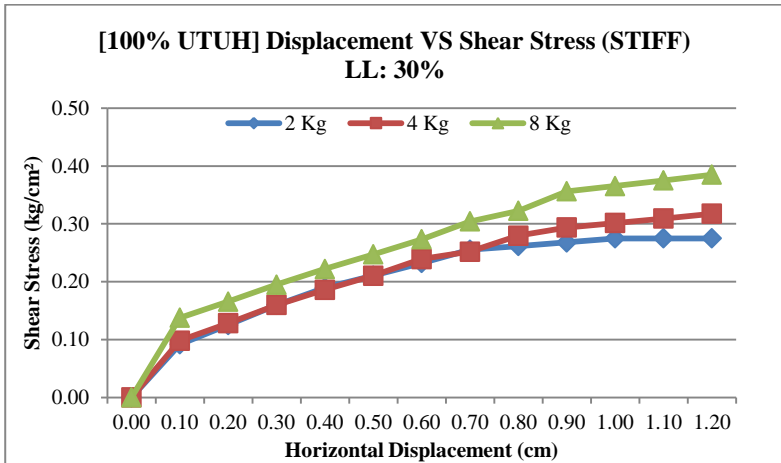
LL: 30% (*Medium stiff soil*) (100% utuh)



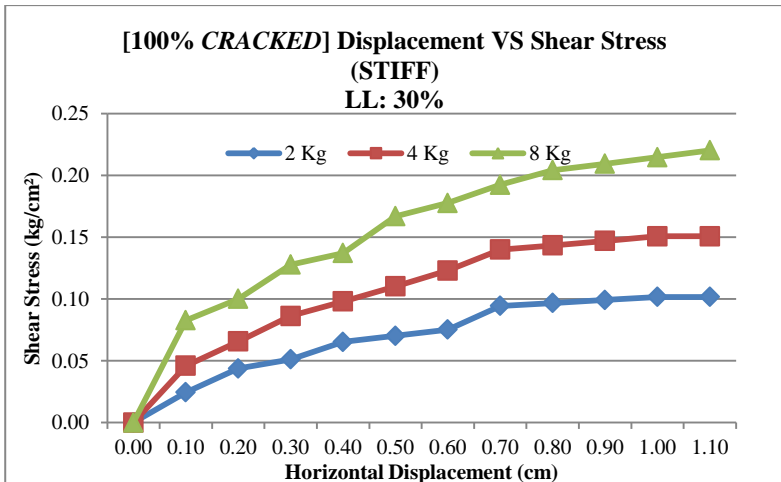
LL: 30% (*Medium stiff soil*) (100% cracked)



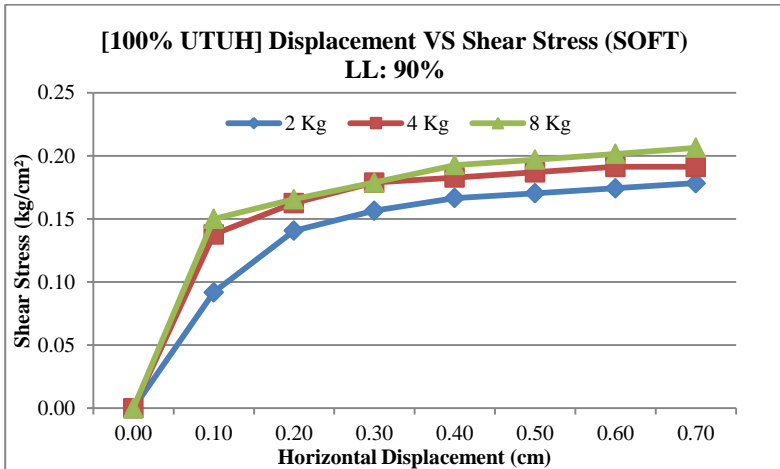
LL: 30% (stiff soil) (100% utuh)



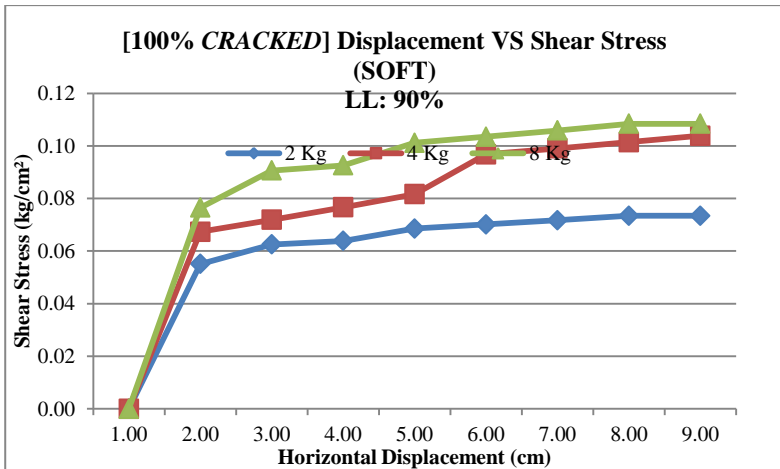
LL: 30% (stiff soil) (100% cracked)



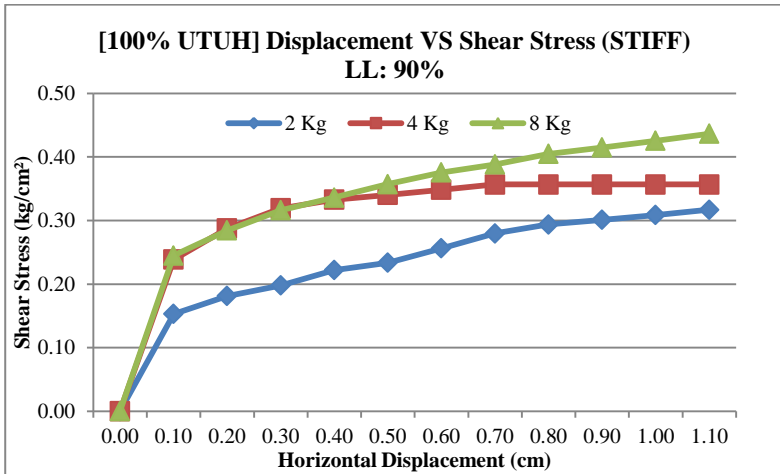
LL: 90% (soft soil) (100% utuh)



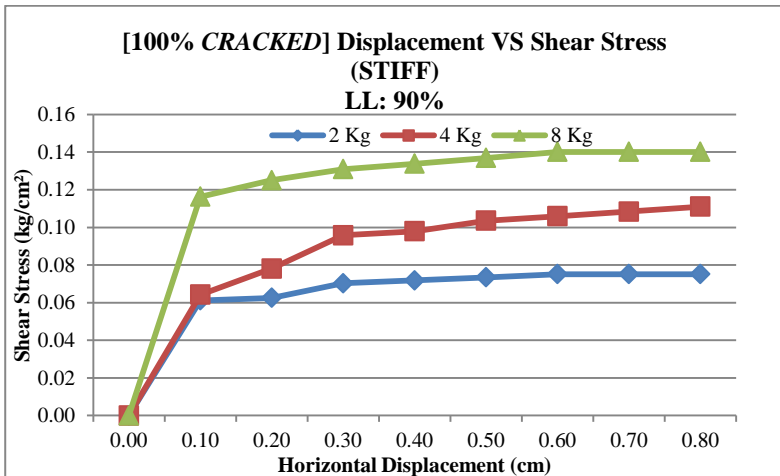
LL: 90% (soft soil) (100% cracked)



LL: 90%(stiff soil) (100% utuh)

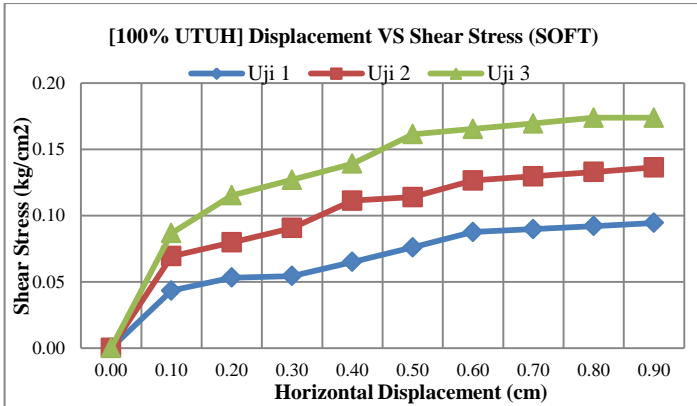


LL: 90% (stiff soil) (100% cracked)

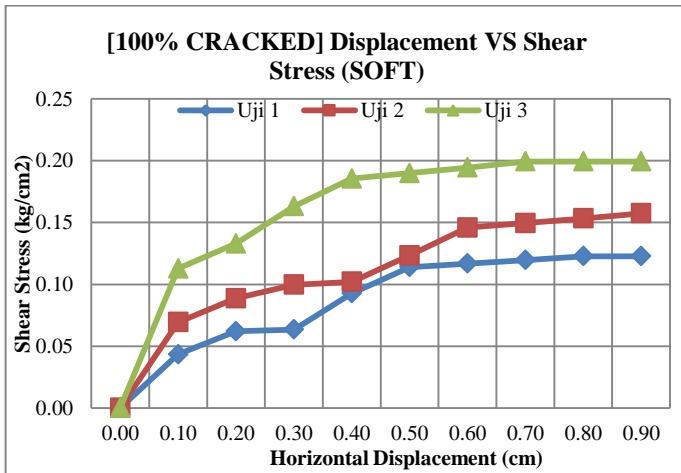


Tekanan Air = 0.5 kg/cm²

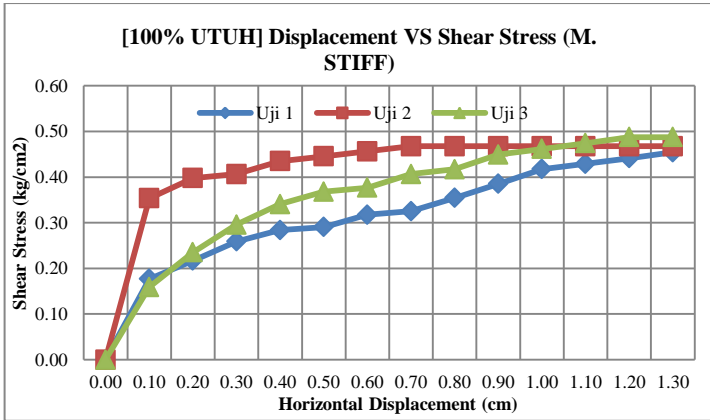
LL: 30% (Soft) (100% utuh)



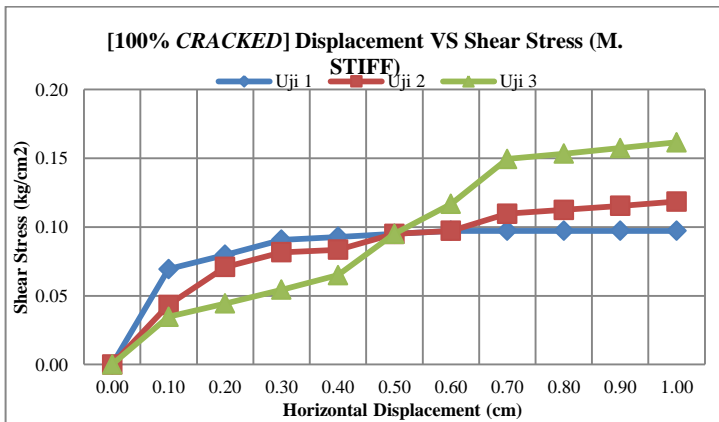
LL: 30% (Soft) (100% cracked)



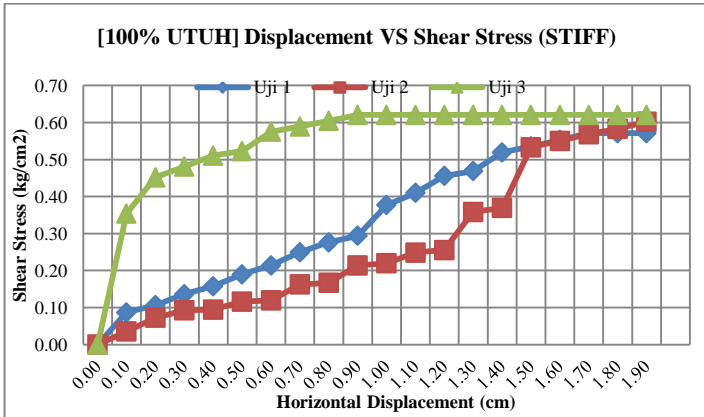
LL: 30% (Medium stiff soil) (100% utuh)



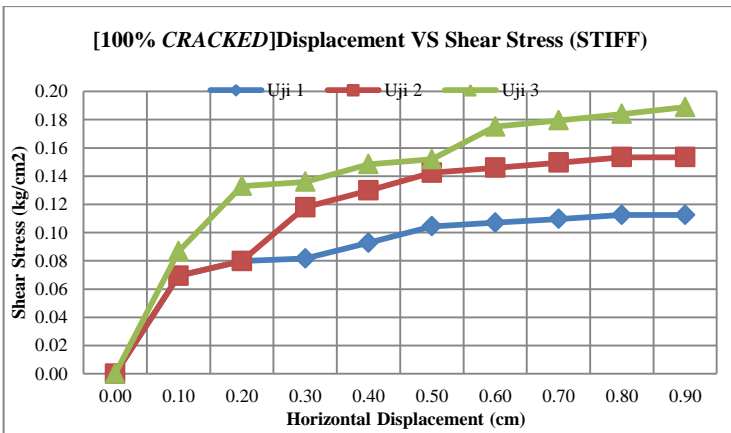
LL: 30% (Medium stiff soil) (100% cracked)



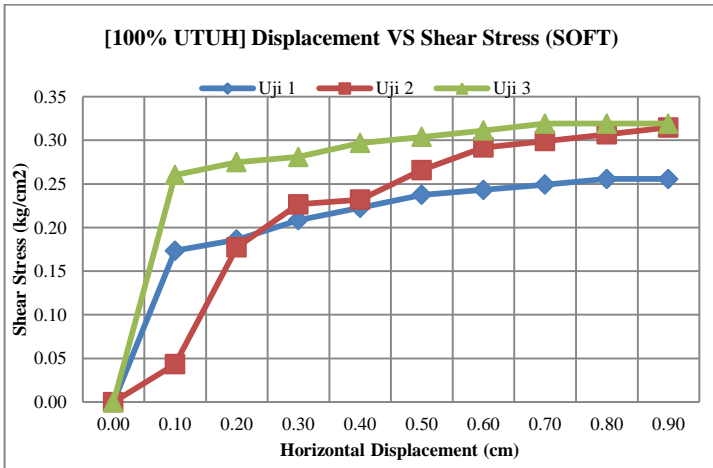
LL: 30% (*stiff soil*) (100% utuh)



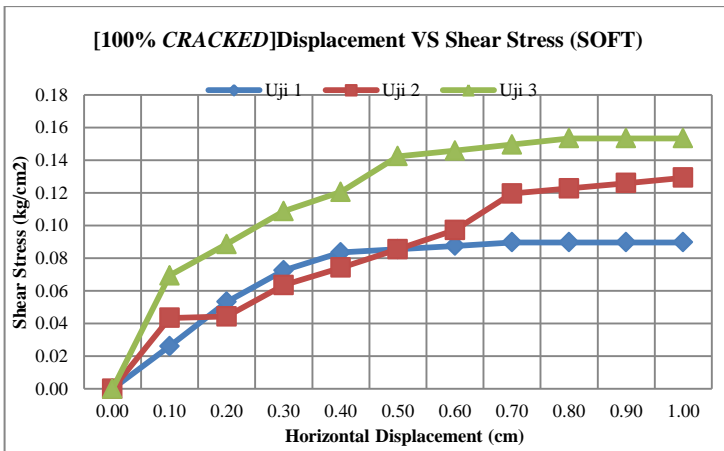
LL: 30% (*stiff soil*) (100% cracked)



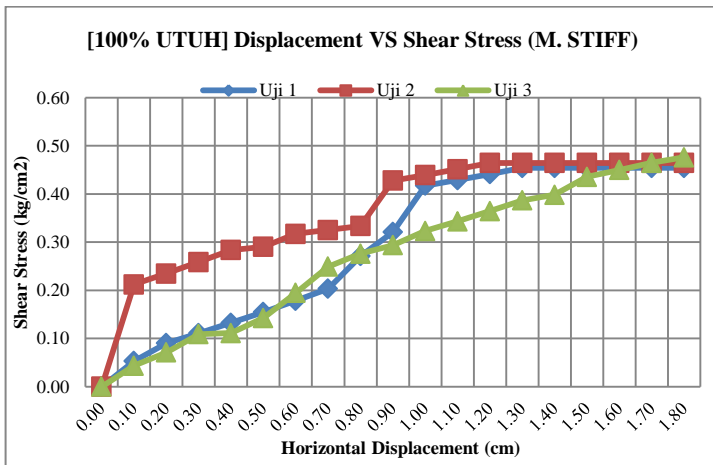
LL: 60% (Soft) (100% utuh)



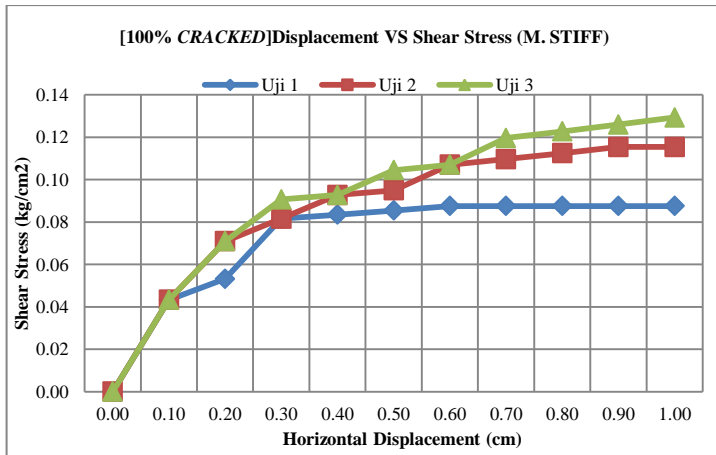
LL: 60% (Soft) (100% cracked)



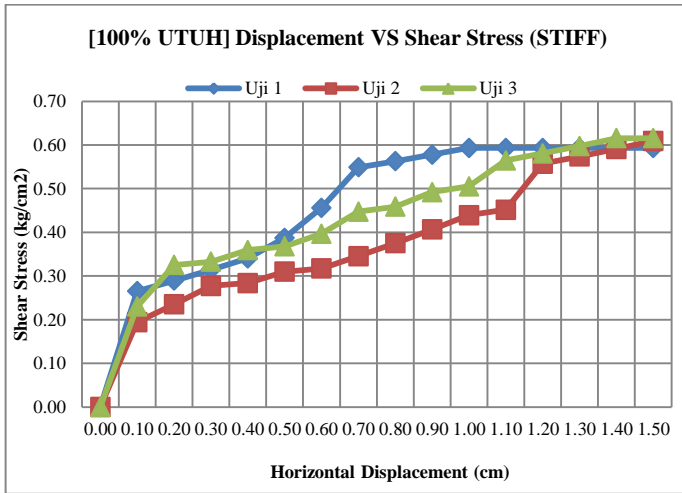
LL: 60% (Medium stiff soil) (100% utuh)



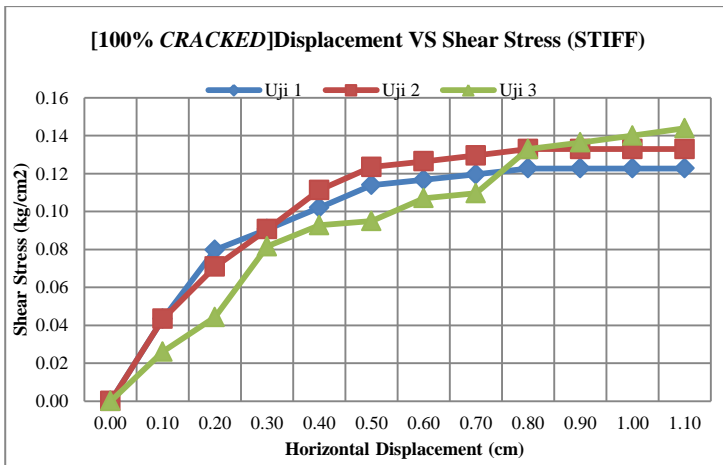
LL: 60% (Medium stiff soil) (100% cracked)



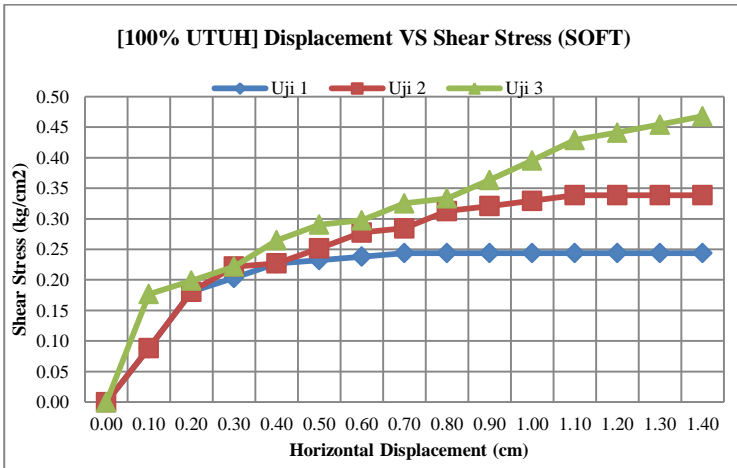
LL: 60% (*stiff soil*) (100% utuh)



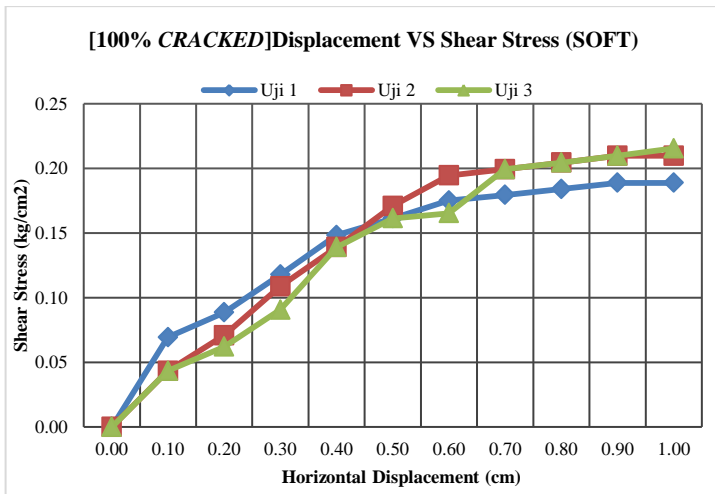
LL: 60% (*stiff soil*) (100% cracked)



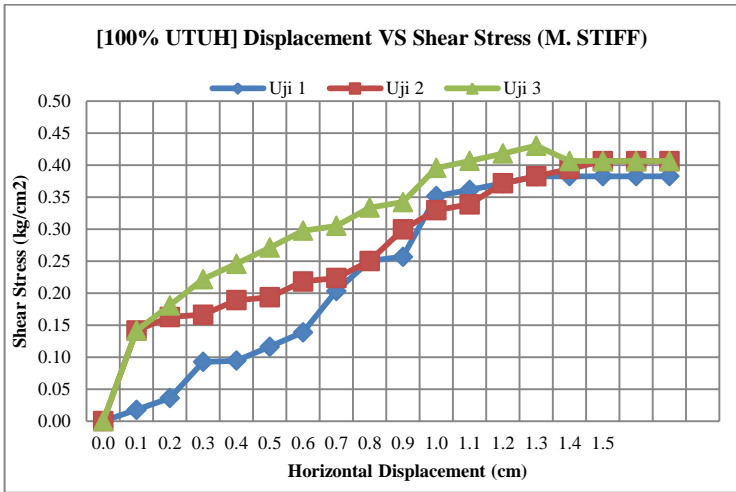
LL: 90% (*soft soil*) (100% utuh)



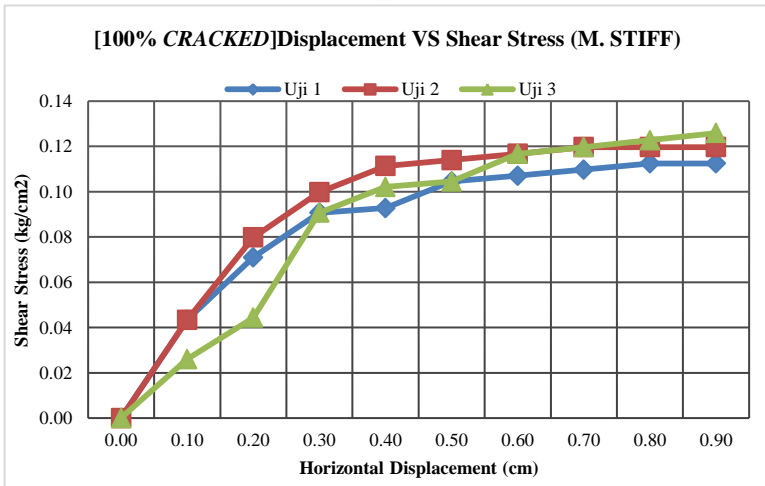
LL: 90% (*soft soil*) (100% cracked)



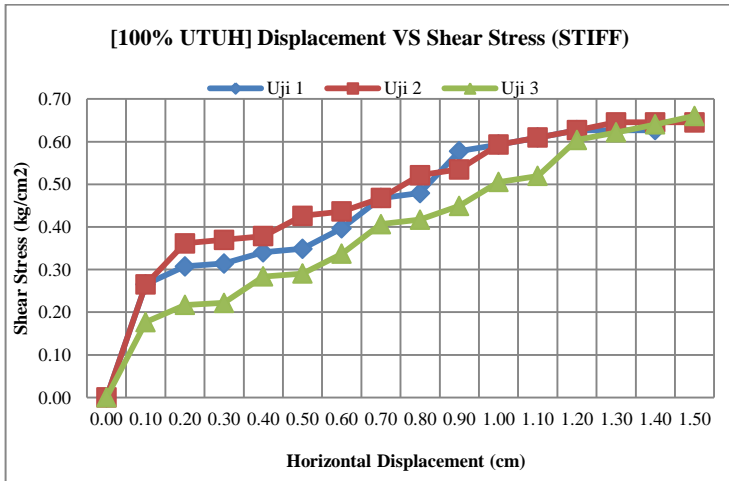
LL: 90% (*Medium stiff soil*) (100% utuh)



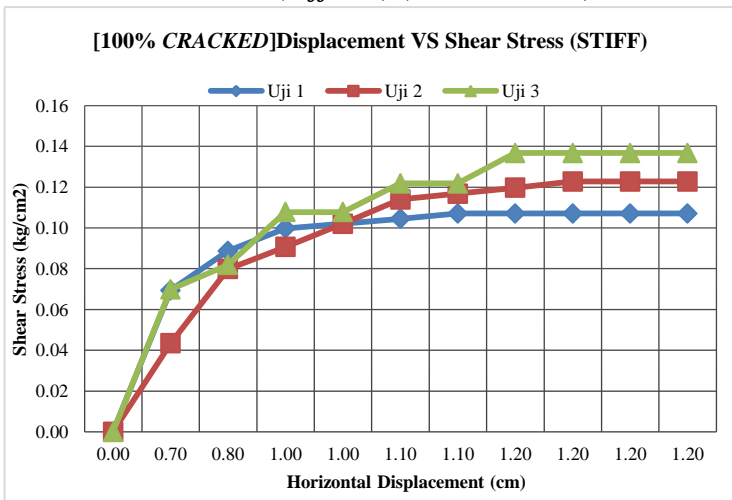
LL: 90% (*Medium stiff soil*) (100% cracked)



LL: 90%(stiff soil) (100% utuh)

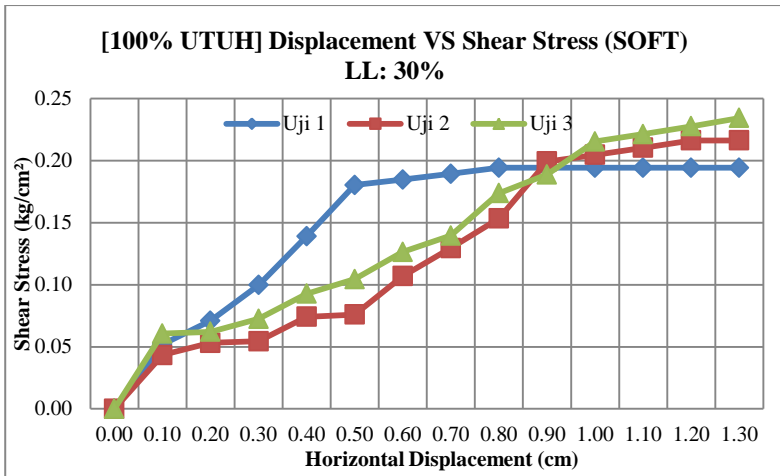


LL: 90% (stiff soil) (100% cracked)

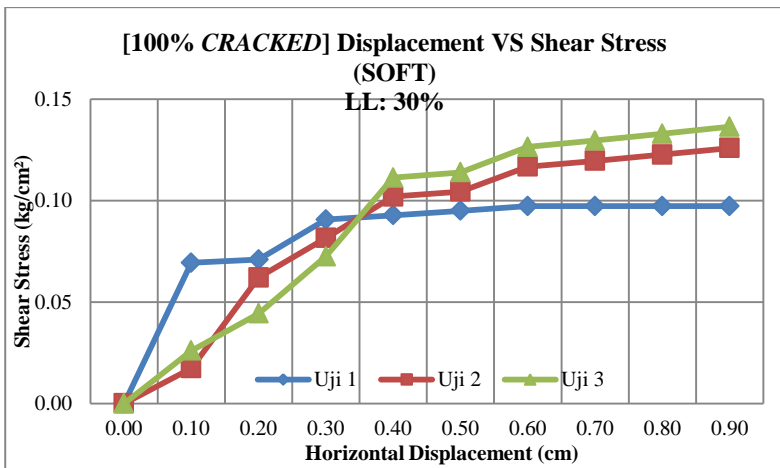


Tekanan Air = 1.0 kg/cm²

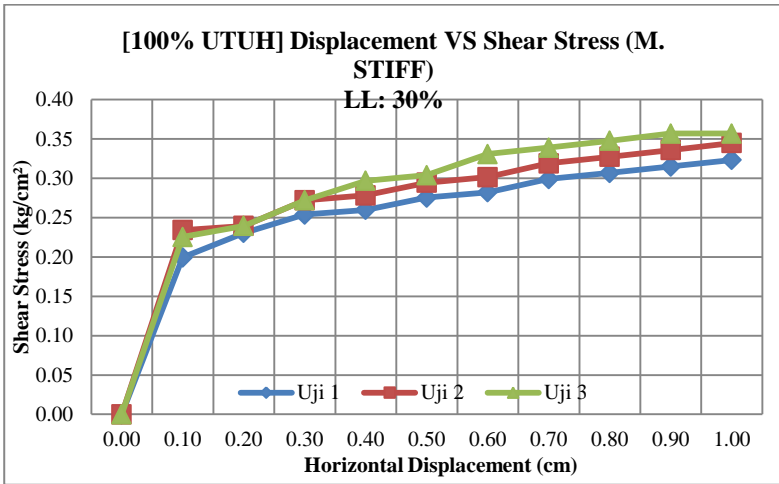
LL: 30% (Soft) (100% utuh)



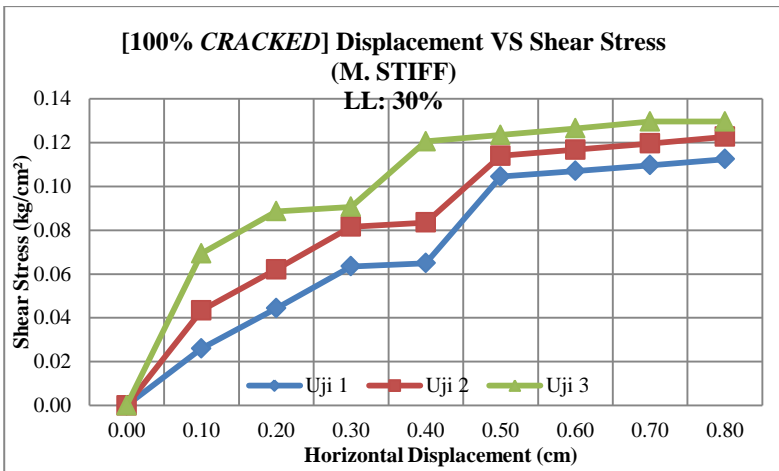
LL: 30% (Soft) (100% cracked)



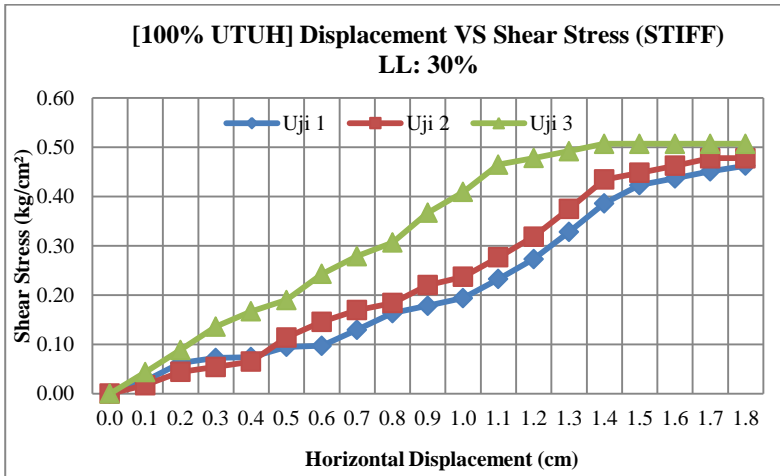
LL: 30% (Medium stiff soil) (100% utuh)



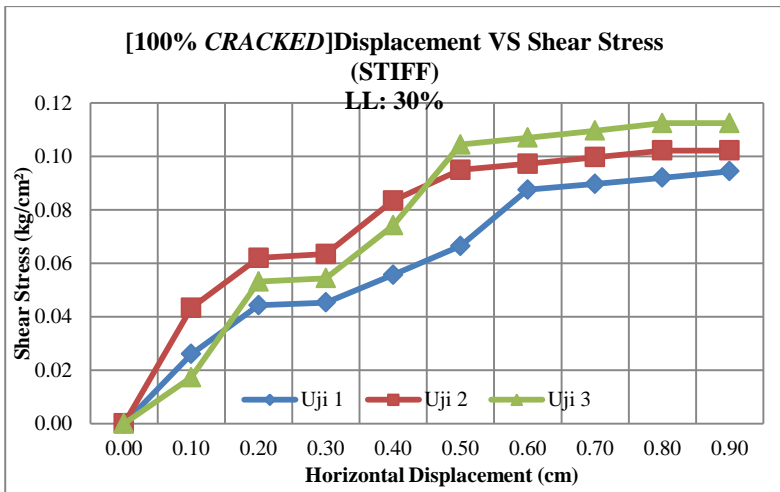
LL: 30% (Medium stiff soil) (100% cracked)



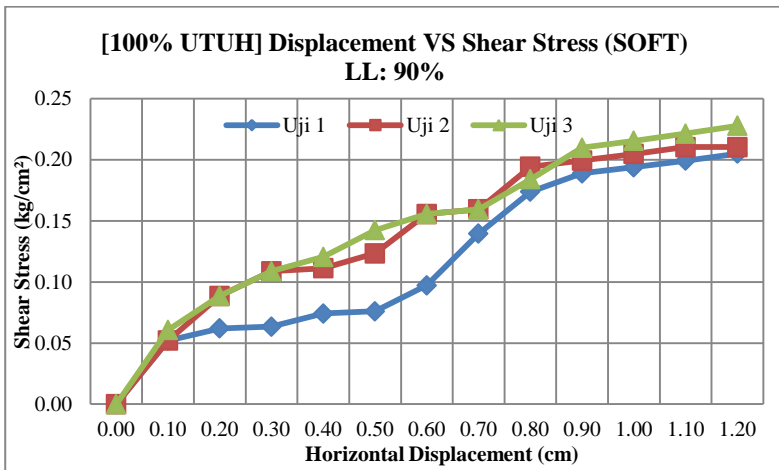
LL: 30% (stiff soil) (100% utuh)



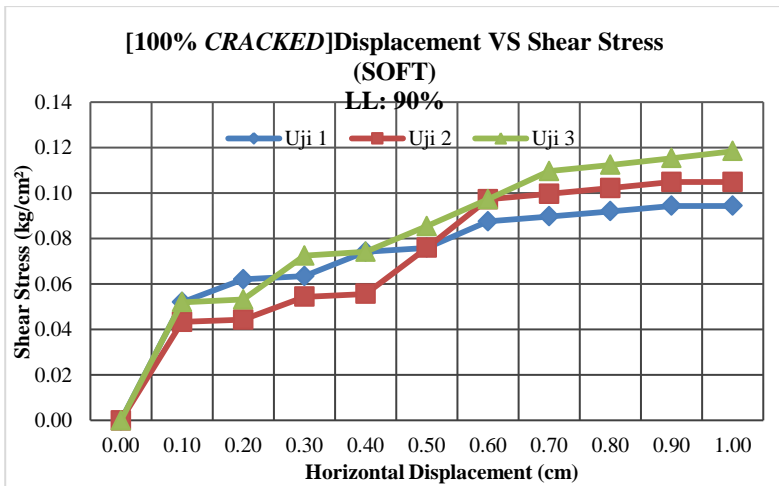
LL: 30% (stiff soil) (100% cracked)



LL: 90% (*soft soil*) (100% utuh)



LL: 90% (*soft soil*) (100% cracked)

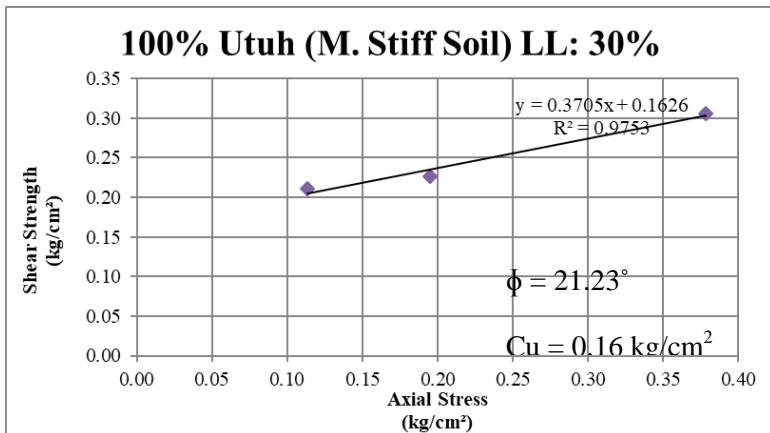
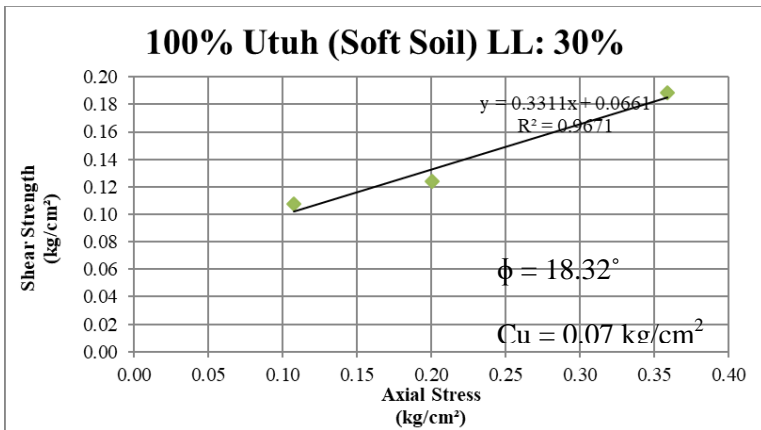


LAMPIRAN 4 (Rekap *Direct Shear Test*)

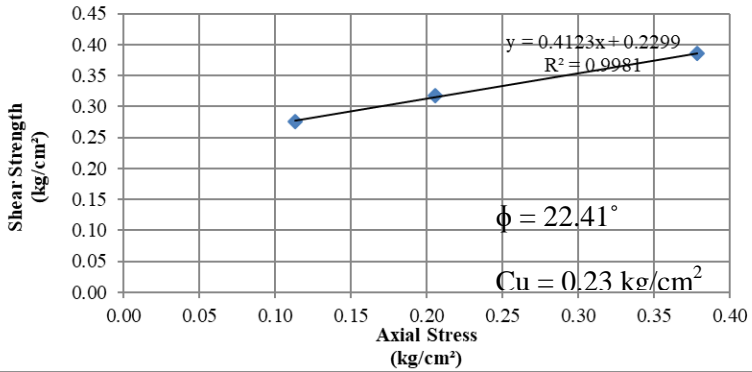
$U = 0 \text{ kg/cm}^2$

UTUH

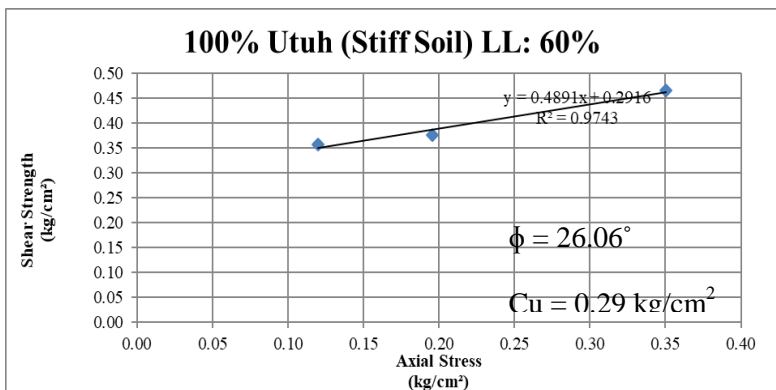
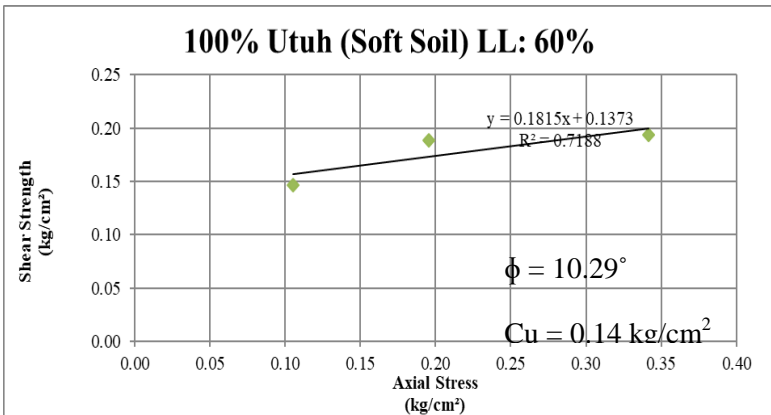
$LL = 30\%$



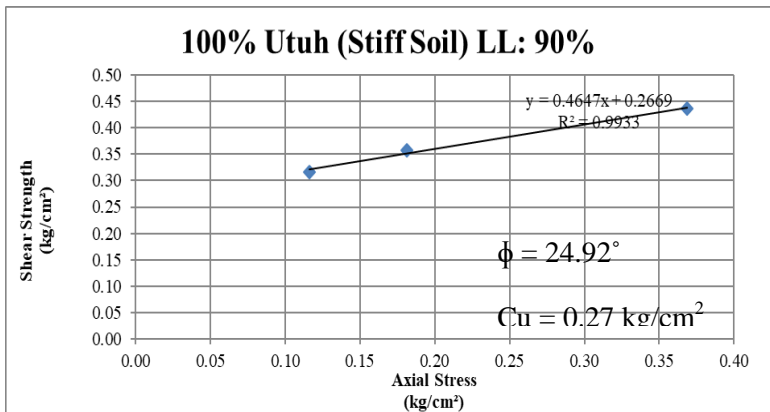
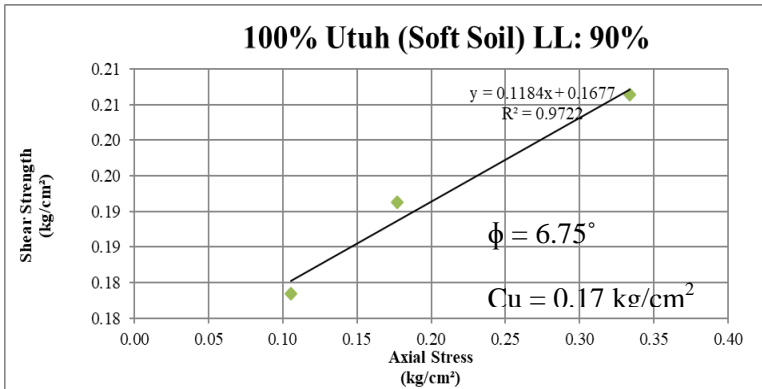
100% Utuh (Stiff Soil) LL: 30%



LL = 60%

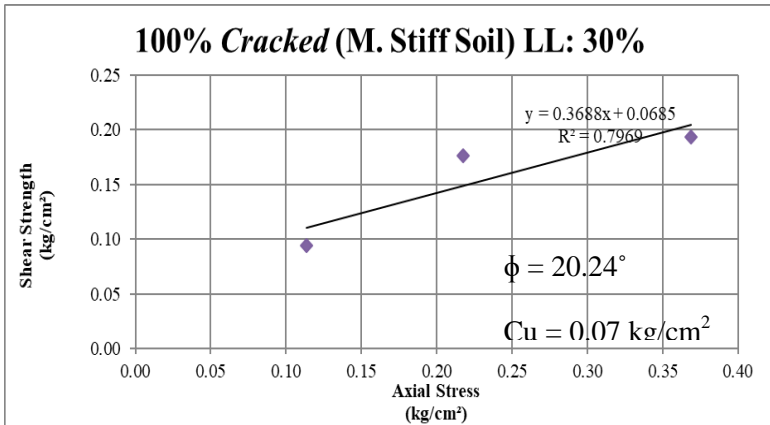
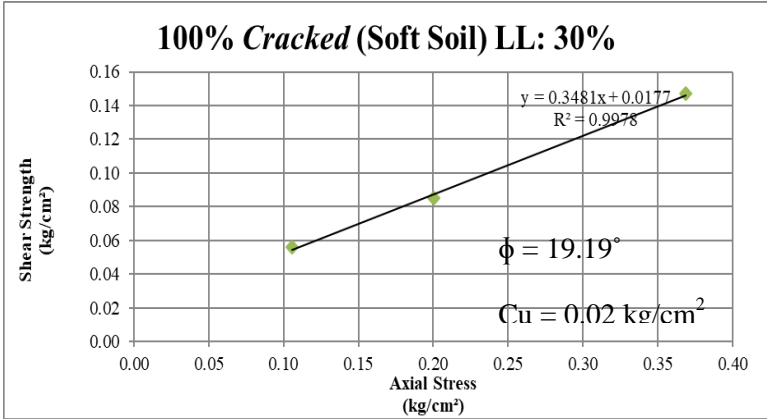


LL = 90%

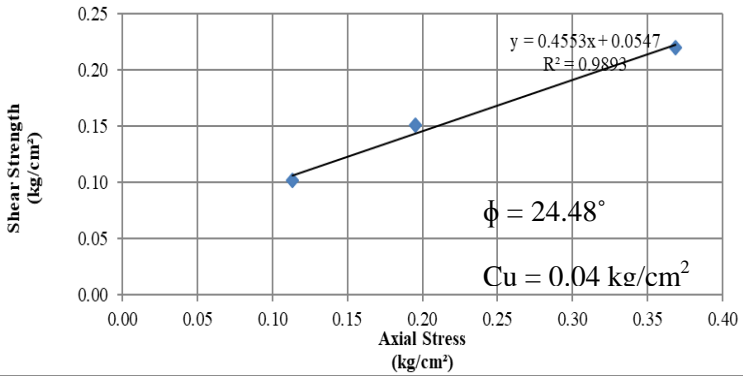


100% CRACKED

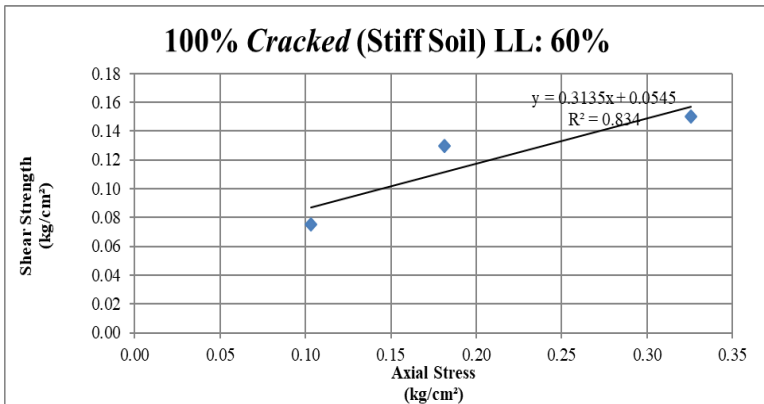
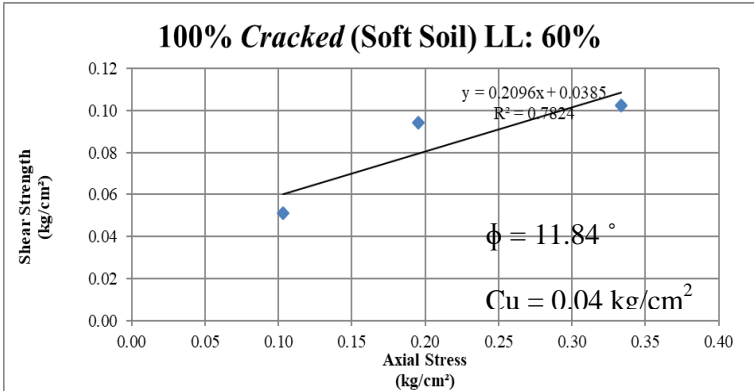
LL = 30%



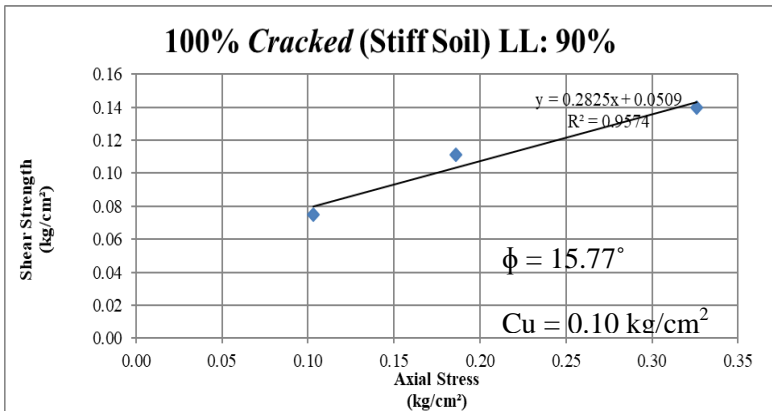
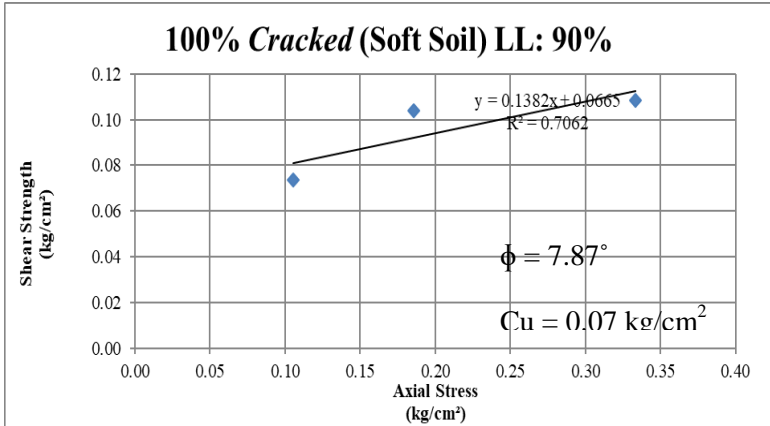
100% Cracked (Stiff Soil) LL: 30%



LL = 60%



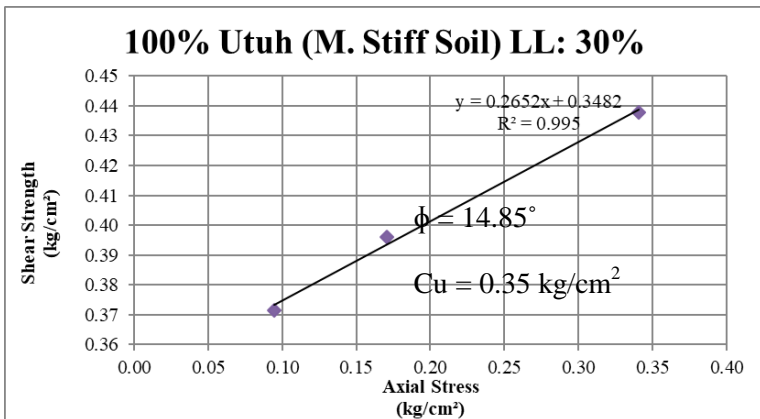
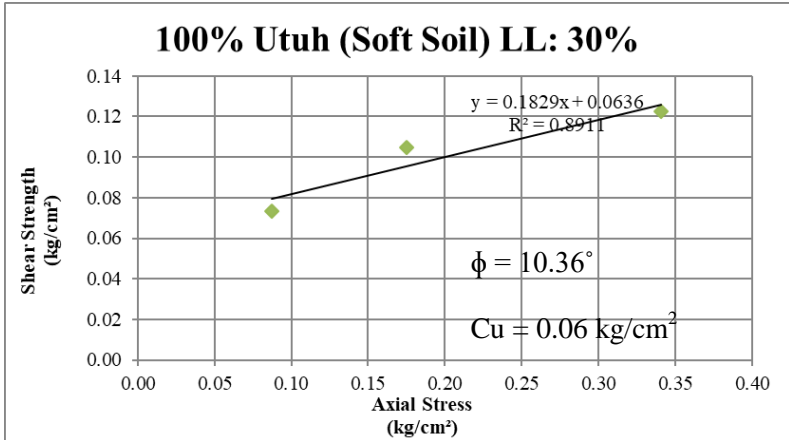
LL = 90%



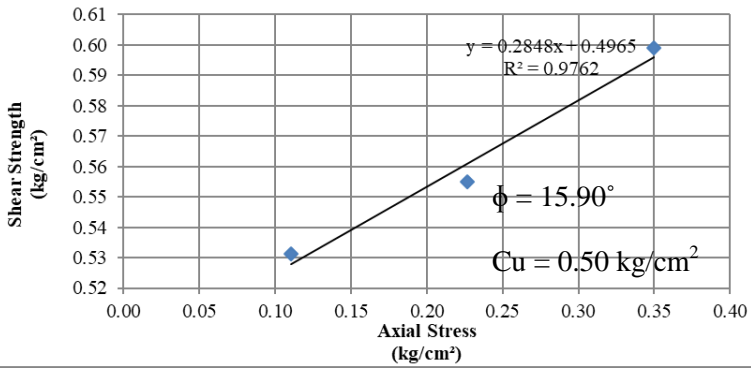
$$\underline{U = 0.5 \text{ kg/cm}^2}$$

UTUH

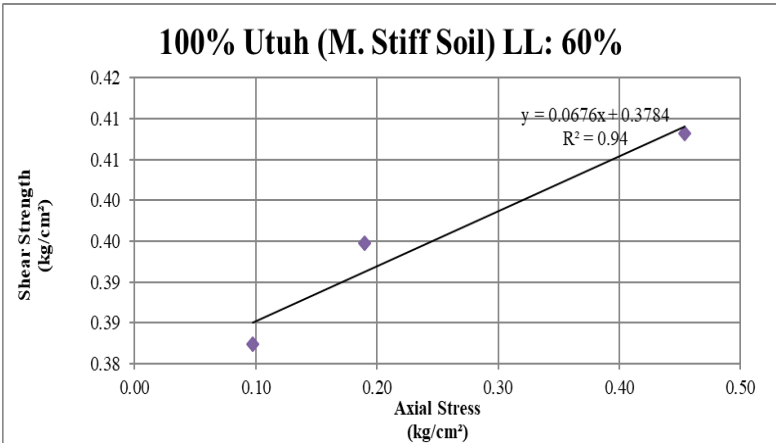
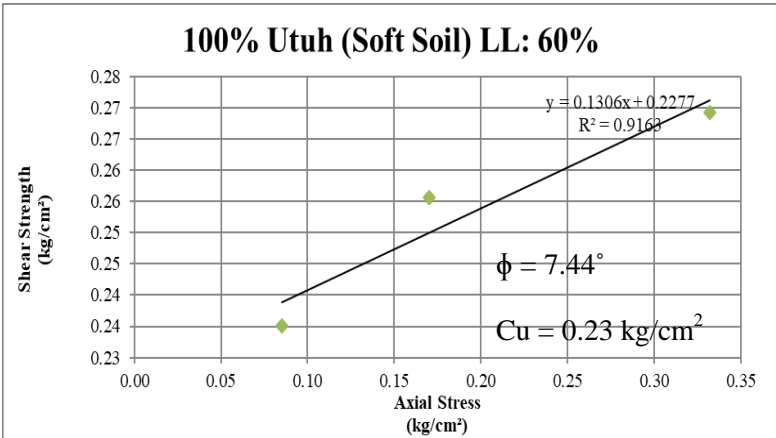
LL = 30%



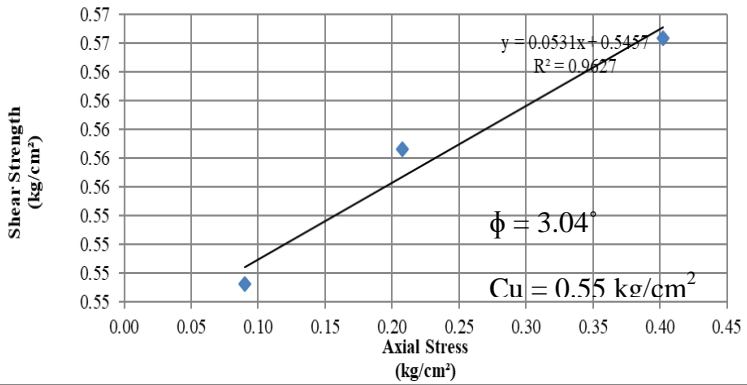
100% Utuh (Stiff Soil) LL: 30%



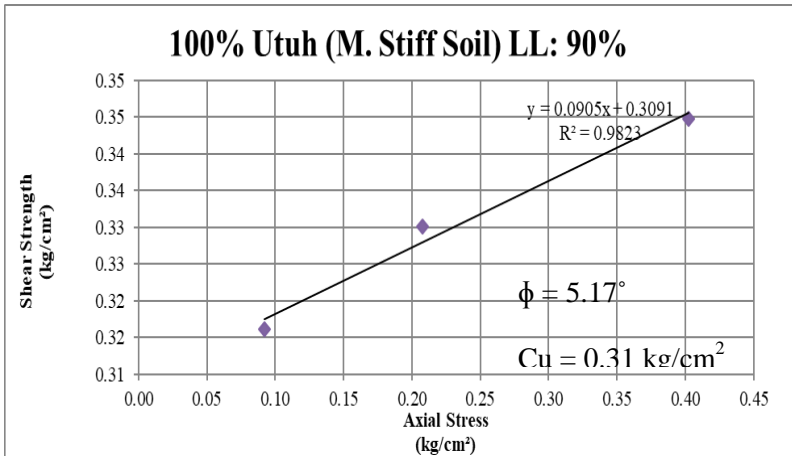
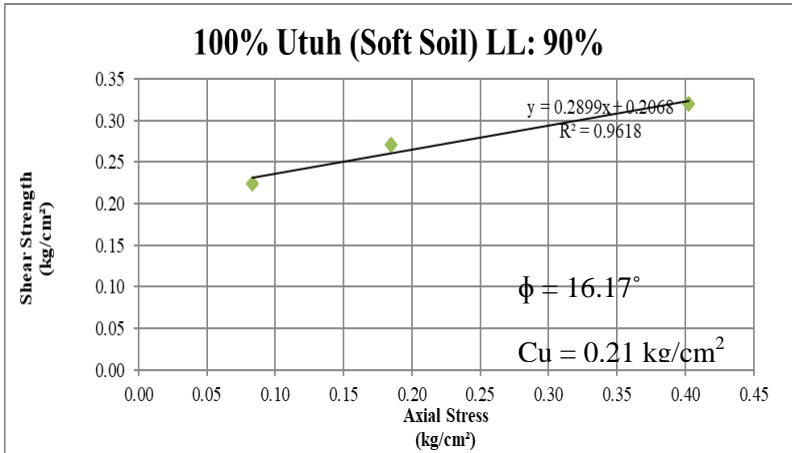
LL = 60%



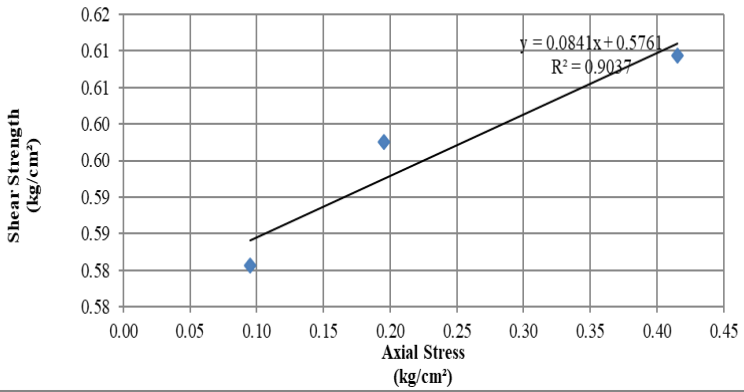
100% Utoh (Stiff Soil) LL: 60%



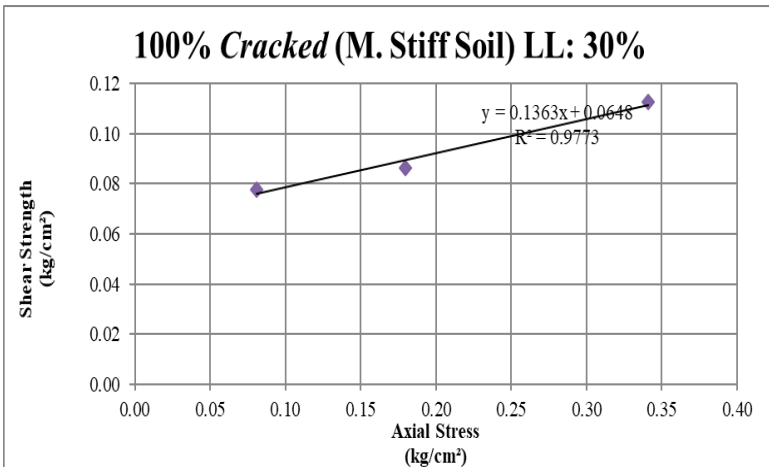
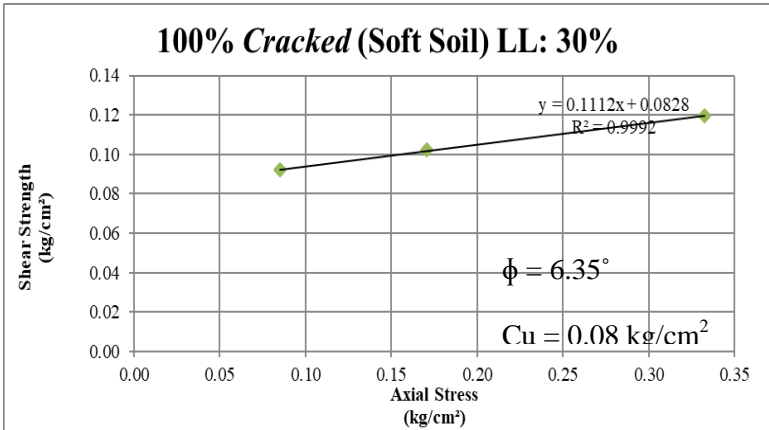
LL = 90%



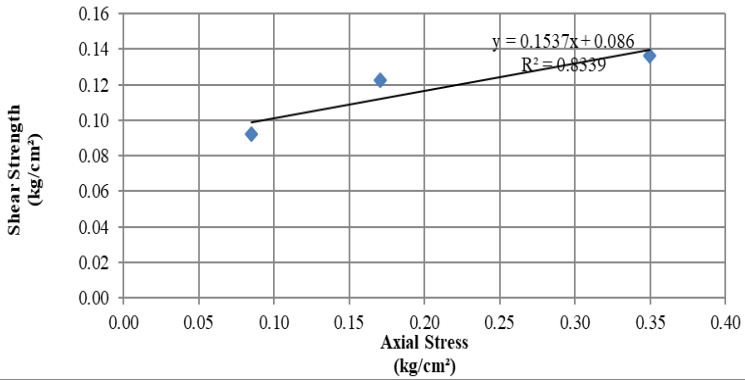
100% Utuh (Stiff Soil) LL: 90%



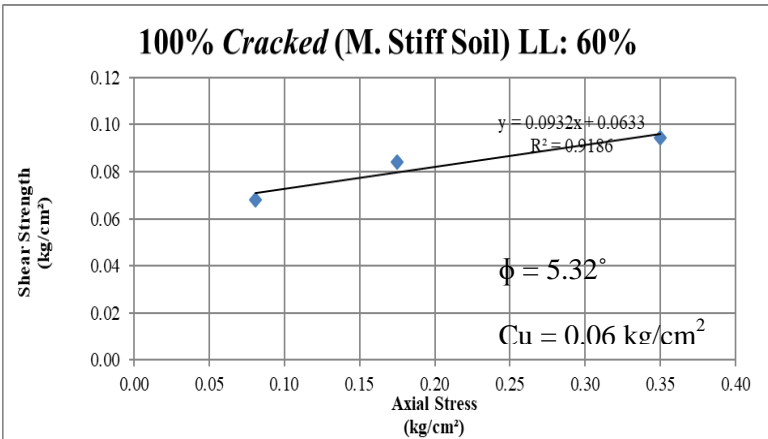
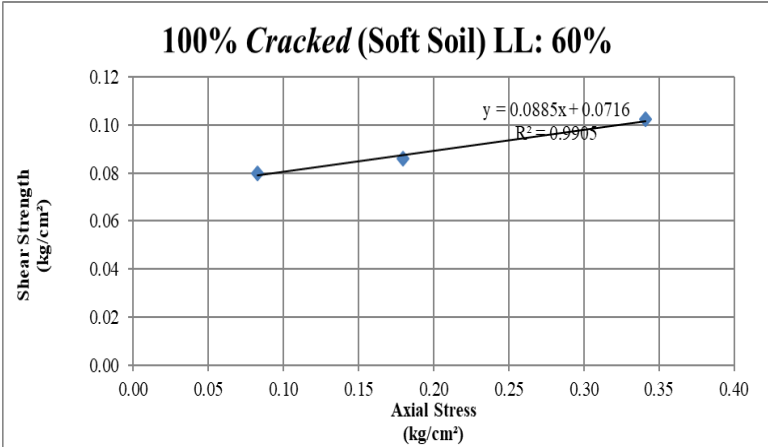
100% CRACKED
LL = 30%



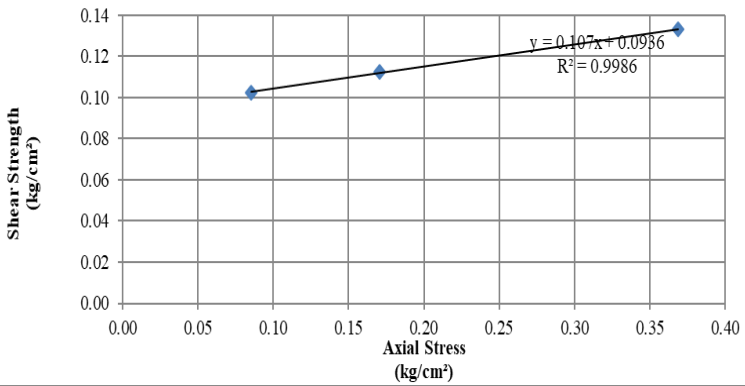
100% Cracked (Stiff Soil) LL:30%



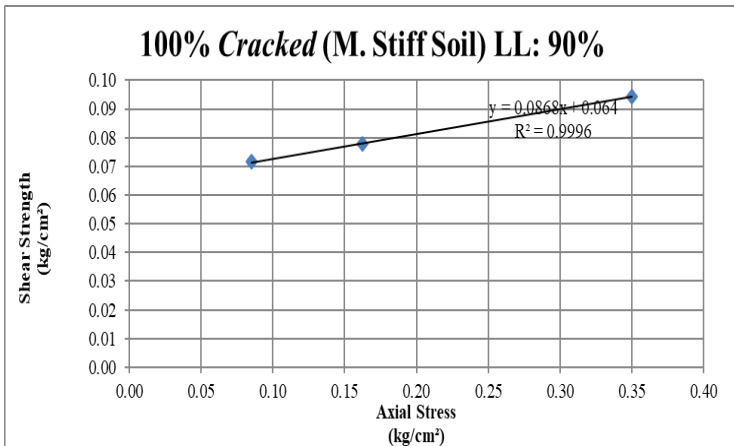
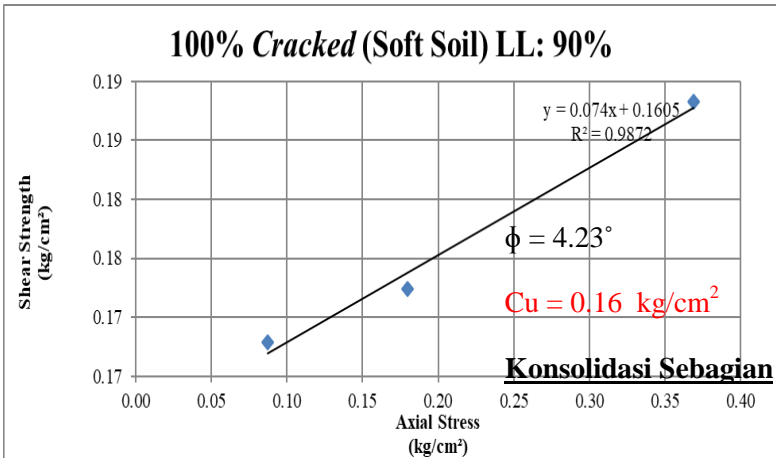
LL = 60%



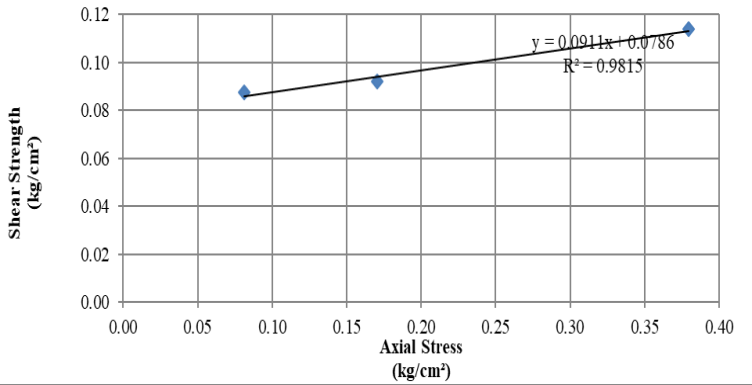
100% Cracked (Stiff Soil) LL: 60%



LL = 90%



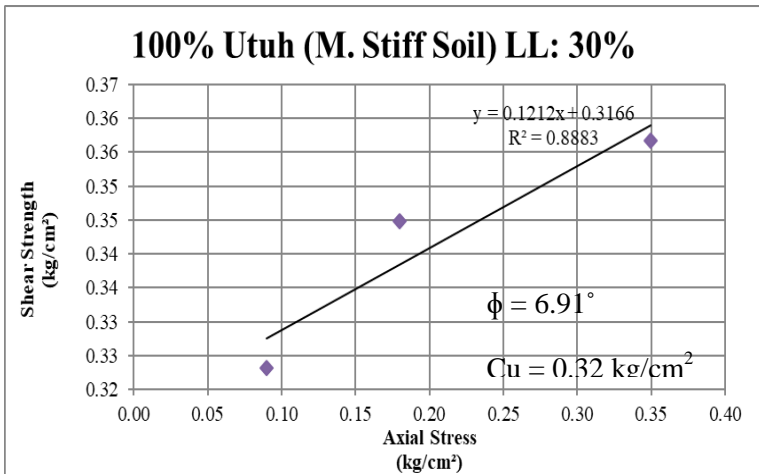
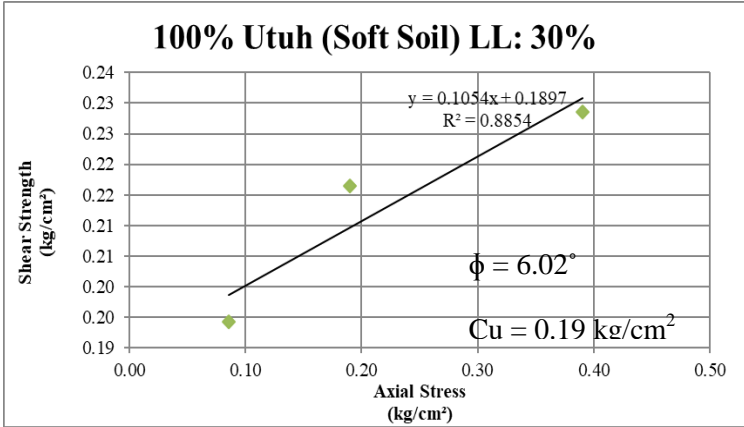
100% Cracked (Stiff Soil) LL: 90%



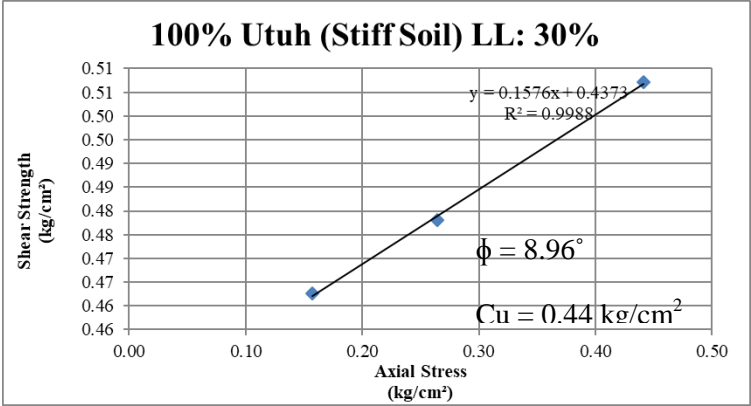
U = 1 kg/cm²

UTUH

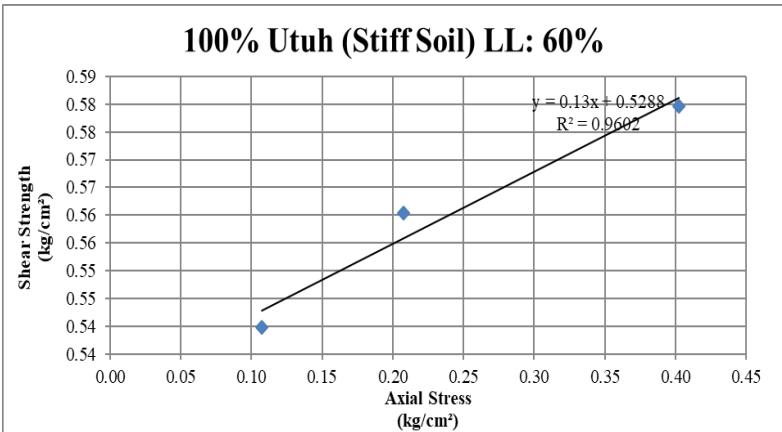
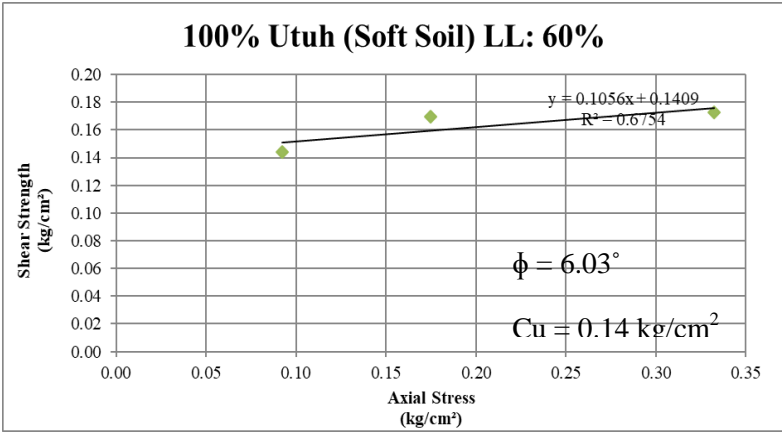
LL = 30%



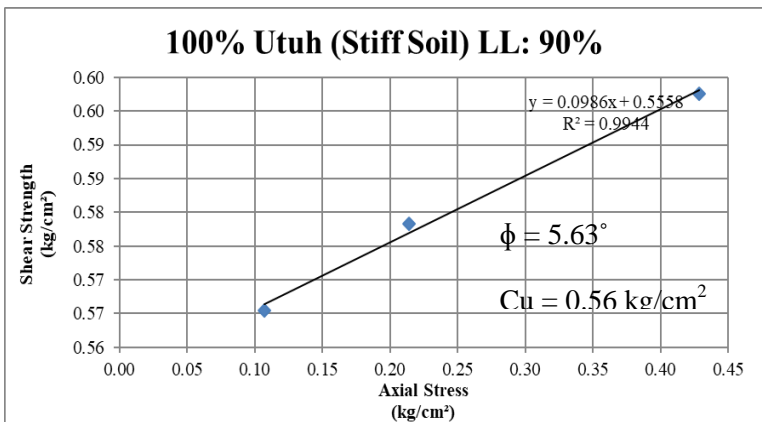
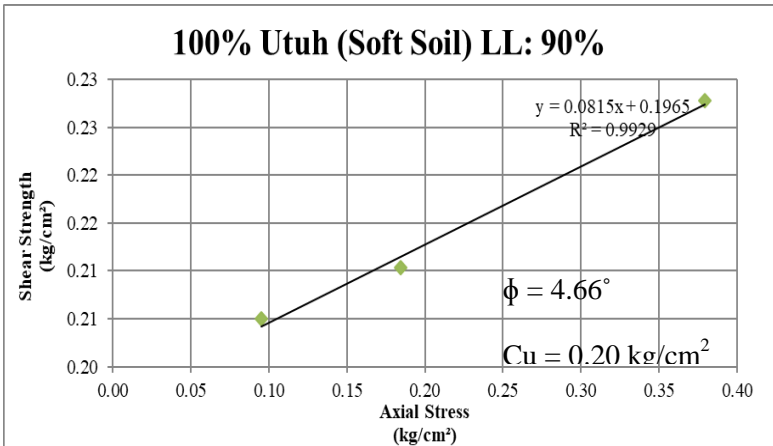
100% Utuh (Stiff Soil) LL: 30%



LL = 60%

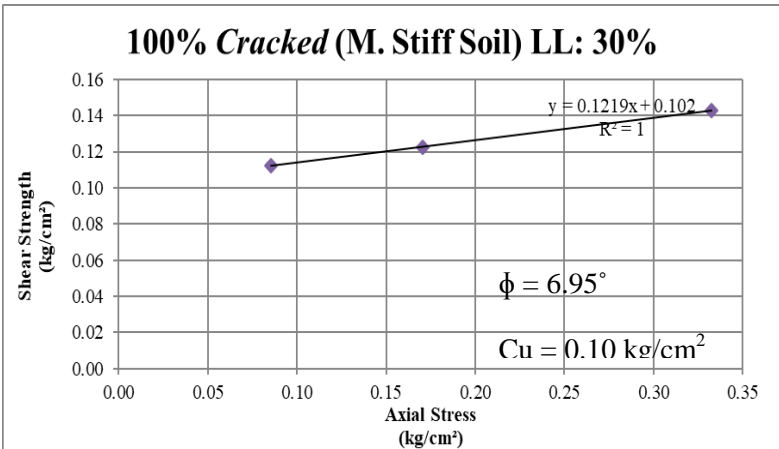
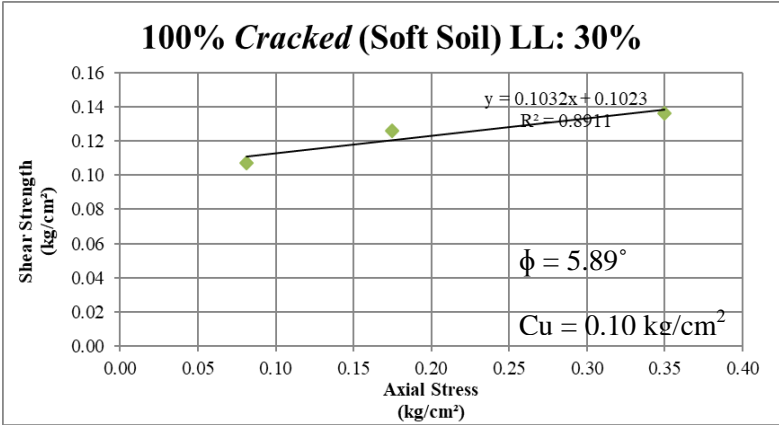


LL = 90%

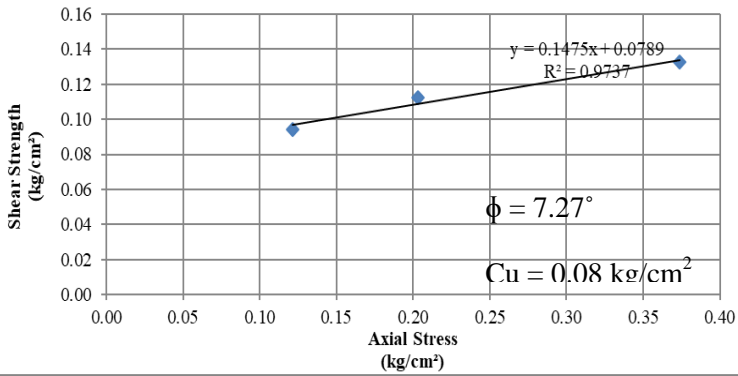


CRACKED

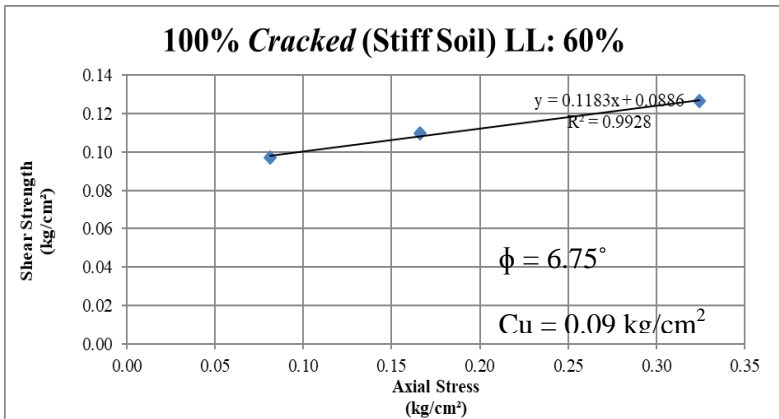
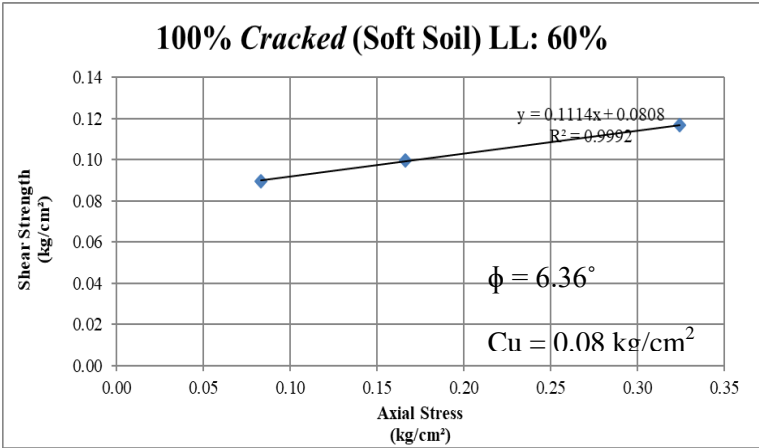
LL = 30%



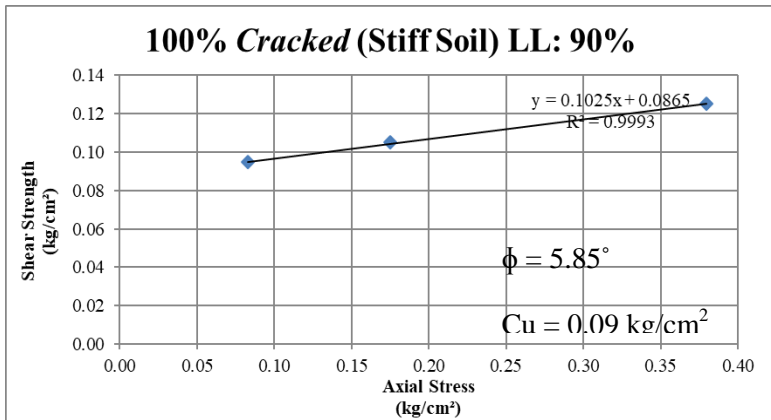
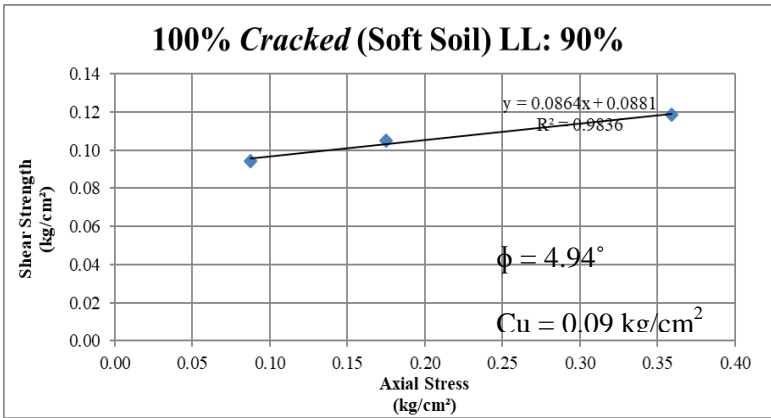
100% Cracked (Stiff Soil) LL: 30%



LL = 60%

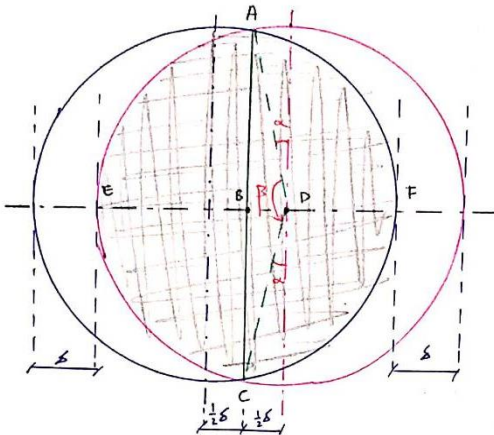


LL = 90%



LAMPIRAN 5 (Koreksi Luasan Direct Shear Test)

Koreksi luas untuk direct shear modifikasi.



$$\beta = 180^\circ - 2\alpha$$

$$= \pi - 2\alpha$$

δ = Horizontal displacement

Luas ABCE = Luas ABCF

mulu-mulu $A = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$

sejedaal bergeser $\delta \Rightarrow \alpha = \arcsin\left(\frac{\frac{1}{2}\delta}{DA}\right) = \arcsin\left(\frac{\frac{1}{2}\delta}{R}\right)$; $\sin \alpha = \frac{\frac{1}{2}\delta}{R}$

\hookrightarrow jika (α) kecil maka $(\sin \alpha = \alpha)$

$$\alpha = \frac{\frac{1}{2}\delta}{R}$$

$$\therefore \text{Besar } \beta = \pi - 2\left(\frac{\frac{1}{2}\delta}{R}\right) = \frac{\pi R - \delta}{R}$$

luas ADCE = $\frac{\beta}{2\pi} \cdot \pi \cdot R^2 = \frac{\pi R - \delta}{2R} \cdot R^2 = \frac{\pi R^2 - \delta R}{2}$

luas ADC = $\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{2}\delta\right) \cdot BA$

$$= \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{2}\delta\right) \cdot (R \cos \alpha) = \frac{1}{2} \delta R \cos \alpha = \frac{1}{2} \delta R$$

\hookrightarrow jika (α) kecil maka $(\cos \alpha = 1)$

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{luas ABCE} &= \text{luas ABCF} = (\text{luas ADCE} - \text{luas ADC}) \\ &= \left[\frac{(\pi R^2 - \delta R)}{2} - \left(\frac{1}{2} \delta R\right) \right] \\ &= \left(\frac{\pi R^2}{2} - \delta R \right) \end{aligned}$$

\therefore Koreksi luas = $2 \times \text{luas ABCE}$

$$= 2 \times \left(\frac{\pi R^2}{2} - \delta R \right) = \boxed{\pi R^2 - 2\delta R}$$

Jika $\sin \alpha = \frac{1}{2} \frac{\delta}{R}$ dan nilai $\frac{1}{2} \frac{\delta}{R} > 0,3$, maka $(\sin \alpha \neq 1)$ dan $(\cos \alpha \neq 1)$
 \therefore gunakan nilai natural.

$$\angle \alpha = \arcsin \left(\frac{1}{2} \frac{\delta}{R} \right) \text{ [dalam radian] , } \cos \alpha = \cos \left(\arcsin \left(\frac{1}{2} \frac{\delta}{R} \right) \right)$$

$$\angle \beta = \pi - 2 \left[\arcsin \left(\frac{1}{2} \frac{\delta}{R} \right) \right]$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{luas ADCE} &= \frac{\beta}{2\pi} \cdot \pi \cdot R^2 = \left[\frac{\pi - 2 \arcsin \left(\frac{1}{2} \frac{\delta}{R} \right)}{2} \right] \cdot R^2 \\ &= \frac{\pi R^2}{2} - \arcsin \left(\frac{1}{2} \frac{\delta}{R} \right) \cdot R^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{luas ADC} &= \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{2} \delta \right) \cdot (2R \cos \alpha) \\ &= \frac{1}{2} \delta R \cos \left[\arcsin \left(\frac{1}{2} \frac{\delta}{R} \right) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{luas Koreksi} &= 2 \left(\text{luas ADCE} - \text{luas ADC} \right) \\ &= 2 \left[\left(\frac{\pi R^2}{2} - \arcsin \left(\frac{1}{2} \frac{\delta}{R} \right) \cdot R^2 \right) - \left(\frac{1}{2} \delta R \cos \left[\arcsin \left(\frac{1}{2} \frac{\delta}{R} \right) \right] \right) \right] \\ &= \left[\pi R^2 - 2 R^2 \arcsin \left(\frac{1}{2} \frac{\delta}{R} \right) \right] - \left[\delta R \cos \left[\arcsin \left(\frac{1}{2} \frac{\delta}{R} \right) \right] \right] \end{aligned}$$

◦◦ Kesimpulan :

$$1) \left(\frac{1}{2} \frac{\delta}{R} < 0,3 \right), \text{ maka } (\delta < 1,8 \text{ cm})$$

$$\text{Koreksi Luasan} = \pi R^2 - 2 \delta R$$

$$2) \left(\frac{1}{2} \frac{\delta}{R} > 0,3 \right), \text{ maka } (\delta > 1,8 \text{ cm})$$

$$\text{Koreksi Luasan} = \left[\left(\pi R^2 - 2 R^2 \arcsin \left(\frac{1}{2} \frac{\delta}{R} \right) \right) - \left(\delta R \cos \left[\arcsin \left(\frac{1}{2} \frac{\delta}{R} \right) \right] \right) \right]$$

LAMPIRAN 6 (Hasil Uji Coba Rumusan)

Project TOL CIBITUNG CILINCING

Location CIBITUNG CILINCING

STA 8+675						
Uji	LL	e	ϕ	Cu	$\phi = (-0.144LL - 20.456e + 50.463)$	$Cu = -0.1791e + 0.4199$
					ϕ	Cu
1	78.62	1.15	14.01°	0.20 kg/cm ²	15.52°	0.21 kg/cm ²
2	77.55	1.12	11.77°	0.35 kg/cm ²	16.41°	0.22 kg/cm ²
3	85.21	1.29	8.51°	0.46 kg/cm ²	11.85°	0.19 kg/cm ²

STA 21+700						
Uji	LL	e	ϕ	Cu	$\phi = (-0.144LL - 20.456e + 50.463)$	$Cu = -0.1791e + 0.4199$
					ϕ	Cu
1	83.08	1.18	12.87°	0.41 kg/cm ²	14.46°	0.21 kg/cm ²
2	97.91	2.32	7.04°	0.24 kg/cm ²	-11.12°	0.00 kg/cm ²
3	73.93	1.34	7.88°	0.42 kg/cm ²	12.31°	0.18 kg/cm ²
4	75.12	0.94	4.497°	0.51 kg/cm ²	20.36°	0.25 kg/cm ²

STA 19+510						
Uji	LL	e	ϕ	Cu	$\phi = (-0.144LL - 20.456e + 50.463)$	$Cu = -0.1791e + 0.4199$
					ϕ	Cu
1	80.84	1.21	12.56°	0.26 kg/cm ²	14.15°	0.20 kg/cm ²
2	46.03	0.96	25.80°	0.15 kg/cm ²	24.26°	0.25 kg/cm ²
3	103.19	2.35	4.43°	0.19 kg/cm ²	-12.39°	0.00 kg/cm ²

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Jakarta, 21 Mei 1997 dengan nama lengkap Daniel Adrian. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh penulis yaitu SDK Ricci 2 Tangerang Selatan, SMPK Ricci 2 Tangerang Selatan, SMAK Penabur Bintaro Jaya. Setelah menempuh pendidikan SMA, penulis diterima di departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada tahun 2015 melalui jalur SBMPTN

dan terdaftar dengan NRP 0311540000089. Selama kuliah penulis tertarik pada bidang studi geoteknik dengan mengambil judul tugas akhir “Analisa Sudut-Geser-Dalam Tanah Berbutir Halus (*Cohesive Soil*) Berdasarkan Pendekatan *Cracked Soil*”. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam bidang organisasi kemahasiswaan. Penulis pernah menjadi *steering committee* divisi PKMBK (Pembinaan Kerohanian Mahasiswa Baru Kristen) PMK ITS pada tahun kedua, koordinator *Geotechnical Engineering Competition* pada tahun ketiga, Civil Expo 2018, dan kepala divisi PKMBK (Pembinaan Kerohanian Mahasiswa Baru Kristen) PMK ITS pada tahun ketiga. Penulis dapat dihubungi melalui email danieladriian@gmail.com atau LinkedIn [linkedin.com/in/danladrian](https://www.linkedin.com/in/danladrian)



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



Form AK/TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Prof. Indra Sunya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D. Prof. Noor Endah, M.Sc., Ph.D.
NAMA MAHASISWA	: Daniel Adrian
NRP	: 03111540000089
JUDUL TUGAS AKHIR	: Analisa Sudut-geser-Dalam Tanah Berbutir Jalur Cohesiva (Soil) Berdasarkan Pendekatan Cracked Soil.
TANGGAL PROPOSAL	: 03 Desember 2018 s/d 10 Juni 2019
NO. SP-MMTA	: 086/L80/ET 2. VI. A.1/PP-05.02.00/2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	08/03-19	→ Meranyakan data yang sudah tersedia pada untuk melibatkan pengujian pembuatan slurry.	→ Untuk tanah clay dari Kanur, Bojonegoro (LL= 40%) harus diturunkan LL nya menjadi 30% dengan mencampurkan pasir halus (sitos ayak an 50, tertahan 200). [Can presentasinya]	Shm
2	19/03-19	→ Meranyakan pembebanan yang diberikan pada slurry → meranyakan banyaknya air yang diperlukan untuk pembuatan slurry.	→ Beban yang diberikan sesuai dengan rumus Ardona & Mochtar → air yang dipakai sebanyak 1,2LL tanah.	Shm
3	26/03-19	→ Meranyakan tentang pembebanan untuk konsistensi tanah very stiff → asistensi perhitungan beban yang diberikan untuk slurry.	→ Tidak perlu menaikan tanah / uji tanah dengan konsistensi very stiff. → adanya penambahan beban untuk mendapatkan OCRsol yang direncanakan.	Shm



Form AK/TA-04
REV.1

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Prof. Indra Surya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D. Prof. Noor Endah, M.Sc., Ph.D.
NAMA MAHASISWA	: Daniel Adkian
NRP	: 0311154000089
JUDUL TUGAS AKHIR	: Analisa Sudut Geser Dalam Tanah Berbutir Halus (Cohesive Soil) Berdasarkan Penfektan Cracked Soil.
TANGGAL PROPOSAL	: 03 Desember 2018 s/d 10 Juni 2019
NO. SP-MMTA	: 036180/IT 2. WF. A.1/PP.05.02.00/2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
4	29/10-19	→ Menyajikan mengenai alat yang digunakan untuk pembuntan slurry dengan konsistensi stiff	→ Bisa di usahakan untuk menggunakan alat yang sepatu biasa.	<i>Ilm</i>
5	04/01-19	→ Menyajikan korelasi Cu dengan nilai e_c dan w_c . → Menyajikan korelasi dan alat uji Vane Shear.	→ Coba dilay percobaan slurrynya untuk tanah dengan konsistensi soft soil. → Coba bandingkan nilai C_u dari Vane Shear test dengan C_u dari unconfined test.	<i>Ilm</i>
6	12/01-19	→ Menyajikan mengenai rumus pembuntan andara & material. → Mengubah rumus dengan analisa melangka tanah seperti biasa. → asistensi hasil slurry dengan unconfined compression test.	→ Mencoba perumusan dengan menggunakan benda uji yang lain (proses pembuntan slurry)	<i>Ilm</i>



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



Form AK/TA-04
rev.01

NAMA PEMBIMBING	: Prof. <i>Indra Surya B. Mochtar, M. Sc., P. h. D.</i> Prof. <i>Noor Ennah</i> , M. Sc., P. h. D.
NAMA MAHASISWA	: <i>Daniel Adhara</i>
NRP	: <i>03111540000089</i>
JUDUL TUGAS AKHIR	: <i>Analisa Indent Geser - Dalam Tanah Berbutir Halus (cohesive soil) Berdasarkan Pendekatan Cracked Soil.</i>
TANGGAL PROPOSAL	: <i>03 Desember 2018 /d 10 Juni 2019</i>
NO. SP-MMTA	: <i>08G180 /IT2 - VII - 4.1 / PP.05.02.00 / 2018</i>

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
7	05/05-19	<ul style="list-style-type: none"> → Menanyakan terkait alat direct shear untuk tekanan air dan pemberian pembebanan → Menanyakan kalibrasi program ming 	<ul style="list-style-type: none"> → Beban yang diberikan harus lebih besar dari tekanan air dikali luasan tabung → Untuk kalibrasi program ming dituliskan dengan comparing program ming lain. 	<p><i>Slm</i></p> <p><i>Slm</i></p>
8	20/05-19	<ul style="list-style-type: none"> → Menanyakan cara pemberian cracked soil untuk benda uji nya. 	<ul style="list-style-type: none"> → Tinggal di busi retakan search load. Horizontal dengan menggunakan seawant / beang. 	<p><i>Slm</i></p>
9	21/07-19	<ul style="list-style-type: none"> Asistensi buku TA dan Jurnal POMITS. 		<p><i>Slm</i></p>



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



Form AK/TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Prof. Indrawaty B. Mochtar, M.Sc., Ph.D. Prof. Noor Endah, M.Sc., Ph.D.
NAMA MAHASISWA	: Daniel Adharian
NRP	: 03111540000089
JUDUL TUGAS AKHIR	: Analisa Sifat - Geser - Dalam Tanah Berbutir Halus (Cohesive Soil) Berdasarkan Pendefinisian Cracked Soil.
TANGGAL PROPOSAL	: 05 Desember 2018 / 10 Juni 2019
NO. SP-MMTA	: 086180/IT2.VI.A.1/PP.05.02.00/2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	30/01-19	→ Menanyakan cara pembuatan slurry dan metode yang digunakan dalam pengujian.	Mulai menanyakan proses pembuatan dan pencampuran kaolin & Clay soil (Slurry) → Mulai membuat slurry	<u>Kore</u>
2	07/02-19	→ Menanyakan mengenai komposisi pembuatan slurry	→ Mencari nilai LL nasir tanah.	<u>Kore</u>
3	13/02-19	→ Menanyakan komposisi LL tanah yang kurang sehat	→ Melakukan pengujian ulang untuk LL nasir tanah	<u>Kore</u>
4	21/02-19	→ Menanyakan komposisi slurry yang kurang sesuai dengan data awal tanah.	→ membuat pengujian ulang LL tanah untuk komposisi (40% 50%, dan 30% clay)	<u>Kore</u>
5	04/03-19	→ Menanyakan komposisi LL (klas.1) dgn % clay 40% ; 50% ; dan 30% untuk peninjauan LL slurry	→ membuat LL dgn komposisi 20 clay 60% dan 80%	<u>Kore</u>



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



Form AK/TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Prof. Indra Surya B. Mochtar, M.Sc., P.h.D. Prof. Noor Ezzah, M.Sc., P.h.D.
NAMA MAHASISWA	: Daniel Adnan
NRP	: 03111540000089
JUDUL TUGAS AKHIR	: Analisa Solut - Geser - Dalam Tanah Berbutir Halus (Cohesive Soil) Berdasarkan Perdebatan Cracked Soil.
TANGGAL PROPOSAL	: 03 Desember 2018 / 10 Jan 2019
NO. SP-MMTA	: 086 (80 / IT 2. IV.4.1 / PP-05.02.00 / 2018

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
6	03/04-19	<ul style="list-style-type: none"> → Asistensi mengenai hasil slurry yang di dapat dan dari test Vane Shear → Koreksi alat Vane Shear test. → Menanyakan pembuatan slurry yang mengalami penurunan sebesar 7cm. 	<ul style="list-style-type: none"> → Mencari data-data yang sudah di dapat kemudian mencari korelasi nilai e_0 & W_c dengan nilai Lu. → Membandingkan harga Lu yang di dapat dari Vane shear dengan hasil perhitungan. 	<p>_____</p>
7	24/07-19	Asistensi buku TA dan jurnal POMETS.		<p>_____</p>

