



TUGAS AKHIR (RC-091380)

**PENGARUH PENGERINGAN DAN PEMBASAHAN TANAH
TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO *CROSS SECTION*
(0±000), DESA SEMAMBUNG, BOJONEGORO DENGAN
STABILISASI TANAH SECARA KIMIA DENGAN BAHAN
STABILISASI KAPUR, *FLY ASH*, DAN MIKRO BIOBAKTERI.**

TYAS NUR AMALIA
NRP. 3111 106 016
ANGGER DWI OKTAVIANTO
NRP. 3111 106 035
RIZKI FATIMAH SEPTIASARI
NRP. 3111 106 044

Dosen Pembimbing :
Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI SOEMITRO, M.Eng
MUSTA'IN ARIF, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2014



FINAL PROJECT (RC-091380)

THE EFFECT OF DRYING AND WETTING OF BENGAWAN SOLO RIVER EMBANKMENT SOIL, CROSS SECTION (0 ± 000), SEMAMBUNG, BOJONEGORO WITH CHEMICAL STABILIZATION BY LIME , FLY ASH, AND MICRO BIOBACTERY

TYAS NUR AMALIA

NRP. 3111 106 016

ANGGER DWI OKTAVIANTO

NRP. 3111 106 035

RIZKI FATIMAH SEPTIASARI

NRP. 3111 106 044

Supervisor :

Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI SOEMITRO, M.Eng

MUSTA'IN ARIF, ST., MT.

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2014

**PENGARUH PENERINGAN DAN PEMBASAHAN
TANAH TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO CROSS
SECTION (0±000), DESA SEMAMBUNG, BOJONEGORO
DENGAN STABILISASI TANAH SECARA KIMIA
DENGAN BAHAN STABILISASI KAPUR, FLY ASH,
DAN MIKRO BIOBAKTERI**

Nama Mahasiswa : Tyas Nur Amalia (NRP : 3111106016)
Angger Dwi O (NRP : 3111106035)
Rizki Fatimah S (NRP : 3111106044)

Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng
Musta'in Arif, ST., MT

ABSTRAK

Berdasarkan letak geografis, Indonesia terletak pada daerah beriklim tropis. Hal tersebut mengakibatkan Indonesia memiliki perubahan iklim yang cukup tinggi antara musim kemarau dan musim hujan, sehingga menyebabkan terjadinya proses pengeringan dan pembasahan secara berulang. Proses pengeringan dan pembasahan secara berulang dapat mempengaruhi karakteristik tanah itu sendiri, karena terjadinya perubahan volume tanah yang disebabkan oleh perubahan kadar air suatu tanah.

Tanah tanggul yang berada di Sungai Bengawan Solo *Cross Section* (0±000), Desa Semambung, Bojonegoro telah mengalami perubahan karakteristik tanah dan kekuatan tanah menurun, penyebabnya adalah perubahan musim hujan dan kemarau yang signifikan. Sehingga perlu adanya stabilisasi tanah tanggul sungai dengan bahan tambah kapur, *fly ash*, dan mikro biobakteri. Pengujian karakteristik tanah secara fisik meliputi kadar air (w_c), derajat kejenuhan (S_r), porositas (n), angka pori (e), *Specific Gravity* (G_s) dan batas Atterberg (LL, PL, PI). Sifat mekanik meliputi kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ) dan tegangan air pori negatif ($-U_w$). Sifat dinamik

meliputi modulus geser (G_{maks}). Penelitian ini menitikberatkan pengaruh proses pengeringan dan pembasahan (siklus pertama dan kedua) dan juga proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap sifat fisik, mekanik dan dinamik tanah pada tanah natural serta pada tanah yang distabilisasi dengan bahan stabilisasi kapur, *fly ash*, dan mikro biobakteri.

Adanya penambahan *stabilisator* pada tanah natural diduga menjadi penyebab perubahan struktur dari partikel yang halus ke partikel yang paling besar. Pengurangan partikel halus dan penambahan partikel kasar juga diduga menjadi penyebab nilai batas cair (LL) berkurang dan batas plastis (PL) meningkat. Dari ketiga stabilisator yang digunakan, penambahan 8% kapur yang menyebabkan penurunan partikel halus, nilai batas cair (LL), dan peningkatan batas plastis yang paling besar. Berikut ini merupakan persentase peningkatan nilai berat volume kering (γ_d), kohesi (C_u), tegangan air pori negatif ($-U_w$), dan modulus geser maksimum (G_{max}) dari perbandingan proses pengeringan berulang (proses *drying* ke-1 hingga *drying* ke-6) dalam kadar air yang sama ($\pm 32\%$) antara tanah natural dengan tanah + 8% kapur sebesar 3.801%, 400.741%, 17.119% (mengalami penurunan), dan 159.179%. Untuk perbandingan tanah natural dengan tanah + 15% *fly ash* memiliki persentase sebesar 7.77%, 88.526%, 16.637%, dan 33.260%. Untuk perbandingan tanah natural dengan tanah + 5% mikro biobakteri memiliki persentase sebesar 6.221%, 90.409%, 11.453%, dan 44.404%.

Kata kunci: Siklus pengeringan dan pembasahan, proses pengeringan berulang, sifat fisik, sifat mekanik, sifat dinamik, stabilisasi dengan kapur, stabilisasi dengan *fly ash*, stabilisasi dengan mikro biobakteri.

***THE EFFECT OF DRYING AND WETTING OF
BENGAWAN SOLO RIVER EMBANKMENT SOIL,
CROSS SECTION (0 ± 000), SEMAMBUNG,
BOJONEGORO WITH CHEMICAL STABILIZATION BY
LIME , FLY ASH, AND MICRO BIOBACTERY***

Students Name : Tyas Nur Amalia (NRP: 3111106016)
Angger Dwi O (NRP: 3111106035)
Rizki Fatimah S (NRP: 3111106044)

Supervisors : Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng
Musta'in Arif, ST., MT

ABSTRACT

Based on geographical location, Indonesia is located in the tropics climate. It lead to Indonesia has a fairly high climate change between the dry season and the rainy season, so it making the drying and wetting process is repeated. The repeatedly of drying and wetting processes can affect the characteristics of the soil itself, due to the volume changes caused by changes in the moisture content of a soil

Soil embankments on the Bengawan Solo River Cross Section (0 ± 000), Semambung, Bojonegoro has undergone changes in soil characteristics and strength decreases, the cause is changes in the dry and rainy season are significant. Therefore it is necessary to stabilize the river embankment soil with added lime materials, fly ash, and micro biobactery. The physical characteristics of the soil testing include water content (w_c), the degree of saturation (S_r), porosity (n), void ratio (e), Specific Gravity (G_s) and Atterberg limits (LL, PL, PI). Mechanical properties testing include cohesion (c_u), the shear angle (ϕ) and the pore water pressure is negative ($-U_w$). Dynamical properties include shear modulus (G_{maks}). This research emphasizes the effect of drying and wetting process

(first and second cycle) and also the repeated drying process (1 time, 2 times, 4 times, and 6 times) on physical, mechanical and dynamic soil in natural soil and the soil stabilized with lime stabilization materials, fly ash, and micro biobactery.

The addition of stabilizers on the ground of natural estimate causes structural changes in the fine particles into larger particles most. Reduction of fine particles and coarse particles lead to value addition of liquid limit (LL) is reduced and the plastic limit (PL) increases. Of the three stabilizers are used, the addition of 8% lime which causes a decrease in fine particles, the value of liquid limit (LL), plastic limit and increased the most. The following is the increase percentage in the value of the volume of dry weight (γ_d), cohesion (c_u), negative pore water pressure ($-U_w$), and the maximum shear modulus (G_{maks}) of the comparison of repeated drying process (drying process drying 1st to 6th) in the same water content ($\pm 32\%$) between the natural soil with the soil + 8% lime was 3.801%, 400.741%, 17.119% (decreased), and 159.179%. For comparison with the natural soil with the soil + 15% fly ash has a percentage of 7.77%, 88.526%, 16.637%, dan 33.260%. For comparison with the natural soil with the soil + 5% Micro biobactery have a percentage of 6.221%, 90.409%, 11.453%, dan 44.404%.

Key words: The cycle of drying and wetting, repeated drying process, physical properties, mechanical properties, dynamic properties, with lime stabilization, stabilization with fly ash, stabilization with micro biobactery.

**PENGARUH PENERINGAN DAN PEMBASAHAN
TANAH TANGGUL SUNGAI BENGAWAN SOLO CROSS
SECTION (0±000), DESA SEMAMBUNG, BOJONEGORO
DENGAN STABILISASI TANAH SECARA KIMIA
DENGAN BAHAN STABILISASI KAPUR, FLY ASH DAN
MIKRO BIOBAKTERI**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Penelitian Geoteknik
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

TYAS NUR AMALIA

NRP 3111106016

ANGGER DWI OKTAVIANTO

NRP 3111106035

RIZKI FATIMAH SEPTIASARI

NRP 3111106044

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dr. Ir. Ria Asih Aryani S., M.Eng

NIP. 195601191986012001

(Pembimbing I)

Musta'in Arif, ST.,MT

NIP. 197003272005011001

(Pembimbing II)

SURABAYA

Juli, 2014

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan anugerah-Nya yang telah diberikan sehingga kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu. Mengingat pentingnya tugas akhir ini, maka kami telah berusaha mengerjakan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya.

Harapan kami dengan adanya tugas akhir ini, kami dapat memahami dan mengetahui lebih dalam mengenai pengerjaan tugas akhir kami nantinya. Dalam penyelesaian tugas akhir ini, tidak dapat dipungkiri bahwa kami sering menemui beberapa kendala dalam pengerjaannya. Namun berkat bantuan beberapa pihak, akhirnya kami dapat menyelesaikan tugas ini dengan baik.

Pada kesempatan ini tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibunda dan Ayahanda kami tercinta yang selalu memberikan dukungan dalam mengerjakan tugas akhir.
2. Ibu Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng, dan Bapak Musta'in Arif, ST., MT. selaku dosen pembimbing selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Teman-teman Lintas Jalur Teknik Sipil 2011 dan lainnya yang telah memberikan saran-saran dalam menyelesaikan tugas akhir.
4. Para Dosen dan Teknisi Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil ITS yang telah banyak membantu dalam praktikum penelitian ini.
5. Para pekerja Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil ITS yang sudah memberi pengarahan dalam setiap pengujian.
6. Pihak-pihak lain yang telah banyak membantu, yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu, atas segala kebaikan dan bantuannya selama ini.

Dengan segenap kerendahan hati, kami menyadari sepenuhnya bahwa tugas ini masih jauh dari sempurna. Sehingga, besar harapan adanya koreksi maupun masukan dari semua pihak untuk kesempurnaan tugas akhir ini.

Akhir kata, kami berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, 15 Juli 2014

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xxiii
DAFTAR TABEL.....	xxxv
DAFTAR RUMUS	xxxix
DAFTAR ISTILAH.....	xli
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah.....	7
1.5 Manfaat Penelitian	7
1.6 Lokasi Penelitian.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Definisi Tanah.....	9
2.2 Klasifikasi Tanah	10
2.2.1 Klasifikasi Berdasarkan Tekstur.....	10
2.2.2 Klasifikasi Berdasarkan Pemakaian	11
2.2.2.1 Sistem Klasifikasi <i>Associate of State Highway And Transportation Officials Classification (AASHTO)</i>	12
2.2.2.2 Sistem Klasifikasi <i>Unified Soil Classification System (USCS)</i>	16
2.3 Stabilisasi Tanah	18
2.4 Bahan-Bahan Tambah Stabilisasi (<i>Stabilisator</i>).....	19
2.4.1 Kapur.....	19
2.4.2 Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>).....	21
2.4.3 Mikro Biobakteri	22
2.5 Pengujian di Laboratorium	22

2.5.1	Karakteristik Fisik Tanah	22
2.5.1.1	Pengujian Volumetri - Gravimetri	23
2.5.1.2	Pengujian Konsistensi Tanah (Atterberg <i>Limit</i>)	26
2.5.1.3	Pengujian Analisa Butiran Tanah	28
2.5.2	Karakteristik Mekanik Tanah	29
2.5.2.1	Pengujian Proctor Standar	29
2.5.2.2	Pengujian Triaksial	31
2.5.2.3	Pengujian UCS (<i>Unconfined Compression Strength</i>)	32
2.5.2.4	Pengukuran Tegangan Air Pori Negatif Dengan Kertas Filter	33
2.5.3	Karakteristik Dinamik Tanah	36
2.6	Proses Pengeringan dan Pembasahan	38
BAB III METODOLOGI		41
3.1	Bagan Alir Penelitian	41
3.2	Tahapan Awal Penelitian	44
3.3	Tahapan Pengambilan Bahan	44
3.4	Tahapan Pembuatan Benda Uji	44
3.4.1	Perbandingan Tanah Natural dan Kapur	45
3.4.2	Perbandingan Tanah Natural dan <i>Fly Ash</i>	45
3.4.3	Perbandingan Tanah Natural dan Mikro Biobakteri	45
3.5	Tahapan Siklus Pengeringan dan Pembasahan Serta Proses Pengeringan Berulang	46
3.6	Tahapan Pengujian Benda Uji	50
3.6.1	Pengujian Sifat Fisik Tanah	50
3.6.1.1	Uji <i>Specific Gravity</i>	50
3.6.1.2	Uji Kadar Air	51
3.6.1.3	Uji Atterberg Limit	51
3.6.1.4	Uji Analisis Saringan dan Hidrometer	51
3.6.2	Pengujian Sifat Mekanik Tanah	51
3.6.2.1	Pengujian Triaksial (<i>Unconsolidated Undrained</i>)	52

3.6.2.2	Pengujian <i>Unconfined Compression Strength</i> (UCS).....	52
3.6.2.3	Pengukuran Tegangan Air Pori Negatif (<i>Suction</i>).....	52
3.6.2.4	Pengujian Pemadatan Proctor.....	53
3.6.3	Pengujian Sifat Dinamik Tanah.....	53
BAB IV HASIL DAN ANALISA PENELITIAN		55
4.1	Hasil Pengujian Tanah Natural	55
4.1.1	Sifat Fisik	55
4.1.1.1	Pengujian Atterberg Limit	55
4.1.1.2	Pengujian Analisa Ukuran Butir	56
4.1.1.3	Klasifikasi Tanah	57
4.1.2	Sifat Mekanik	58
4.1.2.1	Pengujian Pemadatan Proctor Standar	58
4.1.2.2	Analisa Hasil Pengujian Proctor Standar	59
4.1.2.3	Pengujian Triaksial	62
4.1.3	Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan dan Pembasahan (Siklus Pertama dan Kedua)	63
4.1.3.1	Hubungan Antara Kadar Air (ω) dengan angka pori (e).....	65
4.1.3.2	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)	65
4.1.3.3	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max}).....	66
4.1.3.4	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max}).....	66
4.1.3.5	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d).....	68

4.1.3.6	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering Modulus Geser (γ_d).....	68
4.1.3.7	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)	69
4.1.3.8	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r).....	69
4.1.3.9	Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t).....	71
4.1.3.10	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t).....	71
4.1.3.11	Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)	72
4.1.3.12	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Kohesi (C_u).....	72
4.1.4	Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali)	73
4.1.4.1	Hubungan Antara Kadar Air (ω) dengan angka pori (e).....	75
4.1.4.2	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)	75
4.1.4.3	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max}).....	76
4.1.4.4	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max}).....	76

4.1.4.5	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d).....	78
4.1.4.6	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering Modulus Geser (γ_d).....	78
4.1.4.7	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)	79
4.1.4.8	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r).....	79
4.1.4.9	Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t).....	81
4.1.4.10	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t).....	81
4.1.3.11	Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)	82
4.1.3.12	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Kohesi (C_u).....	82
4.2	Hasil Pengujian Tanah Natural + 8% Kapur	83
4.2.1	Sifat Fisik	83
4.2.1.1	Pengujian Atterberg Limit	83
4.2.1.2	Pengujian Analisa Ukuran Butiran	84
4.2.1.3	Klasifikasi Tanah	84
4.2.2	Sifat Mekanik	85
4.2.2.1	Pengujian Pemadatan Proctor Standar	85
4.2.2.2	Analisa Hasil Pengujian Proctor Standar	86
4.2.2.3	Pengujian Triaksial	89

4.2.3	Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan dan Pembasahan (Siklus Pertama dan Kedua).....	90
4.2.3.1	Hubungan Antara Kadar Air (ω) dengan angka pori (e).....	92
4.2.3.2	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)	92
4.2.3.3	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max}).....	93
4.2.3.4	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max}).....	93
4.2.3.5	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d).....	95
4.2.3.6	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering Modulus Geser (γ_d).....	95
4.2.3.7	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)	96
4.2.3.8	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r).....	96
4.2.3.9	Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t).....	98
4.2.3.10	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t).....	98
4.2.3.11	Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)	99

4.2.3.12	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Kohesi (C_u).....	99
4.2.4	Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali).....	100
4.2.4.1	Hubungan Antara Kadar Air (ω) dengan angka pori (e).....	102
4.2.4.2	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)	102
4.2.4.3	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max}).....	103
4.2.4.4	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max}).....	103
4.2.4.5	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)....	105
4.2.4.6	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering Modulus Geser (γ_d).....	105
4.2.4.7	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)	106
4.2.4.8	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r).....	106
4.2.4.9	Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t).....	109
4.2.4.10	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t).....	109

4.2.3.11	Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)	110
4.2.3.12	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Kohesi (C_u).....	110
4.3	Hasil Pengujian Tanah Natural + 15% <i>Fly Ash</i>	111
4.3.1	Sifat Fisik	111
4.3.1.1	Pengujian Atterberg Limit	111
4.3.1.2	Pengujian Analisa Ukuran Butiran ..	112
4.3.1.3	Klasifikasi Tanah	113
4.3.2	Sifat Mekanik	113
4.3.2.1	Pengujian Pemadatan Proctor Standar	113
4.3.2.2	Analisa Hasil Pengujian Proctor Standar	115
4.3.2.3	Pengujian Triaksial	118
4.3.3	Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan dan Pembasahan (Siklus Pertama dan Kedua)	119
4.3.3.1	Hubungan Antara Kadar Air (ω) dengan angka pori (e).....	121
4.3.3.2	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)	121
4.3.3.3	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max}).....	122
4.3.3.4	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max}).....	123
4.3.3.5	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)	125

4.3.3.6	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering Modulus Geser (γ_d).....	125
4.3.3.7	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)	126
4.3.3.8	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r).....	127
4.3.3.9	Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t).....	129
4.3.3.10	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t).....	129
4.3.3.11	Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)	130
4.3.3.12	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Kohesi (C_u).....	130
4.3.4	Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali).....	131
4.3.4.1	Hubungan Antara Kadar Air (ω) dengan angka pori (e).....	133
4.3.4.2	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)	133
4.3.4.3	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max}).....	134
4.3.4.4	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max}).....	134

4.3.4.5	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)....	136
4.3.4.6	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering Modulus Geser (γ_d).....	136
4.3.4.7	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)	137
4.3.4.8	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r).....	137
4.3.4.9	Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t).....	139
4.3.4.10	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t).....	139
4.3.3.11	Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)	140
4.3.3.12	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Kohesi (C_u).....	140
4.4	Hasil Pengujian Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri	141
4.4.1	Sifat Fisik	141
4.4.1.1	Pengujian Atterberg Limit	141
4.4.1.2	Pengujian Analisa Ukuran Butiran ..	142
4.4.1.3	Klasifikasi Tanah	143
4.4.2	Sifat Mekanik	143
4.4.2.1	Pengujian Pemadatan Proctor Standar	143
4.4.2.2	Analisa Hasil Pengujian Proctor Standar	145
4.4.2.3	Pengujian Triaksial	148

4.4.3	Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan dan Pembasahan (Siklus Pertama dan Kedua).....	149
4.4.3.1	Hubungan Antara Kadar Air (ω) dengan angka pori (e).....	151
4.4.3.2	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)	151
4.4.3.3	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max}).....	152
4.4.3.4	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max}).....	152
4.4.3.5	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)....	154
4.4.3.6	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering Modulus Geser (γ_d).....	154
4.4.3.7	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)	155
4.4.3.8	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r).....	155
4.4.3.9	Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t).....	158
4.4.3.10	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t).....	158
4.4.3.11	Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)	159

4.4.3.12	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Kohesi (C_u).....	159
4.4.4	Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali).....	160
4.4.4.1	Hubungan Antara Kadar Air (ω) dengan angka pori (e).....	162
4.4.4.2	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e).....	162
4.4.4.3	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max}).....	163
4.4.4.4	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max}).....	163
4.4.4.5	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)....	166
4.4.4.6	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering Modulus Geser (γ_d).....	166
4.4.4.7	Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r).....	167
4.4.4.8	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r).....	167
4.4.4.9	Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t).....	170
4.4.4.10	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t).....	170

4.4.3.11	Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)	171
4.4.3.12	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Kohesi (C_u).....	171
4.5	Perbandingan Hasil pengujian Tanah Natural dengan Tanah Natural yang Distabilisasi	172
4.5.1	Perbandingan Hasil pengujian Tanah Natural dengan Tanah Natural + 8% Kapur	172
4.5.1.1	Sifat Fisik	172
4.5.1.2	Sifat Mekanik.....	176
4.5.1.3	Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan dan Pembasahan (Siklus Pertama dan Kedua)	183
4.5.1.4	Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali)	185
4.5.2	Perbandingan Hasil pengujian Tanah Natural dengan Tanah Natural + 15% <i>Fly Ash</i>	204
4.5.2.1	Sifat Fisik	204
4.5.2.2	Sifat Mekanik.....	209
4.5.2.3	Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan dan Pembasahan (Siklus Pertama dan Kedua)	215
4.5.2.4	Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali)	227
4.5.3	Perbandingan Hasil pengujian Tanah Natural dengan Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri	239
4.5.3.1	Sifat Fisik	239

4.5.3.2	Sifat Mekanik.....	244
4.5.3.3	Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan dan Pembasahan (Siklus Pertama dan Kedua).....	250
4.5.3.4	Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali)	262
4.5.4	Perbandingan Hasil pengujian Tanah Natural dengan Tanah Natural + 8% Kapur, Tanah Natural + 15% <i>Fly Ash</i> , dan Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri.....	273
4.5.4.1	Sifat Fisik.....	273
4.5.4.2	Sifat Mekanik.....	278
4.5.4.3	Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan dan Pembasahan (Siklus Pertama dan Kedua).....	286
4.5.4.4	Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali)	311
4.6	Hasil Rekapitulasi	328
4.6.1	Rekapitulasi Hasil Peningkatan dan Penurunan Parameter dalam Proses Pengeringan dan Pembasahan (Siklus Pertama dan Kedua)	328
4.6.2	Rekapitulasi Hasil Peningkatan dan Penurunan Parameter dalam Proses Pengeringan Berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, 6 kali).....	330
4.6.3	Rekapitulasi Hasil Perbandingan Nilai Parameter Dalam Proses Pengeringan dan Pembasahan Dalam Kadar Air Yang Sama	

Antara Tanah Natural dan Tanah Natural Yang Distabilisasi.....	333
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	337
5.1 Kesimpulan	337
5.2 Saran.....	338
DAFTAR PUSTAKA	

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Tanah Untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO)	13
Tabel 2.2	Sistem Klasifikasi Unified	17
Tabel 2.3	Sistem Klasifikasi Unified (Lanjutan)	17
Tabel 2.4	Berat Jenis Berbagai Tanah.....	25
Tabel 2.5	Angka Pori Kadar Air dan Berat Volume Kering Untuk Beberapa Tipe Tanah yang Masih Dalam Keadaan Asli.....	26
Tabel 2.6	Ukuran Ayakan Standar di Amerika Serikat	28
Tabel 4.1	Tabel klasifikasi tanah natural	57
Tabel 4.2	Tabel klasifikasi tanah natural + 8 % kapur	85
Tabel 4.3	Tabel klasifikasi tanah natural + 15% <i>fly ash</i> . ..	113
Tabel 4.4	Nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum tanah dengan variasi kadar <i>fly ash</i>	114
Tabel 4.5	Tabel klasifikasi tanah natural + 5% mikro biobakteri	143
Tabel 4.6	Batas-batas <i>atterberg</i> tanah natural dan tanah natural + 8% kapur	169
Tabel 4.7	Nilai analisa ukuran butiran tanah natural dan tanah natural + 8% kapur	171
Tabel 4.8	Tabel klasifikasi tanah natural dan tanah natural + 8 % kapur	171
Tabel 4.9	Grafik Triaksial tanah natural + 8% kapur	177
Tabel 4.10	Tabel hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural dengan tanah natural+ 15% <i>fly ash</i>	200
Tabel 4.11	Tabel hasil pengujian analisis ukuran butir tanah natural dengan tanah natural+ 15% <i>fly ash</i>	202

Tabel 4.12	Tabel klasifikasi tanah natural dengan tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	202
Tabel 4.13	Tabel Hasil Triaksial tanah natural dengan tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	208
Tabel 4.14	Batas-batas <i>atterberg</i> tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri.....	235
Tabel 4.15	Nilai analisa ukuran butiran tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri	236
Tabel 4.16	Tabel klasifikasi tanah natural dengan tanah natural + 5% mikro biobakteri.....	237
Tabel 4.17	Grafik Triaksial tanah natural + 5% mikro biobakteri	244
Tabel 4.18	Tabel hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi....	268
Tabel 4.19	Nilai analisa ukuran butiran tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi	270
Tabel 4.20	Tabel klasifikasi tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi.....	270
Tabel 4.21	Tabel Hasil Pemadatan Proctor Standar Tanah Natural dan Tanah Natural Yang Distabilisasi	273
Tabel 4.22	Hasil pengujian triaksial tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi	279
Tabel 4.23	Nilai perubahan parameter akibat proses pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua dalam kondisi yang sama yaitu kondisi inisial.....	322
Tabel 4.24	Nilai perubahan parameter akibat proses pengeringan berulang 1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali dalam kondisi yang sama yaitu kondisi inisial	324

Tabel 4.25	Nilai perubahan parameter akibat proses pengeringan berulang 1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali dalam kondisi yang sama yaitu kondisi inisial. (Lanjutan).....	325
Tabel 4.26	Nilai perbandingan antara tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi akibat proses pengeringan dan pembasahan dalam kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$	327
Tabel 4.27	Nilai perbandingan antara tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi akibat proses pengeringan dan pembasahan dalam kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ (Lanjutan)	328

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Geografis Indonesia	1
Gambar 1.2	Peta Lokasi Penelitian	7
Gambar 2.1	Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)	11
Gambar 2.2	Rentang (range) dari batas cair (LL) dan Indeks Plastisitas (IP) untuk Tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7	14
Gambar 2.3	(a) Elemen tanah dalam keadaan asli; (b) tiga fase elemen tanah	23
Gambar 2.4	Batas – batas Atterberg	27
Gambar 2.5	Alat Uji Batas – Batas Atterberg	27
Gambar 2.6	Kurva Pemadatan	30
Gambar 2.7	Prinsip tegangan geser tanah	32
Gambar 2.8	Kalibrasi kertas filter jenis Whatman No. 42 Oleh Beberapa Peneliti	35
Gambar 2.9	Fungsi Waktu Dalam Pemeraman Benda Uji Terhadap Keseimbangan Kadar Air Kertas Filter	36
Gambar 2.10	Alat Bender Elemen yang Dikembangkan Oleh GDS Instrument Belanda	38
Gambar 2.11	Bentuk Khas Kurva Pengeringan dan Pembasahan	39
Gambar 2.12	Hubungan Antara <i>Unconfined Compressive Strength</i> dan Pengulangan Siklus Pengeringan - Pembasahan	40
Gambar 3.1a	Bagan Alir Penelitian (bersambung)	41
Gambar 3.1b	Bagan Alir Penelitian (bersambung)	42
Gambar 3.1c	Bagan Alir Penelitian (bersambung)	43
Gambar 3.2	Skema Proses Pengeringan Dan Pembasahan Tanah Natural	46

Gambar 3.3	Skema Proses Pengeringan Dan Pembasahan Tanah + <i>Stabilisator</i>	47
Gambar 3.4	Skema Proses Pengeringan Berulang Tanah Natural.....	47
Gambar 3.5	Skema Proses Pengeringan Berulang Tanah + <i>Stabilisator</i>	48
Gambar 3.6	Skema Kurva Kalibrasi Kertas Filter Jenis Whatman No. 42 dan Jenis Schleicher dan Schuell No. 589.....	53
Gambar 4.1	Grafik hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural	56
Gambar 4.2	Grafik hasil pengujian analisa ukuran butiran tanah natural.....	57
Gambar 4.3	Grafik hubungan kadar air optimum (ω_c) dengan berat volume kering maksimum (γ_d) tanah natural.....	59
Gambar 4.4	Grafik hubungan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, berat volume kering, dan tegangan air pori negatif hasil pengujian pada benda uji tanah natural.....	60
Gambar 4.5	Grafik Triaksial tanah natural	63
Gambar 4.6	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural	64
Gambar 4.7	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, dan derajat kejenuhan pada tanah natural.....	67

Gambar 4.8	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, dan kohesi pada tanah natural.....	70
Gambar 4.9	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural.....	74
Gambar 4.10	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, dan derajat kejenuhan pada tanah natural.....	77
Gambar 4.11	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, dan kohesi padatanah natural	80
Gambar 4.12	Grafik hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural + 8% kapur.....	83
Gambar 4.13	Grafik hasil pengujian analisa ukuran butiran tanah natural + 8% kapur.....	84
Gambar 4.14	Grafik hubungan kadar air optimum (ω_c) dengan berat volume kering maksimum (γ_d) tanah natural + 8% kapur	86
Gambar 4.15	Grafik hubungan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, berat volume kering, dan tegangan air pori negatif hasil pengujian pada benda uji tanah natural + 8% kapur	87
Gambar 4.16	Grafik Triaksial tanah natural + 8% kapur.....	90

Gambar 4.17	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 8% kapur.....	91
Gambar 4.18	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, dan derajat kejenuhan pada tanah natural + 8% kapur	94
Gambar 4.19	Pengaruh Siklus pengeringan dan pebasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, dan kohesi pada tanah natural + 8% kapur.....	97
Gambar 4.20	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 8% kapur	101
Gambar 4.21	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, dan derajat kejenuhan pada tanah natural + 8% kapur	104
Gambar 4.22	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, dan kohesi padatanah natural + 8% kapur.....	108
Gambar 4.23	Grafik hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	111
Gambar 4.24	Grafik hasil pengujian analisis ukuran butiran tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	112

Gambar 4.25	Grafik hubungan kadar air optimum (ω_c) dengan berat volume kering maksimum (γ_d) tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	114
Gambar 4.26	Grafik hubungan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, berat volume kering, dan tegangan air pori negatif hasil pengujian pada benda uji tanah natural + 15% <i>fly ash</i> ...	116
Gambar 4.27	Grafik Triaksial tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	119
Gambar 4.28	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, tegangan air pori negatif tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	120
Gambar 4.29	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, derajat kejenuhan tanah natural+15% <i>fly ash</i>	124
Gambar 4.30	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, kohesi tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	128
Gambar 4.31	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, tegangan air pori tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	132
Gambar 4.32	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, derajat kejenuhan tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	135

Gambar 4.33	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, kohesi tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	138
Gambar 4.34	Grafik hasil pengujian Atterberg Limit.....	141
Gambar 4.35	Grafik hasil pengujian analisa ukuran butiran.....	142
Gambar 4.36	Grafik hubungan kadar air optimum (ω_c) dengan berat volume kering maksimum (γ_d) tanah natural + 5% mikro biobakteri.....	144
Gambar 4.37	Grafik hubungan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, berat volume kering, dan tegangan air pori negatif hasil pengujian pada benda uji tanah natural + 5% mikro biobakteri	146
Gambar 4.38	Grafik Triaksial tanah natural + 5% mikro biobakteri	149
Gambar 4.39	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 5% mikro biobakteri	150
Gambar 4.40	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, dan derajat kejenuhan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri	153

Gambar 4.41	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, dan kohesi pada tanah natural+ 5% mikro biobakteri	157
Gambar 4.42	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 5% mikro biobakteri.....	161
Gambar 4.43	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, dan derajat kejenuhan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri.....	165
Gambar 4.44	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, dan kohesi pada tanah natural + 5% mikro biobakteri.....	169
Gambar 4.45	Grafik hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural dan tanah natural + 8% kapur	173
Gambar 4.46	Grafik perbandingan nilai LL, PL, PI tanah natural dan tanah natural + 8% kapur	174
Gambar 4.47	Grafik hasil pengujian analisa ukuran butiran tanah natural + 8% kapur	175
Gambar 4.48	Grafik hubungan kadar air optimum (ω_c) dengan berat volume kering maksimum (γ_d) tanah natural dan tanah natural + 8% kapur..	177
Gambar 4.49	Grafik hubungan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, berat volume kering, dan tegangan air pori negatif hasil pengujian	

	pada benda uji tanah natural dan tanah natural + 8% kapur.....	179
Gambar 4.50	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur	184
Gambar 4.51	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur.....	187
Gambar 4.52	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, dan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur.....	191
Gambar 4.53	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur..	195
Gambar 4.54	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur..	198
Gambar 4.55	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, dan kohesi	

	pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur	201
Gambar 4.56	Grafik hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural dengan tanah natural + 15% <i>fly ash</i> ..	205
Gambar 4.57	Grafik perbandingan nilai LL, PL, PI tanah natural dan tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	206
Gambar 4.58	Grafik hasil pengujian analisis ukuran butiran tanah natural dan tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	207
Gambar 4.59	Grafik hubungan kadar air optimum (ω_c) dengan berat volume kering maksimum (γ_d) tanah natural dengan tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	209
Gambar 4.60	Grafik hubungan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, berat volume kering, dan tegangan air pori negatif hasil pengujian pada benda uji tanah natural dengan tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	211
Gambar 4.61	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, tegangan air pori negatif tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	216
Gambar 4.62	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, derajat kejenuhan tanah natural+15% <i>fly ash</i>	220
Gambar 4.63	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, kohesi tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	224

Gambar 4.64	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, tegangan air pori tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	228
Gambar 4.65	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, derajat kejenuhan tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	232
Gambar 4.66	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, kohesi tanah natural + 15% <i>fly ash</i>	236
Gambar 4.67	Grafik perbandingan hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural dengan tanah natural + 5% mikro biobakteri	240
Gambar 4.68	Grafik perbandingan nilai LL, PL, PI tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri	241
Gambar 4.69	Grafik hasil pengujian analisa ukuran butiran	242
Gambar 4.70	Grafik hubungan kadar air optimum (ω_c) dengan berat volume kering maksimum (γ_d) tanah natural dengan tanah + 5% mikro biobakteri	245
Gambar 4.71	Grafik hubungan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, berat volume kering, dan tegangan air pori negatif hasil pengujian pada benda uji tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri	246
Gambar 4.72	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua	

	terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, tegangan air pori negatif tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri	251
Gambar 4.73	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, derajat kejenuhan tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri	255
Gambar 4.74	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, kohesi tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri	259
Gambar 4.75	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri	263
Gambar 4.76	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, derajat kejenuhan tanah natural + 5% mikro biobakteri	266
Gambar 4.77	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, kohesi tanah natural + 5% mikro biobakteri	270
Gambar 4.78	Grafik hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi...	274

Gambar 4.79	Grafik perbandingan nilai LL, PL, PI tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi...	275
Gambar 4.80	Grafik hasil pengujian analisa ukuran butiran tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi.....	276
Gambar 4.81	Grafik hubungan kadar air optimum (ω_c) dengan berat volume kering maksimum (γ_d) tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi.....	279
Gambar 4.82	Grafik hubungan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, berat volume kering, dan tegangan air pori negatif hasil pengujian pada benda uji tanah natural dan tanah yang distabilisasi.....	281
Gambar 4.83	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, tegangan air pori negatif tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi.....	288
Gambar 4.84	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, derajat kejenuhan tanah natural dan tanah yang distabilisasi	296
Gambar 4.85	Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, kohesi tanah natural dan tanah yang distabilisasi	304
Gambar 4.86	Pengaruh pengulangan proses pengeringan (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus	

	geser, tegangan air pori negatif tanah natural dan tanah yang distabilisasi.....	312
Gambar 4.87	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, derajat kejenuhan tanah natural dan tanah yang distabilisasi.....	317
Gambar 4.88	Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, kohesi tanah natural dan tanah yang distabilisasi.....	323

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia terletak di antara 6° LU – 11° LS dan 95° BT - 141° BT, antara Lautan Pasifik dan Lautan Hindia, antara benua Asia dan benua Australia dan pada pertemuan dua rangkaian pegunungan, yaitu Sirkum Pasifik dan Sirkum Mediterania. Letak astronomi yang demikian itu menunjukkan bahwa Indonesia terletak di daerah iklim tropis. Daerah iklim tropis terdapat di antara 23,5° LU dan 23,5° LS. Hal ini mengakibatkan suhu di Indonesia cukup tinggi (antara 26° C - 28° C), dan curah hujan cukup banyak (antara 700 mm – 7000 mm per tahun).



(Sumber: <http://link-geo.blogspot.com>)

Gambar 1.1 Peta Geografis Indonesia

Perubahan iklim tersebut menyebabkan terjadinya proses pengeringan dan pembasahan secara berulang – ulang yang dapat mempengaruhi karakteristik fisik (Berat Jenis Kering Tanah, Kadar Air, Derajat Kejenuhan, Porositas, Angka Pori, *Specific Gravity*, dan Batas-batas Atterberg), karakteristik mekanik (Kohesi, Sudut Geser Dalam, Tegangan Air Pori Negatif) dan karakteristik dinamik tanah (Modulus Geser Maksimum). Proses pengeringan dan pembasahan

secara terus menerus dapat mempengaruhi volume tanah yang diakibatkan oleh perubahan kadar air. Menurut Makeawa dan Miyakita (1991) menyimpulkan bahwa jumlah siklus pengeringan dan pembasahan yang terjadi secara berulang akan mengurangi kekuatan geser tanah sampai pada siklus tertentu.

Tanah tanggul yang berada di Sungai Bengawan Solo *Cross Section* 0±000, Desa Semambung, Bojonegoro telah mengalami perubahan karakteristik tanah dan kekuatan tanah menurun, sehingga peluang terjadinya longsor menjadi meningkat. Penyebabnya adalah perubahan musim hujan dan kemarau yang mengakibatkan fluktuasi muka air yang signifikan. Meluapnya debit air pada daerah hulu Sungai Bengawan Solo mengakibatkan tingginya muka air pada Sungai Bengawan Solo di daerah Bojonegoro. Ditambah lagi dengan ketidakmampuan tanggul dalam menahan air, sehingga pada saat musim hujan peristiwa banjir di daerah Bojonegoro tidak dapat dihindarkan lagi. Oleh karena itu, agar tanggul sungai tidak membahayakan orang di sekitarnya maka perlu adanya perkuatan tanggul pada Sungai Bengawan Solo *Cross Section* 0±000, Desa Semambung, Bojonegoro.

Material yang digunakan untuk membuat tanggul sungai yang baik dan kuat adalah tanah urugan. Namun karena biayanya yang mahal, maka alternatif yang dipilih adalah material tanah dasar sungai (*River Bed*). Akan tetapi, material tersebut merupakan material yang buruk dan kurang memenuhi persyaratan kualitas untuk membangun tanggul sungai. Karena itu perlu dilakukan perbaikan tanah. Usaha untuk perbaikan karakter fisik, mekanik dan dinamik tanah dapat dilakukan dengan banyak cara, salah satu diantaranya yaitu stabilisasi tanah.

Stabilisasi tanah merupakan cara alternatif yang dapat diambil untuk memperbaiki sifat-sifat tanah yang ada. Tujuan dari stabilisasi tanah adalah untuk meningkatkan kuat dukung tanah dengan peningkatan kohesi tanah dan kepadatan tanah.

Pada dasarnya stabilisasi dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu stabilisasi mekanik, kimia dan thermal. Cara stabilisasi yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu dengan menambahkan bahan tambah (*stabilisator*) tertentu agar kualitas tanah dapat ditingkatkan. Ada berbagai macam bahan yang digunakan sebagai bahan stabilisasi yaitu kapur, abu terbang (*fly ash*) dan mikro biobakteri.

Stabilitas tanah dengan menggunakan kapur merupakan proses yang dapat merubah struktur tanah dengan jalan membentuk butiran agregat yang lebih besar sehingga memberikan pengaruh yang menguntungkan. Tujuan pemakaian kapur adalah untuk menambah kekuatan, kekakuan, dan ketahanan dari tanah-tanah butir halus, terkadang kapur juga digunakan untuk menaikkan sifat-sifat fraksi dari tanah-tanah granuler. Kapur telah digunakan sebagai stabilisator bagi tanah-tanah dibawah lapis dasar dari sistem lapis perkerasan, dibawah pondasi beton, pada lereng (*embankment*) dan pelapis saluran. Kapur adalah salah satu bahan yang dipakai untuk stabilisasi tanah . bahan ini mudah didapat karena banyak dipasaran dan diproduksi secara besar-besaran. Kapur mengandung kation-kation Ca^{++} Mg^{++} yang mampu menetralsir sifat kembang susut tanah lempung/lanau yang besar. Selain itu kapur juga berfungsi untuk merangsang terjadinya proses sementasi antara butiran tanah sehingga membentuk gumpalan partikel yang lebih besar sehingga plastisitas tanah akan berkurang yang pada akhirnya juga berpengaruh terhadap penambahan kekuatan tanah. Dalam penelitian yang lain (Sudirham,1988) dikatakan bahwa dengan pemakaian kapur baik bentuk *powder* mampu menurunkan harga Plasticity Index hingga 64%. Hal ini diperkuat dengan adanya penelitian di daerah cepu oleh Sudjanarko Sudirham dan Ria Asih Aryani Soemitro (1986). Dikatakan pula penambahan kapur dengan kadar 10% akan mampu mengurangi harga *swelling* yang relatif besar. Penelitian Roosatrijo (1997) juga didapatkan bahwa kapur

mampu mengurangi terjadinya *swelling* pada tanah lempung atau lanau hingga 7%.

Fly ash merupakan material yang sangat halus dan berasal dari sisa pembakaran batu bara. *Fly ash* dikenal di Inggris sebagai serbuk abu pembakaran. Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat, tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. *Fly ash* termasuk kedalam material yang disebut *pozzolanic material* karena mengandung bahan-bahan *pozzolan* seperti Silika (SiO_2), besi oksida (Fe_2O_3), aluminium oksida (Al_2O_3), Kalsium Oksida (CaO), Magnesium Oksida (MgO) dan Sulfat (SO_4). Penambahan *fly ash* pada tanah dimaksudkan agar terbentuk reaksi *pozzolanic* yaitu reaksi antara kalsium yang terdapat pada *fly ash* dengan alumina dan silikat yang terdapat pada tanah sehingga menghasilkan masa yang keras dan kaku. Penambahan *fly ash* sebagai campuran bahan untuk stabilisasi tanah berfungsi meningkatkan nilai daya dukung dari tanah yang biasanya memiliki kemampuan yang rendah dalam memikul beban. Dalam penelitian (Yus Yudhyantoro, 2001) dikatakan bahwa penambahan 15% *fly ash* pada tanah lempung ekspansif mengakibatkan penurunan angka pori, internal damping dan derajat kejenuhan.

Penggunaan mikro biobakteri sebagai bahan tambah untuk stabilisasi tanah masih sangat baru. Bahkan penelitian mengenai mikro biobakteri ini masih sangat sedikit sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut tentang sifat dari bahan ini. Bakteri adalah suatu organisme yang jumlahnya paling banyak dan tersebar luas dibandingkan dengan organisme lainnya di bumi serta berukuran mikroskopik (sangat kecil). Mikro biobakteri digunakan sebagai inovasi untuk memperbaiki tanah asli yang mempunyai daya dukung

kurang, agar menambah kekuatan dari daya dukung tanah tersebut. Mikro biobakteri bersifat ramah lingkungan, tidak beracun dan aman bagi manusia dan makhluk hidup lainnya yang terkait dengan aplikasinya di stabilisasi tanah. Mikro biobakteri yang digunakan berbentuk cairan yang terbuat dari bahan organik, protein, polimer yang telah difermentasikan oleh bakteri yang menguntungkan. Cara mikro biobakteri ini memperbaiki tanah yaitu seperti proses kunci dan gembok dengan mengikat partikel tanah satu dengan yang lainnya. Pada penelitian yang sudah dilakukan (Bio Soils, PT. Bangun Mukti Abadi) dikatakan bahwa penambahan tanah dengan 7% mikro biobakteri mengalami peningkatan untuk nilai UCS Test yang semula 0,48% menjadi 6,53%, yang berarti meningkatkan kekuatan geser tanah.

Untuk tanah natural yang digunakan pada proses pengeringan dan pembasahan pada penelitian ini menggunakan tanah tidak terganggu (*undisturbed*). Sedangkan untuk tanah natural yang distabilisasi menggunakan tanah terganggu (*disturbed*).

Oleh karena itu penting untuk dilakukan penelitian untuk membahas pengaruh proses pengeringan dan pembasahan terhadap karakteristik tanah pada tanggul sungai. Hasil yang didapat adalah hubungan antara parameter-parameter fisik, mekanik dan dinamik tanah pada siklus pengeringan dan pembasahan baik tanah natural ataupun tanah natural yang distabilisasi.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam pengujian dalam dirumuskan sebagai berikut :

1. Pengaruh proses pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap karakteristik fisik, mekanik, dan dinamik tanah permukaan tanggul Sungai Bengawan Solo *Cross Section* 0 ± 000 , Desa

- Semambung, Bojonegoro pada kondisi tanah asli (natural) dan tanah natural yang distabilisasi.
2. Pengaruh proses pengeringan berulang terhadap karakteristik fisik, mekanik, dan dinamik tanah permukaan tanggul *Cross Section* 0+000, Desa Semambung, Sungai Bengawan Solo di Bojonegoro pada kondisi tanah asli (natural) tanah natural yang distabilisasi.
 3. Komposisi campuran antara tanah asli (natural) dengan tambahan bahan tambah yang paling optimum dari aspek peningkatan karakteristik fisik, mekanik, dan dinamik.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh proses pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap karakteristik fisik, mekanik, dan dinamik tanah permukaan tanggul Sungai Bengawan Solo *Cross Section* 0±000, Desa Semambung, Bojonegoro pada kondisi tanah asli (natural) dan tanah asli (natural) dengan penambahan bahan stabilisasi.
2. Mengetahui pengaruh proses pengeringan berulang terhadap karakteristik fisik, mekanik, dan dinamik tanah permukaan Sungai Bengawan Solo *Cross Section* 0±000, Desa Semambung, Bojonegoro pada kondisi tanah asli (natural) dan tanah asli (natural) dengan penambahan bahan stabilisasi.
3. Mengetahui komposisi campuran antara tanah asli (natural) dengan tambahan bahan stabilisasi yang paling optimum dari aspek peningkatan karakteristik fisik, mekanik, dan dinamik.

1.4 Batasan Masalah

Pembahasan dalam pengujian dibatasi sebagai berikut :

1. Penelitian ini menggunakan bahan stabilisator Kapur Aktif (CaOH₂), Abu Terbang (*Fly Ash*), dan Mikro Biobateri (ASDV_3655).
2. Penentuan komposisi optimum bahan stabilisasi dengan menggunakan uji kepadatan Tes Pemadatan Proctor(*Proctor Standard*).
3. Siklus pengeringan dan pembasahan dilakukan pada siklus 1 dan 2.
4. Proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali).
5. Proses pengeringan siklus pertama dilakukan pengurangan air dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100%. Proses pembasahan siklus pertama dilakukan penambahan air dimulai dari kondisi kering 100% hingga kondisi inisial. Proses pembasahan siklus kedua dilakukan penambahan air dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi basah 100% (jenuh). Proses pengeringan siklus kedua dilakukan pengurangan air dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi inisial.
6. Proses pengeringan 1 kali dilakukan pengurangan air dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100%. Proses pengeringan 2 kali, 4 kali, dan 6 kali dilakukan pengurangan air dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi kering 100%.

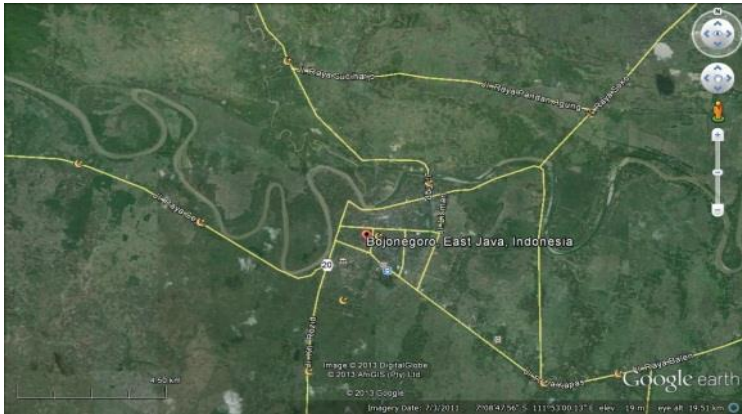
1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari pengujian ini adalah mendapatkan masing-masing nilai karakteristik fisik, mekanik, dan dinamik tanah permukaan tanggul Sungai Bengawan Solo *Cross Section* 0±000, Desa Semambung, Bojonegoro akibat proses pengeringan dan pembasahan dan proses pengeringan berulang pada kondisi tanah natural dan tanah natural dengan

penambahan bahan tambah (*stabilisator*). Disamping itu juga didapatkan komposisi optimum dari masing-masing campuran bahan stabilisasi tersebut.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi tanah pada objek Tugas Akhir ini berada di kawasan Sungai Bengawan Solo *Cross Section* 0±000, Desa Semambung, yang berada di daerah Bojonegoro.



(Sumber: <http://google.com/>)

Gambar 1.2 Peta Lokasi Penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Tanah

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpatikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. (Das, Braja M. 1988)

Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, di samping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan (*Endah, 1988*).

Menurut Joseph E. Bowles (1982), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut:

1. Berangkal (*boulders*), potongan batuan yang besar, biasanya berukuran 250 sampai 300 mm. Untuk ukuran yang lebih kecil dari pada ukuran boulders disebut *cobbles* dengan ukuran minimum 50 sampai 70 mm atau *pebbles* (dengan ukuran minimum 3 sampai 5 mm).
2. Kerikil (*gravel*), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*), partikel batuan yang memiliki ukuran butiran lebih kecil dari ukuran butiran kerikil tetapi lebih besar dari 0,05 sampai 0,074 mm.
4. Lanau (*silt*), partikel batuan yang berukuran dari 0,002 sampai 0,006 mm dan maksimum berukuran dari 0,05 sampai 0,074 mm. Lanau (dan lempung) dalam jumlah yang besar ditemukan dalam deposit yang

disedimentasikan kedalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai (sepanjang Pantai Gulf dan Lautan Atlantik dan Lautan Teduh). Deposit *loess* terjadi bila angin mengangkut partikel-partikel lanau ke suatu lokasi. Angkutan oleh angin ini membatasi ukuran partikel sedemikian rupa sehingga deposit yang dihasilkan mempunyai ukuran butir yang hampir sama.

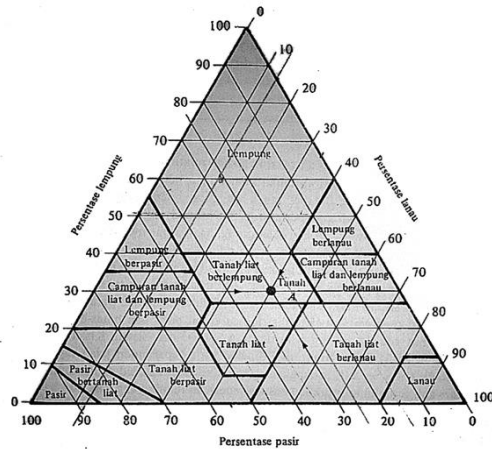
5. Lempung (*clay*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
6. Koloid (*colloids*), partikel mineral yang diam, berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

2.2. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok – subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butir dan plastisitas.

2.2.1. Klasifikasi Berdasarkan Tekstur

Dalam arti umum, yang dimaksud dengan tekstur tanah adalah keadaan permukaan tanah yang bersangkutan. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah. Pada umumnya tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Dalam klasifikasi berdasarkan tekstur, tanah diberi nama atas dasar komponen yang dikandungnya, misalnya lempung berpasir (*sandy clay*), lempung berlanau (*silty clay*), dan seterusnya.



(Sumber : Braja M. Das Jilid 1 Hal - 65)

Gambar 2.1 Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)

Sistem klasifikasi sebagaimana diatas yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah. Dimana :

1. Pasir, butiran dengan diameter 2 sampai dengan 0,05 mm
2. Lanau, butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm
3. Lempung, butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm

2.2.2. Klasifikasi Berdasarkan Pemakaian

Sistem klasifikasi berdasarkan tekstur adalah relatif sederhana karena ia hanya didasarkan pada distribusi ukuran butiran tanah saja. Dalam kenyataanya, jumlah dan jenis dari mineral lempung yang dikandung oleh tanah sangat mempengaruhi sifat fisik tanah yang bersangkutan. Oleh

karena itu, kiranya perlu untuk memperhitungkan sifat plastis tanah, yang disebabkan adanya kandungan mineral lempung, agar dapat menafsirkan ciri-ciri suatu tanah. Karena sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tidak menunjukkan sifat-sifat tanah yang penting, maka sistem tersebut dianggap tidak memadai untuk sebagian besar keperluan teknik. Pada saat sekarang ada lagi dua buah sistem klasifikasi tanah yang selalu dipakai oleh para ahli teknik sipil. Kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butir dan batas-batas Atterberg. Sistem-sistem tersebut adalah : Sistem Klasifikasi AASHTO dan Sistem Klasifikasi Unified.

2.2.2.1. Sistem Klasifikasi Associate of State Highway And Transportation Officials Classification (AASHTO)

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan. Sistem Klasifikasi AASHTO yang dipakai saat ini dapat dilihat pada Tabel 2.1. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini:

1. Ukuran Butir
 - a. Kerikil, bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3in) dan yang tertahan pada ayakan No. 20 (2mm)
 - b. Pasir, bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0,075mm).
 - c. Lanau dan lempung, bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.
2. Plastisitas
Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas [plasticity index (PI)] sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.

3. Apabila Batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Apabila sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan oleh dalam Tabel 2.1. dibawah ini.

Tabel 2.1 Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASTHO)

Klasifikasi Umum	Bahan-bahan berbutir						Bahan-bahan lanau-lempung					
	(35% atau kurang lolos No. 200)						(Lebih dari 35% lolos No. 200)					
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
A-1 a	A-1 b	A-2-4		A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-7-5, A-7-6					
Analisis Ayakan (% Lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Maks. 50 Maks. 30 Maks. 15	Maks. 50 Maks. 25	Min. 51 Maks. 10	Maks. 35	Maks. 35	Maks. 35	Maks. 35	Min. 36	Min. 36	Min. 36	Min. 36	
Karakteristik fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)			NP	Maks. 40 Maks. 10	Min. 41 Maks. 10	Maks. 40 Min. 11	Min. 41 Min. 11	Maks. 40 Maks. 10	Min. 41 Maks. 10	Maks. 40 Min. 11	Min. 41 Min. 11	
Indeks Kelompok	0		0	0				Maks. 4	Maks. 8	Maks. 12	Maks. 16	Maks. 20
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Fregmen batu, Kerikil, dan Pasir		Pasir Halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung				Tanah Berlanau		Tanah Berlempung		
Tingkatan umum sebagai tanah	Sangat baik sampai baik						Sedang sampai buruk					

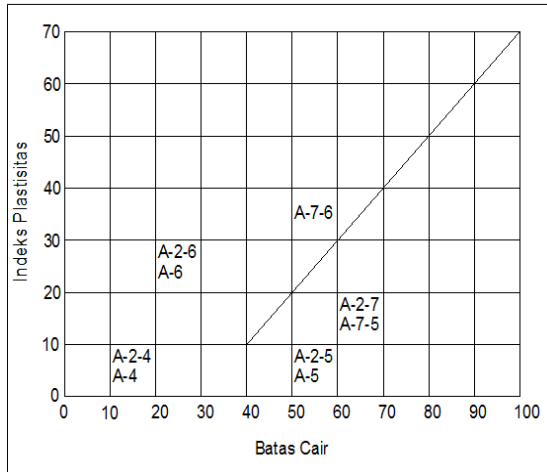
(Sumber : Bowles 1984)

Ket :

Untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$

Untuk A-7-6, $PI > LL - 30$

Gambar 2.2 dibawah ini menunjukkan suatu Gambar dari senjang batas cair (liquid limit, LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.



(Sumber : Braja M. Das Jilid 1 Hal-68)

Gambar 2.2 Rentang (range) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (IP) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.

Penjelasan dari Tabel 2.1 di atas adalah sebagai berikut :

1. Kelompok tanah berbutir kasar, A-1, A-2 dan A-3, definisinya yaitu:
 - a. A-1 adalah kelompok tanah yang terdiri dari kerikil dan pasir kasar dengan sedikit atau tanpa butir halus, dengan atau tanpa sifat-sifat plastis.
 - b. A-2 adalah kelompok batas antara kelompok tanah berbutir kasar dengan tanah berbutir halus. Kelompok A-2 ini terdiri dari campuran kerikil/pasir kasar dengan tanah berbutir halus yang cukup banyak (< 35%).
 - c. A-3 adalah kelompok tanah yang terdiri dari pasir halus dengan sedikit sekali mengandung butir-butir halus yang lolos saringan No. 200 dan bersifat tidak plastis.

2. Kelompok tanah berbutir halus, A-4, A-5, A-6 dan A-7, didefinisikan sebagai berikut :
 - a. A-4 adalah kelompok tanah lanau berplastisitas rendah.
 - b. A-5 adalah kelompok tanah lanau yang mengandung lebih banyak partikel-partikel halus yang bersifat plastis. Sifat plastis tanah lebih besar dari kelompok A-4.
 - c. A-6 adalah kelompok tanah lempung yang masih mengandung butir-butir pasir dan kerikil, tetapi sifat perubahan volume cukup besar.
 - d. A-7 adalah kelompok tanah lempung yang lebih bersifat plastis. Tanah ini mempunyai sifat perubahan volume besar.

Untuk dapat membedakan kemampuan tanah dasar dalam memikul beban roda AASHTO memperkenalkan Indeks Kelompok atau Grup Indeks (GI) yang merupakan fungsi dari persentase tanah yang lolos saringan No.200 dan batas Atterberg. Grup Indeks ini dibuat dengan asumsi sebagai berikut :

1. Semua kelompok yang masuk dalam kelompok A-1, A-3 dan A-2 kecuali A-2-6 dan A-2-7 adalah kelompok tanah yang baik untuk dijadikan tanah dasar.
2. Tanah berbutir halus adalah 35% lolos saringan No. 200.
3. Batas cair tanah adalah 40% dan batas indeks plastis adalah 10%.

Dengan berdasarkan asumsi tersebut di atas, AASHTO merumuskan GI sebagai berikut:

$$GI = (F - 35) \{0,2 + 0,005 (LL - 40)\} + 0,01 (F - 15) (IP - 10) \dots (2.1)$$

Keterangan :

GI = Grup indeks

F = Jumlah persentase yang lolos saringan No. 200 dari material yang lolos saringan 3 inch.

LL = Batas cair

IP = Indeks plastis

2.2.2.2. Sistem Klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS)

Sistem klasifikasi ini pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh The Army Corps of Engineers selama Perang Dunia II. Dalam rangka kerja sama dengan *United States Bureau of Reclamation* tahun 1952, sistem ini disempurnakan. Pada masa kini, sistem klasifikasi tersebut digunakan secara luas oleh para ahli teknik. Sistem Klasifikasi Unified diberikan dalam Tabel. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu : tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50 % berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dari huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*Silt*) anorganik. C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau-organik dan lempung-organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), muck, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi. Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS adalah :

1. W = Well Graded (Tanah dengan gradasi baik)
2. P = Poor Graded (Tanah dengan gradasi buruk)
3. L = Low Plasticity (Plastisitas rendah) dimana $LL < 50$
4. H = High Plasticity (Plastisitas tinggi) dimana $LL > 50$

Tabel 2.2 *Sistem Klasifikasi Unified*

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi Laboratorium	
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No.200	Kerikil	GW	Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus.	Cu = D ₆₀ /D ₁₀ Lebih besar dari 4 Cc = D ₃₀ / (D ₁₀ x D ₆₀) Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		GP	Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus.		
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau.		
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung.		
	Pasir	Kerikil (Berseki (Hanya Kerikil))	SW	Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus.	Cu = D ₆₀ /D ₁₀ Lebih besar dari 6 Cc = D ₃₀ / (D ₁₀ x D ₆₀) Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
			SP	Pasir bergradasi buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus.	
		Pasir Dengan Butiran Halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir lanau.	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung.	
	Pasir Dengan Butiran Halus	Kerikil Dengan Butiran Halus	GW	Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus.	Batas-batas Atterberg dibawah garis A atau $P_i < 4$ Batas-batas Atterberg diatas garis A dengan $P_i > 7$
			GP	Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus.	
		Pasir Dengan Butiran Halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau.	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung.	

(Sumber : Joseph E. Bowles Third Edition Page - 26)

Tabel 2.3 *Sistem Klasifikasi Unified (Lanjutan)*

Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos pada ayakan No.200		Simbol	Nama Umum	Diagram Klasifikasi
Lempungan	Batas Cair 50% atau kurang	ML	Lanau organik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Batas Cair lebih dari 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatome, atau lanau diatome, lanau yang elastis	
		CH	Lempung organik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	Peat (gambut), muck, dan tanah tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk klasifikasi secara visual dapat dilihat dalam ASTM Designation D-2488

(Sumber : Joseph E. Bowles Third Edition Page – 27)

2.3. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan cara alternatif yang dapat diambil untuk memperbaiki sifat-sifat tanah yang ada. Pada prinsipnya stabilisasi tanah merupakan suatu penyusunan kembali butir-butir tanah agar lebih rapat dan saling mengunci. Tanah dibuat stabil agar jika ada beban yang lewat, tidak terjadi penurunan (*settlement*). Tujuan dari stabilisasi tanah adalah untuk meningkatkan kuat dukung tanah dengan peningkatan kohesi tanah dan kepadatan tanah.

Secara umum, Inghes dan Metcalf (1972) mengemukakan dua pendekatan untuk mengatasi problem tanah sulit, yaitu pendekatan terhadap bangunan dan pendekatan terhadap tanahnya. Pada cara yang pertama, kita harus menerima keadaan tanah apa adanya dan bangunan yang akan didirikan disesuaikan dengan kondisi tanah. Sedangkan pada cara yang kedua, tanah ekspansif sampai kedalaman tertentu diganti dengan tanah yang baik atau dirubah sifat-sifatnya dengan cara stabilisasi.

Untuk tanah ekspansif, Mochtar (1994) mengusulkan beberapa pendekatan spesifik untuk mengatasi sifat kembang-susut yang besar, yaitu sebagai berikut :

- a. Mencegah terjadinya perubahan kadar air pada tanah.
- b. Memberikan beban yang cukup besar diatas permukaan tanah untuk melawan tekanan pengembangan dari tanah.
- c. Memperbaiki sifat yang merusak dari tanah dasar dengan cara stabilisasi.

Sebagai salah satu cara untuk mengatasi problema tanah ekspansif, stabilisasi, dimaksudkan untuk memperbaiki sifat yang merugikan dari tanah agar tanah menjadi lebih baik. Pada dasarnya stabilisasi dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Stabilisasi mekanik (*mechanical stabilization*)

Stabilisasi mekanik yaitu menambah kekuatan dan kuat dukung tanah dengan cara perbaikan struktur dan perbaikan sifat-sifat mekanis tanah, Pada stabilisasi

mekanik, tanah yang akan distabilisasi dicampur dengan material lain yang lebih baik (misalnya pasir) dan/atau dipadatkan untuk mengurangi rongga pori sehingga akan menaikkan berat isi tanah tersebut.

2. Stabilisasi kimia (*chemical stabilization*)
Stabilisasi kimiawi yaitu menambah kekuatan dan kuat dukung tanah dengan cara mengurangi atau menghilangkan sifat-sifat teknis tanah yang kurang menguntungkan dengan cara mencampur tanah dengan bahan kimia.
3. Stabilisasi thermal (*thermal stabilization*)
Sedangkan pada stabilisasi termal, tanah yang akan diperbaiki dipanaskan sampai suhu tertentu sehingga akan terbentuk struktur kristal dan tidak ada unsur-unsur dalam kelompok OH (hidroksida).

Menurut Dunn, I.S, dkk. (1980) stabilisasi tanah yaitu pencampuran tanah dengan bahan tambah (tanah, bahan aditif) untuk meningkatkan daya atau kuat dukung tanah. Jika daya dukung tanah naik berarti terjadinya peningkatan kohesi dan sudut geser dalam tanah. Meningkatnya kohesi dan sudut geser dalam tanah berarti meningkatkan tegangan geser tanah dan meningkatkan stabilitas volume tanah. Apabila suatu tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan, atau apabila tanah mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, mempunyai permeabilitas terlalu tinggi, atau mempunyai sifat lain yang tidak diinginkan, maka tanah tersebut harus segera distabilisasikan.

2.4. Bahan-Bahan Tambah Stabilisasi (*Stabilisator*)

2.4.1. Kapur

Stabilitas tanah dengan menggunakan kapur merupakan proses yang dapat merubah struktur tanah dengan jalan membentuk butiran agregat yang lebih besar sehingga memberikan pengaruh yang menguntungkan. Tujuan

pemakaian kapur adalah untuk menambah kekuatan, kekakuan, dan ketahanan dari tanah-tanah butir halus, terkadang kapur juga digunakan untuk menaikkan sifat-sifat fraksi dari tanah-tanah granuler. Kapur telah digunakan sebagai bahan stabilisasi bagi tanah-tanah dibawah lapis dasar dari sistem lapis perkerasan, dibawah pondasi beton, pada lereng *embankment* dan pelapis saluran.

Kapur adalah salah satu bahan yang dipakai untuk stabilisasi tanah . Bahan ini mudah didapat karena banyak dipasarkan dan diproduksi secara besar-besaran. Kapur mengandung kation-kation Ca^{++} Mg^{++} yang mampu menetralsir sifat kembang susut tanah lempung/lanau yang besar. Selain itu kapur juga berfungsi untuk merangsang terjadinya proses sementasi antara butiran tanah sehingga membentuk gumpalan partikel yang lebih besar sehingga plastisitas tanah akan berkurang yang pada akhirnya juga berpengaruh terhadap penambahan kekuatan tanah.

Dari penelitian (Wang, Matcos dan Davidson-1963) dikatakan bahwa dengan adanya penambahan kapur akan mengurangi harga Liquid Limits dan Plasticity Index, bahkan terjadi penurunan yang mencolok pada harga Atterberg Limits pada penambahan kapur 4%.

Dalam penelitian yang lain (Sudirham,1988) dikatakan bahwa dengan pemakaian kapur baik bentuk powder mampu menurunkan harga Plasticity Index hingga 64%. Hal ini diperkuat dengan adanya penelitian di daerah cepu oleh Sudjanarko Sudirham dan Ria Asih Aryani Soemitro (1986). Dikatakan pula penambahan kapur dengan kadar 10% akan mampu mengurangi harga swelling yang relatif besar. Penelitian Roosatrijo (1997) juga didapatkan bahwa kapur mampu mengurangi terjadinya swelling pada tanah lempung atau lanau hingga 7%.

2.4.2. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly ash merupakan material yang sangat halus dan berasal dari sisa pembakaran batu bara. *Fly ash* dikenal di Inggris sebagai serbuk abu pembakaran. Abu terbang sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat, tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. *Fly ash* termasuk kedalam material yang disebut *pozzolanic material* karena mengandung bahan-bahan *pozzolan* seperti Silika (SiO_2), besi oksida (Fe_2O_3), aluminium oksida (Al_2O_3), Kalsium Oksida (CaO), Magnesium Oksida (MgO), dan Sulfat (SO_4). Penambahan *fly ash* pada tanah dimaksudkan agar terbentuk reaksi *pozzolanic* yaitu reaksi antara kalsium yang terdapat pada *fly ash* dengan alumina dan silikat yang terdapat pada tanah sehingga menghasilkan masa yang keras dan kaku. Penambahan *Fly Ash* sebagai campuran bahan untuk stabilisasi tanah berfungsi meningkatkan nilai daya dukung dari tanah yang biasanya memiliki kemampuan yang rendah dalam memikul beban.

Karakteristik *fly ash* sangat tergantung pada asalnya dan metode pengumpulannya. Apabila asal batu bara berbeda maka, karakteristiknya baik ukuran partikelnya maupun komposisi kimianya juga akan berbeda. *Fly ash* yang akan dikumpulkan dengan cara elektrik akan mempunyai ukuran butiran yang lebih halus, kandungan kimia yang lebih tinggi dan unsur carbon yang lebih kecil dibandingkan dengan yang dikumpulkan dengan cara mekanik. Penelitian komposisi kimia dilakukan di Laboratorium Yayasan Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Hasil analisa kimia dari *fly ash* yang memiliki ukuran yang berbeda-beda menunjukkan bahwa unsur-unsur yang tidak terbakar (SiO_2 dan Al_2O_3) cenderung berada pada partikel yang berukuran halus dan sebagai elemen dominan.

Sedangkan unsur karbon lebih dominan pada partikel yang berukuran besar. Dalam penelitian oleh Yus Yudhyantoro (2001) dikatakan bahwa penambahan 15% *fly ash* pada tanah lempung ekspansif mengakibatkan penurunan angka pori, internal damping dan derajat kejenuhan

2.4.3. Mikro Biobakteri

Bakteri adalah suatu organisme yang jumlahnya paling banyak dan tersebar luas dibandingkan dengan organisme lainnya di bumi Serta berukuran mikroskopik (sangat kecil).

Mikro Biobakteri digunakan sebagai inovasi untuk memperbaiki tanah asli yang mempunyai daya dukung kurang, agar menambah kekuatan dari daya dukung tanah tersebut. Biobakteri bersifat ramah lingkungan, tidak beracun dan aman bagi manusia dan makhluk hidup lainnya yang terkait dengan aplikasinya di stabilisasi tanah.

Mikro Biobakteri yang digunakan berbentuk cairan yang terbuat dari bahan organik, protein, polimer yang telah difermentasikan oleh bakteri yang menguntungkan. Cara mikro biobakteri ini memperbaiki tanah yaitu seperti proses kunci dan gembok dengan mengikat partikel tanah satu dengan yang lainnya. Pada penelitian (Bio Soils, PT. Bangun Mukti Abadi) dikatakan bahwa penambahan tanah dengan 7% mikro biobakteri mengalami peningkatan untuk nilai UCS Test yang semula 0,48% menjadi 6,53%, yang berarti meningkatkan kekuatan geser tanah.

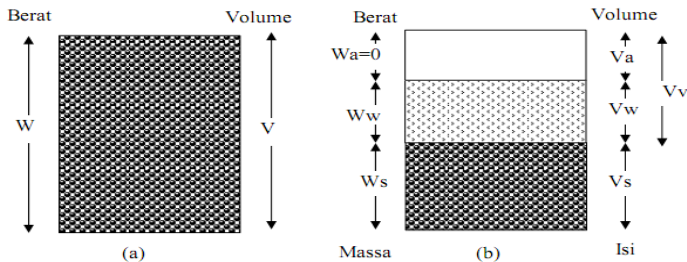
2.5. Pengujian Laboratorium

2.5.1. Karakteristik Fisik Tanah

Karakteristik fisik tanah adalah suatu elemen tanah yang berhubungan dengan massa tanah yang ada, misalnya volume tanah, kadar air dan berat tanah.

2.5.1.1 Pengujian Volumetri – Gravimetri

Dalam keadaan tidak jenuh terdiri dari 3 (tiga) fase yaitu butiran padat, air dan udara. Keberadaan air dan udara biasanya menempati pada ruangan antara butiran pada massa tanah tersebut. Ilustrasi untuk memahami susunan elemen pada massa tanah dapat diasumsikan seperti 2.3 berikut.



(Sumber : Braja M. Das, 1988)

Gambar 2.3 (a) Elemen tanah dalam keadaan asli ;
(b) tiga fase elemen tanah

Pada Gambar 2.3 (a) menunjukkan suatu elemen tanah yang mempunyai volume V dan berat W, sedangkan Gambar 2.3 (b) menunjukkan hubungan volume dan berat dalam tiga fase yang dipisahkan (butiran padat, air, dan udara).

Hubungan volume yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah:

- a. Kadar Air (w) adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) dalam tanah yang dinyatakan dalam persen, dapat dirumuskan :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

- b. Angka Pori (e) adalah perbandingan antara volume pori (V_v) dengan volume butiran padat (V_s) yang dinyatakan dalam desimal , dapat dirumuskan :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots(2.3)$$

- c. Porositas (n) adalah perbandingan antara volume pori (V_v) dengan volume tanah total (V) yang dinyatakan dalam persen atau desimal, dapat dirumuskan :

$$n = \frac{V_v}{V} \dots\dots\dots(2.4)$$

- d. Derajat Kejenuhan (S_r) adalah perbandingan antara volume air (V_w) dengan volume pori (V_v) yang dinyatakan dalam persen, dapat dirumuskan :

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

- e. Berat Volume Kering (γ_d) adalah perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume tanah total (V), dapat dirumuskan :

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \dots\dots\dots(2.6)$$

- f. Berat Volume Butiran Padat (γ_s) adalah perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume butiran padat (V_s), dapat dirumuskan :

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \dots\dots\dots(2.7)$$

- g. Berat jenis (*Specific Gravity*) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (V_w) pada temperatur 4^0 C. Berat dari berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75 (Hardiyatmo, H.C 2001). Nilai-nilai berat jenis dari berbagai tanah dijelaskan dalam Tabel 2.4.

$$G_s = \frac{W_4}{(W_3 + W_4) - W_2} \text{ (tanpa satuan)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Tabel 2.4 Berat Jenis Berbagai Tanah

Macam Tanah	Berat Jenis
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau tak organik	2,62 - 2,68
Lempung organik	2,58 - 2,65
Lempung tak organik	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,8

(Sumber : Hardiyatmo, C.H 2001)

Dimana :

V_v = Volume pori

V_w = Volume air

V_s = Volume solid

V = Volume total ($V = V_v + V_s$)

W_w = Berat air

W_s = Berat solid

γ_t = Berat volume total

γ_w = Berat volume air

γ_d = Berat volume kering

S_r = Derajat kejenuhan

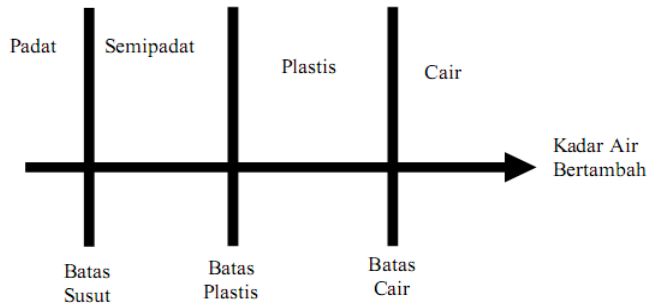
Tabel 2.5 Angka pori, kadar air dan berat volume kering untuk beberapa tipe tanah yang masih dalam keadaan asli

Tipe Tanah	Angka Pori (e)	Kadar air dalam keadaan jenuh (%)	Berat volume kering (kN/m^3)
Pasir lepas dengan butiran seragam (<i>loose uniform sand</i>)	0.8	30	14.5
Pasir padat dengan butiran seragam (<i>dense uniform sand</i>)	0.45	16	18
Pasir berlanau yang lepas dengan butiran bersudut (<i>loose angulargrained silty sand</i>)	0.65	25	16
Pasir berlanau yang padat dengan butiran bersudut (<i>dense angulargrained silty sand</i>)	0.4	15	19
Lempung kaku (<i>stiff clay</i>)	0.6	21	17
Lempung lembek (<i>soft clay</i>)	0,9 - 1,4	30-50	11,5 - 14,5
Tanah (loess)	0.9	25	13.5
Lempung organik lembek (<i>soft organik clay</i>)	2,5 - 3,2	90 - 120	6 - 8
Glacial till	0.3	10	21

(Sumber : Braja M. Das, 1988)

2.5.1.2. Pengujian Konsistensi Tanah (*Atterberg Limit*)

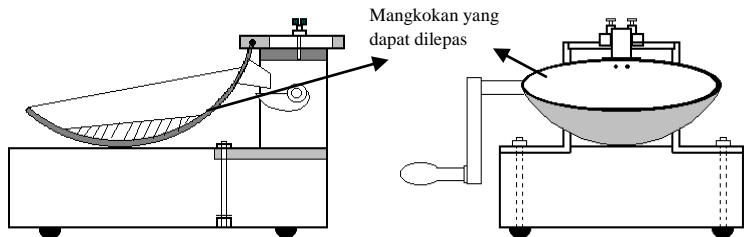
Kadar air di mana transisi dari keadaan semi-padat ke keadaan plastis terjadi dinamakan batas plastis (*plastic limit*), dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*). Batas-batas ini dikenal sebagai batas-batas Atterberg (*Atterberg Limits*). Kedudukan batas-batas konsistensi untuk tanah disajikan dalam Gambar 2.4.



(Sumber : Braja M. Das, 1988)

Gambar 2.4 Batas-batas Atterberg

- a. Batas Cair (*Liquid Limit*) LL, didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis.



(Sumber : Braja M. Das, 1988)

Gambar 2.5 Alat Uji Batas-batas Atterberg

- b. Batas Plastis (*Plastic Limit*) PL, didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.

- c. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*) PI, adalah perbedaan antara batas cair dan batas plastis suatu tanah, atau

$$PI = LL - PL \dots \dots \dots (2.9)$$

2.5.1.3. Pengujian Analisa Butiran Tanah

A. Tes Analisa Ayakan

Analisa ayakan adalah mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui satu set ayakan dimana lubang-lubang ayakan tersebut makin kecil secara berurutan. Untuk standar ayakan di Amerika serikat, nomor ayakan dan ukuran lubang diberikan dalam Tabel. 2.6

Tabel 2.6 Ukuran ayakan standar di Amerika serikat

Ayakan No.	Lubang (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.350
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

(Sumber : Braja M. Das, 1988)

B. Tes Analisa Hidrometer

Analisa hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butir-butir tanah dalam air. Bila suatu contoh tanah dilarutkan dalam air, pertikel-partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada bentuk, ukuran, dan beratnya.

Didalam laboratorium pengujian hidrometer dilakukan dalam silinder pengendap yang terbuat dari gelas dan memakai 50 gram contoh tanah yang kering oven (dikeringkan dalam oven). Silinder pengendap tersebut mempunyai tinggi 18 inci dan diameter 2,5 inci.

Pekerjaan ini dilakukan apabila contoh tanah yang tertahan pada ayakan no.100 dan no.200 cukup banyak. Apabila contoh tanah yang tertahan ayakan No. 100 dan No.200 relatif sedikit, maka pekerjaan diatas perlu dilakukan. Berat tanah yang tertahan diatas pan dapat langsung ditimbang dan dipakai dalam perhitungan.

2.5.2 Karakteristik Mekanik Tanah

Sifat mekanis tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah pada suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanis. Parameter kekuatan tanah terdiri dari :

1. Kohesi (c), gaya tarik antara butiran tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kondisi kerapatan butiran.
2. Bagian butiran yang bersifat gesekan tergantung pada tekanan efektif bidang geser terhadap sudut geser dalam yang terbentuk.
3. Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) , ditentukan dengan menggunakan kalibrasi kertas filter Whatman no. 42

2.5.2.1. Pengujian Proctor Standar

Untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum dilakukan percobaan di

laboratorium yaitu Proctor Compaction Test (*Uji Pematatan Proctor*). Berat volume tanah lembab dari tiap-tiap test:

$$\gamma_{di} = \frac{\gamma_{mi}}{1 + \frac{w_{ci}(\%)}{100}}$$

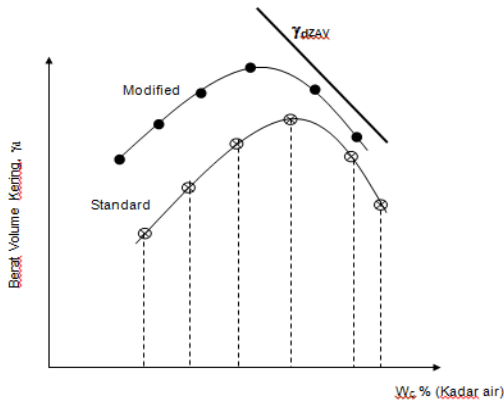
Berat volume tanah lembab dari tiap-tiap test :

$$\gamma_{mi} = \frac{\text{Berat Tanah Lembab}}{\text{Volume Cetakan}} = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

Untuk menentukan berat volume kering dari tanah dimana pori antar butir-butirnya tidak mengandung udara sama sekali disebut γ_{zav} , (ZAV = Zero Air Void, artinya tidak ada udara dalam pori-pori tanahnya = semua pori berisi jenuh air), maka dapat ditentukan :

$$\gamma_{zav} = \frac{\gamma_w}{\frac{w(\%)}{100} + \frac{1}{G_s}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana : $\gamma_w = 1 \text{ gram/cm}^3 = 1 \text{ ton/m}^3 = 9.81 \text{ kN/m}^3$



(Sumber : Petunjuk pengujian tanah di laboratorium dan praktikum mekanika tanah, ITS.)

Gambar 2.6 Kurva Pematatan

2.5.2.2. Pengujian Triaksial

Uji triaksial adalah uji yang paling dapat diandalkan dalam menentukan parameter tegangan geser. Menentukan parameter geser (sudut geser dalam ϕ) dan kohesi (c) suatu contoh tanah di laboratorium. Uji ini telah digunakan secara luas untuk keperluan pengujian biasa ataupun keperluan riset. Untuk menyebabkan terjadinya keruntuhan geser pada benda uji, tegangan aksial (vertikal) diberikan melalui piston vertikal (tegangan ini biasanya juga disebut tegangan deviator). Pembacaan arah vertikal dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu :

1. Dengan memberikan beban mati yang berangsur-angsur ditambah sampai benda uji runtuh.
2. Dengan memberikan deformasi arah aksial (vertikal) dengan kecepatan deformasi yang tetap dengan bantuan gigi mesin / pembebanan hidrolis. Cara ini disebut juga sebagai uji tegangan terkendali. Sample tanah yang diujikan pada pengujian ini mempunyai dimensi diameter 1,5 inci (38,1mm) dan panjang 3 inci (76,2 mm). Prinsip kerja dari pengujian ini adalah dengan cara menutup sample tanah dengan membran karet yang tipis .

Sample tanah diletakan didalam sebuah bejana seperti yang dilihat pada Gambar lampiran dibawah ini. bejana tersebut diisi dengan air atau bisa dengan larutan gliserin, lalu bejana tersebut diberi tekanan hidrostatis pada sample dari segala arah yang digunakan sebagai media penekan ialah udara. Dalam kasus ini tegangan ini juga disebut dengan tegangan penyekap (σ_3). Untuk menyebabkan terjadinya keruntuhan geser pada benda uji , tegangan triaxial dari arah vertikal melalui sebuah piston vertikal da tegangan yang terjadi disebut tegangan deviator (σ_d)_f . Setelah itu didapatkan tegangan utamanya (σ_1) sebesar P (KN). Untuk mencari parameter kekuatan gaser yaitu sudut geser internal (ϕ) tanah dan besarnya kohesi (c) yaitu dapat dilakukan

dengan cara formula ataupun dengan cara grafis yang biasa disebut dengan lingkaran mohr.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (\sigma_d)_f$$

$$(\sigma_d)_f = \frac{P}{A}$$

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

(Sumber : Petunjuk pengujian tanah di laboratorium dan praktikum mekanika tanah, POLBAN)

Gambar 2.7 Prinsip tegangan geser tanah

Keterangan :

- σ_1 = Tegangan utama (kg/cm²)
 $(\sigma_d)_f$ = Tegangan deviator (kg/cm²)
 A = Luas penampang yang ditekan (cm²)
 P = Besar beban (kg)

Dalam pengujian uji geser triaxial, terdapat tiga tipe pengujian yang biasa dilakukan, diantaranya :

1. Consolidated – Drained test atau drainde test (CD test)
2. Consolidated – Undraien test atau Undrainde test(CU test)
3. Unconsolidated – Undrained test atau Undrainde test (UU test)

2.5.2.3. Pengujian UCS (*Unconfined Compression Strength*)

Uji kuat tekan ini adalah suatu percobaan yang dilakukan terhadap. suatu sampel tanah untuk menghitung dan mengetahui nilai kekuatan geser dan kohesi suatu tanah, serta mengukur regangan tanah akibat tekanan arah

vertikal. Percobaan kuat tekan ini dapat mempercepat pemeriksaan kekutan geser suatu tanah kohesif di laboratorium. Uji kuat tekan bebas termasuk hal yang khusus dari uji triaksial *unconsolidated-undrained* (tak terkonsolidasi-tak terdrainase). Kondisi pembebanan sama dengan yang terjadi pada uji triaksial, hanya tegangan selnya nol ($\sigma_3 = 0$).

Pengujian ini hanya cocok untuk jenis tanah lempung jenuh, di mana pada pembebanan cepat, air tidak sempat mengalir ke luar dari benda uji. Tegangan aksial yang diterapkan di atas benda uji berangsur-angsur ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan. Pada saat keruntuhannya, karena $\sigma_3 = 0$ maka :

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_f = \Delta\sigma_f = q_u \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan q_u adalah kuat tekan bebas (*unconfined compression strength*). Secara teoritis, nilai $\Delta\sigma_f$ pada lempung jenuh seharusnya sama seperti yang diperoleh dari pengujian-pengujian triaksial *unconsolidated undrained* dengan benda uji yang sama. Di mana q_u atau c_u adalah kuat geser *undrained* dari tanahnya.

Jadi,

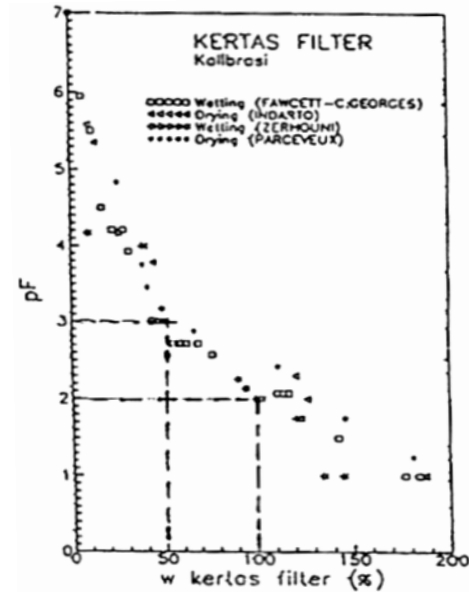
$$\boxed{C_u = q_u/2} \dots\dots\dots(2.12)$$

2.5.2.4. Tegangan Air Pori Negatif dengan Kertas Filter

Prinsip dasar yang digunakan metode kertas filter ini adalah hipotesa bahwa pada suatu titik kesetimbangan (*equilibrium*), tegangan air pori negatif dalam suatu contoh tanah dan dalam suatu kertas filter yang berada dalam kondisi kontak dengan contoh tanah tersebut adalah sama. Dalam pengukuran kertas filter, contoh tanah harus dijaga agar tidak mengalami perubahan suhu yang drastis sehingga kadar

airnya konstan. Metode pengukuran tegangan air pori negatif dengan kertas filter pertama kali diperkenalkan oleh Gardner (1973), ia mengestimasi bahwa tekanan air pori negatif 30 kPa sampai 100.000 kPa dapat diukur dengan metode kertas filter.

Dalam praktek, kertas filter diletakkan pada contoh tanah yang ingin diketahui besarnya tekanan air pori negatif yang bekerja, selanjutnya dibiarkan selama beberapa hari hingga diperkirakan mencapai keseimbangan. Selama itu contoh tanah harus dijaga agar kadar airnya tetap konstan dan temperature sekelilingnya juga dijaga agar tidak mengalami perubahan yang drastis. Untuk contoh tanah yang diberikan siklus pembasahan-pengeringan dapat ditentukan dari kondisi yang paling ekstrim, atau besarnya tekanan air pori negatif dapat langsung diketahui. Misalnya kertas filter yang jenuh, maka tekanan air pori negatif dapat langsung diketahui. Misalnya kertas filter yang jenuh, maka tekanan air pori negatifnya adalah 0. Sedangkan pada kondisi kering sekali (kadar air = 0), tekanan air pori negatifnya mencapai -106 kPa. Untuk mengetahui tekanan air pori negatif terhadap kertas filter yang dipakai, maka setiap tahap perlu dihitung kadar air dari kertas filter yakni dengan menimbang kertas filter tersebut. Selanjutnya dengan menggunakan grafik hasil kalibrasi kertas filter, dapat diketahui besarnya harga tekanan air pori negatif.

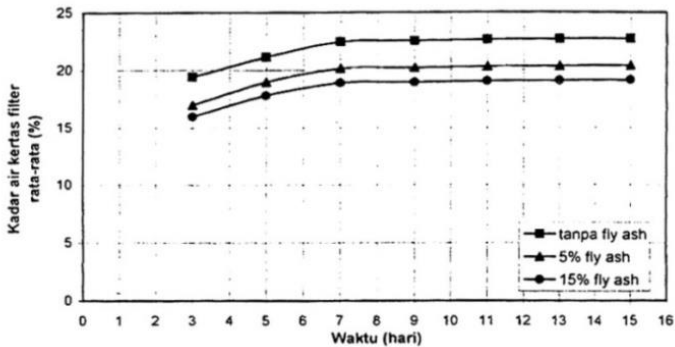


(Sumber : Indarto, 1995.)

Gambar 2.8 Kalibrasi kertas filter jenis Whatman no. 42 oleh beberapa peneliti

Pada Gambar 2.8, dapat dilihat hasil grafik kalibrasi untuk kertas filter tipe Whatman no. 42 dari beberapa peneliti. Agar kertas filter terhindar dari kemungkinan kerusakan serta kemungkinan adanya bakteri, Fawcett dan George (1976) memproses kertas filter dengan mencelupkannya pada larutan 0,005% HgCl, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105⁰F. Sedangkan Parcevaux (1980) dan Indarto (1991) membungkusnya dengan kertasfilter biasa untuk menghindari masuknya kotoran.

Panjaitan (2000) dalam penelitian yang menggunakan kertas filter Whatman no. 42 menemukan bahwa kondisi keseimbangan akan tercapai setelah kertas filter diperam (didiadakan di dalam benda uji) minimal 7 hari. Gambar 2.9, menunjukkan fungsi waktu terhadap kadar air kertas filter. Untuk itulah dalam pengukurannya, contoh tanah harus dijaga agar tidak mengalami perubahan suhu yang drastis sehingga kadar airnya konstan. Penelitian ini juga menerapkan metode yang sama, dan dipilih kertas filter yang dipakai oleh banyak peneliti, yaitu jenis Whatman no. 42.



(Sumber : Panjaitan, 2000)

Gambar 2.9 Fungsi waktu dalam pemeraman benda uji terhadap keseimbangan kadar air kertas filter

2.5.3 Karakteristik Dinamik Tanah

Setiap struktur bangunan harus direncanakan untuk memastikan kestabilan di bawa pengaruh beban statik dan beban dinamik. Das (1993) menyatakan bahwa banyak masalah dalam aplikasi teknik sipil yang membutuhkan pengetahuan tentang sifat-sifat tanah akibat beban dinamis seperti gempa gelombang laut getaran mesin letusan dan beban kendaraan cepat yang berulang-ulang.

Melakukan analisa respon dinamik seperti penurunan seketika deformasi atau penggeseran dari pondasi akibat

beban dinamis diperlukan parameter penting yaitu modulus geser (*shear modulus*). Untuk mendapatkan parameter tersebut ditentukan dengan percobaan di laboratorium, tes di lapangan, atau korelasi empiris. Salah satu tes laboratorium tersebut adalah tes Elemen Bender (*Bender Element Test*). Pada tanah kohesif parameter dinamik tersebut sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti kepadatan dan indeks plastis tanah, tekanan keliling, amplitudo, regangan geser, dan sejarah pembebanan yang sebelumnya dialami tanah tersebut (Hardin dan Drnevich, 1972).

Elemen Bender menggunakan prinsip kecepatan gelombang geser untuk memperoleh modulus geser tanah (G). Alat ini cukup sederhana dan cukup baik untuk menghitung modulus geser tanah pada regangan rendah yakni melalui pengukuran kecepatan perambatan gelombang geser yang melalui sampel tanah

Dengan alat Elemen Bender, kecepatan gelombang geser, V_s dapat dihitung persamaan berikut digunakan untuk menghitung V_s .

$$V_s = \frac{L}{t} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana L adalah jarak efektif atau panjang sampel tanah, sedangkan t adalah waktu tempuh yang diperlukan oleh gelombang geser untuk merambat di tanah. Dengan menggunakan persamaan berikut modulus geser maksimum (G_{maks}) dapat ditentukan.

$$G_{maks} = \rho V^2 \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

- ρ : kerapatan massa tanah = γ/g (gr.dt²/cm⁴)
- V : kecepatan rambat gelombang geser (cm/dt)
- γ : berat volume tanah (gr/cm³)



(Sumber : Dokumentasi pribadi, 2014)

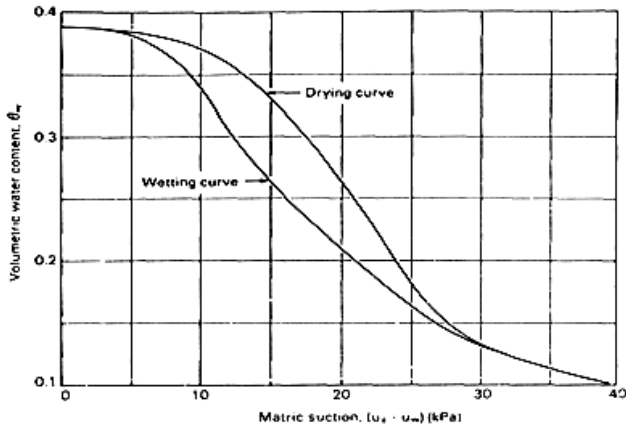
Gambar 2.10 Alat Bender Elemen yang dikembangkan oleh GDS Instrument Belanda

2.6. Proses Pengeringan dan Pembasahan

Proses pengeringan (*drying*) adalah suatu kondisi dimana kadar air di dalam suatu pori-pori tanah mengalami penurunan. Sebaliknya, proses pembasahan (*wetting*) adalah suatu kondisi dimana terjadi peningkatan kadar air di dalam pori-pori suatu massa tanah. Gambar menunjukkan adanya hubungan antara nilai tegangan air pori negatif (*suction*) dan kadar air pada suatu tanah yang membentuk suatu pola *hysteris* dan merupakan bentuk khas dari kurva pengeringan dan pembasahan (*drying-wetting curve*) suatu tanah. Kurva yang tidak berhimpit tersebut disebabkan karena tanah bukan material yang bersifat negatif.

Dari Gambar ini dapat diambil suatu kesimpulan bahwa proses pengeringan akan menyebabkan meningkatnya air pori negatif dan sebaliknya proses pembasahan dapat menyebabkan mengecilnya tegangan air pori negatif. Proses pembasahan dilakukan dengan meneteskan sampel tanah setetes demi setetes dalam rentang waktu tiga puluh menit sampai tanah mencapai kadar air yang diinginkan. Hal ini dilakukan

dengan tujuan agar air dapat meresap ke dalam tanah. Proses pengeringan dilakukan dengan mengangin-anginkan sampel tanah sampai tanah mencapai kadar air yang diinginkan.

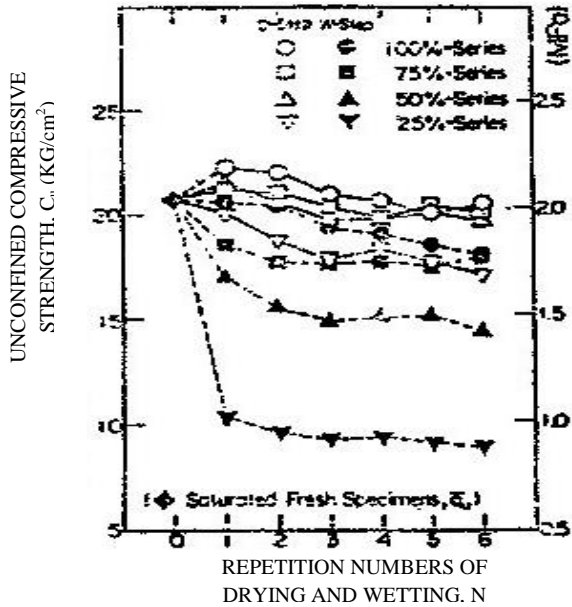


(Sumber : Frenlund dan Rahardjo, 1993)

Gambar 2.11 Bentuk khas kurva pengeringan dan pembasahan

Sedangkan Maekawa dan Miyakita, juga menyimpulkan bahwa jumlah pengulangan siklus pengeringan-pembasahan dan tingkat pengeringan mempengaruhi kekuatan geser tanah

Dari penelitian ini, juga menunjukkan bahwa jumlah siklus pengeringan-pembasahan memperbesar perubahan parameter tanah dan terlihat pada siklus ke-5 dan 6 parameter tanah enderung konstan dan berusaha menunjukkan pengaruh siklus pengeringan-pembasahan dan pengulangannya terhadap kekuatan dinamik tanah.



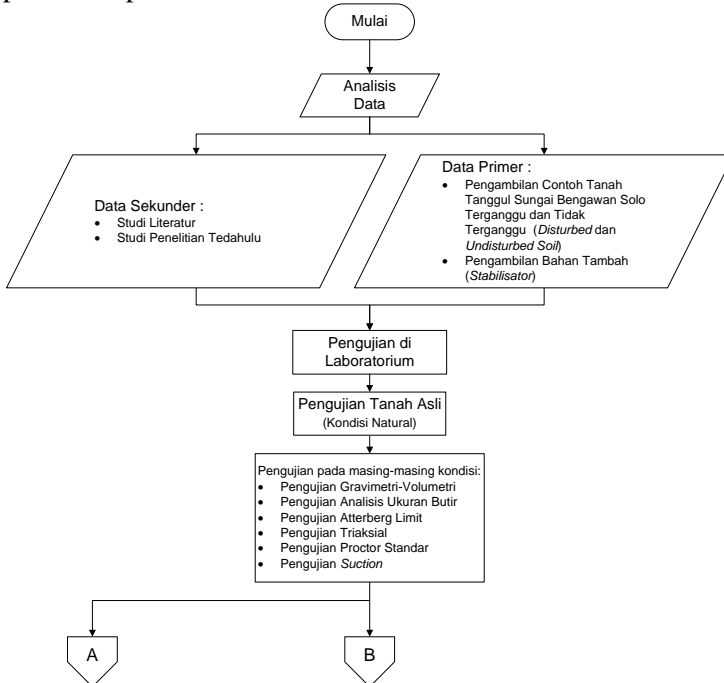
(Sumber : Maekawa dan Miyakata, 1991)

Gambar 2.12 Hubungan antara *unconfined compressive strength* dan pengulangan siklus pengeringan - pembasahan.

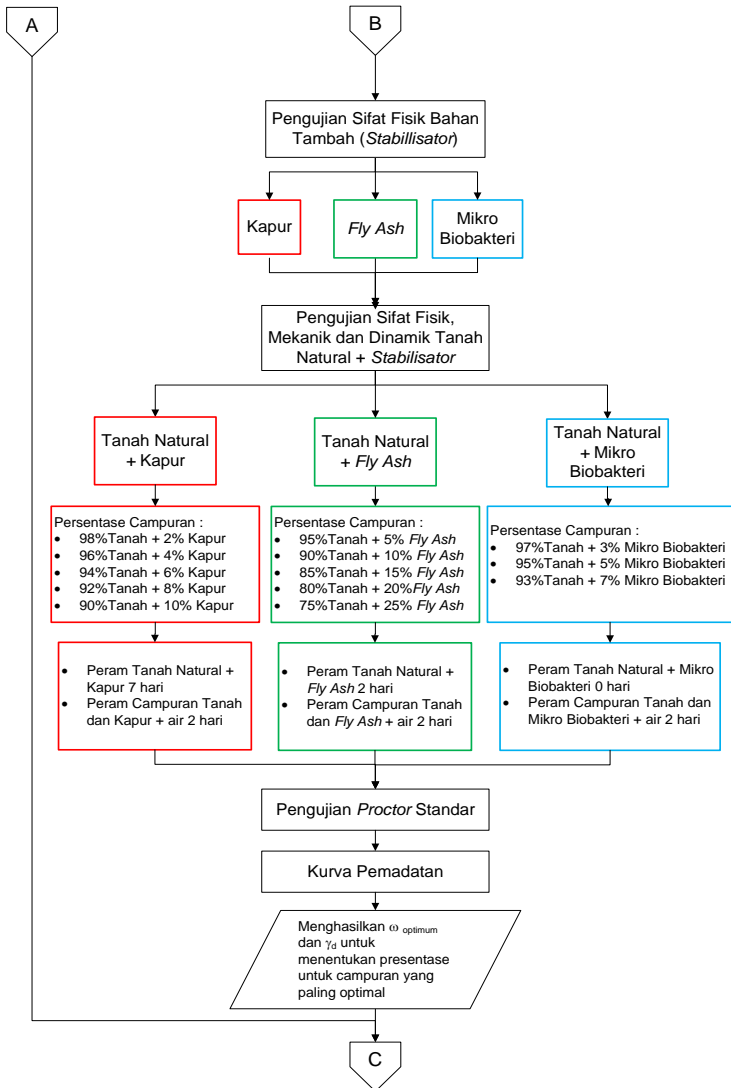
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bagan Alir Penelitian

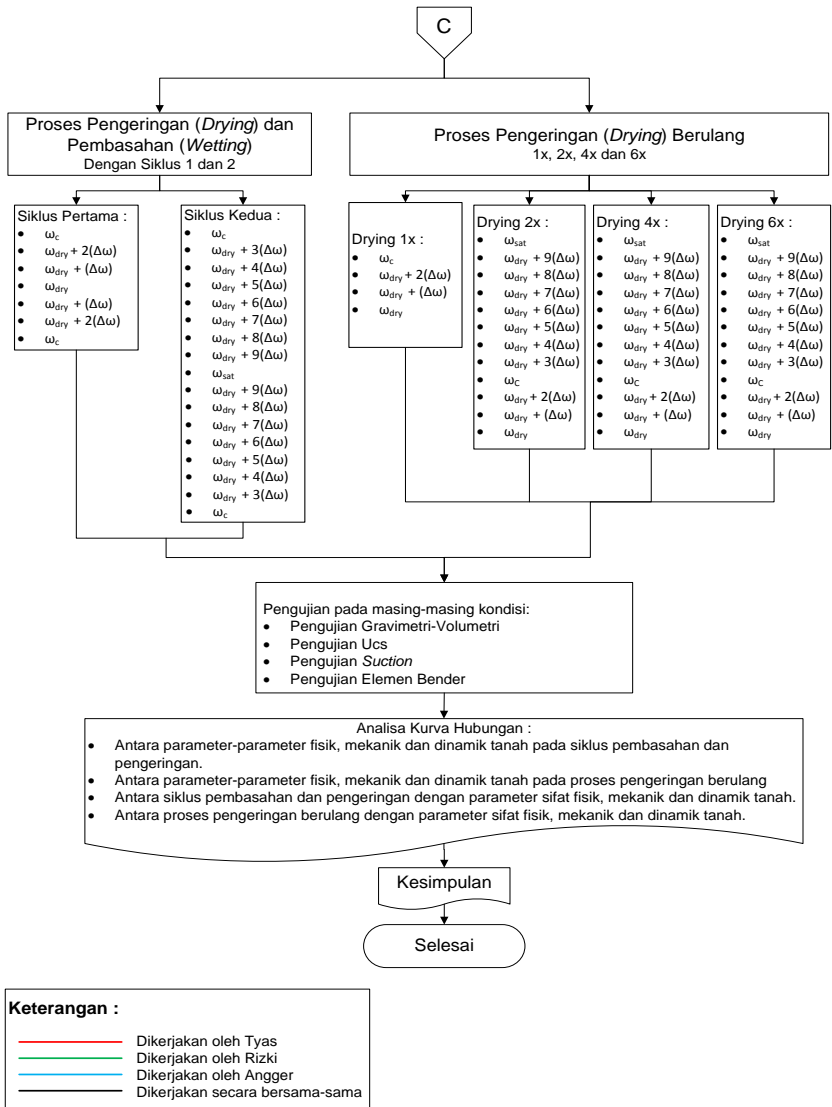
Penelitian ini menggunakan benda uji dari tanah permukaan tanggul dan dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil – ITS. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan kimia terhadap proses pengeringan dan pembasahan untuk karakteristik fisik, mekanik serta dinamik. Sesuai bagan alir penelitian pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1a Bagan alir penelitian (*bersambung*)



3.1b Bagan alir penelitian (*bersambung*)



Gambar 3.1c Bagan alir penelitian (bersambung)

3.2. Tahapan Awal Penelitian

Proses tahapan awal penelitian dilakukan dengan mencari dan mengumpulkan data-data yang diperlukan untuk mengerjakan tugas akhir. Data-data tersebut berupa data sekunder dan data primer. Untuk data sekunder berupa studi literatur dan studi terdahulu. Sedangkan untuk data primer berupa data tanah yang akan digunakan untuk penelitian nantinya.

3.3. Tahapan Pengambilan Bahan

Proses tahapan pengambilan bahan dilakukan dengan mengambil bahan di lokasi penelitian yaitu tanah di tanggul Sungai Bengawan Solo. Bahan yang diambil berupa tanah tidak terganggu (*undisturbed*) dan tanah terganggu (*disturbed*) pada lokasi permukaan tanggul sungai Bengawan Solo.

3.4. Tahapan Pembuatan Benda Uji

Proses tahapan pembuatan benda uji dilakukan dengan cara membuat beberapa benda uji yang dibedakan atas dua benda uji. Yaitu benda uji tanah natural dan benda uji tanah natural yang telah diberi bahan stabilisator berupa kapur, *fly ash* dan mikro biobakteri. Untuk benda uji tanah natural menggunakan tanah tidak terganggu (*undisturbed*) yang langsung dicetak setelah dikeluarkan dari tabung Shelby. Sedangkan untuk tanah natural yang distabilisasi menggunakan tanah terganggu (*disturbed*) yang dicampur dengan bahan stabilisator. Untuk benda uji dengan tanah natural yang diberi bahan stabilisator menggunakan presentase perbandingan yaitu:

3.4.1. Perbandingan Tanah Natural dan Kapur

Perbandingan antara tanah dan kapur yang digunakan mengacu pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Rianto, Fikryah, dan Laksito (2007). Setelah pencampuran tanah dengan kapur dilakukan pemeraman selama 7 hari, kemudian campuran tersebut diberi air, lalu diperam selama 2 hari. Berikut adalah persentase pencampuran antara tanah dengan kapur :

- a. 98 % tanah natural + 2 % kapur
- b. 96 % tanah natural + 4 % kapur
- c. 94 % tanah natural + 6 % kapur
- d. 92 % tanah natural + 8 % kapur
- e. 90 % tanah natural + 10 % kapur

3.4.2. Perbandingan Tanah Natural dan *Fly Ash*

Perbandingan antara tanah dan *fly ash* yang digunakan mengacu pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Yus Yudhiantoro (2001). Setelah pencampuran tanah dengan *fly ash* dilakukan pemeraman selama 2 hari, kemudian campuran tersebut diberi air, lalu diperam selama 2 hari. Berikut adalah persentase pencampuran antara tanah dengan *fly ash* :

- a. 95 % tanah natural + 5 % *fly ash*
- b. 90 % tanah natural + 10 % *fly ash*
- c. 85 % tanah natural + 15 % *fly ash*
- d. 80 % tanah natural + 20 % *fly ash*
- e. 75 % tanah natural + 25 % *fly ash*

3.4.3. Perbandingan Tanah Natural dan Mikro Biobakteri

Perbandingan antara tanah natural dan mikro biobakteri yang mengacu pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh PT. Bangun Mukti Abadi. Mikro biobakteri

dicampur terlebih dahulu dengan air, kemudian campuran tersebut dicampurkan dengan tanah lalu diperam selama 2 hari. Berikut adalah persentase pencampuran antara tanah dengan mikro biobakteri :

- a. 97 % tanah natural + 3 % mikro biobakteri
- b. 95 % tanah natural + 5 % mikro biobakteri
- c. 93 % tanah natural + 7 % mikro biobakteri

3.5. Tahapan Siklus Pengeringan dan pembasahan Serta Proses Pengeringan Berulang

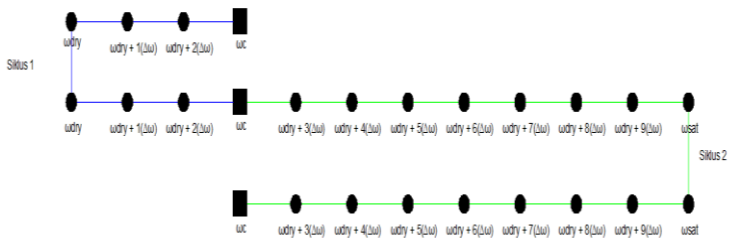
Dikarenakan kami telah salah dalam pemahaman terhadap skema proses siklus pengeringan dan pembasahan. Maka, pada akhirnya solusi yang kami pakai dalam memperbaiki kesalahan kami dengan memisahkan skema menjadi 2 proses. Pertama, proses siklus pengeringan dan pembasahan (siklus pertama dan kedua). Kedua, proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali dan 6 kali). Tujuan kami memisahkan skema tersebut menjadi 2 proses, agar hasil data yang telah kami uji dapat dipakai.

Proses siklus pengeringan (*drying*) dan pembasahan (*wetting*) dilakukan secara bertahap berdasarkan persentase pengurangan dan penambahan kadar air pada siklus ke-1, dan siklus ke-2. Untuk proses siklus pengeringan dan pembasahan, pada siklus pertama pengeringan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100% dan pembasahan dimulai dari kondisi kering 100% hingga kondisi inisial. Kemudian pada siklus kedua pembasahan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi jenuh 100% dan pengeringannya dimulai dari kondisi jenuh 100% hingga kondisi inisial.

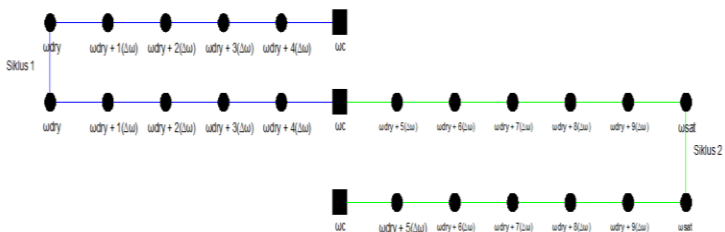
Pada proses pengeringan 1 kali dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100%, sedangkan untuk proses pengeringan 1 kali, 2 kali, 4 kali dan 6 kali dimulai dari

kondisi jenuh 100% hingga kondisi kering 100%. Pada proses ini dilakukan juga proses pembasahan berulang tetapi tidak dilakukan pengujian.

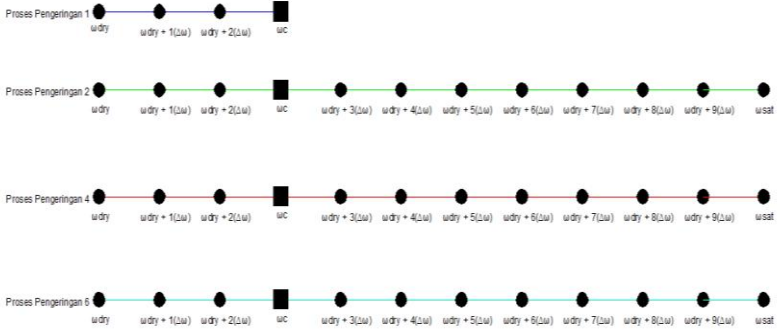
Pada proses pengeringan dan pembasahan untuk kondisi inisal tanah pada tanah natural yang ditambah *stabilisator*, tanah yang digunakan dalam keadaan $w_{optimum}$ yang didapat dari pengujian pemadatan Proctor.



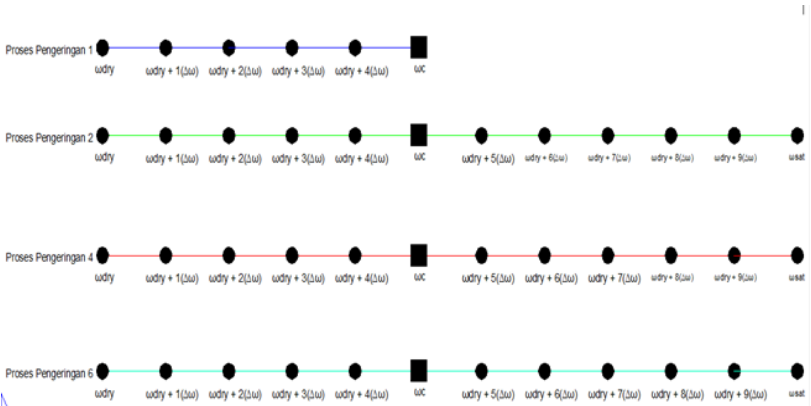
Gambar 3.2 Skema proses pengeringan dan pembasahan tanah natural



Gambar 3.3 Skema proses pengeringan dan pembasahan tanah + *stabilisator*



Gambar 3.4 Skema proses pengeringan berulang tanah natural



Gambar 3.5 Skema proses pengeringan berulang tanah + stabilisator

Untuk menentukan nilai kadar air pada saat *drying* 100% adalah dengan cara mengeringkan benda uji kondisi kering udara selama 7 hari dan kondisi kering oven bersuhu 30° selama 7 hari. Jadi total hari untuk mendapatkan nilai kadar air pada saat *drying* 100% adalah selama 14 hari, sehingga didapat $w_{dry} = 8.418 \%$. Sedangkan untuk

mendapatkan nilai kadar air pada saat kondisi *wetting* 100% akan dijelaskan seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } e &= 1.187 \\ G_s &= 2.737 \\ S_r &= 100 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } S_r \times e &= \omega_{\text{sat}} \times G_s \\ \omega_{\text{sat}} &= \frac{e}{G_s} \times S_r \\ &= \frac{1.187}{2.737} \times 100\% \\ &= 43.362\% \end{aligned}$$

Maka, kadar air tanah inisial kondisi *wetting* 100% adalah 43.362%.

Setelah didapat nilai kadar air pada saat *drying* 100% dan *wetting* 100%, maka nilai-nilai kadar air tersebut dikurangkan untuk melihat seberapa besar selisih nilai kadar air antara keduanya, yaitu 34.944%. Kemudian selisih kadar air tersebut akan dibagi sepuluh, dikarenakan rencana titik kadar air dari *drying* 100% hingga *wetting* 100% adalah 11 titik. Untuk lebih lengkapnya akan dijelaskan seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } \omega_{\text{dry}} &= 8.418 \% \\ \omega_c &= 16.912 \% \\ \omega_{\text{sat}} &= 43.362 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Selisih kadar air } (\Delta\omega_{\text{total}}) &= \omega_{\text{sat}} - \omega_{\text{dry}} \\ &= 43.362 - 8.418 \\ &= 34.944\% \end{aligned}$$

Sehingga, selisih kadar air tiap titik adalah :

$$\begin{aligned} \text{Selisih kadar air tiap titik } (\Delta\omega) &= \frac{\Delta\omega_{\text{total}}}{10} \\ &= \frac{34.944}{10} \\ &= 3.494\% \end{aligned}$$

Jadi, selisih kadar air tiap titik adalah 3.494%

Berikut adalah contoh perhitungan berat air (W_w) dan berat kering (W_s) suatu benda uji.

Diketahui : Berat total, W_t = 152.593 gr
Kadar air, ω_c = 16.912 %

Sehingga ;

$$\begin{aligned}\omega_c &= \frac{W_w}{W_t - W_w} \times 100\% \\ 16.912 &= \frac{W_w}{152.593 - W_w} \times 100\% \\ W_w &= 22.074 \text{ gr} \\ \text{Berat kering benda uji, } W_s &= W_t - W_w \\ &= 152.593 - 22.074 \\ &= 130.519 \text{ gr}\end{aligned}$$

Maka, berat kering benda uji tanah inisial adalah 130.519 gr.

3.6. Tahapan Pengujian Benda Uji

Proses tahapan pengujian ini meliputi proses pengeringan dan pembasahan, serta pengujian untuk mengetahui sifat fisik, mekanik serta dinamik. Proses-proses pengujian yaitu antara lain:

3.6.1. Pengujian Sifat fisik Tanah

Pengujian sifat fisik tanah dilakukan dengan menggunakan alat uji standar di laboratorium Teknik Sipil. Pengujian sifat fisik tanah meliputi :

3.6.1.1. Uji *Specific Gravity*

Pengujian berat jenis (*specific gravity*) dilakukan dengan menggunakan standar uji ASTM D 854-72. Nilai *specific gravity* (G_s) yang diperoleh akan membantu dalam menentukan jenis tanah yang diuji.

3.6.1.2. Uji Kadar Air

Pengujian kadar air (*water content*, w_c) berdasarkan standar uji ASTM D 2216-71 yang bertujuan untuk menentukan berat air terhadap berat butiran tanah natural.

3.6.1.3. Uji Atterberg Limit

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai batas perubahan wujud tanah. Uji ini meliputi :

a. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Merupakan kadar air dimana suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi keadaan padat.

b. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Merupakan kadar air minimum dimana suatu tanah masih dalam keadaan elastis.

c. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Untuk menentukan kadar air dari contoh tanah pada batas mengkerut, di mana sudah tidak ada lagi pengurangan volume apabila air diuapkan atau dikeringkan

d. Indeks Plastis (IP)

Merupakan nilai batas cair yang dikurangi nilai batas plastis.

3.6.1.4. Uji Analisis Saringan dan Hidrometer

Acuan standar yang digunakan pada pengujian analisis saringan ASTM D422-63 dan hidrometer ASTM D 1140-54. Kedua pengujian ini dilakukan untuk mengetahui gradasi ukuran butiran tanah.

3.6.2. Pengujian Sifat Mekanik Tanah

Pengujian sifat mekanik tanah dilakukan dengan menggunakan alat uji standar di laboratorium Teknik Sipil. Pengujian sifat fisik tanah meliputi :

3.6.2.1. Pengujian Triaksial (*Unconsolidated Undrained*)

Pengujian Triaksial (*Unconsolidated Undrained*) dilakukan untuk mendapatkan harga kohesi tanah (c_u) serta mendapatkan sudut geser dalam tanah (ϕ), yang mana kohesi adalah gaya tarik menarik antara molekul yang sama jenisnya. Gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan yang lain tidak dapat menempel karena molekulnya saling tolak menolak. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan standar uji ASTM D 3080-72 dengan menggunakan Triaksial tipe *Unconsolidated Undrained* (UU).

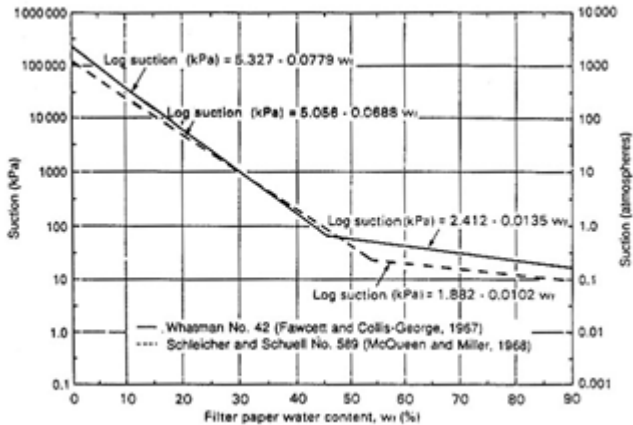
3.6.2.2. Pengujian *Unconfined Compression Strength* (UCS)

Uji kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Test*) merupakan cara yang dilakukan untuk menghitung dan mengetahui nilai kekuatan geser dan kohesi suatu tanah. Uji kuat tekan ini mengukur seberapa kuat suatu tanah menerima tekanan yang diberikan sampai tanah tersebut terpisah dari butiran-butirannya (hancur), juga untuk mengukur regangan tanah akibat tekanan arah vertikal tersebut.

3.6.2.3. Pengukuran Tegangan Air Pori Negatif (*suction*)

Tegangan air pori negatif ditentukan dengan menggunakan kurva kalibrasi kertas filter Whatman no. 42 dengan ukuran 1.50 cm x 1.50 cm yang diletakkan diantara dua buah benda uji elemen bender dan gravol.

Tegangan air pori negatif ditentukan dengan menggunakan kurva kalibrasi kertas filter whatman no. 42 dari Fawcett dan Collis (1967), dengan terlebih dahulu menentukan kadar air kertas filter setelah kondisi keseimbangan tercapai, lebih kurang 7 hari (Panjaitan, 2000). Kurva yang tertera pada Gambar 3.6 dibawah ini menggambarkan hubungan antara kadar air kertas filter dengan tegangan air pori negatif.



(Sumber : Fredlund dan Rahardjo, 1993)

Gambar 3.6 Skema kurva kalibrasi kertas filter jenis Whatman no.42 dan jenis Schleicher dan Schuell no.589

3.6.2.4. Pengujian Pemadatan Proctor

Pengujian pemadatan Proctor standar bertujuan untuk mendapatkan kurva pemadatan yaitu hubungan antara kadar air (ω) dan berat volume kering tanah (γ_d). Pengujian ini menggunakan acuan standar ASTM D 698-70. Berdasarkan kurva pemadatan tersebut dapat ditentukan harga γ_{dmax} (*maximum dry density, MDD*) dan ω_{opt} (*optimum moisture content, OMC*). Harga ω_{opt} dan γ_{dmax} tersebut akan digunakan dalam pengujian elemen bender dan tegangan air pori negatif.

3.6.3. Pengujian Sifat Dinamik Tanah

Penelitian parameter dinamik dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat uji Elemen Bender (*Bender Element Test*). Spesifikasi benda uji untuk uji Elemen Bender adalah silinder berdiameter 4,91 cm dan tinggi 10,92 cm (Ladd 1978), akan tetapi karena keterbatasan

kemampuan alat yang dimiliki maka dalam penelitian ini benda uji dibuat bentuk silinder berdiameter $\pm 3,81$ cm dan tinggi $\pm 3,00$ cm.

Untuk memperoleh akurasi hasil pengujian dilakukan dengan beberapa kalibrasi, diantaranya :

1. Kalibrasi komponen elektronik

Masing-masing komponen dari alat uji Elemen Bender telah dilakukan kalibrasi terhadap komponen elektroniknya sebelum digunakan

2. Kalibrasi dengan cara meng-nolkan alat

Kalibrasi yang kedua adalah dengan cara membuat gelombang dalam posisi nol. Hal ini dengan cara mendekatkan sensor pengirim dan penerima, sehingga gelombang yang dikirim langsung diterima oleh sensor penerima tanpa ada jeda waktu.

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS HASIL PENGUJIAN

Hasil Pengujian tugas akhir ini dilakukan terhadap tanah tanggul Sungai Bengawan Solo *Cross Section* 0±000 desa Semambung, Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Pengujian tanah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya.

Setelah memperoleh data hasil pengujian, akan dibahas beberapa hubungan antara parameter pada tanah asli (natural) maupun tanah natural yang distabilisasi dengan bahan tambah (*stabilisator*). Adapun *stabilisator* yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah Abu Terbang (*Fly Ash*), Kapur, dan Mikro Biobakteri. Pengaruh siklus pembasahan pengeringan (pertama dan kedua) dan proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap perubahan parameter fisik, mekanik, dan dinamik tanah.

Hasil-hasil pengujian akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang menunjukkan hubungan antar parameter-parameter yang akan dibahas. Pola perubahan dari tabel dan kurva tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui fenomena yang terjadi dan menjelaskan kemungkinan yang menjadi penyebabnya.

4.1. Hasil Pengujian Tanah Natural

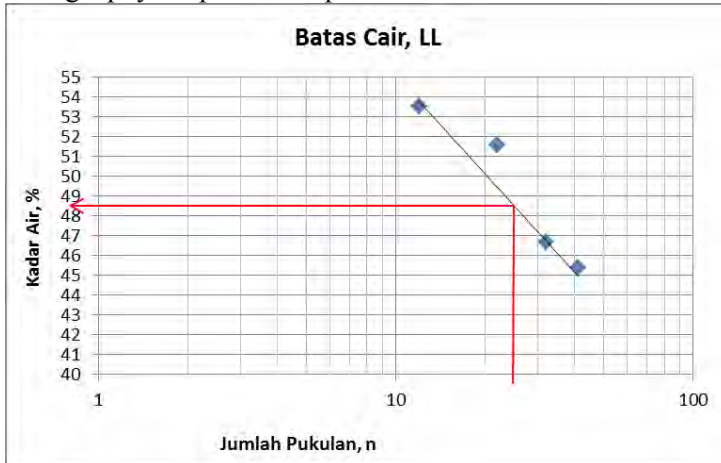
4.1.1. Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik meliputi pengujian batas-batas Atterberg (*Atterberg Limits*) dan pengujian analisis ukuran butiran (analisis ayakan dan analisis hidrometer). Berikut adalah penjelasannya.

4.1.1.1. Pengujian Atterberg Limit

Pengujian batas-batas *atterberg* (*atterberg limits*) bertujuan untuk mengetahui batas cair, batas plastis, dan

indeks plastis suatu tanah. Hasil pengujian dapat dilihat selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 4.1 dibawah ini.



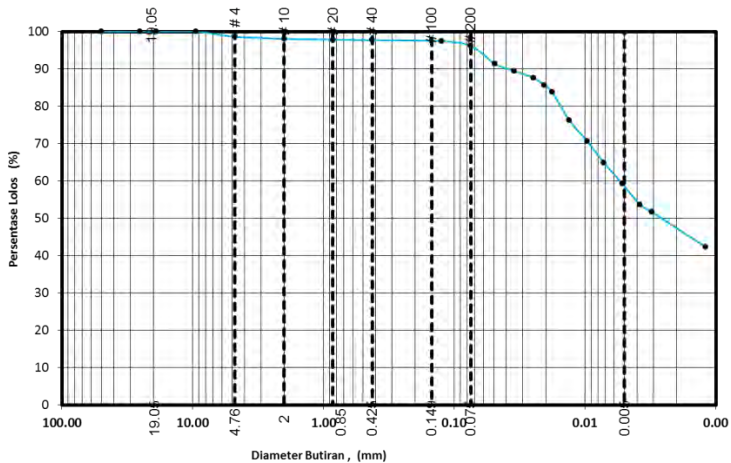
(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.1 Grafik hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural.

Dari pengujian Atterberg Limit didapatkan nilai batas cair (LL) sebesar 56%, batas plastis (PL) sebesar 19,27%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 36,73%.

4.1.1.2. Pengujian Analisis Ukuran Butir

Hasil dari pengujian analisa ukuran butiran (analisa ayakan dan analisa hidrometer) dapat dilihat selengkapnya pada grafik dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.2 Grafik hasil pengujian analisa ukuran butiran tanah natural.

Dari pengujian analisa ukuran butiran didapatkan nilai fraksi kerikil sebesar 1.37%, fraksi pasir sebesar 2,44%, fraksi lanau sebesar 53.91%, dan fraksi lempung sebesar 42.28%.

4.1.1.3. Klasifikasi Tanah

Berdasarkan dari nilai batas-batas Atterberg dan nilai analisa ukuran butiran diatas, tanah tanggul Sungai Bojonegoro, *Cross Section* (0±000) ini dapat diklasifikasikan pada tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Tabel klasifikasi tanah natural

Klasifikasi Tanah	Sifat Fisik
	Tanah Natural
USCS	CH
AASHTO	A-7-6

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

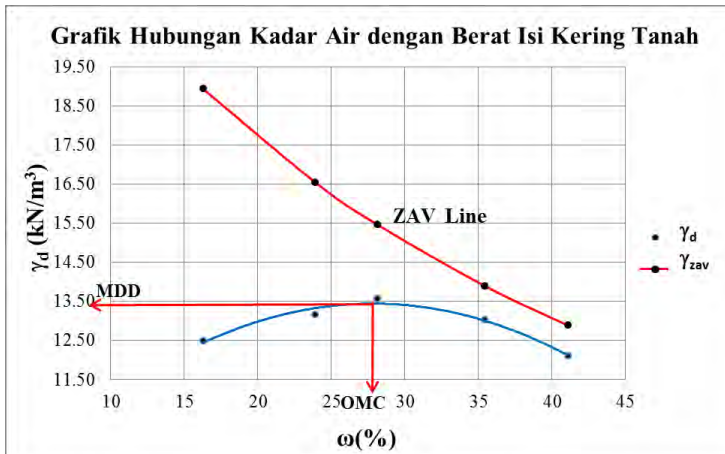
Dari tabel 4.1 diatas disimpulkan bahwa menurut AASHTO, tanah natural tersebut merupakan tanah lempung yang lebih bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan volume besar. Sedangkan menurut USCS tanah natural tersebut merupakan tanah lempung organik dengan plastisitas tinggi.

4.1.2. Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik meliputi pengujian pemadatan *proctor* (*Proctor Compaction Test*), tegangan air pori negatif (*Suction*) dan pengujian triaksial.

4.1.2.1. Pengujian Pemadatan Proctor Standar

Pengujian pemadatan Proctor dimaksudkan untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum. Pada saat pengujian, dilakukan juga pengukuran tegangan air pori negatif (*suction*) setiap benda uji menggunakan kertas filter tipe whatman no.42 yang diletakkan pada 1/3 dan 2/3 tinggi benda uji. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya tegangan air pori negatif tanah pada tingkat kepadatan maksimum. Hasil pengujian pemadatan Proctor (*Proctor Compaction Test*) dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini.



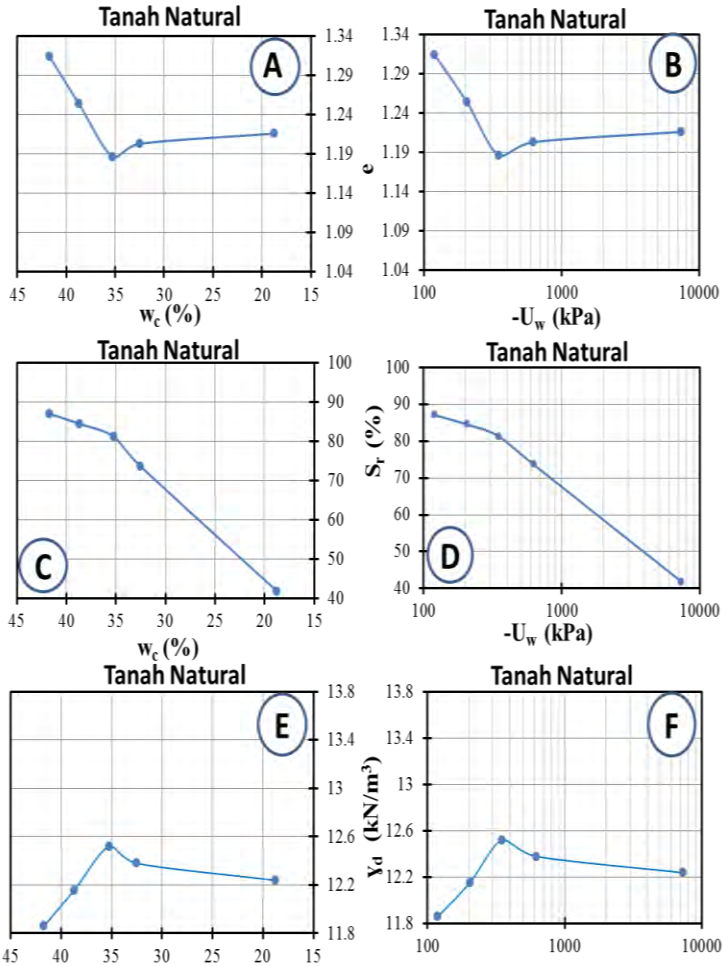
(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.3 Grafik hubungan kadar air optimum (ω_c) dengan berat volume kering maksimum (γ_d) tanah natural.

Dari Gambar 4.3 diatas, hasil pemadatan Proctor tanah natural didapatkan nilai berat volume kering maksimum (γ_{dmaks}) sebesar 1.34 kN/m^3 dan nilai kadar air optimumnya ω_{opt} adalah 27%.

4.1.2.2. Analisa Hasil Pengujian Pemadatan Proctor Standar

Pengujian pemadatan Proctor standar ini selain untuk mendapatkan nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum, juga untuk mendapatkan harga tegangan air pori negatif, angka pori, dan derajat kejenuhan. Angka pori dan derajat kejenuhan diperoleh dengan pengujian volumetri. Hasil-hasil pengujian *suction* dan volumetri dapat dilihat selengkapnya pada Gambar 4.4 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.4 Grafik hubungan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, berat volume kering, dan tegangan air pori negatif hasil pengujian pada benda uji tanah natural.

A. Hubungan Antara Angka Pori Dengan Kadar Air

Gambar 4.4A memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai angka pori untuk benda uji tanah natural. Angka pori adalah parameter yang sangat berpengaruh terhadap kepadatan tanah, semakin kecil angka pori maka kepadatan tanah akan semakin tinggi, begitu sebaliknya. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai angka pori akan mengecil, namun pada saat mencapai nilai kadar air optimum, nilai angka pori akan membesar.

B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif Dengan Angka Pori

Gambar 4.4B memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai angka pori untuk benda uji tanah natural. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai angka pori akan mengecil, namun pada saat mencapai nilai tegangan air pori negatif optimum, nilai angka pori akan membesar.

C. Hubungan Antara Kadar Air Dengan Derajat Kejenuhan

Gambar 4.4C memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai derajat kejenuhan untuk benda uji tanah natural. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai derajat kejenuhan akan membesar.

D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif Dengan Derajat Kejenuhan

Gambar 4.4D memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai derajat kejenuhan untuk benda uji tanah natural. Secara umum

terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai derajat kejenuhan akan membesar.

E. Hubungan Antara Kadar Air Dengan Berat Volume Kering

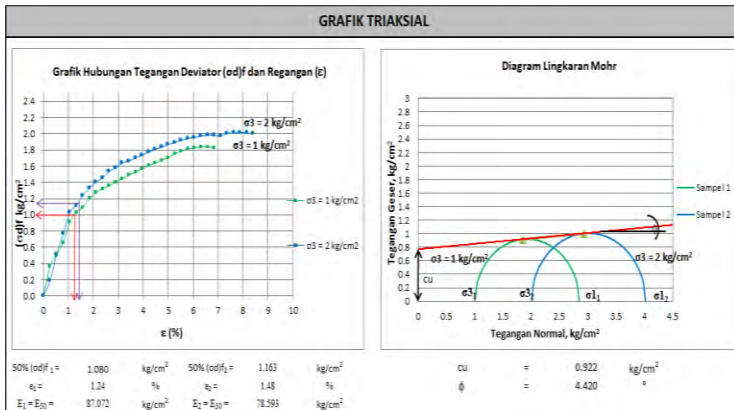
Gambar 4.4E memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai berat volume kering untuk benda uji tanah natural. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai berat volume kering membesar, namun pada saat mencapai nilai kadar air optimum, nilai berat volume kering akan mengecil.

F. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif Dengan Berat Volume Kering

Gambar 4.4F memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai berat volume kering untuk benda uji tanah natural. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai berat volume kering membesar, namun pada saat mencapai nilai tegangan air pori negatif optimum, nilai berat volume kering akan mengecil.

4.1.2.3. Pengujian Triaksial

Pengujian Triaksial dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter kekuatan geser tanah (kohesi dan sudut geser). Dimana kekuatan geser adalah gaya perlawanan internal oleh butir-butir tanah per satuan luas terhadap desakan atau tarikan sepanjang bidang geser dalam tanah (Das, 1993). Gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan yang lainnya tidak dapat saling menempel karena molekulnya saling tolak menolak. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D 3080-72 dengan menggunakan Triaksial tipe *Unconsolidated Undrained* (UU). Hasil pengujian Triaksial tipe UU dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini.



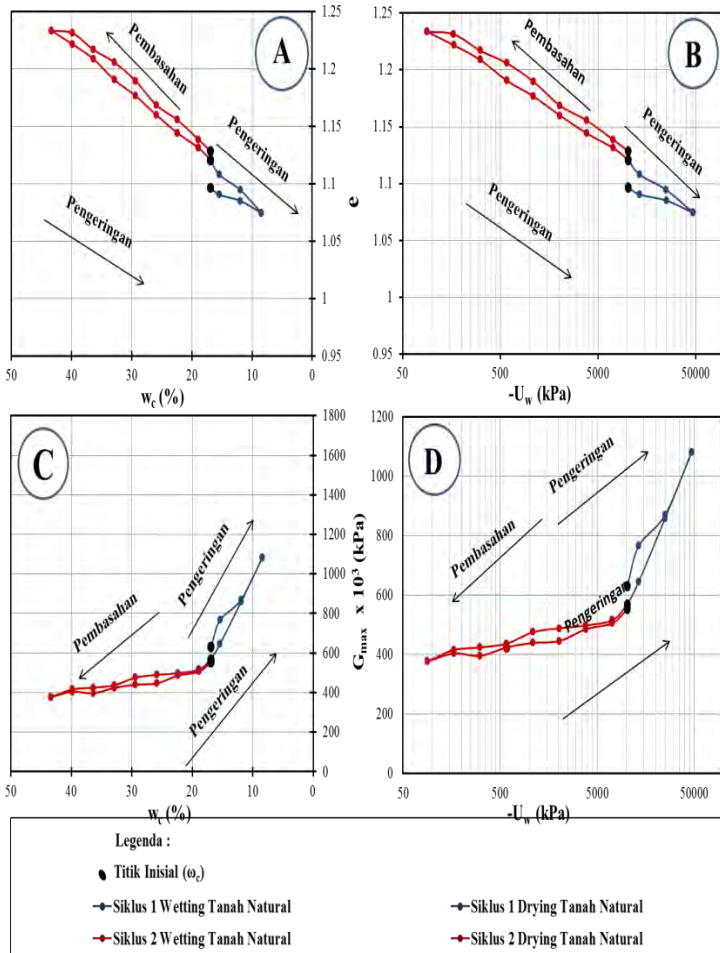
(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.5 Grafik Triaksial tanah natural.

Dari pengujian Triaksial tipe UU didapatkan nilai kohesi (C_u) sebesar $92,2 \text{ kN/m}^2$, sudut geser dalam (ϕ) sebesar $4,42^\circ$, Modulus Elastisitas ($E_1 = E_{50}$) sebesar $8707,2 \text{ kN/m}^2$, dan Modulus Elastisitas ($E_2 = E_{50}$) sebesar $7859,3 \text{ kN/m}^2$.

4.1.3. Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Dan Pembasahan (Siklus Pertama Dan Kedua)

Proses pengeringan dan pembasahan akan mempengaruhi parameter fisik, mekanik, dan dinamik tanah. Dalam hal ini pada siklus pertama, pengeringan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100% dan pembasahan dimulai dari kondisi kering 100% hingga kondisi inisial. Kemudian pada siklus kedua, pembasahan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi basah 100% (jenuh) dan pengeringan dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi inisial. Berikut grafik pengaruh pengeringan dan pembasahan pada siklus pertama dan kedua tanah natural.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.6 Pengaruh siklus pengerinan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural.

4.1.3.1. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.6A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural, menyebabkan nilai kadar air dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural siklus pertama sebesar 16,913%, dan pada siklus kedua sebesar 16,921% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,046%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural siklus pertama sebesar 1,097, dan pada siklus kedua sebesar 1,129 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan angka pori sebesar 2,933%.

4.1.3.2. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.6B adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif semakin mengecil dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai nilai tegangan air pori negatif tanah natural siklus pertama sebesar 10221,538 kPa, dan pada siklus kedua sebesar 10206,881 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 0,143%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural siklus pertama sebesar 1,097, dan pada siklus kedua sebesar 1,129 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan angka pori sebesar 2,933%.

4.1.3.3. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

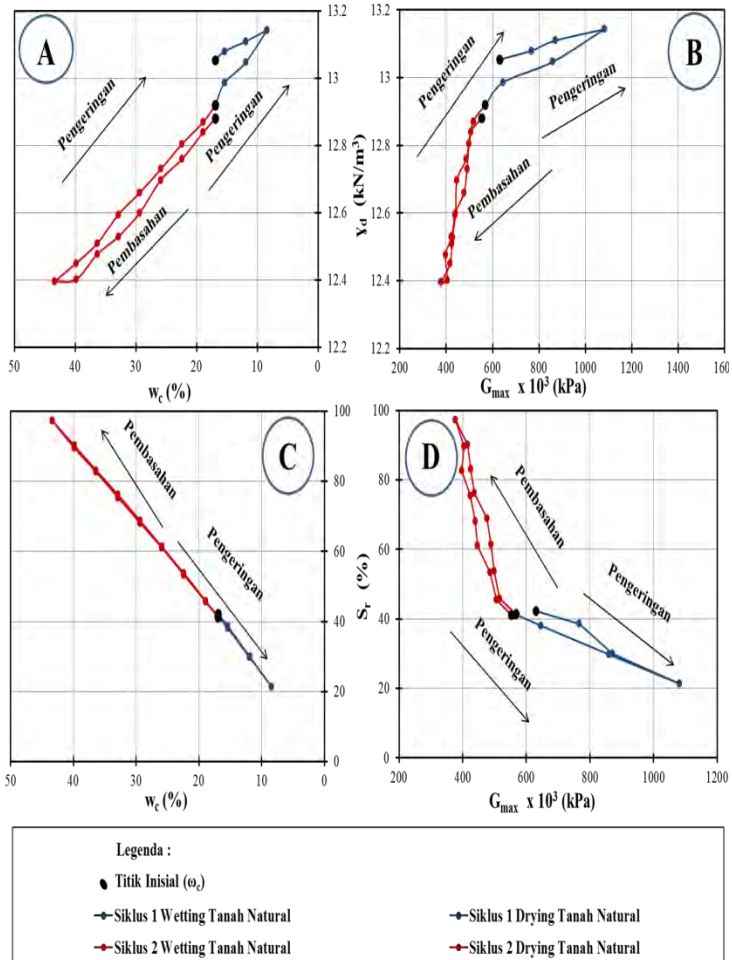
Gambar 4.6C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural siklus pertama sebesar 16,913%, dan pada siklus kedua sebesar 16,921% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,046%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus pertama sebesar $630,688 \times 10^3$ kPa, dan pada siklus kedua sebesar $553,510 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 12,237%.

4.1.3.4. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.6D adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai nilai tegangan air pori negatif tanah natural siklus pertama sebesar 10221,538 kPa, dan pada siklus kedua sebesar 10206,881 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 0,143%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus pertama sebesar $630,688 \times 10^3$ kPa, dan pada siklus kedua sebesar $553,510 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 12,237%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.7 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, dan derajat kejenuhan pada tanah natural.

4.1.3.5. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.7A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan berat volume kering pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural siklus pertama sebesar 16,913%, dan pada siklus kedua sebesar 16,921% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,046%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural siklus pertama sebesar 13,053 kN/m³, dan pada siklus kedua sebesar 12,880 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 1,329%.

4.1.3.6. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.7B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume kering pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus pertama sebesar 630,688 x 10³ kPa, dan pada siklus kedua sebesar 553,510 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 12,237%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural siklus pertama sebesar 13,053 kN/m³, dan pada siklus kedua sebesar 12,880 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 1,329%.

4.1.3.7. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

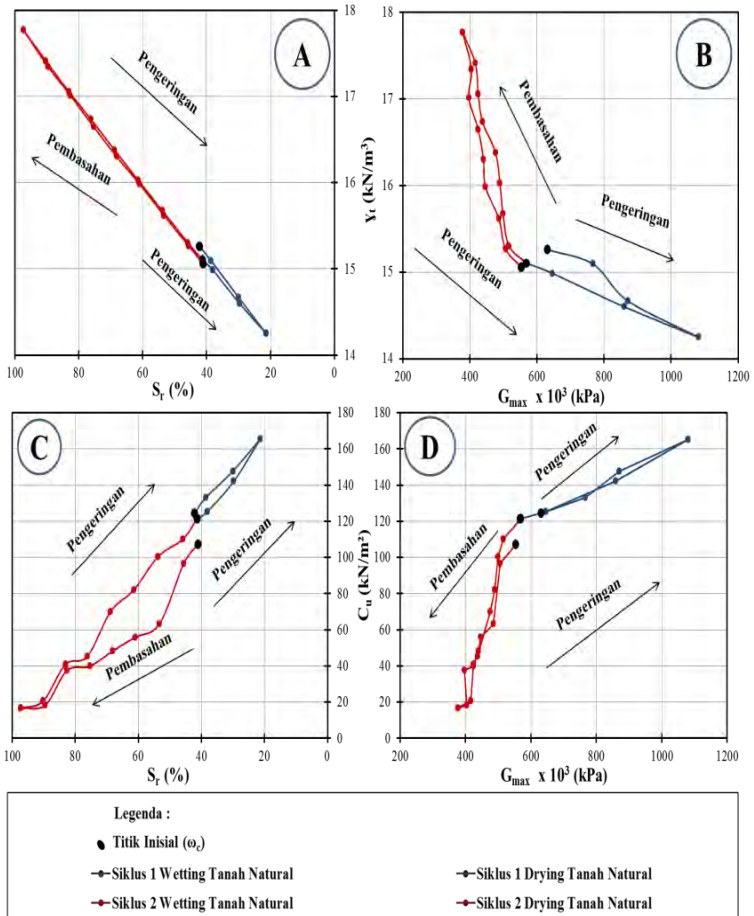
Gambar 4.7C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural, menyebabkan nilai tegangan kadar air semakin membesar dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural siklus pertama sebesar 16,913%, dan pada siklus kedua sebesar 16,921% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,046%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus pertama sebesar 42,211%, dan pada siklus kedua sebesar 41,103% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 2,625%.

4.1.3.8. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.7D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus pertama sebesar $630,688 \times 10^3$ kPa, dan pada siklus kedua sebesar $553,510 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 12,237%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus pertama sebesar 42,211%, dan pada siklus kedua sebesar 41,103% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 2,625%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.8 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, dan kohesi padatanah natural.

4.1.3.9. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.8A adalah grafik hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah basah pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural, menyebabkan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus pertama sebesar 42,211%, dan pada siklus kedua sebesar 41,103% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 2,625%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural siklus pertama sebesar 15,261 kN/m³, dan pada siklus kedua sebesar 15,059 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume tanah basah sebesar 1,323%.

4.1.3.10. Hubungan Antara Modulus Geser (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.8B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah basah pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus pertama sebesar 630,688 x 10³ kPa, dan pada siklus kedua sebesar 553,510 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 12,237%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural siklus pertama sebesar 15,261 kN/m³, dan pada siklus kedua sebesar 15,059 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume tanah basah sebesar 1,323%.

4.1.3.11. Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.8C adalah grafik hubungan antara kohesi dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural, menyebabkan nilai kohesi dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural siklus pertama sebesar $124,485 \text{ kN/m}^3$, dan pada siklus kedua sebesar $107,226 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan kohesi sebesar $13,865\%$. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus pertama sebesar $42,211\%$, dan pada siklus kedua sebesar $41,103\%$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar $2,625\%$.

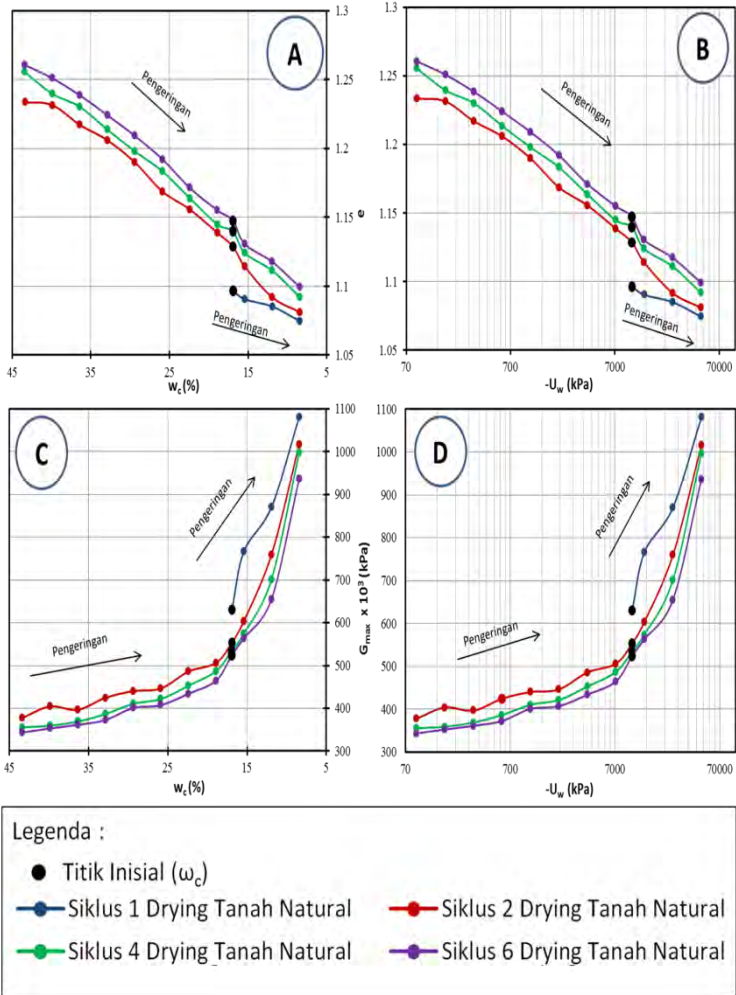
4.1.3.12. Hubungan Antara Modulus Geser (G_{\max}) dengan Kohesi (C_u)

Gambar 4.8D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan kohesi semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus pertama sebesar $630,688 \times 10^3 \text{ kPa}$, dan pada siklus kedua sebesar $553,510 \times 10^3 \text{ kPa}$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar $12,237\%$. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural siklus pertama sebesar $124,485 \text{ kN/m}^3$, dan pada siklus kedua sebesar $107,226 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan kohesi sebesar $13,865\%$.

4.1.4. Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Berulang (1 Kali, 2 Kali, 4 Kali, Dan 6 Kali)

Proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) akan mempengaruhi parameter fisik, mekanik, dan dinamik tanah. Berikut merupakan grafik pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural. Dalam hal ini, pada proses pengeringan 1 kali dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100%, sedangkan untuk proses pengeringan 2 kali, 4 kali, dan 6 kali dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi kering 100%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.9 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural.

4.1.4.1. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.9A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural, menyebabkan nilai kadar air dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 16,913%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 16,927% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,080%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 1,097, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 1,147 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan angka pori sebesar 4,649%.

4.1.4.2. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.9B adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif semakin mengecil dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 10221,538 kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 10195,902 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 0,251%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 1,097, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 1,147 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan angka pori sebesar 4,649%.

4.1.4.3. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.6C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

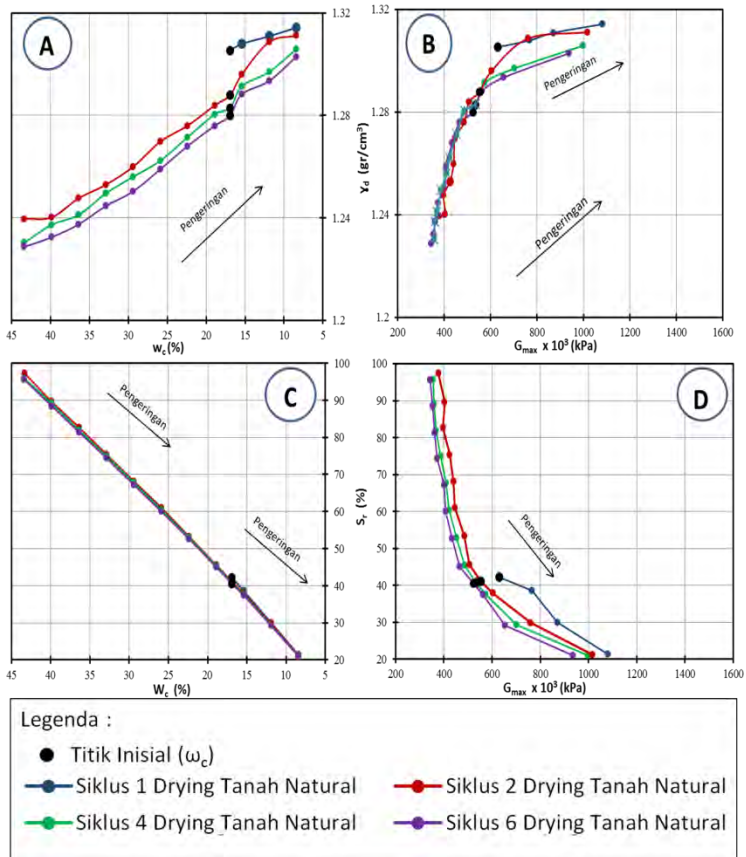
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 16,913%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 16,927% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,080%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 1 kali sebesar $630,688 \times 10^3$ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $523,906 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 16,931%.

4.1.4.4. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.6D adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 10221,538 kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 10195,902 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 0,251%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 1 kali sebesar $630,688 \times 10^3$ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $523,906 \times 10^3$ kPa sehingga tanah

tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 16,931%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.10 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, dan derajat kejenuhan pada tanah natural.

4.1.4.5. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.10A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan berat volume kering pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 16,913%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 16,927% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,080%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 13,053 kN/m³, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 12,800 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 1,943%.

4.1.4.6. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.10B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume kering pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 630,688 x 10³ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 523,906 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 16,931%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 13,053 kN/m³, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 12,800 kN/m³ sehingga tanah

tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 1,943%.

4.1.4.7. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.10C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural, menyebabkan nilai tegangan kadar air semakin membesar dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

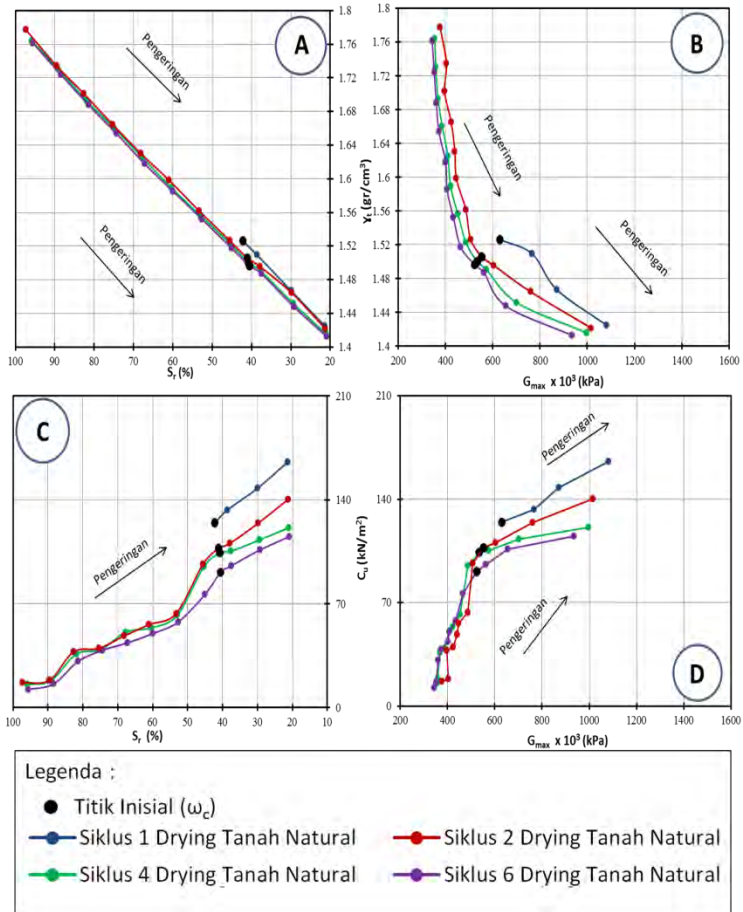
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 16,913%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 16,927% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,080%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 42,211%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 40,547% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 3,943%.

4.1.4.8. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.10D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 1 kali sebesar $630,688 \times 10^3$ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $523,906 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 16,931%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 42,211%, dan pada pengeringan 6

kali sebesar 40,547% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 3,943%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.11 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, dan kohesi padatan tanah natural.

4.1.4.9. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.11A adalah grafik hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah basah pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural, menyebabkan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 42,211%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 40,547% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 3,943%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 15,261 kN/m³, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 14,966 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume tanah basah sebesar 1,931%.

4.1.4.10. Hubungan Antara Modulus Geser (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.11B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah basah pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 630,688 x 10³ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 523,906 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 16,931%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 15,261 kN/m³, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 14,966 kN/m³ sehingga tanah

tersebut mengalami penurunan berat volume tanah basah sebesar 1,931%.

4.1.4.11. Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.11C adalah grafik hubungan antara kohesi dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural, menyebabkan nilai kohesi dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural pengeringan 1 kali sebesar $124,485 \text{ kN/m}^3$, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $91,086 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan kohesi sebesar 26,830%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 42,211%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 40,547% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 3,943%.

4.1.4.12. Hubungan Antara Modulus Geser (G_{\max}) dengan Kohesi (C_u)

Gambar 4.11D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan kohesi semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 1 kali sebesar $630,688 \times 10^3 \text{ kPa}$, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $523,906 \times 10^3 \text{ kPa}$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 16,931%. Kemudian pada inisial untuk nilai kohesi tanah natural pengeringan 1 kali sebesar $124,485 \text{ kN/m}^3$, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $91,086$

kN/m^3 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan kohesi sebesar 26,830%.

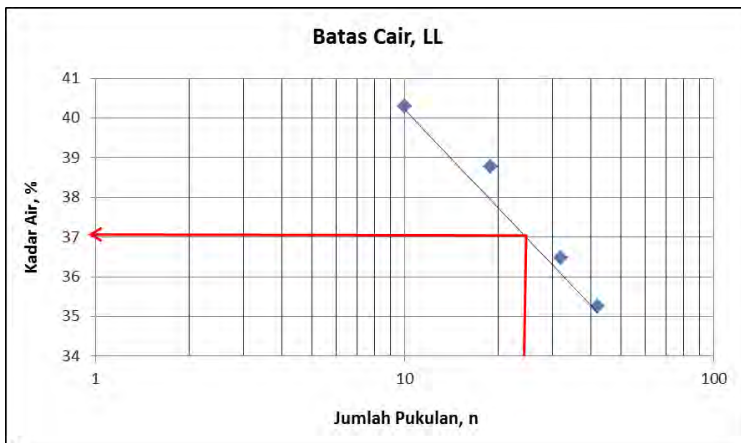
4.2. Hasil Pengujian Tanah Natural + 8% Kapur

4.2.1. Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik meliputi pengujian batas-batas Atterberg (*Atterberg Limits*) dan pengujian analisis ukuran butiran (analisis ayakan dan analisis hidrometer). Berikut adalah penjelasannya.

4.2.1.1. Pengujian Atterberg Limit

Pengujian batas-batas *atterberg* (*atterberg limits*) bertujuan untuk mengetahui batas cair, batas plastis, dan indeks plastis suatu tanah. Hasil pengujian dapat dilihat selengkapnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



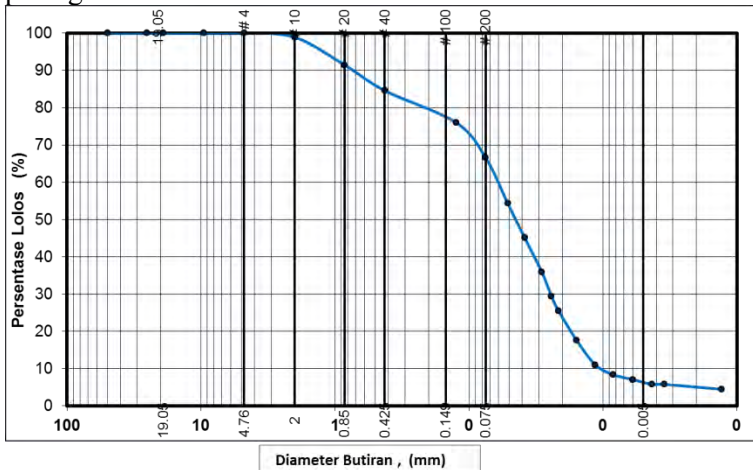
(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.12 Grafik hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural + 8% kapur.

Dari pengujian Atterberg Limit didapatkan nilai batas cair (LL) sebesar 37%, batas plastis (PL) sebesar 32,91%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 4,09%.

4.2.1.2. Pengujian Analisis Ukuran Butir

Hasil dari pengujian analisa ukuran butiran (analisa ayakan dan analisa hidrometer) dapat dilihat selengkapnya pada grafik dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.13 Grafik hasil pengujian analisa ukuran butiran tanah natural + 8% kapur.

Dari pengujian analisa ukuran butiran tanah natural + 8 % kapur didapatkan nilai fraksi kerikil sebesar 0%, fraksi pasir sebesar 33,45%, fraksi lanau sebesar 62.10%, dan fraksi lempung sebesar 4.46%.

4.2.1.3. Klasifikasi Tanah

Berdasarkan dari nilai batas-batas Atterberg dan nilai analisa ukuran butiran diatas, tanah tanggul Sungai

Bojonegoro, *Cross Section* (0±000) ini dapat diklasifikasikan pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Tabel klasifikasi tanah natural + 8 % kapur

Klasifikasi Tanah	Sifat Fisik
	Tanah Natural + 8% Kapur
USCS	ML
AASHTO	A-4

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Dari tabel 4.2 diatas disimpulkan bahwa menurut AASHTO, tanah natural + 8% kapur tersebut merupakan tanah lanau berplastisitas rendah. Sedangkan menurut USCS tanah natural + 8% kapur tersebut merupakan tanah lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung.

4.2.2. Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik meliputi pengujian pemadatan *proctor* (*Proctor Compaction Test*), tegangan air pori negatif (*Suction*) dan pengujian triaksial.

4.2.2.1. Pengujian Pemadatan Proctor Standar

Pengujian pemadatan Proctor dimaksudkan untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum. Pada saat pengujian, dilakukan juga pengukuran tegangan air pori negatif (*suction*) setiap benda uji menggunakan kertas filter tipe whatman no.42 yang diletakkan pada 1/3 dan 2/3 tinggi benda uji. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya tegangan air pori negatif tanah pada tingkat kepadatan maksimum.

Untuk bahan tambah kapur, variasi kadar air yang dipakai adalah 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat total tanah, sedangkan untuk variasi kadar kapur yang dipakai

adalah 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dari berat total tanah. Dari masing-masing variasi kadar air dan kadar kapur akan didapatkan nilai berat volume kering maksimum ($\gamma_{d \text{ maks}}$) dan nilai kadar air optimumnya ω_{opt} . Hasil pengujian pemadatan Proctor (*Proctor Compaction Test*) dapat dilihat pada gambar 4.14 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

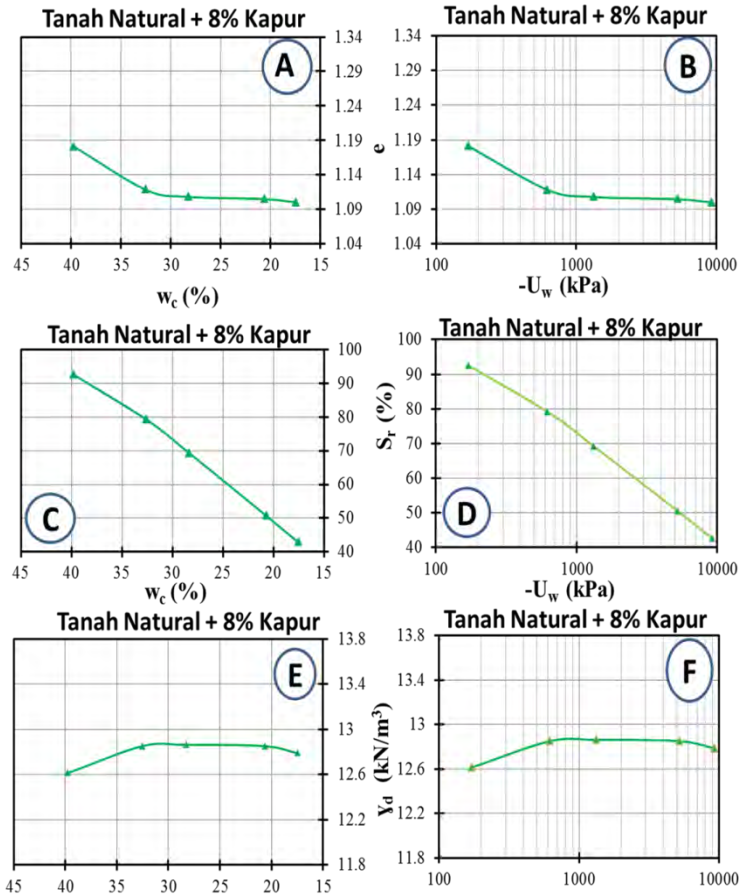
Gambar 4.14 Grafik hubungan kadar air optimum (ω_c) dengan berat volume kering maksimum (γ_d) tanah natural + 8% kapur.

Dari Gambar 4.14 diatas, hasil pemadatan Proctor tanah natural + 8% kapur didapatkan nilai berat volume kering maksimum ($\gamma_{d \text{ maks}}$) yang terbesar yaitu 1,35 kN/m³ dan nilai kadar air optimumnya ω_{opt} adalah 28%.

4.2.2.2. Analisa Hasil Pengujian Pemadatan Proctor Standar

Pengujian pemadatan Proctor standar ini selain untuk mendapatkan nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum, juga untuk mendapatkan harga tegangan air pori negatif, angka pori, dan derajat kejenuhan. Angka

pori dan derajat kejenuhan diperoleh dengan pengujian volumetri. Hasil-hasil pengujian *suction* dan volumetri dapat dilihat selengkapnya pada Gambar 4.15 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.15 Grafik hubungan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, berat volume kering, dan tegangan air pori negatif hasil pengujian pada benda uji tanah natural + 8% kapur.

A. Hubungan Antara Angka Pori (e) dengan Kadar Air (ω_c)

Gambar 4.15A memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai angka pori untuk benda uji tanah natural + 8% kapur. Angka pori adalah parameter yang sangat berpengaruh terhadap kepadatan tanah, semakin kecil angka pori maka kepadatan tanah akan semakin tinggi, begitu sebaliknya. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai angka pori akan mengecil, namun pada saat mencapai nilai kadar air optimum, nilai angka pori akan membesar.

B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori ($-U_w$) Negatif dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.15B memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai angka pori untuk benda uji tanah natural + 8% kapur. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai angka pori akan mengecil, namun pada saat mencapai nilai tegangan air pori negatif optimum, nilai angka pori akan membesar.

C. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.15C memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai derajat kejenuhan untuk benda uji tanah natural + 8% kapur. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai derajat kejenuhan akan membesar.

D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.15D memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai derajat kejenuhan untuk benda uji tanah natural + 8% kapur. Secara

umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai derajat kejenuhan akan membesar.

E. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

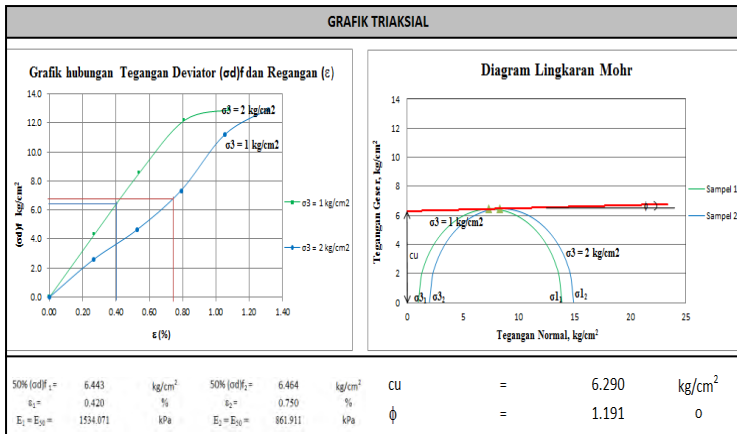
Gambar 4.15E memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai berat volume kering untuk benda uji tanah natural + 8% kapur. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai berat volume kering membesar, namun pada saat mencapai nilai kadar air optimum, nilai berat volume kering akan mengecil.

F. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) Dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.15F memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai berat volume kering untuk benda uji tanah natural + 8% kapur. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai berat volume kering membesar, namun pada saat mencapai nilai tegangan air pori negatif optimum, nilai berat volume kering akan mengecil.

4.2.2.3. Pengujian Triaksial

Pengujian Triaksial dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter kekuatan geser tanah (kohesi dan sudut geser). Dimana kekuatan geser adalah gaya perlawanan internal oleh butir-butir tanah per satuan luas terhadap desakan atau tarikan sepanjang bidang geser dalam tanah (Das, 1993). Gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan yang lainnya tidak dapat saling menempel karena molekulnya saling tolak menolak. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D 3080-72 dengan menggunakan Triaksial tipe *Unconsolidated Undrained* (UU). Hasil pengujian Triaksial tipe UU dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini.



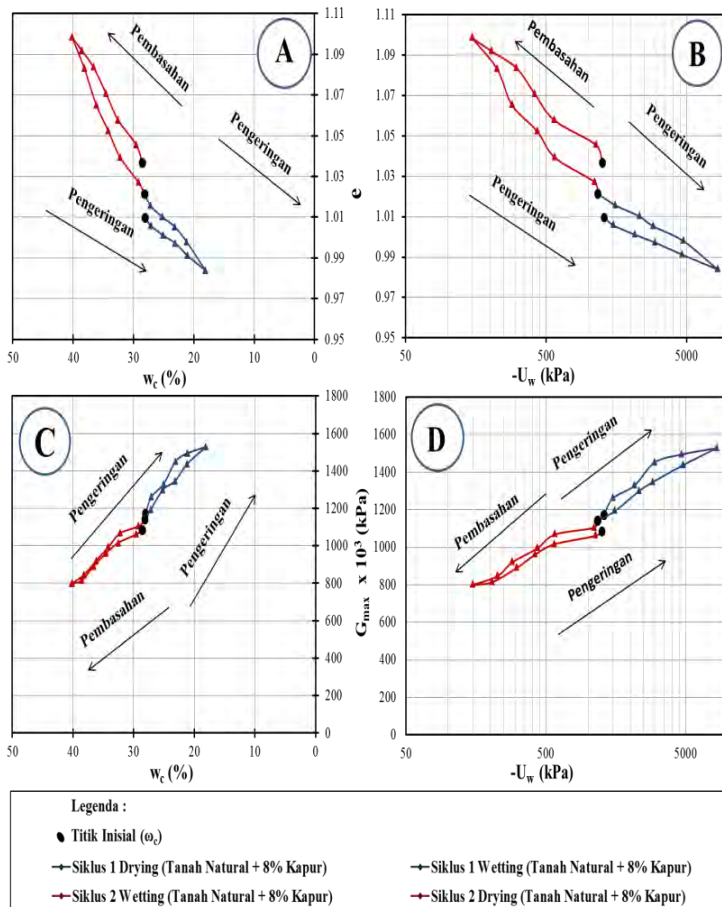
(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.16 Grafik Triaksial tanah natural + 8% kapur.

Dari pengujian Triaksial tipe UU didapatkan nilai kohesi (C_u) sebesar 629 kN/m², sudut geser dalam (ϕ) sebesar 1,191°, Modulus Elastisitas ($E_1 = E_{50}$) sebesar 153407,1 kN/m², dan Modulus Elastisitas ($E_2 = E_{50}$) sebesar 86191,1 kN/m².

4.2.3. Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Dan Pembasahan (Siklus Pertama Dan Kedua)

Proses pengeringan dan pembasahan akan mempengaruhi parameter fisik, mekanik, dan dinamik tanah. Dalam hal ini pada siklus pertama, pengeringan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100% dan pembasahan dimulai dari kondisi kering 100% hingga kondisi inisial. Kemudian pada siklus kedua, pembasahan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi basah 100% (jenuh) dan pengeringan dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi inisial. Berikut grafik pengaruh pengeringan dan pembasahan pada siklus pertama dan kedua tanah natural.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.17 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 8% kapur.

4.2.3.1. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.17A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai kadar air dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 28,047%, dan pada siklus kedua sebesar 28,532% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 1,727%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 1,010, dan pada siklus kedua sebesar 1,037 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan angka pori sebesar 2,677%.

4.2.3.2. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.17B adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif semakin mengecil dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 1298,321 kPa, dan pada siklus kedua sebesar 1258,993 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 3,029%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 1,010, dan pada siklus kedua sebesar 1,037 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan angka pori sebesar 2,677%.

4.2.3.3. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.17C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

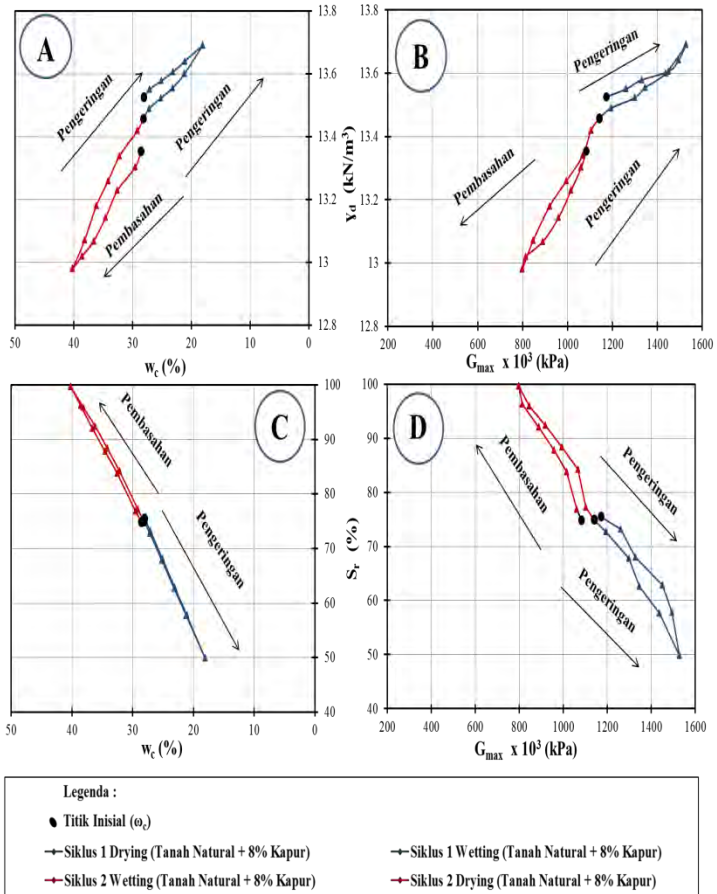
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 28,047%, dan pada siklus kedua sebesar 28,532% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 1,727%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar $1173,020 \times 10^3$ kPa, dan pada siklus kedua sebesar $1083,629 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 7,621%.

4.2.3.4. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.17D adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 1298,321 kPa, dan pada siklus kedua sebesar 1258,993 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 3,029%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar $1173,020 \times 10^3$ kPa, dan pada siklus kedua sebesar $1083,629 \times 10^3$ kPa sehingga tanah

tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 7,621%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.18 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, dan derajat kejenuhan pada tanah natural + 8% kapur.

4.2.3.5. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.18A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan berat volume kering pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 28,047%, dan pada siklus kedua sebesar 28,532% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 1,727%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 13,525 kN/m³, dan pada siklus kedua sebesar 13,353 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 1,269%.

4.2.3.6. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.18B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume kering pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 1173,020 x 10³ kPa, dan pada siklus kedua sebesar 1083,629 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 7,621%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 13,525 kN/m³, dan pada siklus kedua sebesar 13,353 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 1,269%.

4.2.3.7. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

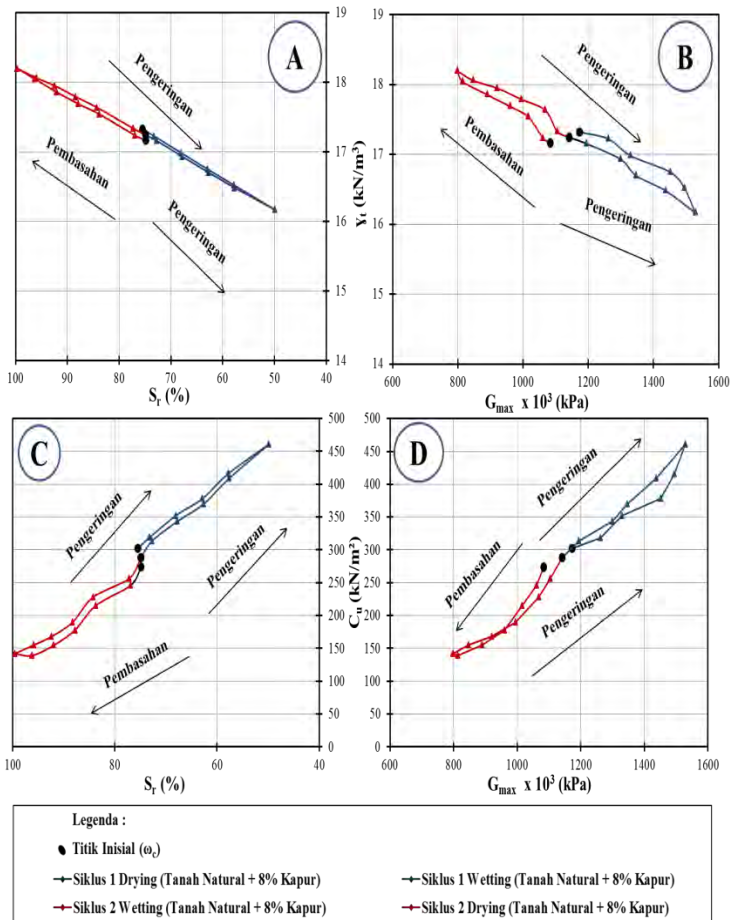
Gambar 4.18C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai tegangan kadar air semakin membesar dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 28,047%, dan pada siklus kedua sebesar 28,532% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 1,727%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 75,508%, dan pada siklus kedua sebesar 74,853% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 0,867%.

4.2.3.8. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.7D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar $1173,020 \times 10^3$ kPa, dan pada siklus kedua sebesar $1083,629 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 7,621%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 75,508%, dan pada siklus kedua sebesar 74,853% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 0,867%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.19 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, dan kohesi pada tanah natural + 8% kapur.

4.2.3.9. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.19A adalah grafik hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah basah pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 75,508%, dan pada siklus kedua sebesar 74,853% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 0,867%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 17,318 kN/m³, dan pada siklus kedua sebesar 17,163 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume tanah basah sebesar 0,895%.

4.2.3.10. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.19B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah basah pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 1173,020 x 10³ kPa, dan pada siklus kedua sebesar 1083,629 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 7,621%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 17,318 kN/m³, dan pada siklus kedua sebesar 17,163 kN/m³ sehingga tanah

tersebut mengalami penurunan berat volume tanah basah sebesar 0,895%.

4.2.3.11. Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.19C adalah grafik hubungan antara kohesi dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai kohesi dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar $302,208 \text{ kN/m}^3$, dan pada siklus kedua sebesar $273,905 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan kohesi sebesar 9,365%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar 75,508%, dan pada siklus kedua sebesar 74,853% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 0,867%.

4.2.3.12. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{\max}) Dengan Kohesi (C_u)

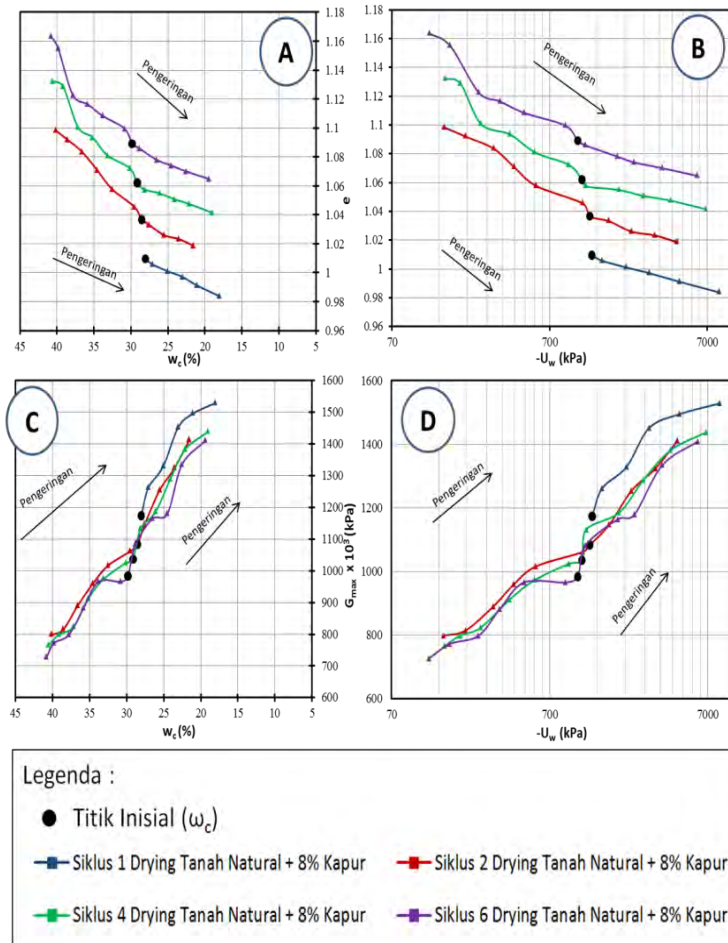
Gambar 4.19D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan kohesi semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar $1173,020 \times 10^3 \text{ kPa}$, dan pada siklus kedua sebesar $1083,629 \times 10^3 \text{ kPa}$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 7,621%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural + 8% kapur siklus pertama sebesar $302,208 \text{ kN/m}^3$, dan pada siklus kedua

sebesar 273,905 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan kohesi sebesar 9,365%.

4.2.4. Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Berulang (1 Kali, 2 Kali, 4 Kali, Dan 6 Kali)

Proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) akan mempengaruhi parameter fisik, mekanik, dan dinamik tanah. Berikut merupakan grafik pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural. Dalam hal ini, pada proses pengeringan 1 kali dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100%, sedangkan untuk proses pengeringan 2 kali, 4 kali, dan 6 kali dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi kering 100%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.20 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 8% kapur.

4.2.4.1. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.20A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai kadar air dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 28,047%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 29,838% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 6,385%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 1,010, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 1,089 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan angka pori sebesar 7,878%.

4.2.4.2. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.20B adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif semakin mengecil dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 1298,321 kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 1053,938 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 18,823%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 1,010, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 1,089 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan angka pori sebesar 7,878%.

4.2.4.3. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.20C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

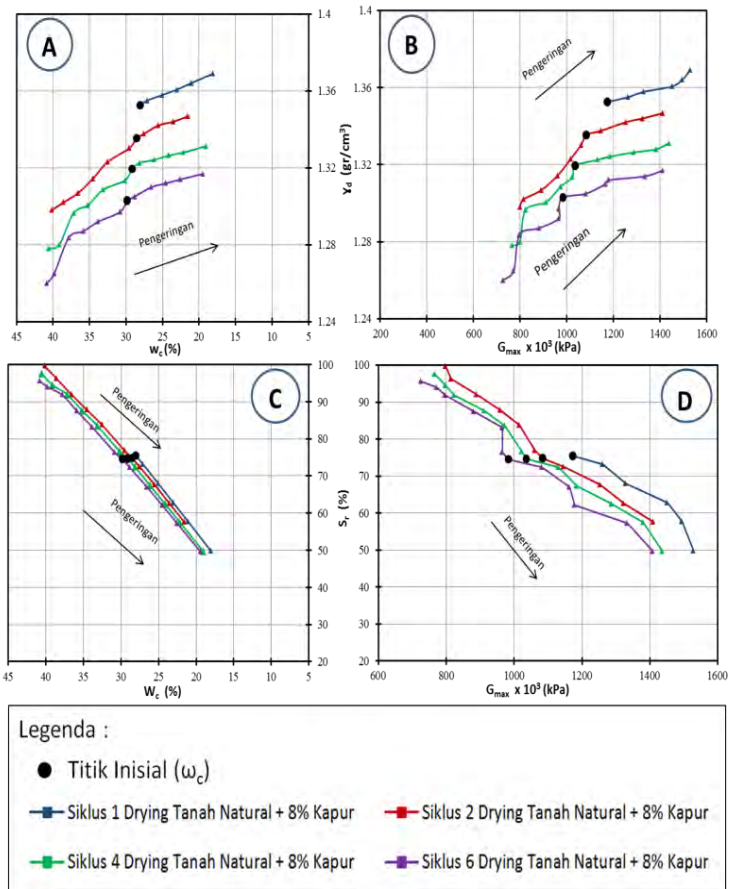
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 28,047%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 29,838% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 6,385%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar $1173,020 \times 10^3$ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $983,570 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 16,151%.

4.2.4.4. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.20D adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 1298,321 kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 1053,938 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 18,823%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar $1173,020 \times 10^3$

kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $983,570 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 16,151%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.21 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, dan derajat kejenuhan pada tanah natural + 8% kapur.

4.2.4.5. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.21A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan berat volume kering pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 28,047%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 29,838% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 6,385%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 13,525 kN/m³, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 13,029 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 3,666%.

4.2.4.6. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.21B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume kering pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 1173,020 x 10³ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 983,570 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 16,151%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar

13,525 kN/m³, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 13,029 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 3,666%.

4.2.4.7. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.21C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai tegangan kadar air semakin membesar dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

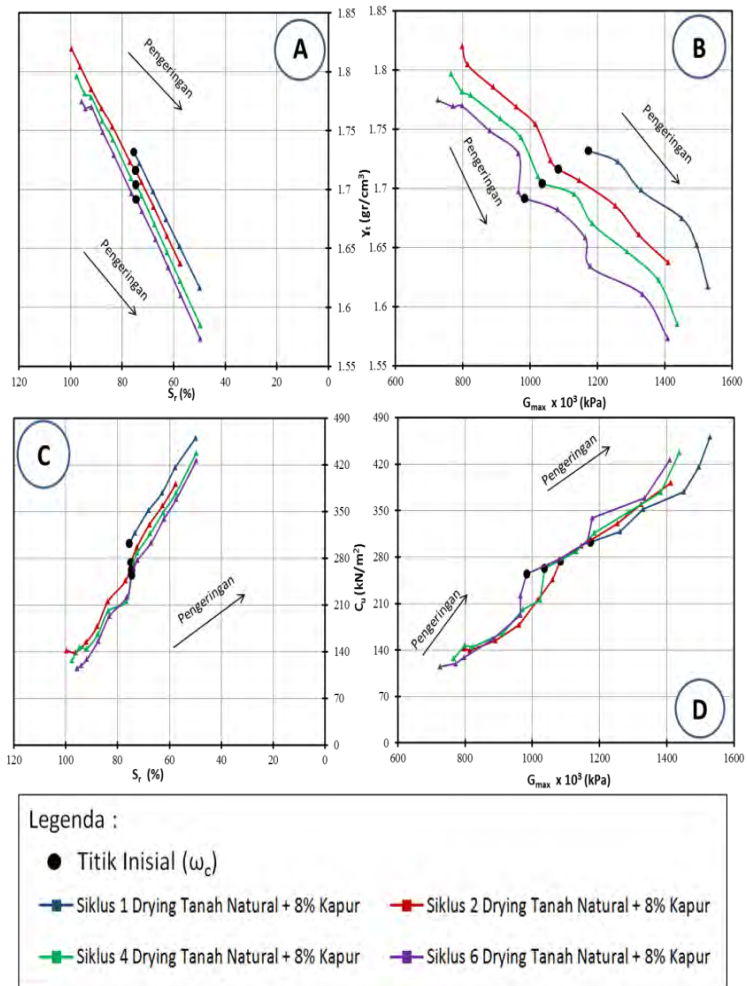
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 28,047%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 29,838% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 6,385%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 42,211%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 40,547% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 3,943%.

4.2.4.8. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.21D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 8 % kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural+ 8% kapur, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 1173,020 x 10³ kPa, dan pada pengeringan 6 kali

sebesar $983,570 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 16,151%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 42,211%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 40,547% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 3,943%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.22 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, dan kohesi padatanah natural + 8% kapur.

4.2.4.9. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ)

Gambar 4.22A adalah grafik hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah basah pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 75,508%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 74,571% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 1,240%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 17,318 kN/m³, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 16,917 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume tanah basah sebesar 2,319%.

4.2.4.10. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah

Gambar 4.22B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah basah pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 1 kali sebesar 630,688 x 10³ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 523,906 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 16,931%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural +

8% kapur pengeringan 1 kali sebesar $17,318 \text{ kN/m}^3$, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $16,917 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume tanah basah sebesar 2,319%.

4.2.4.11. Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.22C adalah grafik hubungan antara kohesi dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai kohesi dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar $302,208 \text{ kN/m}^3$, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $254,509 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan kohesi sebesar 15,783%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 75,508%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 74,571% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 1,240%.

4.2.4.12. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{\max}) Dengan Kohesi (C_u)

Gambar 4.22D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan kohesi semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 1 kali sebesar $630,688 \times 10^3 \text{ kPa}$, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $523,906 \times 10^3 \text{ kPa}$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus

geser maksimum sebesar 16,931%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural + 8% kapur pengeringan 1 kali sebesar 302,208 kN/m³, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 254,509 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan kohesi sebesar 15,783%.

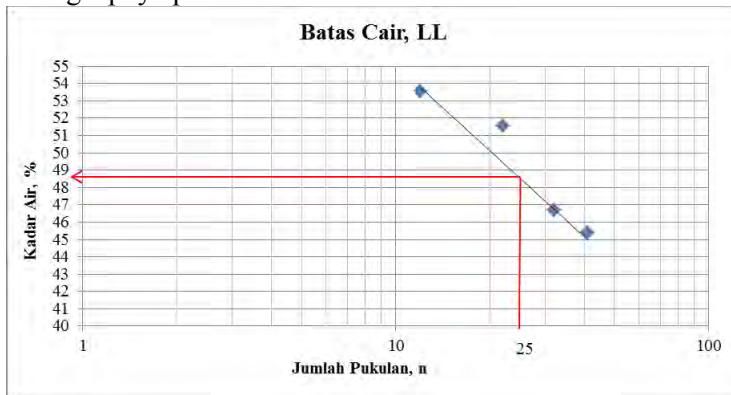
4.3. Hasil Pengujian Tanah Natural + 15% *Fly Ash*

4.3.1. Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik dilakukan terhadap tanah natural yang ditambah dengan *fly ash*. Dimana formula campurannya didapat dari hasil melakukan pengujian pemadatan Proctor (*Proctor Standard*) dengan berbagai variasi kadar air dan variasi kadar *fly ash* itu sendiri. Dimana pengujian untuk mendapatkan sifat fisik meliputi pengujian dibawah berikut.

4.3.1.1. Pengujian Atterberg Limit

Pengujian batas-batas Atterberg (*Atterberg Limits*) bertujuan untuk mengetahui batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas suatu tanah. Hasil pengujian dapat dilihat selengkapnyanya pada Gambar 4.23 dibawah ini.



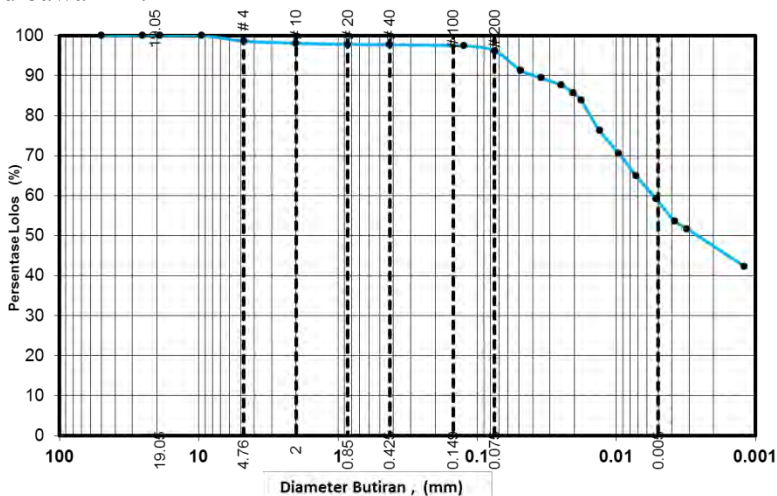
(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.23 Grafik hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural + 15% *fly ash*.

Dari pengujian batas-batas Atterberg tanah natural + 15% *fly ash* didapatkan nilai batas cair (LL) sebesar 48.5%, batas plastis (PL) sebesar 25.317%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 23.183%.

4.3.1.2. Pengujian Analisis Ukuran Butir

Pengujian analisis ukuran butir terdiri dari analisis ayakan dan analisis hidrometer. Hasil dari pengujian analisis ukuran butir dapat dilihat selengkapnya pada Gambar 4.24 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.24 Grafik hasil pengujian analisis ukuran butiran tanah natural + 15% *fly ash*.

Dari pengujian analisis ukuran butiran didapatkan nilai fraksi kerikil sebesar 0.035%, fraksi pasir sebesar 14.282%, fraksi lanau sebesar 66.835%, dan fraksi lempung sebesar 18.848%.

4.3.1.3. Klasifikasi Tanah

Berdasarkan dari nilai batas-batas Atterberg dan nilai analisis ukuran butir diatas, tanah natural + 15% *fly ash* dapat diklasifikasikan seperti yang tertera pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Tabel klasifikasi tanah natural + 15% *fly ash*

Klasifikasi Tanah	Sifat Fisik
	Tanah Natural + 15% <i>Fly Ash</i>
USCS	CL
AASHTO	A-7-6

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Dari Tabel 4.3 diatas disimpulkan bahwa menurut AASHTO, tanah natural + 15% *fly ash* tersebut merupakan tanah lempung yang lebih bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan volume besar. Sedangkan menurut USCS tanah natural + 15% *fly ash* tersebut merupakan tanah lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berlanau, dan lempung berlanau.

4.3.2. Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik meliputi pengujian pemadatan Proctor (*Proctor Compaction Test*), tegangan air pori negatif (*Suction*) dan pengujian triaksial.

4.3.2.1. Pengujian Pemadatan Proctor Standar

Untuk bahan tambah *fly ash*, variasi kadar air yang dipakai adalah 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat total tanah, sedangkan untuk variasi kadar *fly ash* yang dipakai adalah 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat total tanah. Dari masing-masing variasi kadar air dan kadar *fly ash* akan didapatkan nilai berat volume kering maksimum ($\gamma_{d \text{ maks}}$) dan

nilai kadar air optimumnya ω_{opt} . Selanjutnya akan dijelaskan dalam Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum tanah dengan variasi kadar *fly ash*.

Variasi Kadar <i>Fly Ash</i>	5%	10%	15%	20%	25%
Berat Volume Kering Maksimum, MDD (kN/m^3)	13.1	13.2	13.55	13.4	13.2
Kadar Air Optimum, OMC (%)	29.5	31	30	27	31

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Dari Tabel 4.4 diatas, terlihat hasil maksimum didapat dari penambahan 15% *fly ash*, sehingga dipilih persentase kadar *fly ash* yang akan dipakai untuk pencampuran sebesar 15%. Hasil pengujian pemadatan Proctor tanah natural + 15 % *fly ash* dapat dilihat pada Gambar 4.25 dibawah ini.



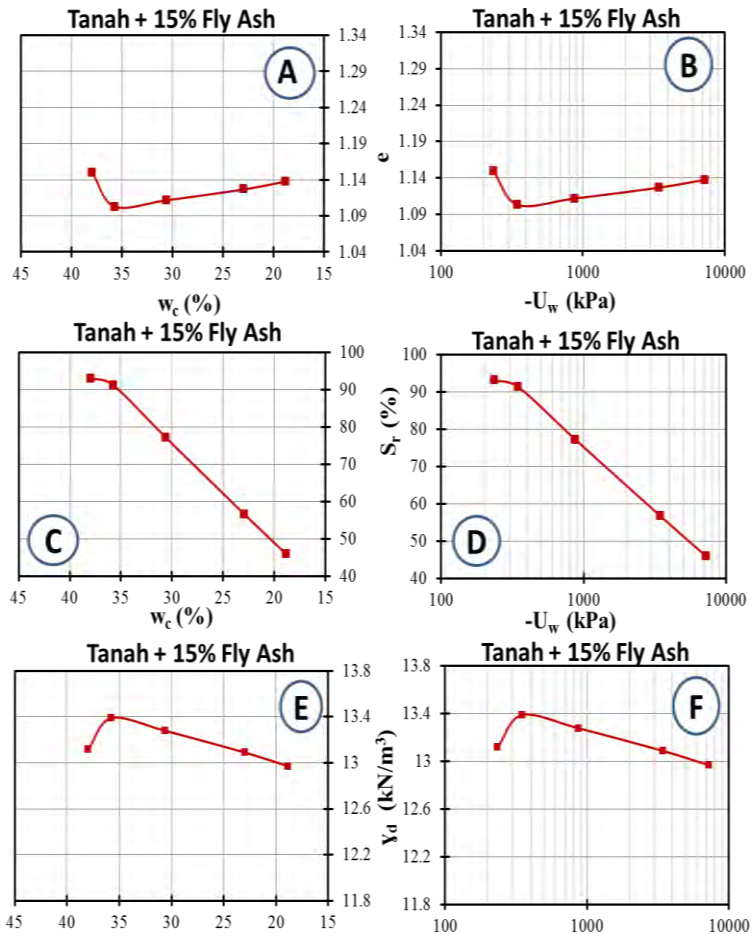
(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.25 Grafik hubungan kadar air optimum (ω_c) dengan berat volume kering maksimum (γ_d) tanah natural + 15% *fly ash*.

Dari Gambar 4.25 diatas, hasil pemadatan Proctor tanah natural + 15% *fly ash* didapatkan nilai berat volume kering maksimum (γ_{dmaks}) sebesar 13.55 kN/m³ dan nilai kadar air optimumnya (ω_{opt}) adalah 30%. Kemudian nilai kadar air tersebut akan digunakan sebagai batasan awal titik inisial untuk pengujian pengeringan dan pembasahan tanah natural + 15% *fly ash*.

4.3.2.2. Analisa Hasil Pengujian Pemadatan Proctor Standar

Pengujian pemadatan Proctor standar ini selain untuk mendapatkan nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum, juga untuk mendapatkan harga tegangan air pori negatif, angka pori, dan derajat kejenuhan. Pada saat pengujian pemadatan Proctor, pengukuran tegangan air pori negatif (*Suction*) setiap benda uji menggunakan kertas filter tipe whatman no.42 yang diletakkan pada 1/3 dan 2/3 tinggi benda uji Proctor. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya tegangan air pori negatif tanah pada tingkat kepadatan maksimum. Angka pori dan derajat kejenuhan diperoleh dengan pengujian volumetri. Hasil-hasil pengujian *Suction* dan volumetri dapat dilihat selengkapnya pada Gambar 4.26 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.26 Grafik hubungan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, berat volume kering, dan tegangan air pori negatif hasil pengujian pada benda uji tanah natural + 15% *fly ash*.

A. Hubungan Antara Angka Pori (e) dengan Kadar Air (ω_c)

Gambar 4.26A memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai angka pori untuk benda uji tanah natural + 15% *fly ash*. Angka pori adalah parameter yang sangat berpengaruh terhadap kepadatan tanah, semakin kecil angka pori maka kepadatan tanah akan semakin tinggi, begitu sebaliknya. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai angka pori akan mengecil, namun pada saat mencapai nilai kadar air optimum, nilai angka pori akan membesar.

B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori ($-U_w$) Negatif dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.26B memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai angka pori untuk benda uji tanah natural + 15% *fly ash*. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai angka pori akan mengecil, namun pada saat mencapai nilai tegangan air pori negatif optimum, nilai angka pori akan membesar.

C. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.26C memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai derajat kejenuhan untuk benda uji tanah natural + 15% *fly ash*. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai derajat kejenuhan akan membesar.

D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.26D memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai derajat kejenuhan untuk benda uji tanah natural + 15% *fly ash*.

Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai derajat kejenuhan akan membesar.

E. Hubungan Antara Kadar Air (ω_s) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

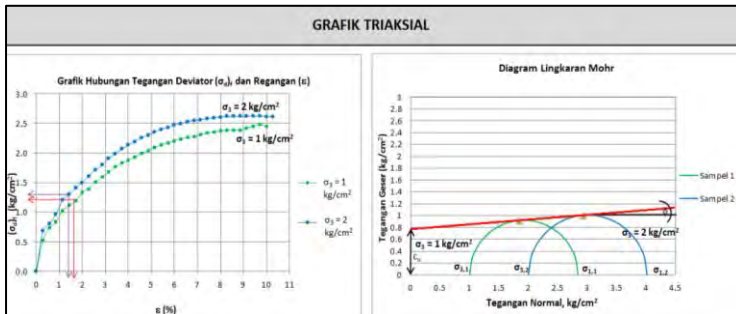
Gambar 4.26E memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai berat volume kering untuk benda uji tanah natural + 15% *fly ash*. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai berat volume kering membesar, namun pada saat mencapai nilai kadar air optimum, nilai berat volume kering akan mengecil.

F. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) Dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.26F memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai berat volume kering untuk benda uji tanah natural + 15% *fly ash*. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai berat volume kering membesar, namun pada saat mencapai nilai tegangan air pori negatif optimum, nilai berat volume kering akan mengecil.

4.3.2.3. Pengujian Triaksial

Pengujian Triaksial dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter kekuatan geser tanah (kohesi dan sudut geser). Dimana kekuatan geser adalah gaya perlawanan internal oleh butir-butir tanah per satuan luas terhadap desakan atau tarikan sepanjang bidang geser dalam tanah (Das, 1993). Gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan yang lainnya tidak dapat saling menempel karena molekulnya saling tolak menolak. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D 3080-72 dengan menggunakan Triaksial tipe *Unconsolidated Undrained* (UU). Hasil pengujian Triaksial tipe UU dapat dilihat pada Gambar 4.27 dibawah ini.



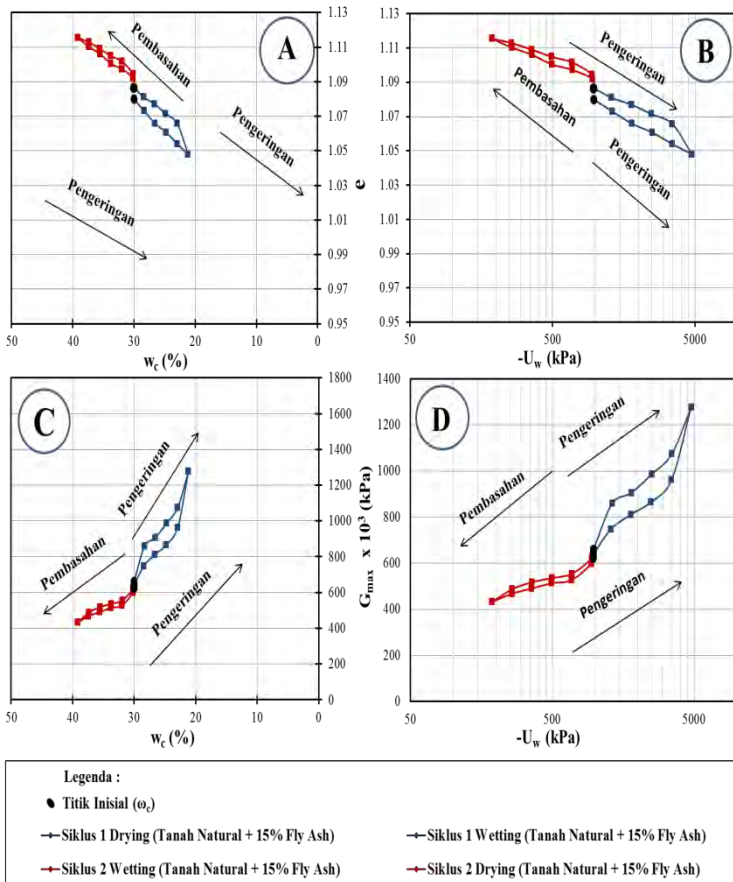
(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.27 Grafik Triaksial tanah natural + 15% *fly ash*.

Dari pengujian Triaksial tipe UU didapatkan nilai kohesi (C_u) sebesar 109.4 kN/m², sudut geser dalam (ϕ) sebesar 3.831°, Modulus Elastisitas ($E_1 = E_{50}$) sebesar 7756.7 kN/m², dan Modulus Elastisitas ($E_2 = E_{50}$) sebesar 9512.1 kN/m².

4.3.3. Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Dan Pembasahan (Siklus Pertama Dan Kedua)

Proses pengeringan dan pembasahan akan mempengaruhi parameter fisik, mekanik, dan dinamik tanah. Dalam hal ini pada siklus pertama, pengeringan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100% dan pembasahan dimulai dari kondisi kering 100% hingga kondisi inisial. Kemudian pada siklus kedua, pembasahan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi basah 100% (jenuh) dan pengeringan dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi inisial. Berikut grafik pengaruh pengeringan dan pembasahan pada siklus pertama dan kedua tanah natural dan tanah natural +15% *fly ash*.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.28 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, tegangan air pori negatif tanah natural + 15% *fly ash*.

4.3.3.1. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.28A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua tanah natural yang distabilisasi dengan 15% *fly ash*. Suatu nilai kadar air akan mempengaruhi nilai angka pori, semakin besar nilai kadar air semakin besar pula nilai angka pori suatu benda uji. Hal ini dipengaruhi oleh adanya perubahan susunan dan struktur tanah yang terjadi akibat adanya pengeringan dan pembasahan. Pada saat tanah mengalami pengeringan, maka akan terjadi penyusutan yang menyebabkan angka pori tanah mengecil akibat mengecilnya volume pori, begitu sebaliknya.

Pada siklus pertama ini akan terlihat perbedaan antara grafik siklus pertama pengeringan (*drying*) dan siklus pertama pembasahan (*wetting*). Begitu juga pada siklus kedua terdapat perbedaan antara siklus kedua (*wetting*) dan siklus kedua (*drying*). Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 30.007%, dan pada siklus kedua sebesar 30.020% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0.046%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 1.080, dan pada siklus kedua sebesar 1.086 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan angka pori sebesar 0.573%.

4.3.3.2. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.28B adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua tanah natural yang distabilisasi dengan 15% *fly ash*. Pada siklus pertama ini akan terlihat perbedaan antara grafik siklus pertama pengeringan (*drying*) dan siklus pertama pembasahan (*wetting*). Begitu juga pada siklus kedua

terdapat perbedaan antara siklus kedua (*wetting*) dan siklus kedua (*drying*).

Pada kondisi inisial untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 976.186 kPa, dan pada siklus kedua sebesar 973.301 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0.296%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 1.080, dan pada siklus kedua sebesar 1.086 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan angka pori sebesar 0.573%.

4.3.3.3. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

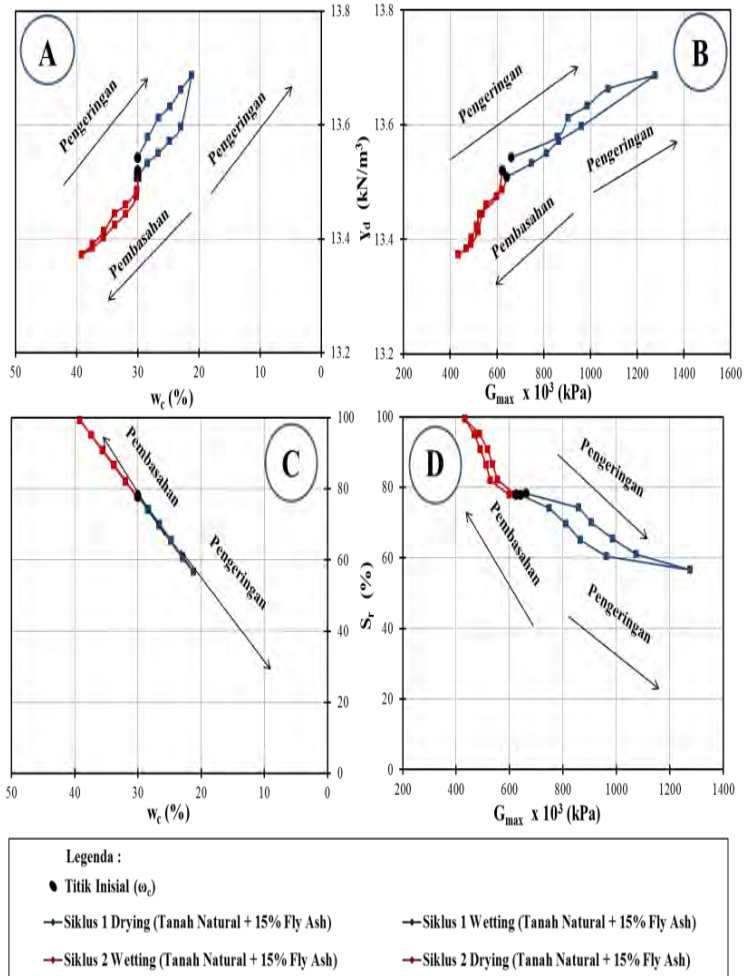
Gambar 4.28C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan modulus geser pada siklus pertama dan kedua tanah natural yang distabilisasi dengan 15% *fly ash*. Nilai modulus geser dipengaruhi oleh kadar air, terlihat bahwa semakin tinggi kadar air (jenuh) nilai modulus geser tanah akan mengecil, begitu sebaliknya. Sehingga nilai modulus geser pada siklus pertama lebih besar dibandingkan dengan siklus kedua.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 30.007%, dan pada siklus kedua sebesar 30.020% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0.046%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 661.217×10^3 kPa, dan pada siklus kedua sebesar 623.636×10^3 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 5.684%.

4.3.3.4. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.28D adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada siklus pertama dan kedua tanah natural yang distabilisasi dengan 15% *fly ash*. Tegangan air pori negatif juga berperan pada perubahan nilai modulus geser maksimumnya. Pada proses pengeringan, nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum tanah akan bertambah besar. Sebaliknya pada proses pembasahan, kedua nilai tersebut akan mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 976.186 kPa, dan pada siklus kedua sebesar 973.301 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0.296%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 661.217×10^3 kPa, dan pada siklus kedua sebesar 623.636×10^3 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 5.684%.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.29 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, derajat kejenuhan tanah natural+15% fly ash.

4.3.3.5. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.29A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan berat volume kering pada siklus pertama dan kedua tanah natural yang distabilisasi dengan 15% *fly ash*. Terdapat perbedaan antara grafik siklus pertama dan siklus kedua. Hal ini disebabkan proses pembasahan pada tanah yang distabilisasi mengalami penambahan butiran solid tanah. Akibatnya volume pori berkurang, yang diikuti dengan mengecilnya angka pori. Karena rumus $\gamma_d = G_s \times \gamma_w / (1+e)$, dengan asumsi bahwa berat jenis (G_s) dan berat volume air (γ_w) adalah tetap maka pengurangan angka pori akan berimplikasi pada meningkatnya berat volume kering tanah.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 30.007%, dan pada siklus kedua sebesar 30.020% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0.046%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 13.543 kN/m³, dan pada siklus kedua sebesar 13.520 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 0.171%.

4.3.3.6. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.29B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume kering pada siklus pertama dan kedua tanah natural yang distabilisasi dengan 15% *fly ash*. Terdapat perbedaan antara grafik siklus pertama dan siklus kedua.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 661.217 x 10³ kPa, dan pada siklus kedua sebesar 623.636 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 5.684%. Kemudian pada

kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 13.543 kN/m^3 , dan pada siklus kedua sebesar 13.520 kN/m^3 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 0.171%.

4.3.3.7. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

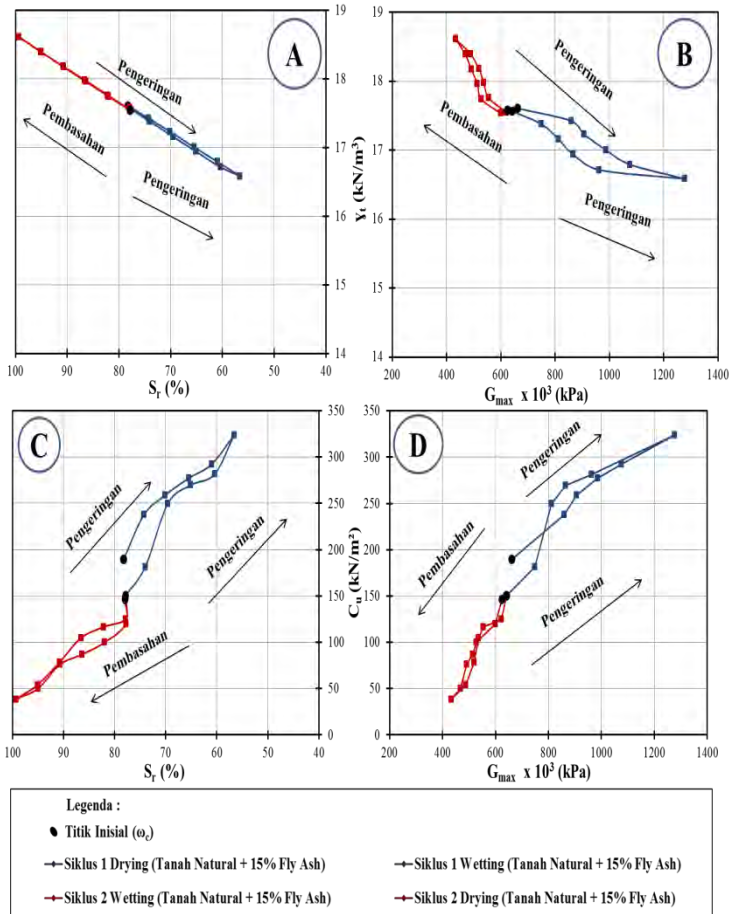
Gambar 4.29C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua tanah natural yang distabilisasi dengan 15% *fly ash*. Terdapat perbedaan antara grafik siklus pertama dan siklus kedua. Terlihat di dalam grafik bahwa semakin tinggi kadar air (jenuh) semakin tinggi juga derajat kejenuhannya, begitu sebaliknya. Nilai kadar air pada siklus pertama lebih kecil dibandingkan dengan siklus kedua. Seharusnya nilai derajat kejenuhan pada siklus pertama lebih kecil bila dibandingkan dengan siklus kedua. Tetapi sebaliknya, nilai derajat kejenuhan pada siklus pertama lebih besar dibandingkan siklus kedua. Hal ini dipengaruhi oleh volume pori yang meningkat, dimana derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori ($S_r = \frac{V_w}{V_v}$).

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 30.007%, dan pada siklus kedua sebesar 30.020% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0.046%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 78.267%, dan pada siklus kedua sebesar 77.955% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 0.399%.

4.3.3.8. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.29D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua tanah natural yang distabilisasi dengan 15% *fly ash*. Terdapat perbedaan antara grafik siklus pertama dan siklus kedua. Sebelumnya telah diuraikan bahwa nilai derajat kejenuhan dipengaruhi dengan nilai kadar air, semakin tinggi nilai kadar air semakin tinggi juga nilai derajat kejenuhan. Dalam hal ini nilai modulus geser maksimum dipengaruhi oleh kadar air tanah. Semakin tinggi kadar air semakin kecil nilai modulus geser maksimum, sehingga semakin tinggi nilai derajat kejenuhan semakin kecil juga nilai modulus geser tanah.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 661.217×10^3 kPa, dan pada siklus kedua sebesar 623.636×10^3 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 5.684%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 78.267%, dan pada siklus kedua sebesar 77.955% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 0.399%.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.30 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, kohesi tanah natural + 15% *fly ash*.

4.3.3.9. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.30A adalah grafik hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah basah pada siklus pertama dan kedua tanah natural yang distabilisasi dengan 15% *fly ash*. Terdapat perbedaan antara grafik siklus pertama dan siklus kedua. Berdasarkan atas apa yang telah dijelaskan sebelumnya, nilai derajat kejenuhan pada siklus pertama lebih besar dibandingkan dengan siklus kedua. Sehingga nilai berat volume tanah basah pada siklus pertama lebih besar dibandingkan siklus kedua.

Pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 78.267%, dan pada siklus kedua sebesar 77.955% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 0.399%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume basah tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 17.607 kN/m³, dan pada siklus kedua sebesar 17.578 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume tanah basah sebesar 0.160%.

4.3.3.10. Hubungan Antara Modulus Geser (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.30B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah basah pada siklus pertama dan kedua tanah natural yang distabilisasi dengan 15% *fly ash*. Terdapat perbedaan antara grafik siklus pertama dan siklus kedua.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 661.217 x 10³ kPa, dan pada siklus kedua sebesar 623.636 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 5.684%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume basah tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 17.607 kN/m³, dan pada

siklus kedua sebesar 17.578 kN/m^3 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume tanah basah sebesar 0.160% .

4.3.3.11. Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.30C adalah grafik hubungan antara kohesi dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua tanah natural yang distabilisasi dengan 15% *fly ash*. Terdapat perbedaan antara grafik siklus pertama dan siklus kedua. Terlihat dari grafik bahwa nilai kohesi tanah dipengaruhi oleh nilai derajat kejenuhan. Semakin jenuh suatu tanah, maka nilai kohesi tanah akan menurun serta memiliki nilai derajat kejenuhan yang meningkat, sehingga nilai kohesi pada siklus pertama lebih besar dibandingkan dengan siklus kedua. Tetapi, seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, untuk nilai derajat kejenuhan pada siklus pertama lebih besar dibandingkan dengan siklus kedua.

Pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 189.563 kN/m^2 , dan pada siklus kedua sebesar 146.221 kN/m^2 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan kohesi sebesar 22.864% . Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 78.267% , dan pada siklus kedua sebesar 77.955% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 0.399% .

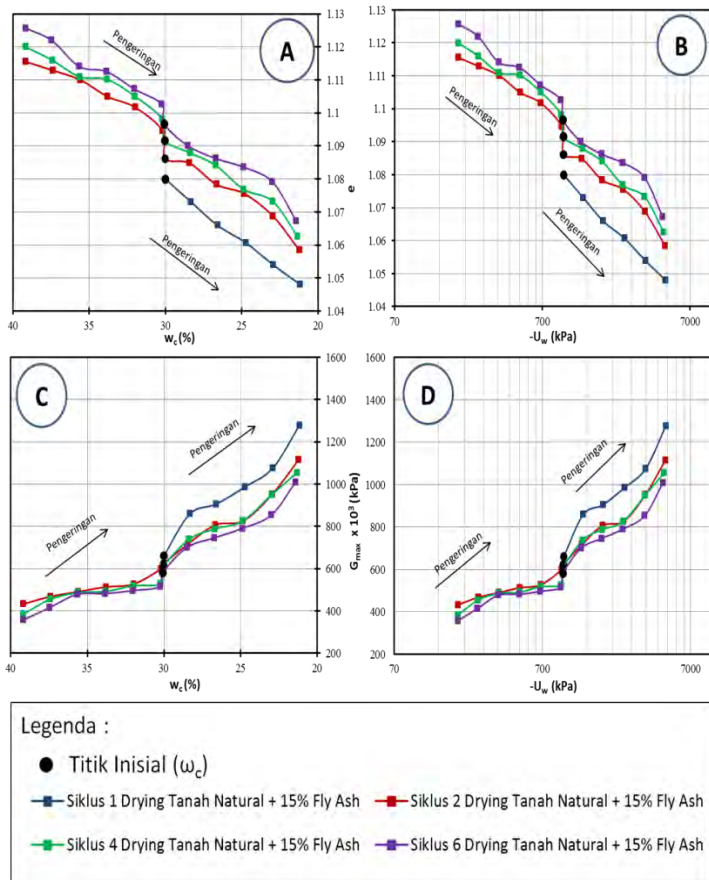
4.3.3.12. Hubungan Antara Modulus Geser (G_{max}) dengan Kohesi (C_u)

Gambar 4.30D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada siklus pertama dan kedua tanah natural yang distabilisasi dengan 15% *fly ash*. Terdapat perbedaan antara grafik siklus pertama dan siklus kedua.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 661.217×10^3 kPa, dan pada siklus kedua sebesar 623.636×10^3 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 5.684%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 189.563 kN/m^2 , dan pada siklus kedua sebesar 146.221 kN/m^2 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan kohesi sebesar 22.864%.

4.3.4. Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Berulang (1 Kali, 2 Kali, 4 Kali, Dan 6 Kali)

Proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) akan mempengaruhi parameter fisik, mekanik, dan dinamik tanah. Berikut merupakan grafik pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural +15% *fly ash*.. Dalam hal ini, pada proses pengeringan 1 kali dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100%, sedangkan untuk proses pengeringan 2 kali, 4 kali, dan 6 kali dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi kering 100%.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.31 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, tegangan air pori tanah natural + 15% *fly ash*.

4.3.4.1. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.31A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 30.007%, dan pada siklus keenam sebesar 30.076% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0.230%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 1.088, dan pada siklus keenam sebesar 1.097 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan angka pori sebesar 1.543%.

4.3.4.2. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.31B adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif semakin mengecil dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 976.186 kPa dan pada siklus keenam sebesar 963.746 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 1.274%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 1.088, dan pada siklus keenam sebesar 1.097 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan angka pori sebesar 1.543%.

4.3.4.3. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.31C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

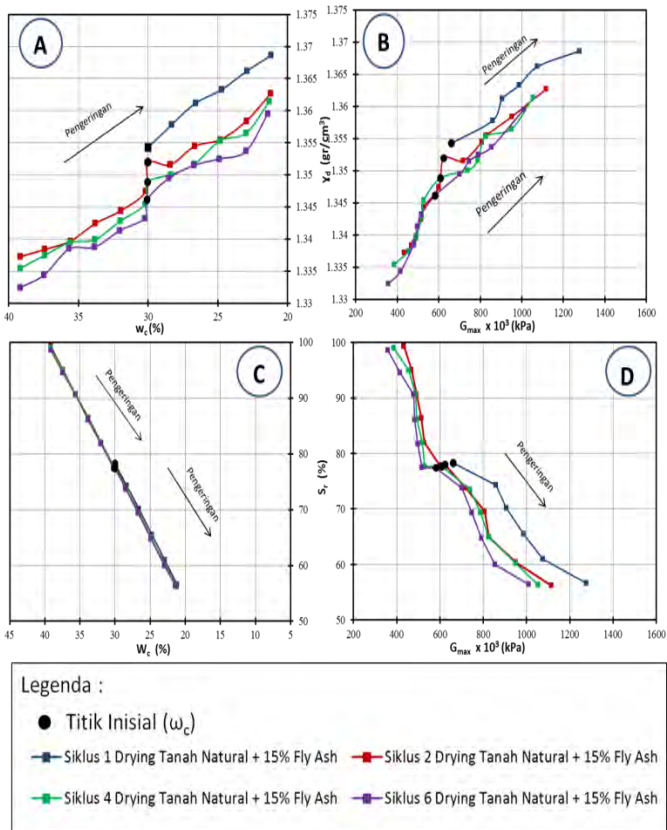
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 30.007%, dan pada siklus keenam sebesar 30.076% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0.230%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 661.217×10^3 kPa, dan pada siklus keenam sebesar 581.749×10^3 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 12.019%.

4.3.4.4. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.31D adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif semakin mengecil dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 976.186 kPa dan pada siklus keenam sebesar 963.746 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 1.274%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 661.217×10^3 kPa, dan pada siklus

keenam sebesar 581.749×10^3 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 12.019%.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.32 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, derajat kejenuhan tanah natural + 15% *fly ash*.

4.3.4.5. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.32A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan berat volume kering pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 30.007%, dan pada siklus keenam sebesar 30.076% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikankadar air sebesar 0.230%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 13.543 kN/m³, dan pada siklus keenam sebesar 13.461 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 0.6%.

4.3.4.6. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.32B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume kering pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai modulus geser maksimum semakin mengecil dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 661.217 x 10³ kPa, dan pada siklus keenam sebesar 581.749 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 12.019%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 13.543 kN/m³, dan pada

siklus keenam sebesar 13.461 kN/m^3 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 0.6%.

4.3.4.7. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.32C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

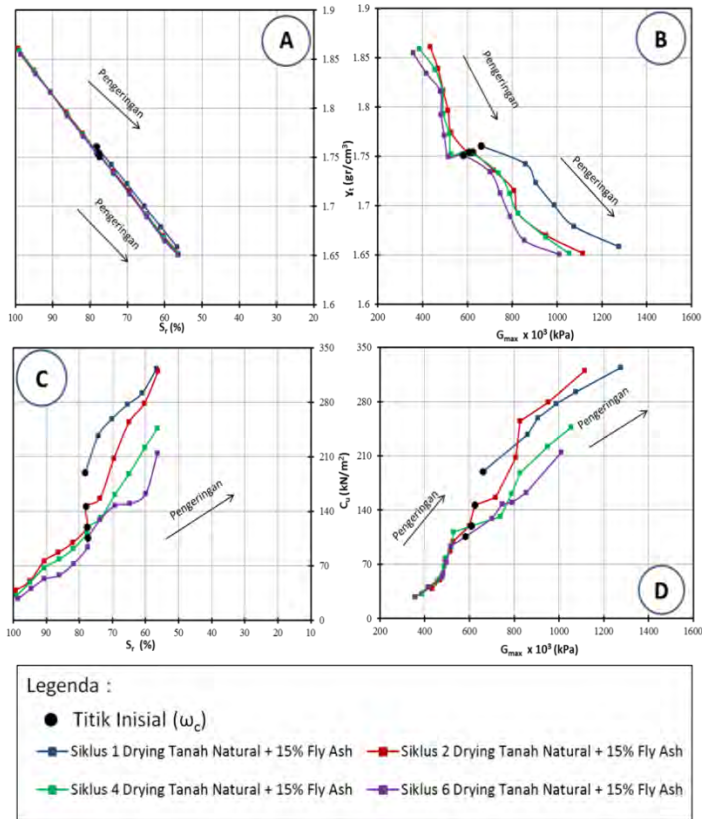
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 30.007%, dan pada siklus keenam sebesar 30.076% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0.230%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 78.267%, dan pada siklus keenam sebesar 77.406% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 1.1%.

4.3.4.8. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.32D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai modulus geser maksimum semakin mengecil dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar $661.217 \times 10^3 \text{ kPa}$, dan pada siklus keenam sebesar $581.749 \times 10^3 \text{ kPa}$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 12.019%. Kemudian pada

kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 78.267%, dan pada siklus keenam sebesar 77.406% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 1.1%.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.33 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, kohesi tanah natural + 15% *fly ash*.

4.3.4.9. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.33A adalah grafik hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah basah pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai derajat kejenuhan semakin mengecil dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 78.267%, dan pada siklus keenam sebesar 77.406% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 1.1%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume basah tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 17.607 kN/m³, dan pada siklus keenam sebesar 17.510 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume tanah basah sebesar 0.548%.

4.3.4.10. Hubungan Antara Modulus Geser (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.33B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah basah pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai modulus geser maksimum semakin mengecil dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 661.217 x 10³ kPa, dan pada siklus keenam sebesar 581.749 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 12.019%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume basah tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 17.607 kN/m³, dan pada

siklus keenam sebesar 17.510 kN/m^3 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume tanah basah sebesar 0.548%.

4.3.4.11. Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.33C adalah grafik hubungan antara kohesi dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai kohesi semakin mengecil dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 189.563 kN/m^2 , dan pada siklus keenam sebesar 105.702 kN/m^2 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan kohesi sebesar 44.239%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 78.267%, dan pada siklus keenam sebesar 77.406% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 1.1%.

4.3.4.12. Hubungan Antara Modulus Geser (G_{max}) dengan Kohesi (C_u)

Gambar 4.33D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai modulus geser maksimum semakin mengecil dan nilai kohesi semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar $661.217 \times 10^3 \text{ kPa}$, dan pada siklus keenam sebesar $581.749 \times 10^3 \text{ kPa}$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan

modulus geser maksimum sebesar 12.019%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural + 15% *fly ash* siklus pertama sebesar 189.563 kN/m², dan pada siklus keenam sebesar 105.702 kN/m² sehingga tanah tersebut mengalami penurunan kohesi sebesar 44.239%.

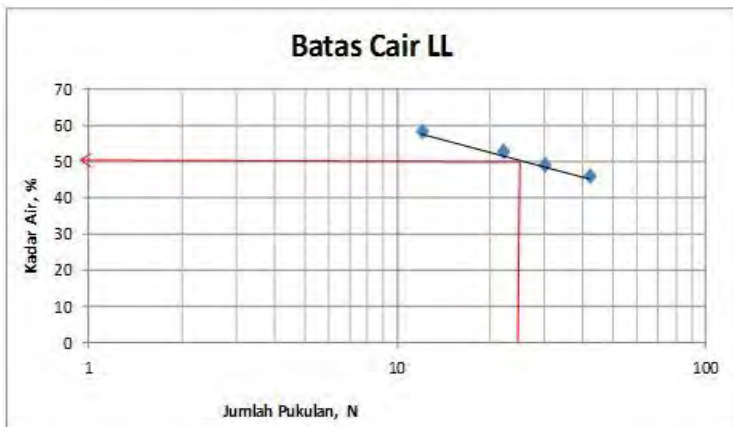
4.4. Hasil Pengujian Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri

4.4.1. Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik meliputi pengujian batas-batas Atterberg (*Atterberg Limits*) dan pengujian analisis ukuran butiran (analisis ayakan dan analisis hidrometer). Berikut adalah penjelasannya.

4.4.1.1. Pengujian Atterberg Limit

Pengujian batas-batas *atterberg* (*atterberg limits*) bertujuan untuk mengetahui batas cair, batas plastis, dan indeks plastis suatu tanah. Hasil pengujian dapat dilihat selengkapnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



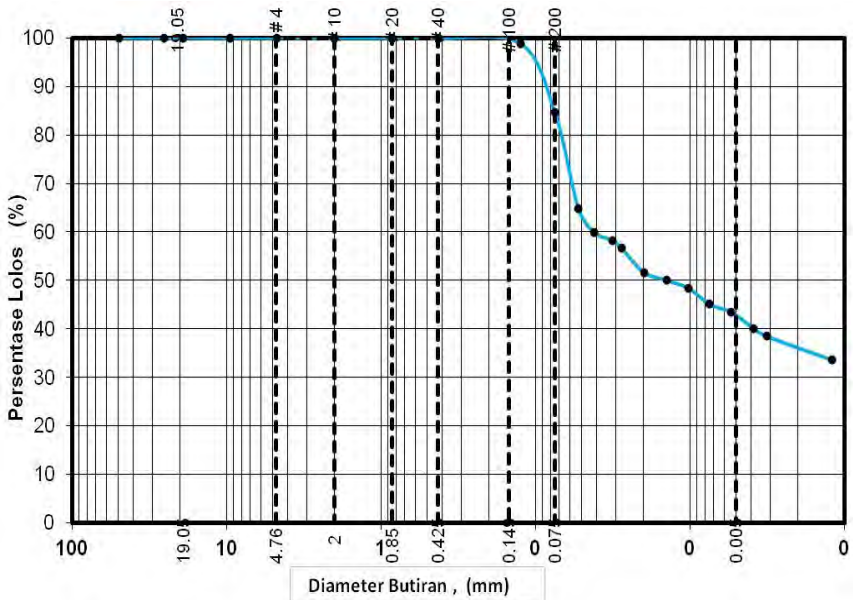
(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.34 Grafik hasil pengujian Atterberg Limit.

Dari pengujian Atterberg Limit didapatkan nilai batas cair (LL) sebesar 50%, batas plastis (PL) sebesar 24,212%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 25,788%.

4.4.1.2. Pengujian Analisis Ukuran Butir

Hasil dari pengujian analisa ukuran butiran (analisa ayakan dan analisa hidrometer) dapat dilihat selengkapnya pada grafik dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.35 Grafik hasil pengujian analisa ukuran butiran.

Dari pengujian analisa ukuran butiran didapatkan nilai fraksi kerikil sebesar 0,00%, fraksi pasir sebesar 15,377%, fraksi lanau sebesar 51,048%, dan fraksi lempung sebesar 33,575%.

4.4.1.3. Klasifikasi Tanah

Berdasarkan dari nilai batas-batas Atterberg dan nilai analisa ukuran butiran diatas, tanah tanggul Sungai Bojonegoro, *Cross Section* (0 ± 000) yang distabilisasi dengan 5% mikro biobakteri ini dapat diklasifikasikan pada tabel 4.5 sebagai berikut:

Tabel 4.5 Tabel klasifikasi tanah natural + 5% mikro biobakteri

Klasifikasi Tanah	Sifat Fisik
	Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri
USCS	CL
AASHTO	A-7-6

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Dari tabel 4.5 diatas disimpulkan bahwa menurut AASHTO, tanah natural + 5% mikro biobakteri tersebut merupakan tanah lempung yang lebih bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan volume besar. Sedangkan menurut USCS tanah natural + 5% mikro biobakteri tersebut merupakan tanah lempung organik dengan plastisitas rendah.

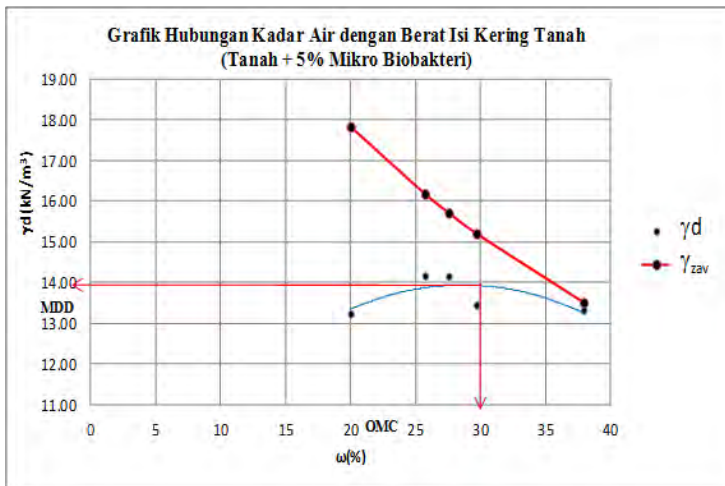
4.4.2. Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik meliputi pengujian pemadatan *proctor* (*Proctor Compaction Test*), tegangan air pori negatif (*Suction*) dan pengujian triaksial.

4.4.2.1. Pengujian Pemadatan Proctor Standar

Pengujian pemadatan Proctor dimaksudkan untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum. Pada saat pengujian, dilakukan juga pengukuran tegangan air pori negatif (*suction*) setiap benda uji menggunakan kertas filter tipe whatman no.42 yang diletakkan pada 1/3 dan 2/3 tinggi benda uji. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya tegangan air pori

negatif tanah pada tingkat kepadatan maksimum. Untuk bahan tambah mikro biobakteri, variasi kadar air yang dipakai adalah 100cc, 200cc, 300cc, 400cc, dan 500cc, sedangkan untuk variasi kadar mikro biobakteri yang dipakai adalah 3%, 5%, dan 7% dari berat total tanah. Hasil pengujian pemadatan Proctor (*Proctor Compaction Test*) dapat dilihat pada gambar 4.36 dibawah ini.



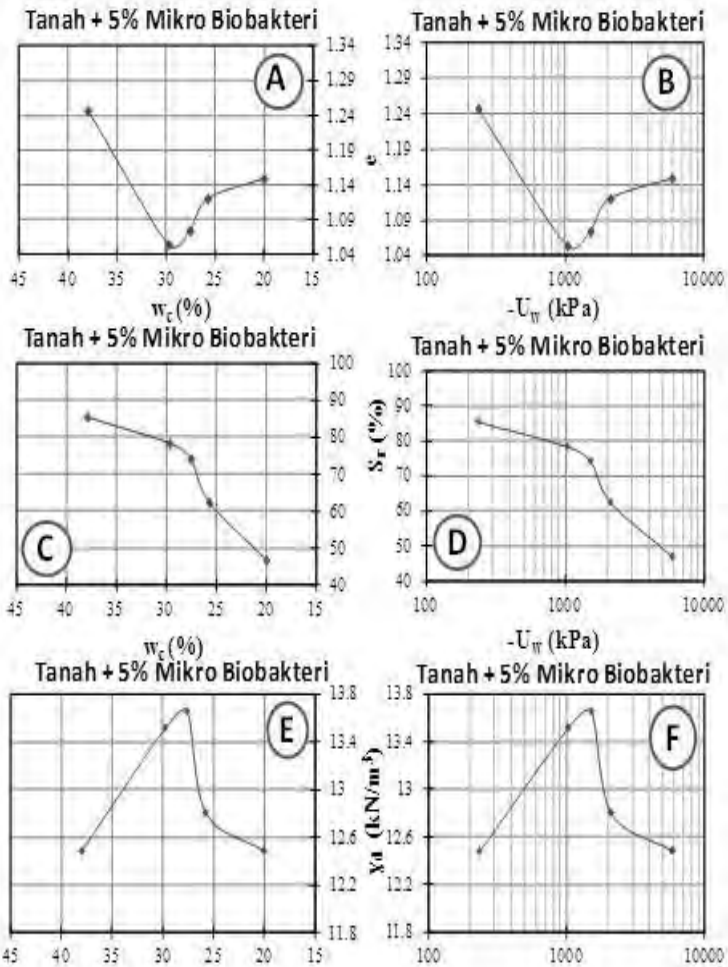
(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.36 Grafik hubungan kadar air optimum (ω_c) dengan berat volume kering maksimum (γ_d) tanah natural + 5% mikro biobakteri.

Dari Gambar 4.36 diatas, hasil pemadatan Proctor tanah natural + 5% mikro biobakteri didapatkan nilai berat volume kering maksimum ($\gamma_{d\text{maks}}$) sebesar 1.39 kN/m^3 dan nilai kadar air optimumnya ω_{opt} adalah 30%.

4.4.2.2. Analisa Hasil Pengujian Pemadatan Proctor Standar

Pengujian pemadatan Proctor standar ini selain untuk mendapatkan nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum, juga untuk mendapatkan harga tegangan air pori negatif, angka pori, dan derajat kejenuhan. Angka pori dan derajat kejenuhan diperoleh dengan pengujian volumetri. Hasil-hasil pengujian *suction* dan volumetri dapat dilihat selengkapnya pada Gambar 4.37 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.37 Grafik hubungan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, berat volume kering, dan tegangan air pori negatif hasil pengujian pada benda uji tanah natural + 5% mikro biobakteri.

A. Hubungan Antara Angka Pori (e) dengan Kadar Air (ω_c)

Gambar 4.37A memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai angka pori untuk benda uji tanah natural + 5% mikro biobakteri. Angka pori adalah parameter yang sangat berpengaruh terhadap kepadatan tanah, semakin kecil angka pori maka kepadatan tanah akan semakin tinggi, begitu sebaliknya. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai angka pori akan mengecil, namun pada saat mencapai nilai kadar air optimum, nilai angka pori akan membesar.

B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori ($-U_w$) Negatif dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.37B memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai angka pori untuk benda uji tanah natural + 5% mikro biobakteri. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai angka pori akan mengecil, namun pada saat mencapai nilai tegangan air pori negatif optimum, nilai angka pori akan membesar.

C. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.37C memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai derajat kejenuhan untuk benda uji tanah natural + 5% mikro biobakteri. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai derajat kejenuhan akan membesar.

D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.37D memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai derajat kejenuhan untuk benda uji tanah natural + 5% mikro

biobakteri. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai derajat kejenuhan akan membesar.

E. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

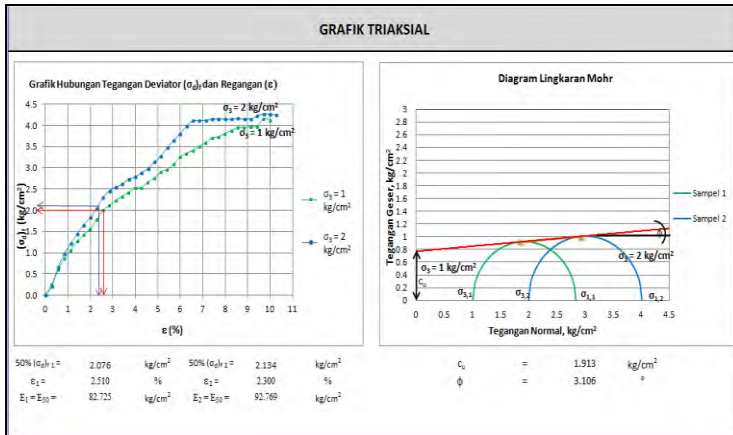
Gambar 4.37E memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai berat volume kering untuk benda uji tanah natural. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai berat volume kering membesar, namun pada saat mencapai nilai kadar air optimum, nilai berat volume kering akan mengecil.

F. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) Dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.37F memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai berat volume kering untuk benda uji tanah natural + 5% mikro biobakteri. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai berat volume kering membesar, namun pada saat mencapai nilai tegangan air pori negatif optimum, nilai berat volume kering akan mengecil.

4.4.2.3. Pengujian Triaksial

Pengujian Triaksial dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter kekuatan geser tanah (kohesi dan sudut geser). Dimana kekuatan geser adalah gaya perlawanan internal oleh butir-butir tanah per satuan luas terhadap desakan atau tarikan sepanjang bidang geser dalam tanah (Das, 1993). Gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan yang lainnya tidak dapat saling menempel karena molekulnya saling tolak menolak. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D 3080-72 dengan menggunakan Triaksial tipe *Unconsolidated Undrained* (UU). Hasil pengujian Triaksial tipe UU dapat dilihat pada gambar 4.38 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

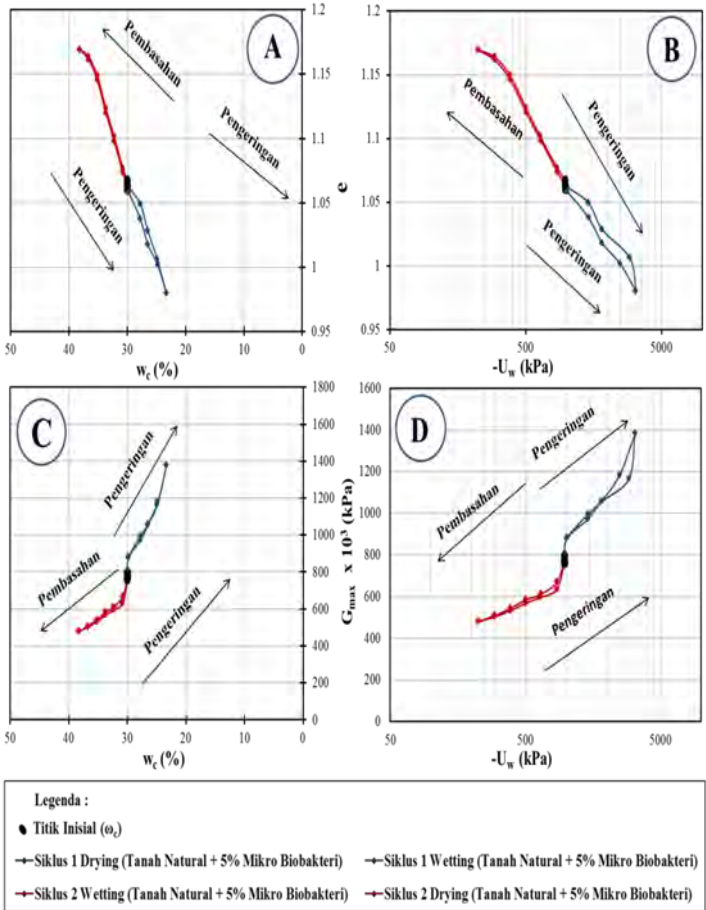
Gambar 4.38 Grafik Triaksial tanah natural + 5% mikro biobakteri.

Dari pengujian Triaksial tipe UU didapatkan nilai kohesi (C_u) sebesar 191,3 kN/m², sudut geser dalam (ϕ) sebesar 3,106°, Modulus Elastisitas ($E_1 = E_{50}$) sebesar 8272,5 kN/m², dan Modulus Elastisitas ($E_2 = E_{50}$) sebesar 9276,9 kN/m².

4.4.3. Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Dan Pembasahan (Siklus Pertama Dan Kedua)

Proses pengeringan dan pembasahan akan mempengaruhi parameter fisik, mekanik, dan dinamik tanah. Dalam hal ini pada siklus pertama, pengeringan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100% dan pembasahan dimulai dari kondisi kering 100% hingga kondisi inisial. Kemudian pada siklus kedua, pembasahan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi basah 100% (jenuh) dan pengeringan dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi inisial. Berikut grafik pengaruh pengeringan dan

pembasahan pada siklus pertama dan kedua tanah natural + 5% mikro biobakteri.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.39 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 5% mikro biobakteri.

4.4.3.1 Hubungan Antara Kadar Air Dengan Angka Pori

Gambar 4.39A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Pada siklus pertama ini, siklus pertama *wetting* memiliki nilai kadar air dan angka pori yang lebih besar dibandingkan dengan siklus pertama *drying*. Begitu juga pada siklus kedua.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus pertama sebesar 30,003%, dan pada siklus kedua sebesar 30,007% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,014%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus pertama sebesar 1,060%, dan pada siklus kedua sebesar 1,068% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan angka pori sebesar 0,689%

4.4.3.2 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif Dengan Angka Pori

Gambar 4.39B adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif semakin mengecil dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus pertama sebesar 976,711 kPa, dan pada siklus kedua sebesar 976,011 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 0,072%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus pertama sebesar 1,060%, dan pada siklus kedua sebesar 1,068% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan angka pori sebesar 0,689%.

4.4.3.3 Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.39C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

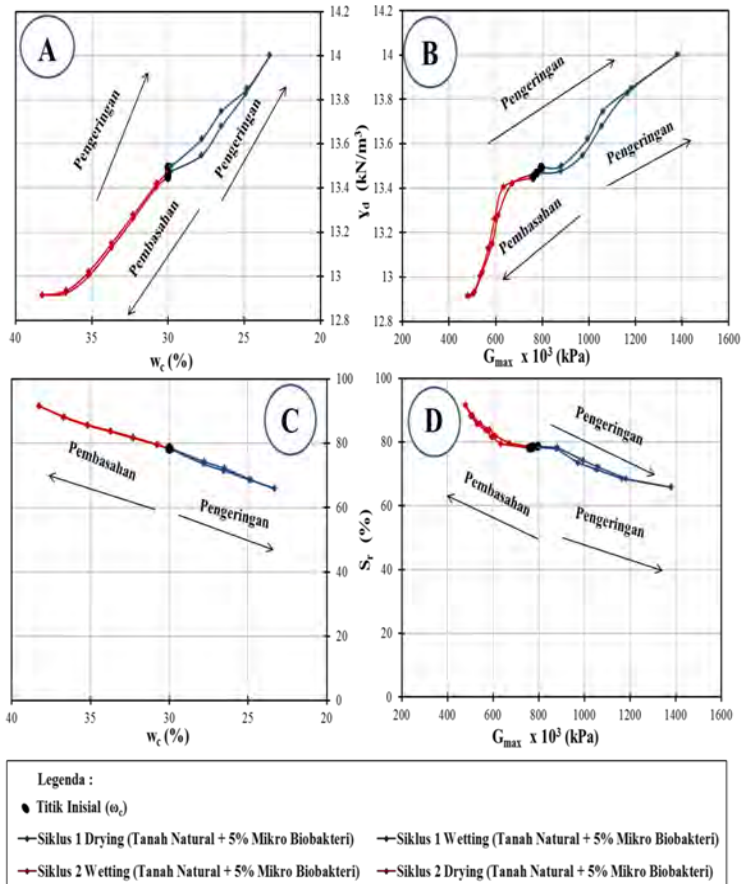
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus pertama sebesar 30,003%, dan pada siklus kedua sebesar 30,007% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,014%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus + 5% mikro biobakteri pertama sebesar $630,688 \times 10^3$ kPa, dan pada siklus kedua sebesar $553,510 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 12,237%.

4.4.3.4 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.39D adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus pertama sebesar 976,711 kPa, dan pada siklus kedua sebesar 976,011 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 0,072%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus pertama sebesar $795,756 \times 10^3$ kPa, dan pada siklus kedua sebesar $759,812 \times$

10^3 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 4,517%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.40 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, dan derajat kejenuhan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri.

4.4.3.5 Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.40A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan berat volume kering pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 5% mikro bobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 5% mikro bobakteri, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 5% mikro bobakteri siklus pertama sebesar 30,003%, dan pada siklus kedua sebesar 30,007% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,014%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural + 5% mikro bobakteri siklus pertama sebesar 13,494 kN/m³, dan pada siklus kedua sebesar 13,450 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 0,326%.

4.4.3.6 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.40B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume kering pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 5% mikro bobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 5% mikro bobakteri, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus + 5% mikro bobakteri pertama sebesar 795,756 x 10³ kPa, dan pada siklus kedua sebesar 759,812 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 4,517%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural + 5% mikro bobakteri siklus pertama

sebesar $13,494 \text{ kN/m}^3$, dan pada siklus kedua sebesar $13,450 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar $0,326\%$.

4.4.3.7 Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.40C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 5% mikro bobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 5% mikro bobakteri, menyebabkan nilai tegangan kadar air semakin membesar dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

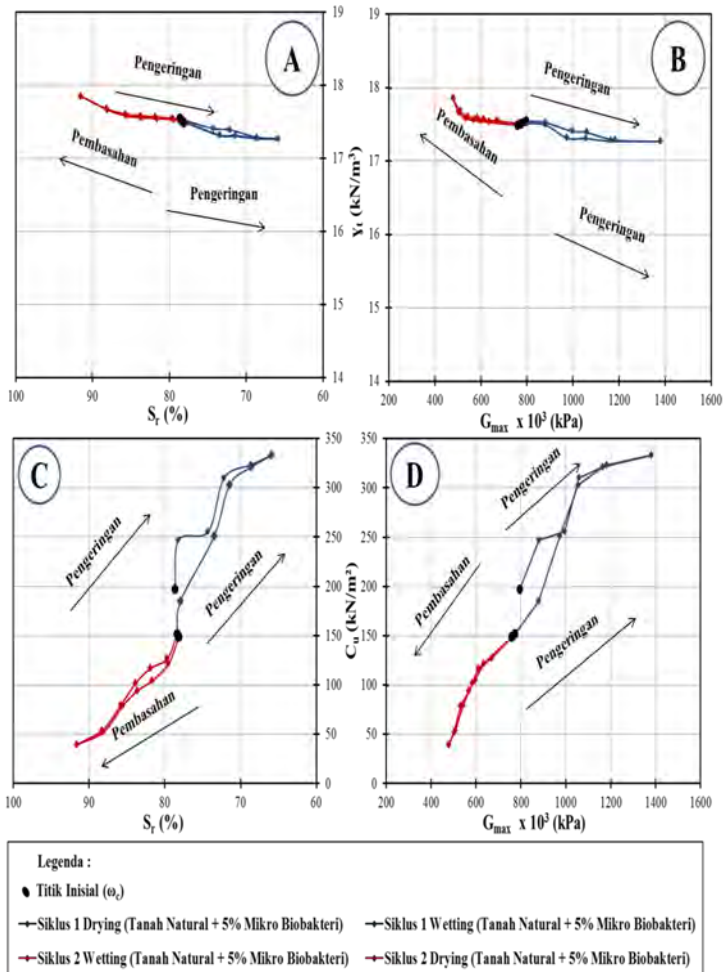
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 5% mikro bobakteri siklus pertama sebesar $30,003\%$, dan pada siklus kedua sebesar $30,007\%$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar $0,014\%$. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 5% mikro bobakteri siklus pertama sebesar $78,669\%$, dan pada siklus kedua sebesar $78,162\%$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar $0,645\%$.

4.4.3.8 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.40D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 5% mikro bobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 5% mikro bobakteri, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 5% mikro bobakteri siklus pertama sebesar $795,756 \times 10^3 \text{ kPa}$, dan pada siklus kedua sebesar $759,812 \times 10^3 \text{ kPa}$ sehingga tanah tersebut mengalami

penurunan modulus geser maksimum sebesar 4,517%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 5% mikro bobakteri siklus pertama sebesar 78,669%, dan pada siklus kedua sebesar 78,162% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 0,645%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.41 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, dan kohesi pada tanah natural + 5% mikro biobakteri.

4.4.3.9 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.41A adalah grafik hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah basah pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus + 5% mikro biobakteri pertama sebesar 78,669%, dan pada siklus kedua sebesar 78,162% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 0,645. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus pertama sebesar $17,542 \text{ kN/m}^3$, dan pada siklus kedua sebesar $17,485 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume tanah basah sebesar 0,323%.

4.4.3.10 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{\max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.41B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah basah pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus pertama sebesar $795,756 \times 10^3 \text{ kPa}$, dan pada siklus kedua sebesar $759,812 \times 10^3 \text{ kPa}$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 4,517%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus pertama

sebesar $17,542 \text{ kN/m}^3$, dan pada siklus kedua sebesar $17,485 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume tanah basah sebesar $0,323\%$.

4.4.3.11 Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.41C adalah grafik hubungan antara kohesi dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai kohesi dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus pertama sebesar $197,189 \text{ kN/m}^3$, dan pada siklus kedua sebesar $148,814 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan kohesi sebesar $24,532\%$. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus pertama sebesar $78,669\%$, dan pada siklus kedua sebesar $78,162\%$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar $0,645\%$.

4.4.3.12 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{\max}) Dengan Kohesi (C_u)

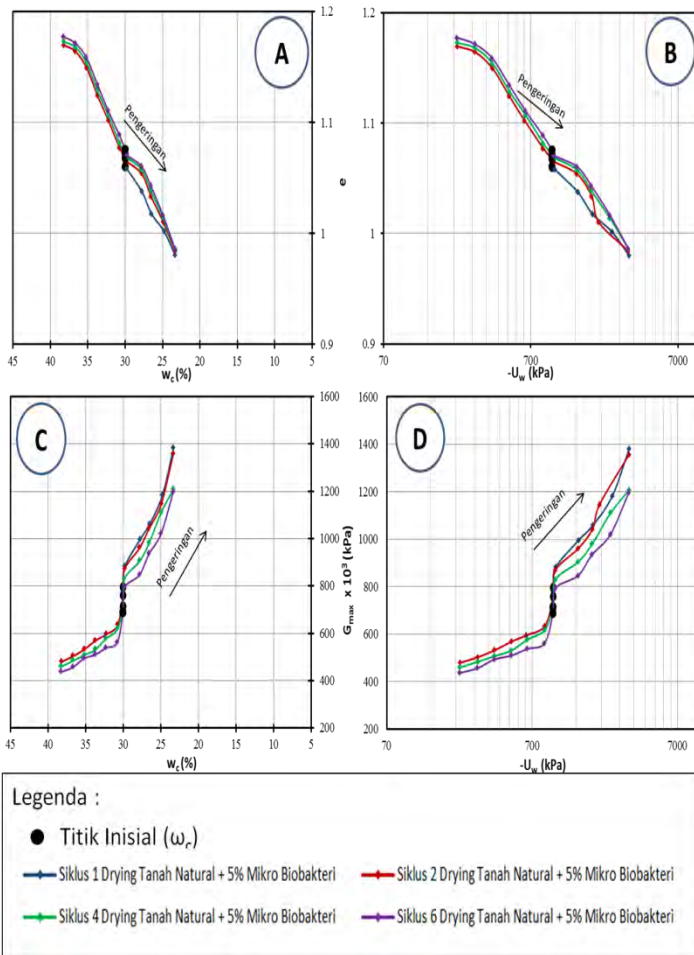
Gambar 4.41D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan kohesi semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus pertama sebesar $795,756 \times 10^3 \text{ kPa}$, dan pada siklus kedua sebesar $759,812 \times 10^3 \text{ kPa}$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar $4,517\%$.

Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural siklus + 5% mikro biobakteri pertama sebesar 197,189 kN/m³, dan pada siklus kedua sebesar 148,814 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan kohesi sebesar 24,532%.

4.4.4. Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Berulang (1 Kali, 2 Kali, 4 Kali, Dan 6 Kali)

Proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) akan mempengaruhi parameter fisik, mekanik, dan dinamik tanah. Berikut merupakan grafik pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Dalam hal ini, pada proses pengeringan 1 kali dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100%, sedangkan untuk proses pengeringan 2 kali, 4 kali, dan 6 kali dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi kering 100%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.42 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 5% mikro biobakteri.

4.4.4.1 Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.42A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai kadar air dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar 30,003%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 30,016% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,044%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar 1,060, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 1,076 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan angka pori sebesar 1,449%.

4.4.4.2 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.42B adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif semakin mengecil dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar 976,711 kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 974,524kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 0,224%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar 1,060, dan pada

pengeringan 6 kali sebesar 1,076 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan angka pori sebesar 1,449%.

4.4.4.3 Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.42C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

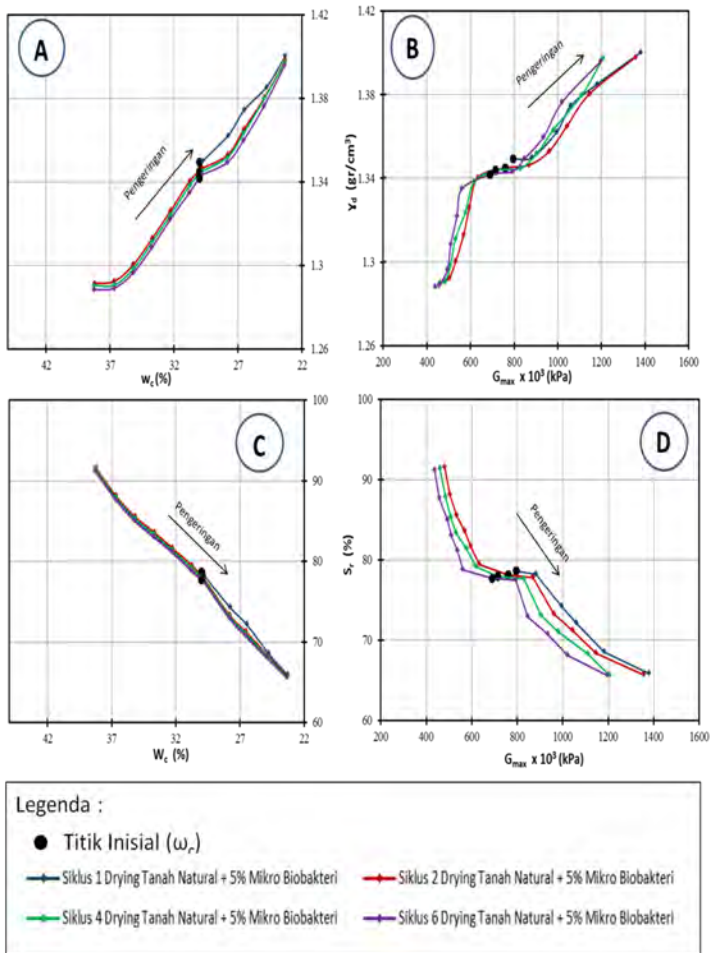
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar 30,003%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 30,016% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,044%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar $795,756 \times 10^3$ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $689,246 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 13,385%.

4.4.4.4 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.42D adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar 976,711 kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar

974,524kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 0,224%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar $795,756 \times 10^3$ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $689,246 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 13,385%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.43 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, dan derajat kejenuhan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri..

4.4.4.5 Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.43A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan berat volume kering pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar 30,003%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 30,016% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,044%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar 13,494 kN/m³, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 13,418 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 0,549%.

4.4.4.6 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.43B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume kering pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar 795,756 x 10³ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 689,246 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 13,385%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume

kering tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar $13,494 \text{ kN/m}^3$, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $13,418 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume kering sebesar 0,549%.

4.4.4.7 Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.43C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan, menyebabkan nilai tegangan kadar air semakin membesar dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

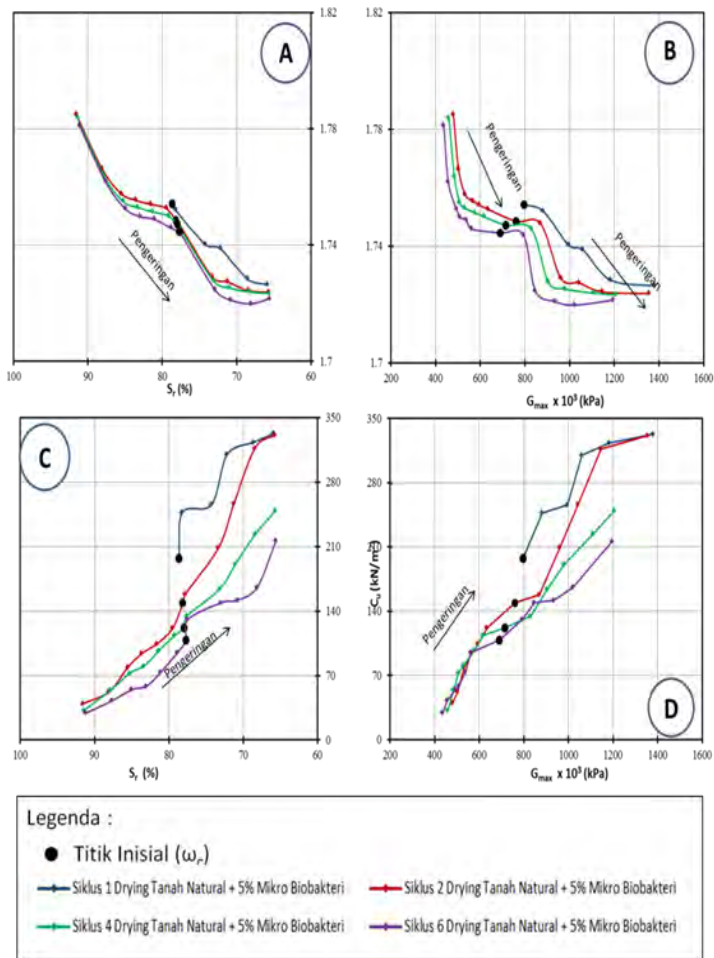
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar 30,003%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 30,016% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,044%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar 78,669%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 77,720% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 1,206%.

4.4.4.8 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.43D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar $795,756 \times 10^3 \text{ kPa}$, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $689,246 \times 10^3 \text{ kPa}$ sehingga tanah tersebut mengalami

penurunan modulus geser maksimum sebesar 13,385%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar 78,669%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 77,720% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 1,206%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.44 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, dan kohesi pada tanah natural + 5% mikro biobakteri..

4.4.4.9 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.44A adalah grafik hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah basah pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar 78,669%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 77,720% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 1,206%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar 17,542 kN/m³, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 17,446 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume tanah basah sebesar 0,549%.

4.4.4.10 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.44B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah basah pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar 795,756 x 10³ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 689,246 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 13,385%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume tanah

basah tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar $17,542 \text{ kN/m}^3$, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $17,446 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan berat volume tanah basah sebesar 0,549%.

4.4.4.11 Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.44C adalah grafik hubungan antara kohesi dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai kohesi dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar $197,189 \text{ kN/m}^3$, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $108,322 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan kohesi sebesar 45,067%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar 78,669%, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 77,720% sehingga tanah tersebut mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 1,206%.

4.4.4.12 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{\max}) Dengan Kohesi (C_u)

Gambar 4.44D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan kohesi semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan

1 kali sebesar $795,756 \times 10^3$ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $689,246 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 13,385%. Kemudian pada inisial untuk nilai kohesi tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 1 kali sebesar $197,189 \text{ kN/m}^3$, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $108,322 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami penurunan kohesi sebesar 45,067%.

4.5. Perbandingan Hasil Pengujian Tanah Natural Dengan Tanah Yang Distabilisasi

4.5.1. Perbandingan Hasil Pengujian Tanah Natural Dengan Tanah Natural + 8% Kapur

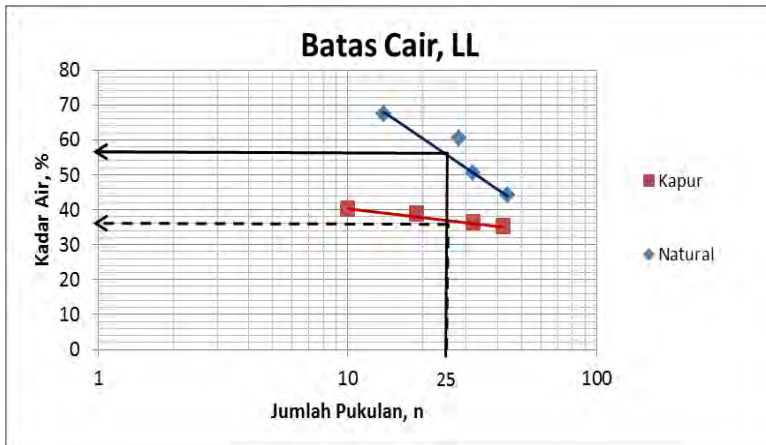
Berikut ini merupakan perbandingan hasil nilai parameter antara tanah natural dengan tanah natural + 8% kapur yang meliputi sifat fisik, mekanik dan dinamik.

4.5.1.1. Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik meliputi pengujian batas-batas Atterberg (*Atterberg Limits*) dan pengujian analisis ukuran butiran (analisis ayakan dan analisis hidrometer). Berikut adalah penjelasannya.

A. Pengujian Atterberg Limit

Pengujian batas-batas *atterberg* (*atterberg limits*) bertujuan untuk mengetahui batas cair, batas plastis, dan indeks plastis suatu tanah. Hasil pengujian dapat dilihat selengkapnyanya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

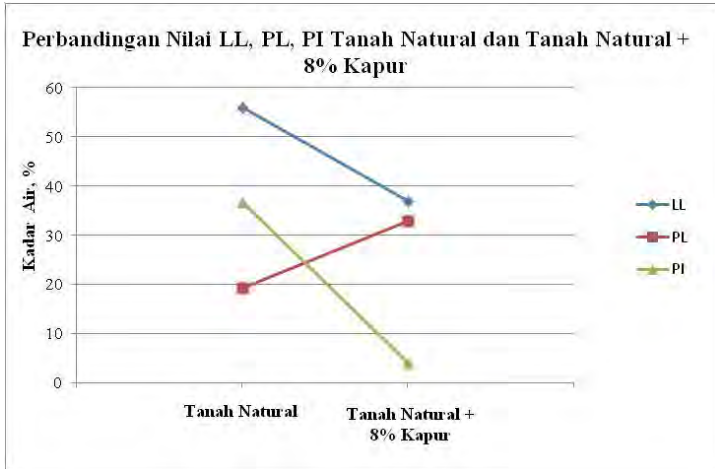
Gambar 4.45 Grafik hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural dan tanah natural + 8% kapur.

Dari pengujian Atterberg Limit didapatkan nilai batas cair (LL), batas plastis (PL), dan indeks plastisitas (PI) pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur dapat dilihat pada tabel 4.6 dan gambar 4.46 berikut ini

Tabel 4.6 Batas-baantas *atterberg* tanah natural dan tanah natural + 8% kapur

Parameter Tanah	Sifat Fisik	
	Tanah Natural	Tanah + 8% Kapur
Batas Cair, LL (%)	56	37
Batas Plastis, PL (%)	19.269	32,91
Indeks Plastis, PI (%)	36.731	4.093

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)



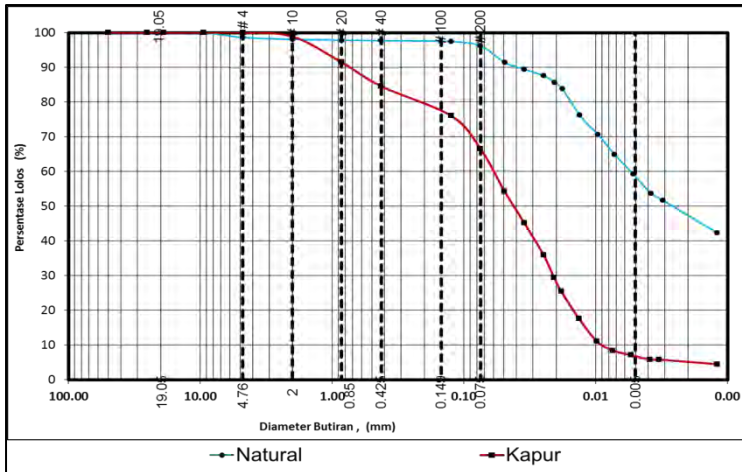
(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.46 Grafik perbandingan nilai LL, PL, PI tanah natural dan tanah natural + 8% Kapur

Dapat disimpulkan bahwa nilai batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur mengalami penurunan sebesar 33,929% dan 88,858%. Sedangkan nilai batas plastis (PL) mengalami kenaikan sebesar 70,776%.

B. Pengujian Analisis Ukuran Butir

Hasil dari pengujian analisa ukuran butiran (analisa ayakan dan analisa hidrometer) dapat dilihat selengkapnya pada grafik dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.47 Grafik hasil pengujian analisa ukuran butiran tanah natural + 8% kapur.

Dari pengujian analisa ukuran butiran didapatkan nilai fraksi kerikil, fraksi pasir, fraksi lanau, dan fraksi lempung pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.7 Nilai analisa ukuran butiran tanah natural dan tanah natural + 8% kapur.

Parameter Tanah	Sifat Fisik	
	Tanah Natural	Tanah + 8% Kapur
Fraksi Kerikil (%)	1.365	0
Fraksi Pasir (%)	2.444	33.445
Fraksi Lanau (%)	53.911	62.096
Fraksi Lempung (%)	42.280	4.459

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Dapat disimpulkan bahwa nilai fraksi kerikil dan fraksi lempung pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur mengalami penurunan sebesar 100% dan 89,455%. Sedangkan nilai fraksi pasir dan fraksi lanau mengalami kenaikan sebesar 1268,453% dan 15,183%.

C. Klasifikasi Tanah

Berdasarkan dari nilai batas-batas Atterberg dan nilai analisa ukuran butiran diatas, tanah tanggul Sungai Bojonegoro, *Cross Section* (0 ± 000) ini dapat diklasifikasikan pada tabel 4.8 sebagai berikut:

Tabel 4.8 Tabel klasifikasi tanah natural dan tanah natural + 8 % kapur

Klasifikasi Tanah	Sifat Fisik	
	Tanah Natural	Tanah + 8% Kapur
USCS	CH	ML
AASHTO	A-7-6	A-4

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

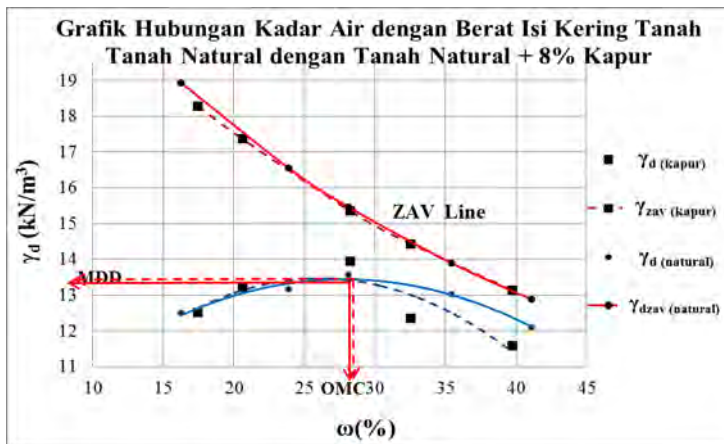
Dari tabel 4.8 diatas disimpulkan bahwa menurut AASHTO, tanah natural yang distabilisasi kapur mengalami perubahan kelompok tanah dari tanah lempung yang bersifat plastis menjadi tanah lanau yang berplastisitas rendah. Sedangkan menurut USCS yang semula tanah lempung organic dengan plastisitas tinggi menjadi tanah lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung.

4.5.1.2. Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik meliputi pengujian pemadatan *proctor* (*Proctor Compaction Test*), tegangan air pori negatif (*Suction*) dan pengujian triaksial.

A. Pengujian Pemadatan Proctor Standar

Pengujian pemadatan Proctor dimaksudkan untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum. Pada saat pengujian, dilakukan juga pengukuran tegangan air pori negatif (*suction*) setiap benda uji menggunakan kertas filter tipe whatman no.42 yang diletakkan pada 1/3 dan 2/3 tinggi benda uji. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya tegangan air pori negatif tanah pada tingkat kepadatan maksimum. Hasil pengujian pemadatan Proctor (*Proctor Compaction Test*) dapat dilihat pada gambar 4.48 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

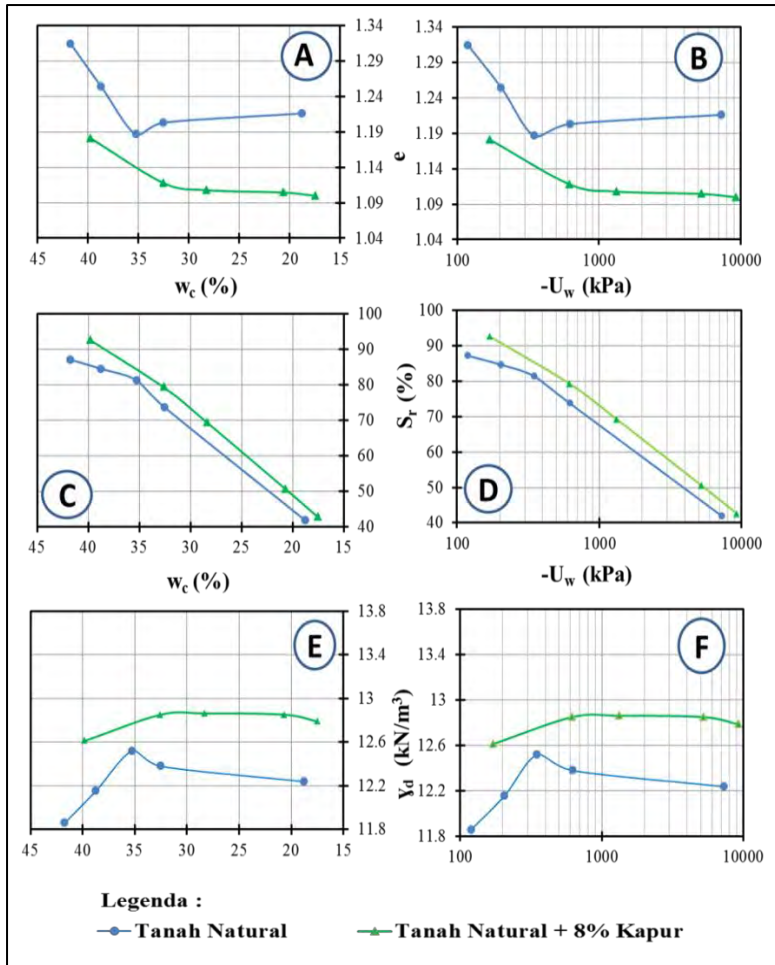
Gambar 4.48 Grafik hubungan kadar air optimum (ω_c) dengan berat volume kering maksimum (γ_d) tanah natural dan tanah natural + 8% kapur.

Dari Gambar 4.48 diatas, hasil pemadatan Proctor tanah natural dan tanah natural + 8% kapur didapatkan nilai berat volume kering maksimum (γ_{dmaks}) sebesar 1.34 kN/m^3 dan 1.35 kN/m^3 , serta nilai kadar air optimumnya ω_{opt} adalah 27% dan 27%.

Dapat disimpulkan bahwa nilai berat volume kering maksimum (γ_{dmaks}) dan kadar air optimumnya ω_{opt} mengalami kenaikan sebesar 0,746% dan 3,704%

B. Analisa Hasil Pengujian Pemadatan Proctor Standar

Pengujian pemadatan Proctor standar ini selain untuk mendapatkan nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum, juga untuk mendapatkan harga tegangan air pori negatif, angka pori, dan derajat kejenuhan. Angka pori dan derajat kejenuhan diperoleh dengan pengujian volumetri. Hasil-hasil pengujian *suction* dan volumetri dapat dilihat selengkapnya pada Gambar 4.49 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.49 Grafik hubungan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, berat volume kering, dan tegangan air pori negatif hasil pengujian pada benda uji tanah natural dan tanah natural + 8% kapur.

a. Hubungan Antara Angka Pori (e) dengan Kadar Air (ω_c)

Gambar 4.49A memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai angka pori untuk benda uji tanah natural. Angka pori adalah parameter yang sangat berpengaruh terhadap kepadatan tanah, semakin kecil angka pori maka kepadatan tanah akan semakin tinggi, begitu sebaliknya. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai angka pori akan mengecil, namun pada saat mencapai nilai kadar air optimum, nilai angka pori akan membesar. Pada gambar diatas terlihat bahwa tanah natural memiliki nilai angka pori dan kadar air yang lebih besar jika dibandingkan dengan tanah natural + 8% kapur.

b. Hubungan Antara Tegangan Air Pori ($-U_w$) Negatif dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.49B memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai angka pori untuk benda uji tanah natural. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai angka pori akan mengecil, namun pada saat mencapai nilai tegangan air pori negatif optimum, nilai angka pori akan membesar. Sehingga dari gambar diatas terlihat nilai tegangan air pori negatif pada tanah natural lebih kecil jika dibandingkan dengan tanah natural + 8% kapur.

c. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.48C memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai derajat kejenuhan untuk benda uji tanah natural. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai derajat kejenuhan akan membesar. Pada gambar diatas terlihat bahwa tanah natural memiliki nilai derajat kejenuhan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan tanah natural + 8% kapur.

d. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.49D memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai derajat kejenuhan untuk benda uji tanah natural. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai derajat kejenuhan akan membesar. Pada gambar diatas terlihat bahwa tanah natural memiliki nilai tegangan air pori dan derajat kejenuhan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan tanah natural + 8% kapur.

e. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.49E memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai berat volume kering untuk benda uji tanah natural. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai berat volume kering membesar, namun pada saat mencapai nilai kadar air optimum, nilai berat volume kering akan mengecil. Pada gambar diatas terlihat bahwa tanah natural memiliki nilai berat volume kering yang lebih kecil jika dibandingkan dengan tanah natural + 8% kapur.

f. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) Dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.49F memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai berat volume kering untuk benda uji tanah natural. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai berat volume kering membesar, namun pada saat mencapai nilai tegangan air pori negatif optimum, nilai berat volume kering akan mengecil. Pada gambar diatas terlihat bahwa tanah natural memiliki nilai berat volume kering yang lebih kecil jika dibandingkan dengan tanah natural + 8% kapur.

C. Pengujian Triaksial

Pengujian Triaksial dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter kekuatan geser tanah (kohesi dan sudut geser). Dimana kekuatan geser adalah gaya perlawanan internal oleh butir-butir tanah per satuan luas terhadap desakan atau tarikan sepanjang bidang geser dalam tanah (Das, 1993). Gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan yang lainnya tidak dapat saling menempel karena molekulnya saling tolak menolak. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D 3080-72 dengan menggunakan Triaksial tipe *Unconsolidated Undrained* (UU). Hasil pengujian Triaksial tipe UU dapat dilihat pada tabel 4.9 dibawah ini.

Tabel 4.9 Tabel hasil pengujian triaksial tanah natural + 8% kapur.

Parameter Tanah	Sifat Mekanik	
	Tanah Natural	Tanah + 8% Kapur
Kohesi, C_u (kN/m ²)	92.2	629
Sudut Geser Dalam, ϕ (°)	4.42	1.191
Modulus Elastisitas, $E_1 = E_{50}$ (kN/m ²)	8707.2	153407.1
Modulus Elastisitas, $E_2 = E_{50}$ (kN/m ²)	7859.3	86191.1

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

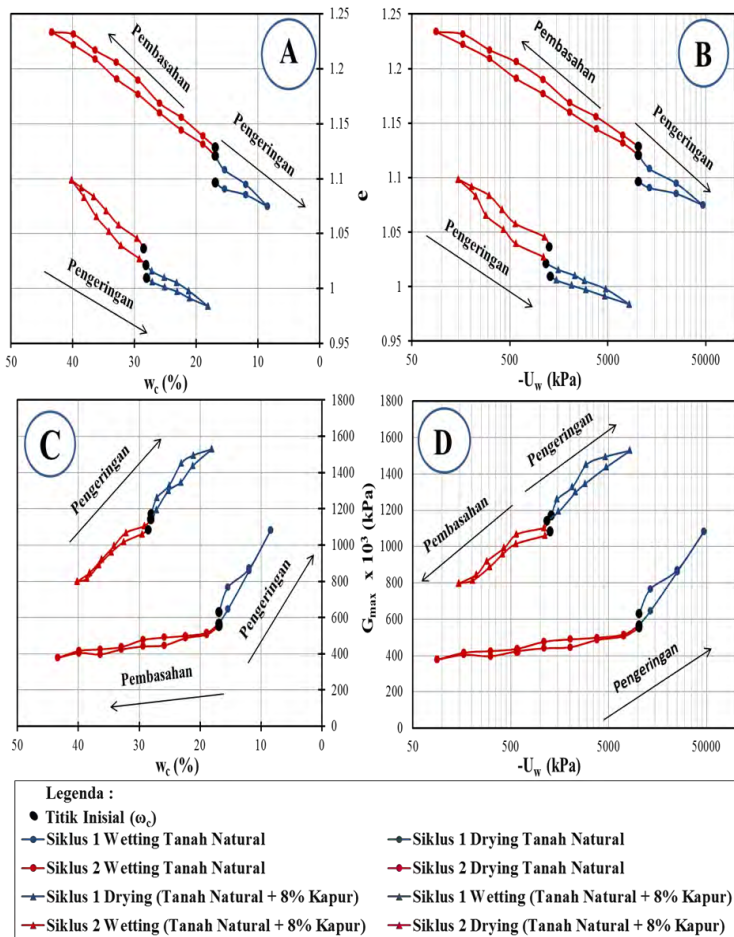
Dari pengujian Triaksial tipe UU didapatkan nilai kohesi (C_u) pada tanah natural sebesar 92,2 kN/m² dan tanah natural + 8% kapur sebesar 629 kN/m², sudut geser dalam (ϕ) pada tanah natural sebesar 4,41° dan tanah natural + 8% kapur sebesar 1,191°, Modulus Elastisitas ($E_1 = E_{50}$) pada tanah natural sebesar 8707,2 kN/m² dan tanah natural + 8%

kapur sebesar $153407,1 \text{ kN/m}^2$, serta Modulus Elastisitas ($E_2 = E_{50}$) pada tanah natural sebesar $7859,3 \text{ kN/m}^2$ dan tanah natural + 8% kapur sebesar $86191,1 \text{ kN/m}^2$.

Dapat disimpulkan bahwa nilai kohesi (C_u), Modulus Elastisitas (E_1), dan Modulus Elastisitas (E_2) pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur mengalami kenaikan sebesar 582.213%, 1661.842% dan 996.677%. Sedangkan nilai sudut geser dalam (ϕ) mengalami penurunan sebesar $3,219^\circ$.

4.5.1.3. Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Dan Pembasahan (Siklus Pertama Dan Kedua)

Proses pengeringan dan pembasahan akan mempengaruhi parameter fisik, mekanik, dan dinamik tanah. Dalam hal ini pada siklus pertama, pengeringan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100% dan pembasahan dimulai dari kondisi kering 100% hingga kondisi inisial. Kemudian pada siklus kedua, pembasahan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi basah 100% (jenuh) dan pengeringan dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi inisial. Berikut grafik pengaruh pengeringan dan pembasahan pada siklus pertama dan kedua tanah natural.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.50 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur.

A. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.50A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai kadar air dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural siklus kedua sebesar 16,921%, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 28,532% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 68,619%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural siklus kedua sebesar 1,129, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 1,037 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan angka pori sebesar 8,154%.

B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.50B adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif semakin mengecil dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai nilai tegangan air pori negatif tanah natural siklus kedua sebesar 10206,881 kPa, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 1258,993 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 87,665%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural siklus kedua sebesar 1,129, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 1,037 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan angka pori sebesar 8,154%.

C. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.50C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

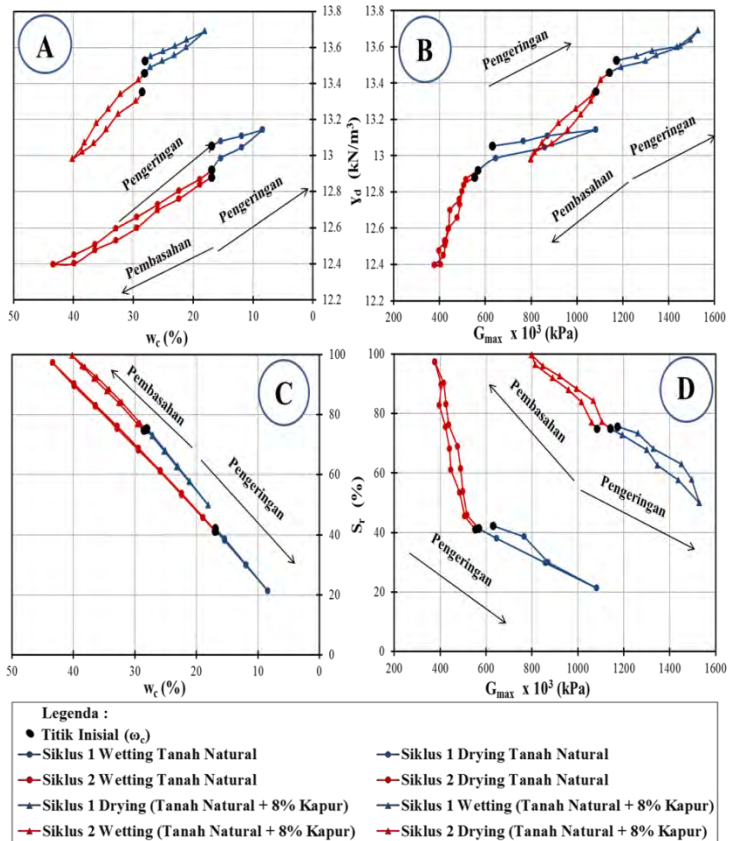
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural siklus kedua sebesar 16,921%, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 28,532% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 68,619%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar $553,510 \times 10^3$ kPa, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar $1083,629 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 95,774%.

D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.50D adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai nilai tegangan air pori negatif tanah natural siklus kedua sebesar 10206,881 kPa, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 1258,993 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 87,665%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar $553,510 \times 10^3$ kPa, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 1083,629

$\times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 95,774%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.51 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur.

E. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.51A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan berat volume kering pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural siklus kedua sebesar 16,921%, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 28,532% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 68,619%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural siklus kedua sebesar 12,880 kN/m³, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 13,353 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume kering sebesar 3,679%.

F. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.51B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume kering pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar 553,510 x 10³ kPa, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 1083,629 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 95,774%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural siklus kedua sebesar 12,880 kN/m³, dan

pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 13,353 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume kering sebesar 3,679%.

G. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.51C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai tegangan kadar air semakin membesar dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

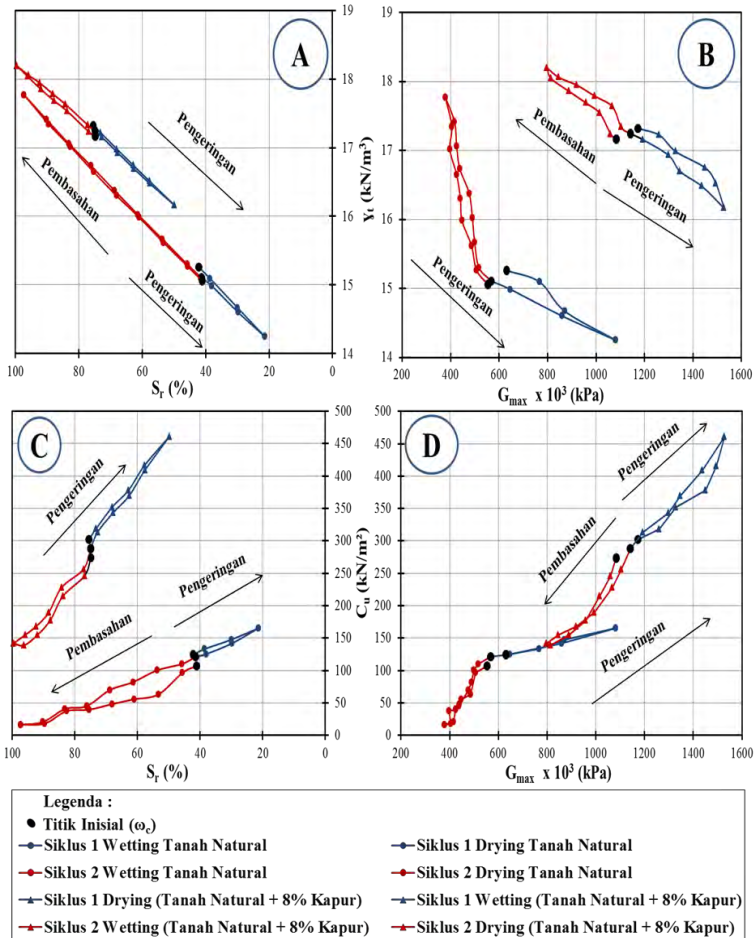
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural siklus kedua sebesar 16,921%, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 28,532% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 68,619%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus kedua sebesar 41,103%, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 74,853% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 82,110%.

H. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.51D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar $553,510 \times 10^3$ kPa, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar

1083,629 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 95,774%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus kedua sebesar 41,103%, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 74,853% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 82,110%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.52 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, dan kohesi pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur.

I. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.52A adalah grafik hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah basah pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus kedua sebesar 41,103%, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 74,853% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 82,110%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural siklus kedua sebesar 15,059 kN/m³, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 17,163 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume tanah basah sebesar 13,975%.

J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.52B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah basah pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar 553,510 x 10³ kPa, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 1083,629 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 95,774%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural siklus kedua sebesar 15,059 kN/m³, dan

pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 17,163 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume tanah basah sebesar 13,975%.

K. Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.52C adalah grafik hubungan antara kohesi dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai kohesi dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural siklus kedua sebesar 107,226 kN/m³, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 273,905 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kohesi sebesar 155,447%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus kedua sebesar 41,103%, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar 74,853% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 82,110%.

L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) Dengan Kohesi (C_u)

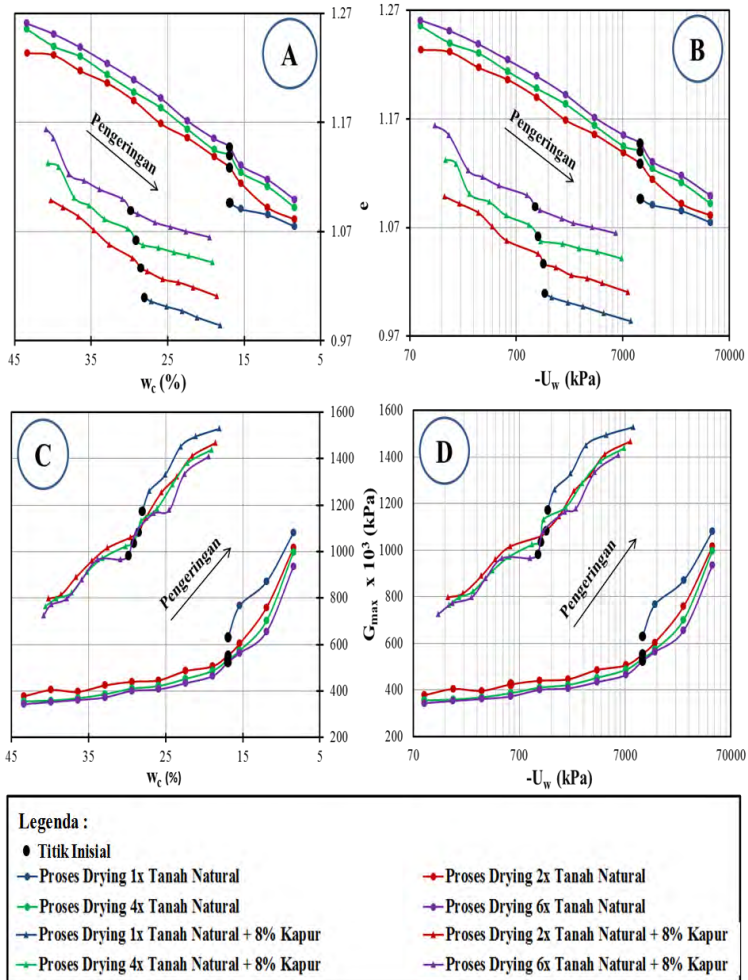
Gambar 4.52D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan kohesi semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar $553,510 \times 10^3$ kPa, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar $1083,629 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 95,774%. kondisi

inisial untuk nilai kohesi tanah natural siklus kedua sebesar $107,226 \text{ kN/m}^3$, dan pada tanah natural + 8% kapur siklus kedua sebesar $273,905 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kohesi sebesar 155,447%.

4.5.1.4. Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Berulang (1 Kali, 2 Kali, 4 Kali, Dan 6 Kali)

Proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) akan mempengaruhi parameter fisik, mekanik, dan dinamik tanah. Berikut merupakan grafik pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural. Dalam hal ini, pada proses pengeringan 1 kali dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100%, sedangkan untuk proses pengeringan 2 kali, 4 kali, dan 6 kali dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi kering 100%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.53 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur.

A. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.53A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai angka pori semakin membesar.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai angka pori tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 1,224, dan pada tanah natural + 8% kapur sebesar 1,108 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan angka pori sebesar 9,449%.

B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.53B adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif semakin mengecil dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 581,719 kPa, dan pada tanah natural + 8% kapur sebesar 482,137 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 17,119%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai angka pori tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 1,224, dan pada tanah natural + 8% kapur sebesar 1,108 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan angka pori sebesar 9,449%.

C. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.53C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

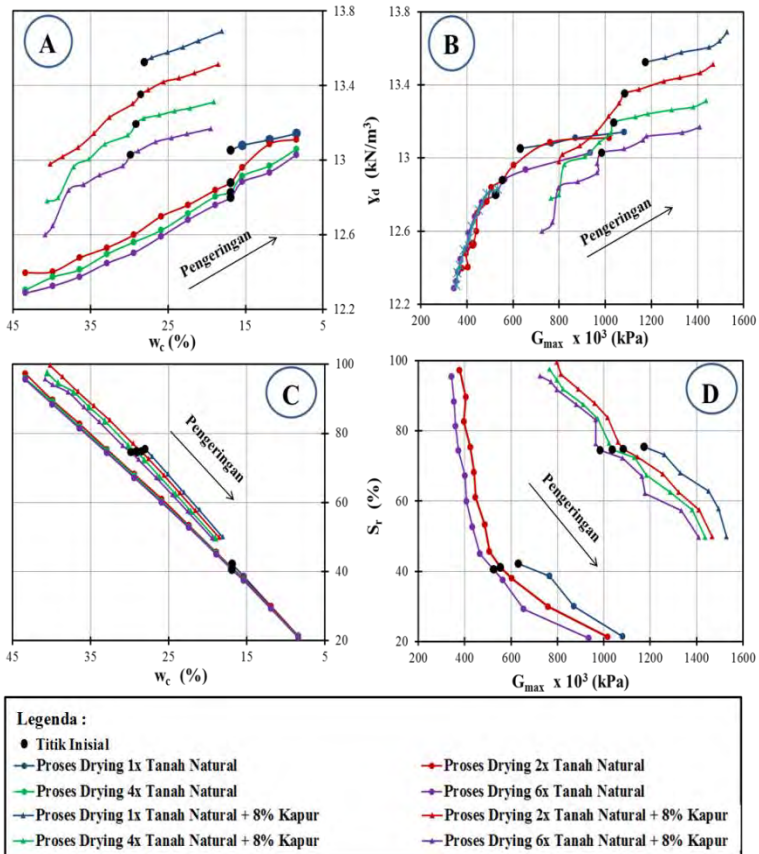
Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $372,568 \times 10^3$ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $965,618 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 159,179%.

D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.53D adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 581,719 kPa, dan pada tanah natural + 8% kapur sebesar 482,137 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 17,119%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $372,568 \times 10^3$ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $965,618 \times 10^3$ kPa

sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 159,179%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.54 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur.

E. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.54A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan berat volume kering pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai berat volume kering tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $12,446 \text{ kN/m}^3$, dan pada tanah natural + 8% kapur pengeringan 6 kali sebesar $12,919 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume kering sebesar $3,801\%$.

F. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.54B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume kering pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $372,568 \times 10^3 \text{ kPa}$, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $965,618 \times 10^3 \text{ kPa}$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar $159,179\%$. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai berat volume kering tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $12,446 \text{ kN/m}^3$, dan pada tanah natural + 8% kapur pengeringan 6 kali sebesar $12,919$

kN/m^3 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume kering sebesar 3,801%.

G. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.54C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai tegangan kadar air semakin membesar dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

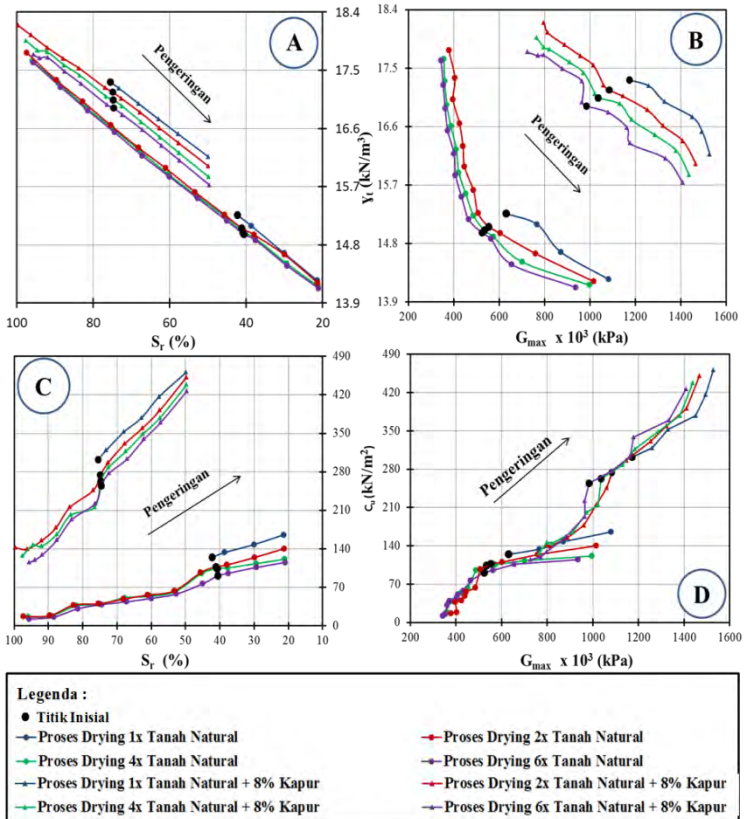
Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 74,383%, dan pada tanah natural + 8% kapur pengeringan 6 kali sebesar 83,155% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 11,793%.

H. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{\max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.54D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $372,568 \times 10^3$ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $965,618 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 159,179%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 74,383%, dan pada tanah natural +

8% kapur pengeringan 6 kali sebesar 83,155% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 11,793%.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.55 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, dan kohesi padatan tanah natural dan tanah natural + 8% kapur.

I. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.55A adalah grafik hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah basah pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 74,383%, dan pada tanah natural + 8% kapur pengeringan 6 kali sebesar 83,155% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 11,793%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 16,540 kN/m³, dan pada tanah natural + 8% kapur pengeringan 6 kali sebesar 17,291 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume tanah basah sebesar 4,539%.

J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah

Gambar 4.55B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah basah pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 372,568 x 10³ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar 965,618 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum

sebesar 159,179%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $16,540 \text{ kN/m}^3$, dan pada tanah natural + 8% kapur pengeringan 6 kali sebesar $17,291 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume tanah basah sebesar 4,539%.

K. Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.55C adalah grafik hubungan antara kohesi dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur, menyebabkan nilai kohesi dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai kohesi tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $38,571 \text{ kN/m}^3$, dan pada tanah natural + 8% kapur pengeringan 6 kali sebesar $193,143 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kohesi sebesar 400,741%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 74,383%, dan pada tanah natural + 8% kapur pengeringan 6 kali sebesar 83,155% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 11,793%.

L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) Dengan Kohesi (C_u)

Gambar 4.55D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 8% kapur. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah

natural + 8% kapur, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan kohesi semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $372,568 \times 10^3$ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $965,618 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 159,179%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai kohesi tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $38,571 \text{ kN/m}^3$, dan pada tanah natural + 8% kapur pengeringan 6 kali sebesar $193,143 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kohesi sebesar 400,741%.

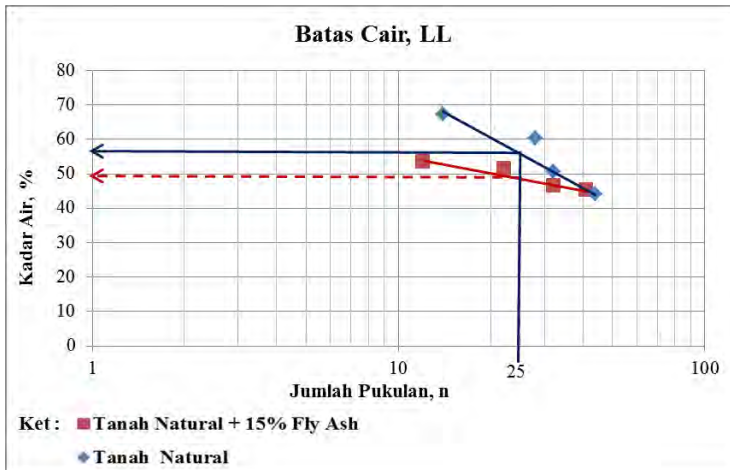
4.5.2. Perbandingan Hasil Pengujian Tanah Natural Dengan Tanah Natural + 15% Fly Ash

4.5.2.1. Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik dilakukan terhadap tanah natural dan tanah natural yang ditambah dengan *fly ash*. Dimana formula campurannya didapat dari hasil melakukan pengujian pemadatan Proctor (*Proctor Standard*) dengan berbagai variasi kadar air dan variasi kadar *fly ash* itu sendiri. Dimana pengujian untuk mendapatkan sifat fisik meliputi pengujian batas-batas Atterberg dan pengujian analisis ukuran butir.

A. Pengujian Atterberg Limit

Pengujian batas-batas Atterberg (*Atterberg Limits*) bertujuan untuk mengetahui batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas suatu tanah. Hasil pengujian dapat dilihat selengkapnyanya pada Gambar 4.55 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

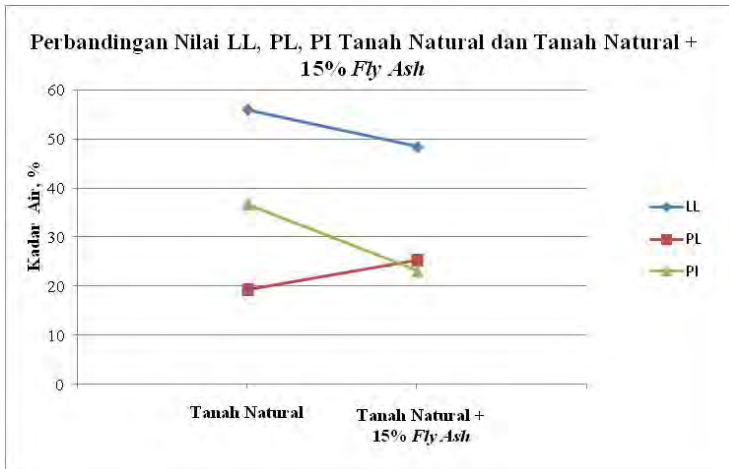
Gambar 4.56 Grafik hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural dengan tanah natural + 15% *fly ash*.

Dari Gambar diatas akan didapatkan nilai batas cair, plastis, dan indeks plastisitas antara tanah natural dengan tanah natural + 15% *fly ash*. Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan gambar 4.57 dibawah ini.

Tabel 4.10 Tabel hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural dengan tanah natural+ 15% *fly ash*.

Jenis Pengujian	Tanah Natural	Tanah Natural + 15% <i>Fly Ash</i>
Konsistensi Tanah		
- Batas Cair, LL	56%	48.50%
- Batas Plastis, PL	19.27%	25.32%
- Indeks Plastisitas, PI	36.73%	23.18%

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)



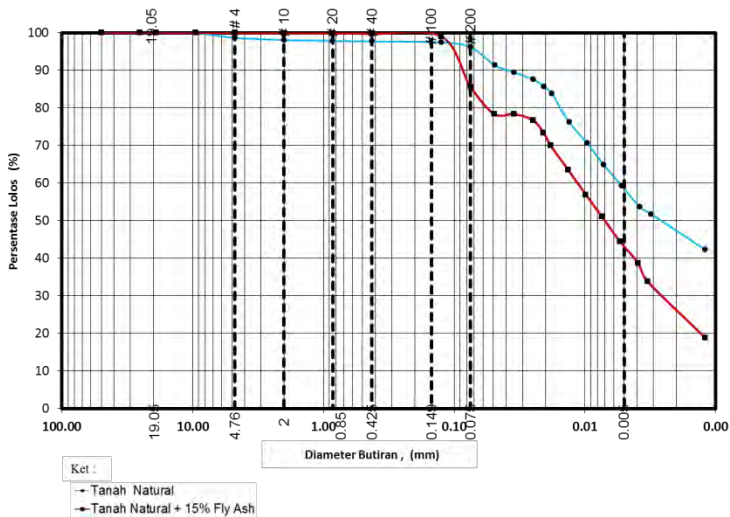
(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.57 Grafik perbandingan nilai LL, PL, PI tanah natural dan tanah ntural + 15% fly ash

Dari Tabel 4.10 dan gambar 4.57 diatas terlihat bahwa adanya penambahan *fly ash* akan menghasilkan nilai kadar air yang lebih rendah dan nilai batas plastis yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan tanah natural. Dikarenakan *fly ash* menyebabkan perubahan ukuran partikel yang menjadi beragam, akibatnya pada saat pengujian batas cair, untuk menutup alur pada pukulan ke 25, tanah membutuhkan air yang lebih sedikit.

B. Pengujian Analisis Ukuran Butir

Pengujian analisis ukuran butir terdiri dari analisis ayakan dan analisis hidrometer. Hasil dari pengujian analisis ukuran butir dapat dilihat selengkapnya pada Gambar 4.58 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.58 Grafik hasil pengujian analisis ukuran butiran tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*.

Dari Gambar 4.58 diatas akan didapatkan persentase ukuran butiran tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.11 dibawah ini.

Tabel 4.11 Tabel hasil pengujian analisis ukuran butir tanah natural dengan tanah natural+ 15% *fly ash*.

Jenis Pengujian	Tanah Natural	Tanah Natural + 15% <i>Fly Ash</i>
Analisis Ukuran Butiran		
- Fraksi Kerikil (<i>Gravel</i>)	1.37%	0.04%
- Fraksi Pasir (<i>Sand</i>)	2.44%	14.28%
- Fraksi Lanau (<i>Silt</i>)	53.91%	66.84%
- Fraksi Lempung (<i>Clay</i>)	42.28%	18.85%

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Dari Tabel 4.11 diatas terlihat bahwa nilai persentase fraksi pasir dan lanau bertambah jika ditambahkan dengan 15% *fly ash*. Fenomena ini merupakan akibat dari reaksi kimia yang terjadi pada pencampuran tanah natural + 15% *fly ash* akan terjadi perpindahan ion Ca^{++} yang berada di *fly ash* diabsorpsi oleh tanah, sehingga terjadi sementasi yang akan membentuk penggumpalan partikel sehingga partikel kecil menjadi lebih besar dari pada semula.

C. Klasifikasi Tanah

Berdasarkan dari nilai batas-batas Atterberg dan nilai analisis ukuran butir diatas, tanah natural + 15% *fly ash* dapat diklasifikasikan seperti yang tertera pada Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.12 Tabel klasifikasi tanah natural dengan tanah natural + 15% *fly ash*

Jenis Pengujian	Tanah Natural	Tanah Natural + 15% <i>Fly Ash</i>
Klasifikasi Tanah		
- USCS (Unified Soil Classification System)	CH	CL
- AASHTO	A - 7 - 6	A-7-6

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

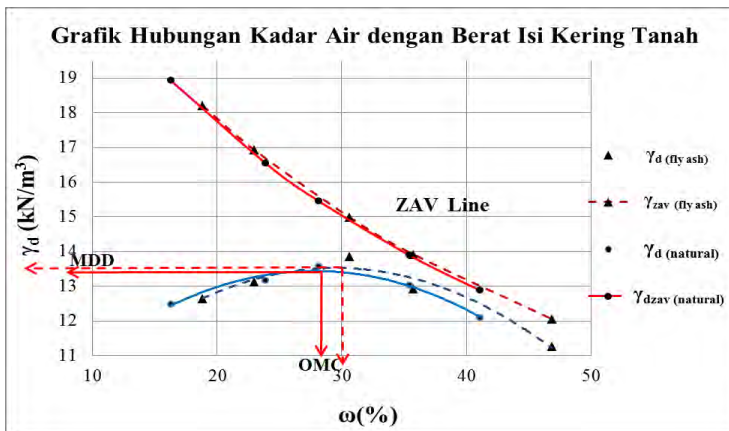
Dari Tabel 4.12 diatas disimpulkan bahwa menurut AASHTO, baik tanah natural maupun tanah natural + 15% *fly ash* merupakan tanah lempung yang lebih bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan volume besar. Sedangkan menurut USCS tanah natural tersebut merupakan merupakan tanah lempung organik dengan plastisitas tinggi, sedangkan tanah natural + 15% *fly ash* merupakan tanah lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berlanau, dan lempung berlanau.

4.5.2.2. Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik meliputi pengujian pemadatan Proctor (*Proctor Compaction Test*), tegangan air pori negatif (*Suction*) dan pengujian triaksial.

A. Pengujian Pemadatan Proctor Standar

Perbandingan antara hasil pengujian pemadatan Proctor tanah natural dengan tanah yang diberi tambahan 15% *fly ash* dapat dilihat pada Gambar 4.57 dibawah ini.



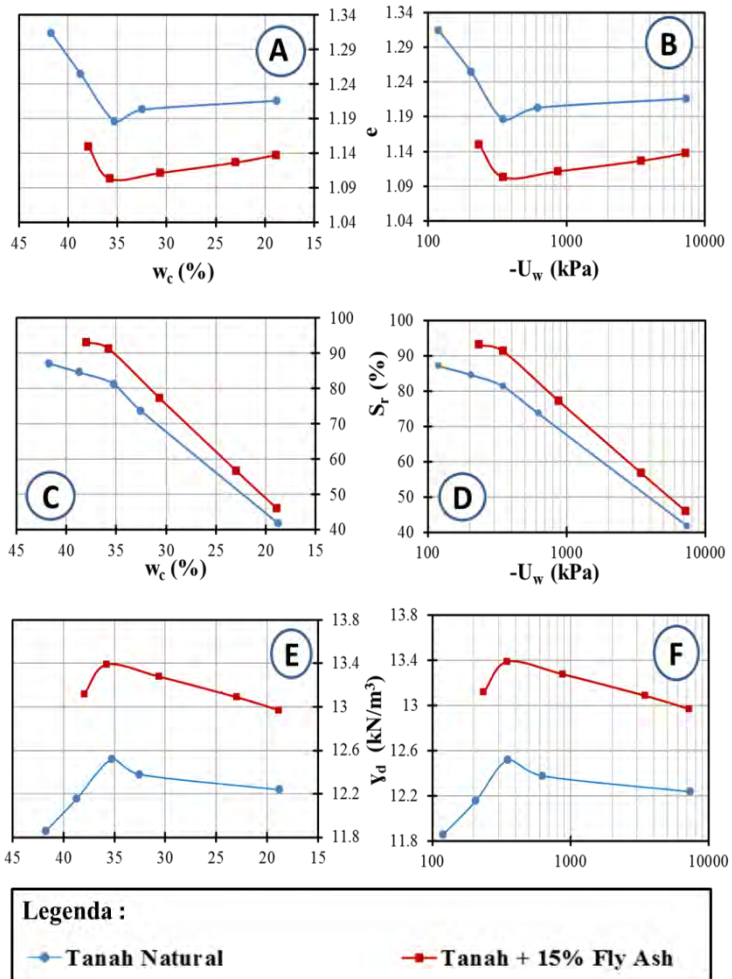
(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.59 Grafik hubungan kadar air optimum (ω_c) dengan berat volume kering maksimum (γ_d) tanah natural dengan tanah natural + 15% *fly ash*.

Dari Gambar 4.59 diatas, terjadi kenaikan berat volume kering maksimum antara tanah natural dengan tanah yang ditambah 15% *fly ash* sebesar 0.56% dan kenaikan kadar air optimumnya sebesar 5.26%.

B. Analisis Hasil Pengujian Pemadatan Proctor Standar

Pengujian pemadatan Proctor standar ini selain untuk mendapatkan nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum, juga untuk mendapatkan harga tegangan air pori negatif, angka pori, dan derajat kejenuhan. Pada saat pengujian pemadatan Proctor, pengukuran tegangan air pori negatif (*Suction*) setiap benda uji menggunakan kertas filter tipe whatman no.42 yang diletakkan pada 1/3 dan 2/3 tinggi benda uji Proctor. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya tegangan air pori negatif tanah pada tingkat kepadatan maksimum. Angka pori dan derajat kejenuhan diperoleh dengan pengujian volumetri. Hasil-hasil pengujian *Suction* dan volumetri dapat dilihat selengkapnya pada Gambar 4.60 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.60 Grafik hubungan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, berat volume kering, dan tegangan air pori negatif hasil pengujian pada benda uji tanah natural dengan tanah natural + 15% *fly ash*.

a. Hubungan Antara Angka Pori (e) dengan Kadar Air (ω_c)

Gambar 4.60A memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai angka pori untuk benda uji tanah natural + 15% *fly ash*. Angka pori adalah parameter yang sangat berpengaruh terhadap kepadatan tanah, semakin kecil angka pori maka kepadatan tanah akan semakin tinggi, begitu sebaliknya. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai angka pori akan mengecil, namun pada saat mencapai nilai kadar air optimum, nilai angka pori akan membesar. Adanya *fly ash* menyebabkan nilai angka pori tanah natural + 15% *fly ash* lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural. Dalam rentang kadar air $\pm(29-32)\%$, penurunan nilai angka pori antara tanah natural dengan 15% *fly ash* adalah 3.946%.

b. Hubungan Antara Tegangan Air Pori ($-U_w$) Negatif dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.60B memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai angka pori untuk benda uji tanah natural + 15% *fly ash*. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai angka pori akan mengecil, namun pada saat mencapai nilai tegangan air pori negatif optimum, nilai angka pori akan membesar. Dalam rentang tegangan air pori negatif $\pm(100-300)$ kPa, penurunan nilai angka pori antara tanah natural dengan 15% *fly ash* adalah 6.679%.

c. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.60C memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai derajat kejenuhan untuk benda uji tanah natural + 15% *fly ash*. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai derajat kejenuhan akan membesar. Dalam rentang kadar air $\pm(29-32)\%$,

kenaikan nilai derajat kejenuhan antara tanah natural dengan 15% *fly ash* adalah 2.364%.

d. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.60D memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai derajat kejenuhan untuk benda uji tanah natural + 15% *fly ash*. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai derajat kejenuhan akan membesar. Dalam rentang tegangan air pori negatif $\pm(100-300)$ kPa, kenaikan nilai derajat kejenuhan antara tanah natural dengan 15% *fly ash* adalah 3.324%.

e. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.60E memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai berat volume kering untuk benda uji tanah natural + 15% *fly ash*. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai berat volume kering membesar, namun pada saat mencapai nilai kadar air optimum, nilai berat volume kering akan mengecil. Dalam rentang kadar air $\pm(29-32)\%$, kenaikan nilai berat volume kering antara tanah natural dengan 15% *fly ash* adalah 3.510%.

f. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) Dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.60F memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai berat volume kering untuk benda uji tanah natural + 15% *fly ash*. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai berat volume kering membesar, namun pada saat mencapai nilai tegangan air pori negatif optimum, nilai berat volume kering akan mengecil. Dalam rentang

tegangan air pori negatif $\pm(100-300)$ kPa, kenaikan nilai berat volume kering antara tanah natural dengan 15% *fly ash* adalah 3.324%.

C. Pengujian Triaksial

Pengujian Triaksial dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter kekuatan geser tanah (kohesi dan sudut geser). Dimana kekuatan geser adalah gaya perlawanan internal oleh butir-butir tanah per satuan luas terhadap desakan atau tarikan sepanjang bidang geser dalam tanah (Das, 1993). Gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan yang lainnya tidak dapat saling menempel karena molekulnya saling tolak menolak. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D 3080-72 dengan menggunakan Triaksial tipe *Unconsolidated Undrained* (UU). Hasil pengujian Triaksial tipe UU dapat dilihat pada Tabel 4.13 dibawah ini.

Tabel 4.13 Tabel Hasil Triaksial tanah natural dengan tanah natural + 15% *fly ash*.

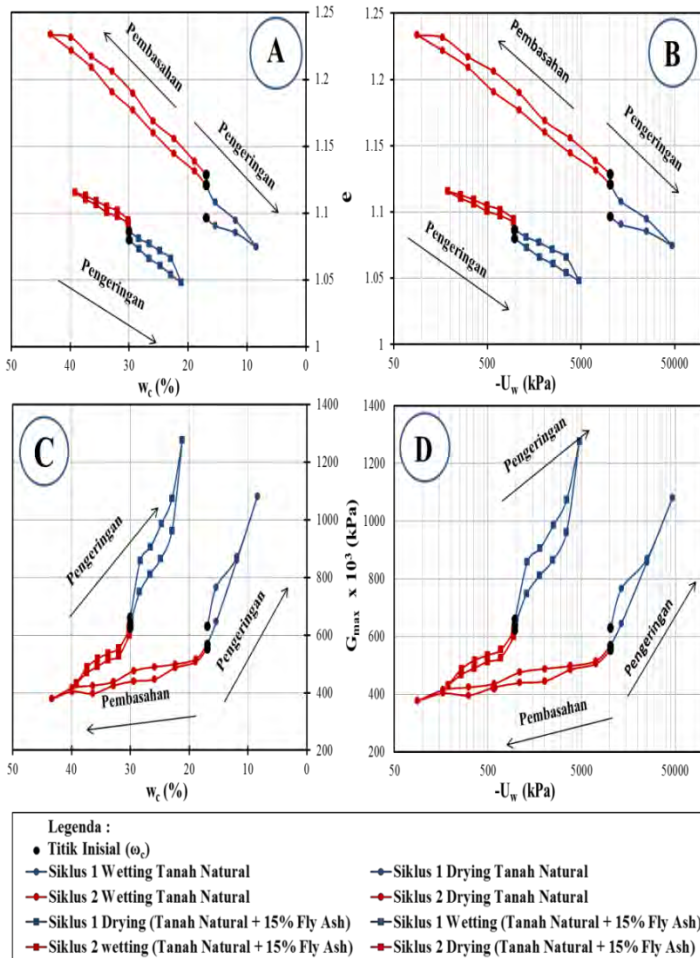
Sifat Mekanik		
Parameter Tanah	Tanah Natural	Tanah Natural + 15% Fly Ash
Kohesi, c_u (kN/m ²)	92.2	109.4
Sudut Geser Dalam, ϕ (°)	4.42	3.831
Modulus Elastisitas, $E_1 = E_{50}$ (kN/m ²)	8707.2	7756.7
Modulus Elastisitas, $E_2 = E_{50}$ (kN/m ²)	7859.3	9512.1

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Dari pengujian Triaksial tipe UU didapatkan perubahan nilai kohesi (C_u) meningkat sebesar 18.655%, sudut geser dalam (ϕ) mengecil sebesar 313.326%, Modulus Elastisitas ($E_1 = E_{50}$) menurun sebesar 10.916%, dan Modulus Elastisitas ($E_2 = E_{50}$) meningkat sebesar 21.030%.

4.5.2.3. Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Dan Pembasahan (Siklus Pertama Dan Kedua)

Proses pengeringan dan pembasahan akan mempengaruhi parameter fisik, mekanik, dan dinamik tanah. Dalam hal ini pada siklus pertama, pengeringan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100% dan pembasahan dimulai dari kondisi kering 100% hingga kondisi inisial. Kemudian pada siklus kedua, pembasahan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi basah 100% (jenuh) dan pengeringan dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi inisial. Berikut grafik pengaruh pengeringan dan pembasahan pada siklus pertama dan kedua tanah natural dan tanah natural +15% *fly ash*.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.61 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, tegangan air pori negatif tanah natural + 15% *fly ash*.

A. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.61A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai kadar air membesar dan nilai angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural siklus kedua sebesar 16.921%, dan pada tanah natural + 15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 30.020% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 77.417%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural siklus kedua sebesar 1.129, dan pada tanah natural + 15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 1.086 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan angka pori sebesar 3.768%.

B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.61B adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif mengecil dan nilai angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural siklus kedua sebesar 10206.881 kPa, dan pada tanah natural + 15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 973.301 kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan tegangan air pori negatif sebesar 90.464%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural siklus kedua sebesar 1.129, dan pada tanah natural + 15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 1.086 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan angka pori sebesar 3.768%.

C. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.61C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai kadar air membesar dan nilai modulus geser maksimum semakin mengecil.

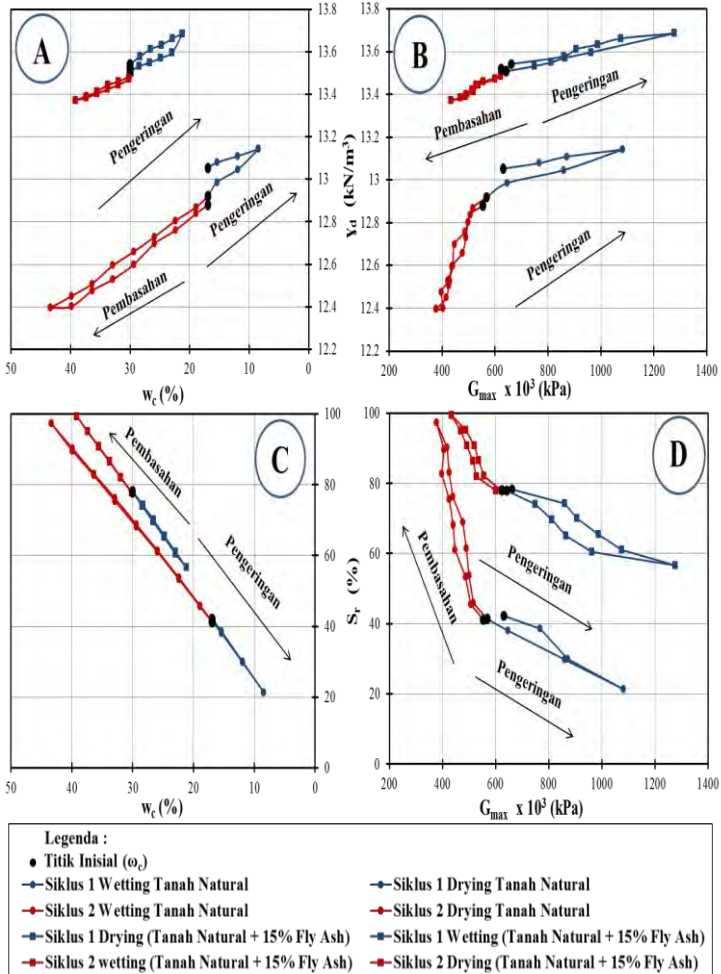
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural siklus kedua sebesar 16.921%, dan pada tanah natural + 15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 30.020% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 77.417%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar 553.510×10^3 kPa, dan pada tanah natural +15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 623.636×10^3 kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 12.669%.

D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.61D adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif mengecil dan nilai modulus geser maksimum semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural siklus kedua sebesar 10206.881 kPa, dan pada tanah natural + 15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 973.301 kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan tegangan air pori negatif sebesar 90.464%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar 553.510×10^3 kPa, dan pada

tanah natural +15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 623.636×10^3 kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 12.669%.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.62 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, derajat kejenuhan tanah natural+15% fly ash.

E. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.62A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan berat volume kering pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai kadar air membesar dan nilai berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural siklus kedua sebesar 16.921%, dan pada tanah natural + 15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 30.020% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 77.417%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural siklus kedua sebesar 12.880 kN/m³, dan pada tanah natural +15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 13.520 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume kering sebesar 4.970%.

F. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.62B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume kering pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai modulus geser maksimum mengecil dan nilai berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar 553.510 x 10³ kPa, dan pada tanah natural +15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 623.636x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 12.669%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural siklus kedua sebesar 12.880 kN/m³, dan

pada tanah natural +15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 13.520 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume kering sebesar 4.970%.

G. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.62C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai kadar air membesar dan nilai derajat kejenuhan semakin mengecil.

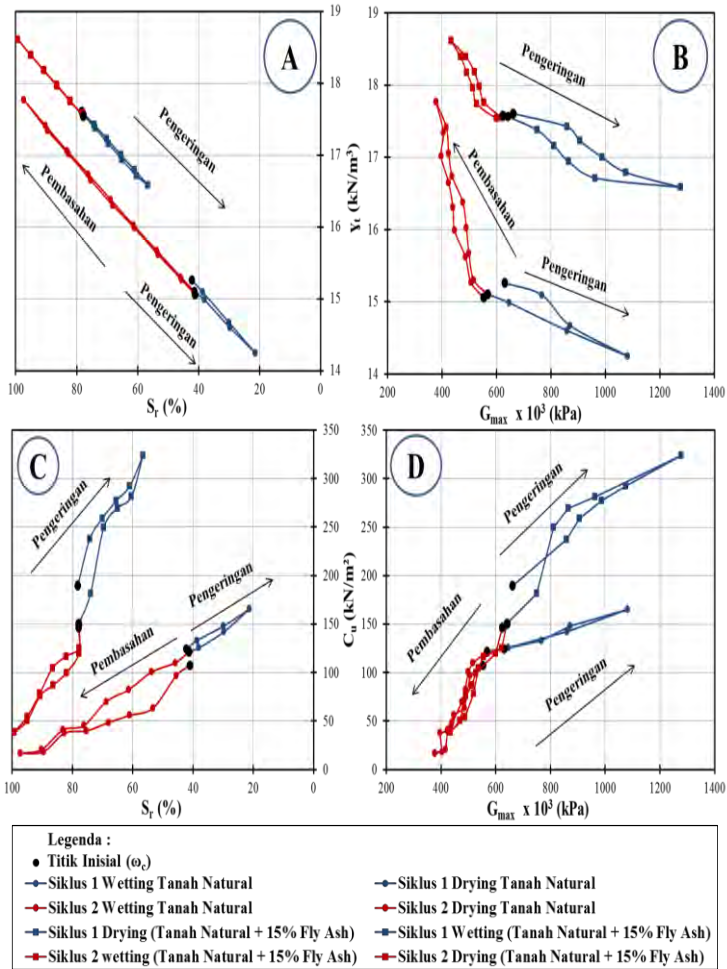
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural siklus kedua sebesar 16.921%, dan pada tanah natural + 15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 30.020% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 77.417%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus kedua sebesar 41.103%, dan pada tanah natural +15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 77.955% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 89.657%.

H. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.62D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai modulus geser maksimum mengecil dan nilai derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar 553.510×10^3 kPa, dan pada tanah natural +15% *fly ash*. siklus kedua

sebesar 623.636×10^3 kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 12.669%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus kedua sebesar 41.103%, dan pada tanah natural +15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 77.955% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 89.657%.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.63 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, kohesi tanah natural + 15% *fly ash*.

I. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.63A adalah grafik hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah basah pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai derajat kejenuhan semakin mengecil dan nilai berat volume tanah basah mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus kedua sebesar 41.103%, dan pada tanah natural +15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 77.955% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 89.657%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume basah tanah natural siklus kedua sebesar 15.059 kN/m³, dan pada tanah natural +15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 17.541kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume tanah basah sebesar 16.480%.

J. Hubungan Antara Modulus Geser (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.63B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah basah pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai modulus geser maksimum mengecil dan nilai berat volume tanah basah mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar 553.510 x 10³ kPa, dan pada tanah natural +15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 623.636x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 12.669%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume basah tanah natural siklus kedua sebesar 15.059 kN/m³, dan pada

tanah natural +15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 17.541 kN/m^3 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume tanah basah sebesar 16.480%.

K. Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.63C adalah grafik hubungan antara kohesi dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai kohesi mengecil dan nilai derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural siklus kedua sebesar 107.226 kN/m^2 , dan pada tanah natural +15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 146.221 kN/m^2 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kohesi sebesar 36.368%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus kedua sebesar 41.103%, dan pada tanah natural +15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 77.955% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 89.657%.

L. Hubungan Antara Modulus Geser (G_{\max}) dengan Kohesi (C_u)

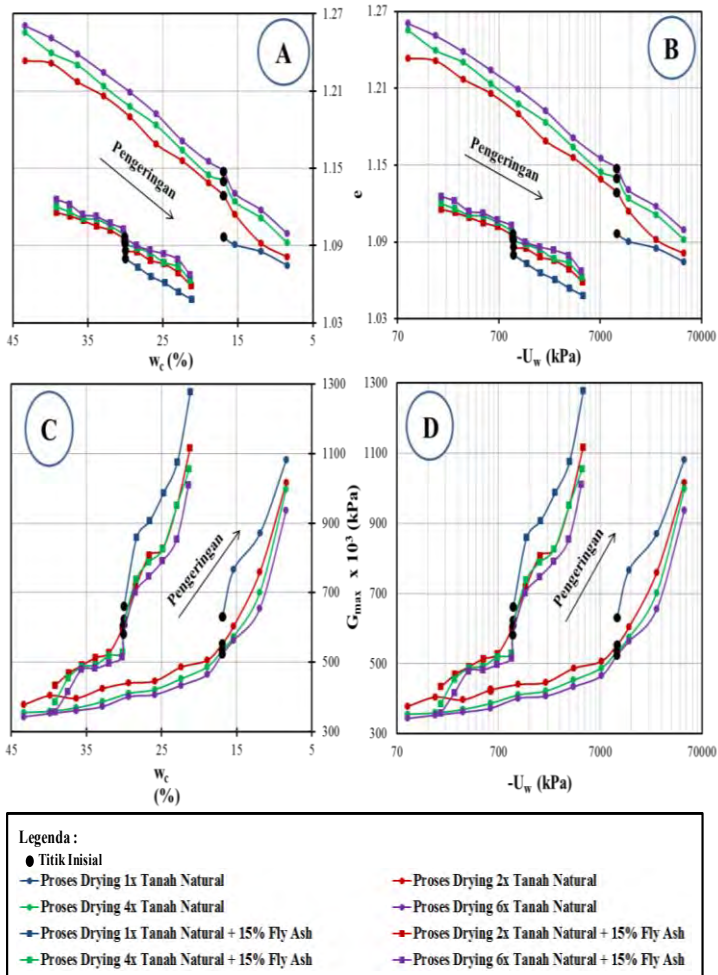
Gambar 4.63D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai modulus geser maksimum mengecil dan nilai kohesi basah mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar $553.510 \times 10^3 \text{ kPa}$, dan pada tanah natural +15% *fly ash*. siklus kedua

sebesar 623.636×10^3 kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 12.669%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural siklus kedua sebesar 107.226 kN/m^2 , dan pada tanah natural +15% *fly ash*. siklus kedua sebesar 146.221 kN/m^2 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kohesi sebesar 36.368%.

4.5.2.4. Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Berulang (1 Kali, 2 Kali, 4 Kali, Dan 6 Kali)

Proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) akan mempengaruhi parameter fisik, mekanik, dan dinamik tanah. Berikut merupakan grafik pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural +15% *fly ash*.. Dalam hal ini, pada proses pengeringan 1 kali dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100%, sedangkan untuk proses pengeringan 2 kali, 4 kali, dan 6 kali dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi kering 100%.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.64 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, tegangan air pori tanah natural + 15% *fly ash*.

A. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.64A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai kadar air membesar dan angka pori membesar.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai angka pori tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 1.224, dan nilai angka pori tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 1.107 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai angka pori sebesar 9.548%.

B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.64B adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif mengecil dan angka pori membesar.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 581.719 kPa, dan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 678.502 kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai tegangan air pori negatif sebesar 16.637%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai angka pori tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 1.224, dan nilai angka pori tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 1.107 sehingga tanah

tersebut mengalami penurunan nilai angka pori sebesar 9.548%.

C. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.64C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai kadar air membesar dan modulus geser maksimum mengecil.

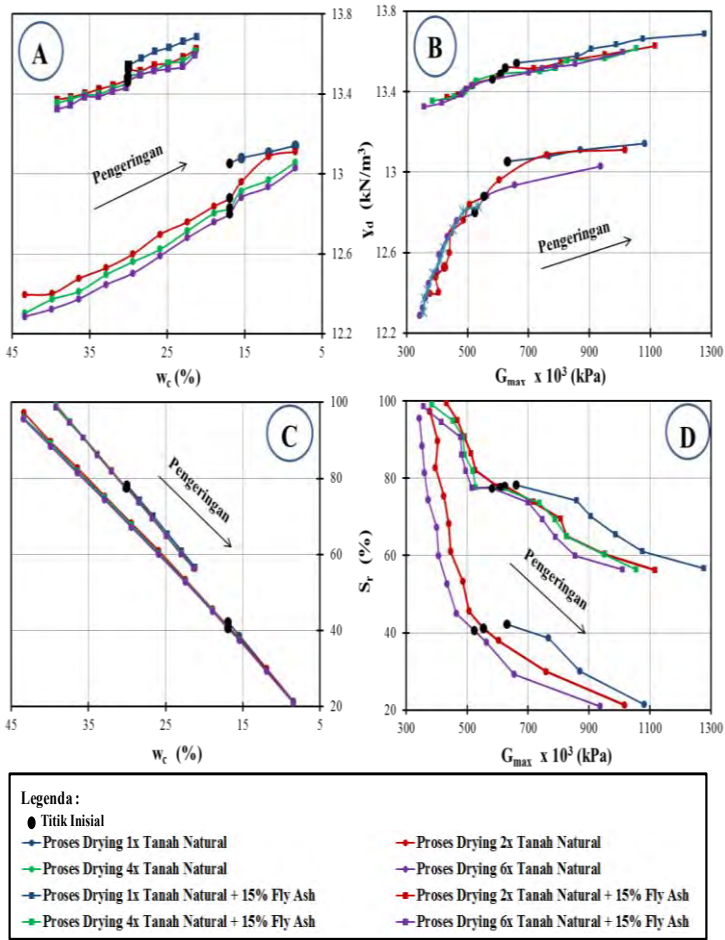
Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $372,568 \times 10^3$ kPa, dan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 496.483×10^3 kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai modulus geser maksimum sebesar 33.260%.

D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.64D adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif mengecil dan modulus geser maksimum mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 581.719 kPa, dan nilai tegangan air pori negatif tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 678.502 kPa sehingga tanah tersebut

mengalami kenaikan nilai tegangan air pori negatif sebesar 16.637%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $372,568 \times 10^3$ kPa, dan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 496.483×10^3 kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai modulus geser maksimum sebesar 33.260%.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.65 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, derajat kejenuhan tanah natural + 15% fly ash.

A. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.65A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan berat volume kering pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai kadar air membesar dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai berat volume kering tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $12,446 \text{ kN/m}^3$, dan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 13.413 kN/m^3 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai berat volume kering sebesar 7.770%.

B. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{\max}) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.65B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume kering pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai modulus geser maksimum mengecil dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $372,568 \times 10^3 \text{ kPa}$, dan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar $496.483 \times 10^3 \text{ kPa}$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai modulus geser maksimum sebesar 33.260%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai berat volume kering tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $12,446 \text{ kN/m}^3$, dan nilai

modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 13.413 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai berat volume kering sebesar 7.770%.

C. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.65C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai kadar air membesar dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

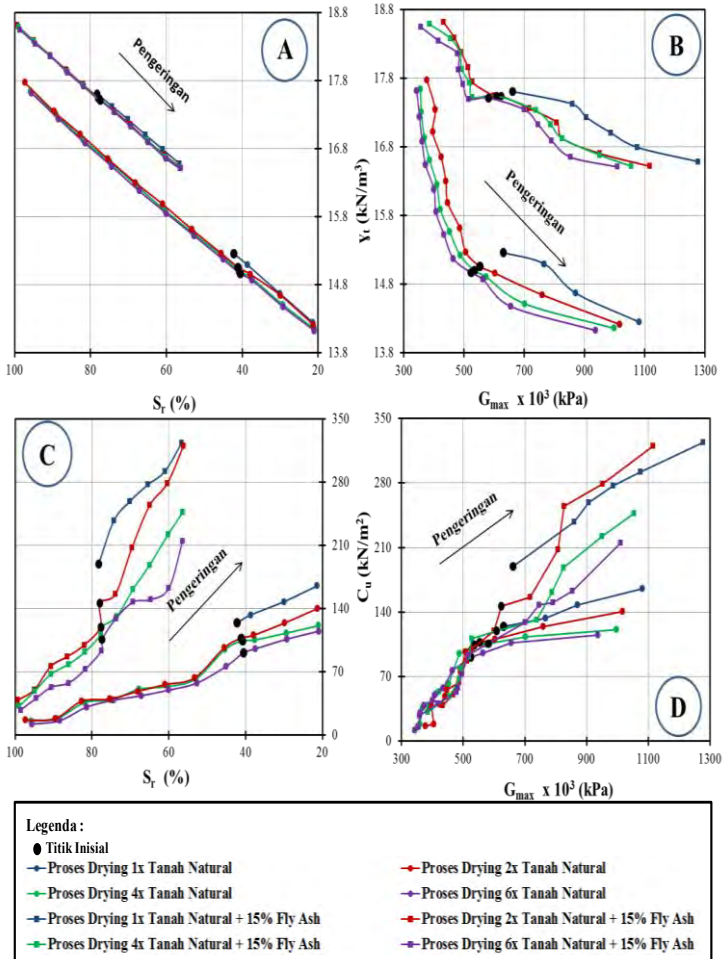
Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 74,383%, dan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 81.774% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai derajat kejenuhan sebesar 9.936%.

D. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.65D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai modulus geser maksimum mengecil dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $372,568 \times 10^3$ kPa, dan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* pada

pengeringan 6 kali sebesar 496.483×10^3 kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai modulus geser maksimum sebesar 33.260%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 74,383%, dan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 81.774% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai derajat kejenuhan sebesar 9.936%.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.66 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, kohesi tanah natural + 15% fly ash.

E. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.66A adalah grafik hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah basah pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai derajat kejenuhan mengecil dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 74,383%, dan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 81.774% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai derajat kejenuhan sebesar 9.936%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 16,540 kN/m³, dan nilai berat volume tanah basah tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 17.710 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai berat volume tanah basah sebesar 7.074%.

F. Hubungan Antara Modulus Geser (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.66B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah basah pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai modulus geser maksimum mengecil dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural

pengeringan 6 kali sebesar $372,568 \times 10^3$ kPa, dan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 496.483×10^3 kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai modulus geser maksimum sebesar 33.260%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $16,540 \text{ kN/m}^3$, dan nilai berat volume tanah basah tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 17.710 kN/m^3 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai berat volume tanah basah sebesar 7.074%.

G. Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.66C adalah grafik hubungan antara kohesi dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai kohesi mengecil dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai kohesi tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $38,571 \text{ kN/m}^2$, dan nilai kohesi tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 72.717 kN/m^2 sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai kohesi sebesar 88.526%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 74,383%, dan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 81.774% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai derajat kejenuhan sebesar 9.936%.

H. Hubungan Antara Modulus Geser (G_{max}) dengan Kohesi (C_u)

Gambar 4.66D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 15% *fly ash*, menyebabkan nilai modulus geser maksimum mengecil dan kohesi semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $372,568 \times 10^3$ kPa, dan nilai modulus geser maksimum tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar $496,483 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai modulus geser maksimum sebesar 33.260%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai kohesi tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 38,571 kN/m², dan nilai kohesi tanah natural + 15% *fly ash* pada pengeringan 6 kali sebesar 72.717 kN/m² sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai kohesi sebesar 88.526%.

4.5.3. Perbandingan Hasil Pengujian Tanah Natural Dengan Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri

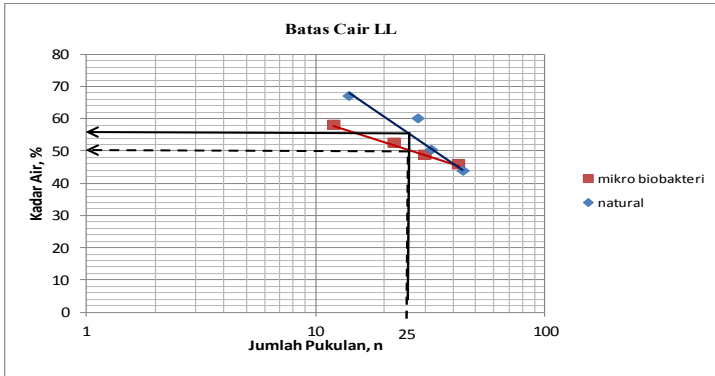
Berikut ini merupakan perbandingan hasil nilai parameter antara tanah natural dengan tanah natural + 5% mikro biobakteri yang meliputi sifat fisik, mekanik dan dinamik.

4.5.3.1. Sifat Fisik

Pengujian sifat fisik meliputi pengujian batas-batas Atterberg (*Atterberg Limits*) dan pengujian analisis ukuran butiran (analisis ayakan dan analisis hidrometer). Berikut adalah penjelasannya.

A. Pengujian Atterberg Limit

Pengujian batas-batas *atterberg* (*atterberg limits*) bertujuan untuk mengetahui batas cair, batas plastis, dan indeks plastis suatu tanah. Hasil pengujian tanah natural dengan tanah natural + 5% mikro biobakteri dapat dilihat selengkapnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

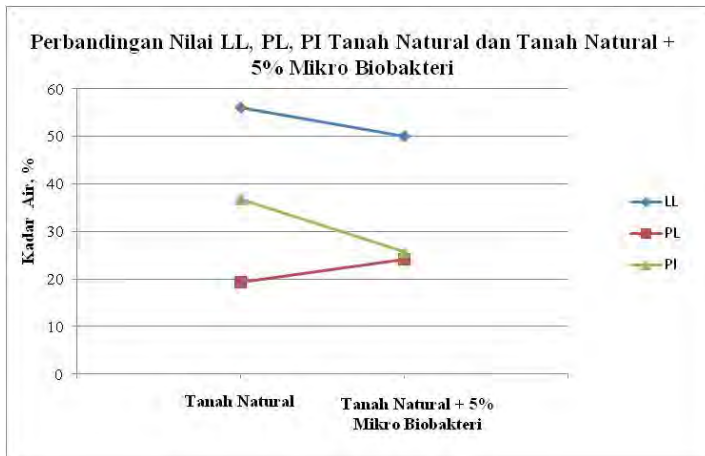
Gambar 4.67 Grafik perbandingan hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural dengan tanah natural + 5% mikro biobakteri.

Dari pengujian Atterberg Limit didapatkan nilai batas cair (LL) tanah natural sebesar 56%, batas plastis (PL) sebesar 19,27%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 36,73%. dan nilai batas cair (LL) tanah natural + 5% mikro biobakteri sebesar 50%, batas plastis (PL) sebesar 24,212%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 25,788%.

Tabel 4.14 Batas-batas *atterberg* tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri

Parameter Tanah	Sifat Fisik	
	Tanah Natural	Tanah + 8% Mikro Biobakteri
Batas Cair, LL (%)	56	50
Batas Plastis, PL (%)	19.269	24.212
Indeks Plastis, PI (%)	36.731	25,788

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)



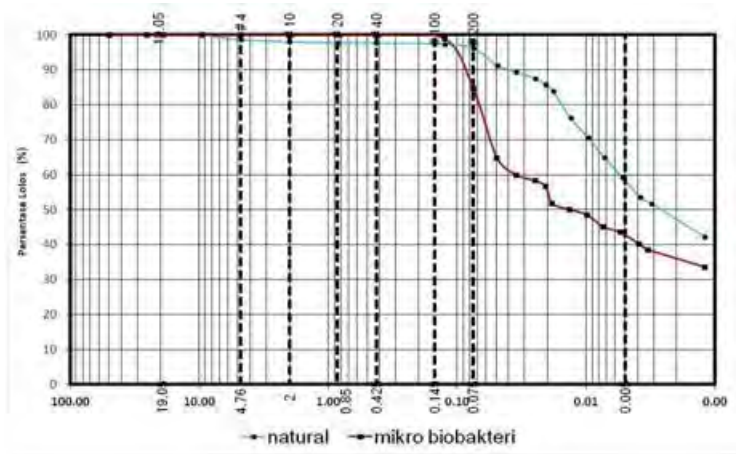
(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.68 Grafik perbandingan nilai LL, PL, PI tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri

Dapat disimpulkan bahwa untuk tanah natural dengan tanah natural + 5% mikro biobakteri mengalami penurunan nilai batas cair (LL) sebesar 10,714%, mengalami kenaikan batas plastis (PL) sebesar 25,646% dan mengalami penurunan (PI) sebesar 30,177%.

B. Pengujian Analisis Ukuran Butir

Hasil dari pengujian analisa ukuran butiran (analisa ayakan dan analisa hidrometer) tanah natural dengan tanah natural + 5% mikro biobakteri dapat dilihat selengkapnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini. dapat dilihat selengkapnya pada grafik dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.69 Grafik hasil pengujian analisa ukuran butiran.

Dari pengujian analisa ukuran butiran tanah natural didapatkan nilai fraksi kerikil sebesar 1.37%, fraksi pasir sebesar 2,44%, fraksi lanau sebesar 53.91%, dan fraksi lempung sebesar 42.28% dan pengujian analisa ukuran butiran tanah natural + 5% mikro biobakteri didapatkan nilai fraksi kerikil sebesar 0,00%, fraksi pasir sebesar 15,377%, fraksi lanau sebesar 51,048%, dan fraksi lempung sebesar 33,575%.

Tabel 4.15 Nilai analisa ukuran butiran tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri.

Parameter Tanah	Sifat Fisik	
	Tanah Natural	Tanah + 5% Mikro Biobakteri
Fraksi Kerikil (%)	1.365	0
Fraksi Pasir (%)	2.444	15,377
Fraksi Lanau (%)	53.911	51,048
Fraksi Lempung (%)	42.280	33,575

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Dapat disimpulkan bahwa untuk tanah natural dengan tanah natural + 5% mikro biobakteri mengalami penurunan nilai fraksi kerikil sebesar 100%, mengalami kenaikan fraksi pasir sebesar 530,205%, mengalami penurunan fraksi lanau sebesar 5,309%, dan mengalami penurunan fraksi lempung sebesar 20,589%.

C. Klasifikasi Tanah

Berdasarkan dari nilai batas-batas Atterberg dan nilai analisa ukuran butiran diatas, tanah tanggul Sungai Bojonegoro, *Cross Section* (0 ± 000 antara tanah natural dengan tanah natural yang distabilisasi dengan 5% mikro biobakteri ini dapat diklasifikasikan pada tabel 4.16 sebagai berikut:

Tabel 4.16 Tabel klasifikasi tanah natural dengan tanah natural + 5% mikro biobakteri

Klasifikasi Tanah	Sifat Fisik	
	Tanah Natural	Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri
USCS	CH	CL
AASHTO	A-7-6	A-7-6

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

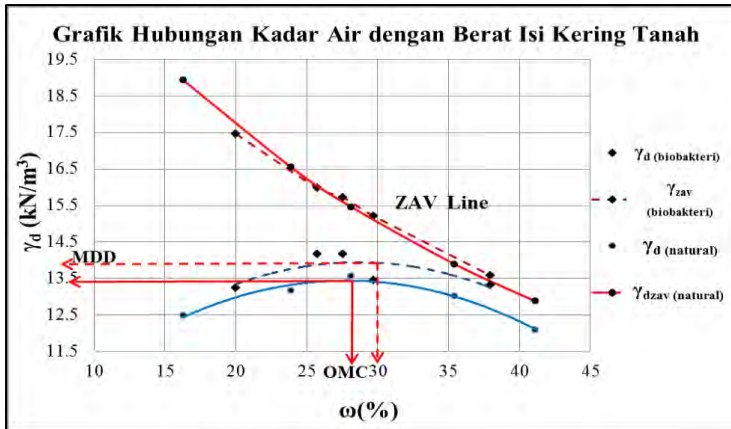
Dari tabel 4.16 diatas disimpulkan bahwa menurut AASHTO, tanah natural tidak mengalami perubahan klasifikasi yaitu termasuk tanah lempung yang lebih bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan volume besar. Sedangkan menurut USCS tanah natural dengan tanah natural + 5% mikro biobakteri mengalami perubahan klasifikasi tanah lempung organik dengan plastisitas tinggi menjadi tanah lempung organik dengan plastisitas rendah.

4.5.3.2. Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik meliputi pengujian pemadatan *proctor* (*Proctor Compaction Test*), tegangan air pori negatif (*Suction*) dan pengujian triaksial.

A. Pengujian Pemadatan Proctor Standar

Pengujian pemadatan Proctor dimaksudkan untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum. Pada saat pengujian, dilakukan juga pengukuran tegangan air pori negatif (*suction*) setiap benda uji menggunakan kertas filter tipe whatman no.42 yang diletakkan pada 1/3 dan 2/3 tinggi benda uji. Hasil perbandingan pengujian pemadatan Proctor (*Proctor Compaction Test*) antara tanah natural dengan tanah natural + 5% mikrobiobakteri dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

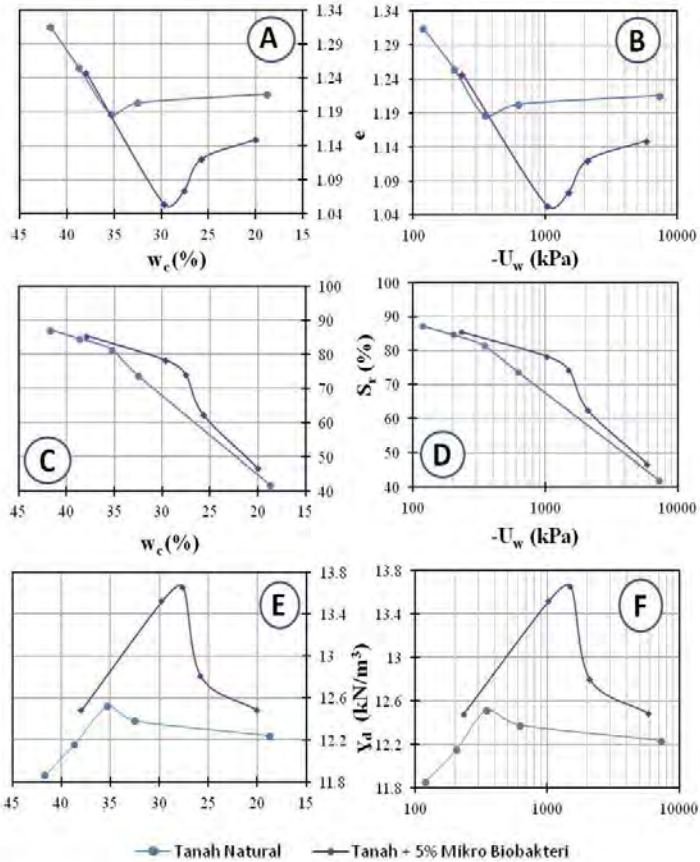
Gambar 4.70 Grafik hubungan kadar air optimum (ω_c) dengan berat volume kering maksimum (γ_d) tanah natural dengan tanah + 5% mikro biobakteri

Dari Gambar 4.70 diatas, hasil pemadatan Proctor tanah ditambah 5% mikro biobakteri didapatkan nilai berat volume kering maksimum ($\gamma_{d \text{ maks}}$) sebesar 1.39 kN/m^3 dan nilai kadar air optimumnya ω_{opt} adalah 30%. Sehingga terjadi kenaikan berat volume kering maksimum antara tanah natural dengan tanah yang ditambah 5% mikro biobakteri sebesar 1.832% dan kenaikan kadar air optimumnya sebesar 5.26%.

B. Analisa Hasil Pengujian Pemadatan Proctor Standar

Pengujian pemadatan Proctor standar ini selain untuk mendapatkan nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum, juga untuk mendapatkan harga tegangan air pori negatif, angka pori, dan derajat kejenuhan. Angka pori dan derajat kejenuhan diperoleh dengan pengujian volumetri. Hasil-hasil pengujian *suction* dan volumetri untuk

perbandingan tanah natural dengan tanah natural + 5% mikro biobakteri dapat dilihat selengkapnya pada Gambar 4.4 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.71 Grafik hubungan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, berat volume kering, dan tegangan air pori negatif hasil pengujian pada benda uji tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri.

a. Hubungan Antara Angka Pori (e) dengan Kadar Air (ω_c)

Gambar 4.71A memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai angka pori untuk benda uji tanah natural dengan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Angka pori adalah parameter yang sangat berpengaruh terhadap kepadatan tanah, semakin kecil angka pori maka kepadatan tanah akan semakin tinggi, begitu sebaliknya. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai angka pori akan mengecil, namun pada saat mencapai nilai kadar air optimum, nilai angka pori akan membesar. Pada gambar diatas terlihat bahwa kadar air tanah natural lebih besar daripada tanah natural + 5% mikro biobakteri dan angka pori tanah natural lebih besar daripada tanah natural + 5% mikro biobakteri.

b. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.71B memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai angka pori untuk benda uji tanah natural dengan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai angka pori akan mengecil, namun pada saat mencapai nilai tegangan air pori negatif optimum, nilai angka pori akan membesar. Pada gambar diatas terlihat bahwa tegangan air pori negatif tanah natural lebih kecil daripada tanah natural + 5% mikro biobakteri dan angka pori tanah natural lebih besar daripada tanah natural + 5% mikro biobakteri.

c. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.71C memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai derajat kejenuhan untuk benda uji tanah natural dengan tanah natural + 5% mikro

biobakteri. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai derajat kejenuhan akan membesar. Pada gambar diatas terlihat bahwa kadar air tanah natural lebih besar daripada tanah natural + 5% mikro biobakteri dan derajat kejenuhan tanah natural lebih besar daripada tanah natural + 5% mikro biobakteri.

d. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.71D memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai derajat kejenuhan untuk benda uji tanah natural + 5% mikro biobakteri. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai derajat kejenuhan akan membesar. Pada gambar diatas terlihat bahwa tegangan air pori negatif tanah natural lebih kecil daripada tanah natural + 5% mikro biobakteri dan derajat kejenuhan natural lebih besar daripada tanah natural + 5% mikro biobakteri.

e. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.71E memperlihatkan kurva hubungan antara nilai kadar air dengan nilai berat volume kering untuk benda uji tanah natural. Secara umum terlihat bahwa nilai kadar air membesar maka nilai berat volume kering membesar, namun pada saat mencapai nilai kadar air optimum, nilai berat volume kering akan mengecil. Pada gambar diatas terlihat bahwa kadar air tanah natural lebih besar daripada tanah natural + 5% mikro biobakteri dan bert volume kering tanah natural lebih kecil daripada tanah natural + 5% mikro biobakteri.

f. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) Dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.71F memperlihatkan kurva hubungan antara nilai tegangan air pori negatif dengan nilai berat volume kering untuk benda uji tanah natural + 5% mikro biobakteri. Secara umum terlihat bahwa nilai tegangan air pori negatif membesar maka nilai berat volume kering membesar, namun pada saat mencapai nilai tegangan air pori negatif optimum, nilai berat volume kering akan mengecil. Pada gambar diatas terlihat bahwa tegangan air pori negatif tanah natural lebih kecil daripada tanah natural + 5% mikro biobakteri dan berat volume kering natural lebih kecil daripada tanah natural + 5% mikro biobakteri.

C. Pengujian Triaksial

Pengujian Triaksial dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter kekuatan geser tanah (kohesi dan sudut geser). Dimana kekuatan geser adalah gaya perlawanan internal oleh butir-butir tanah per satuan luas terhadap desakan atau tarikan sepanjang bidang geser dalam tanah (Das, 1993). Gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan yang lainnya tidak dapat saling menempel karena molekulnya saling tolak menolak. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D 3080-72 dengan menggunakan Triaksial tipe *Unconsolidated Undrained* (UU). Hasil pengujian Triaksial tipe UU dapat dilihat pada tabel 4.17 dibawah ini.

Tabel 4.17 Tabel hasil pengujian triaksial tanah natural + 5% mikro biobakteri

Sifat Mekanik		
Parameter Tanah	Tanah Natural	Tanah natural + 5% Mikro Biobakteri
Kohesi, (kN/m ²)	92,2	191,3
Sudut Geser Dalam, ϕ (°)	4,42	3,106
Modulus elastisitas, $E_1 = E_{50}$ (kN/m ²)	8707,2	8272,5
Modulus elastisitas, $E_2 = E_{50}$ (kN/m ²)	7859,2	9276,9

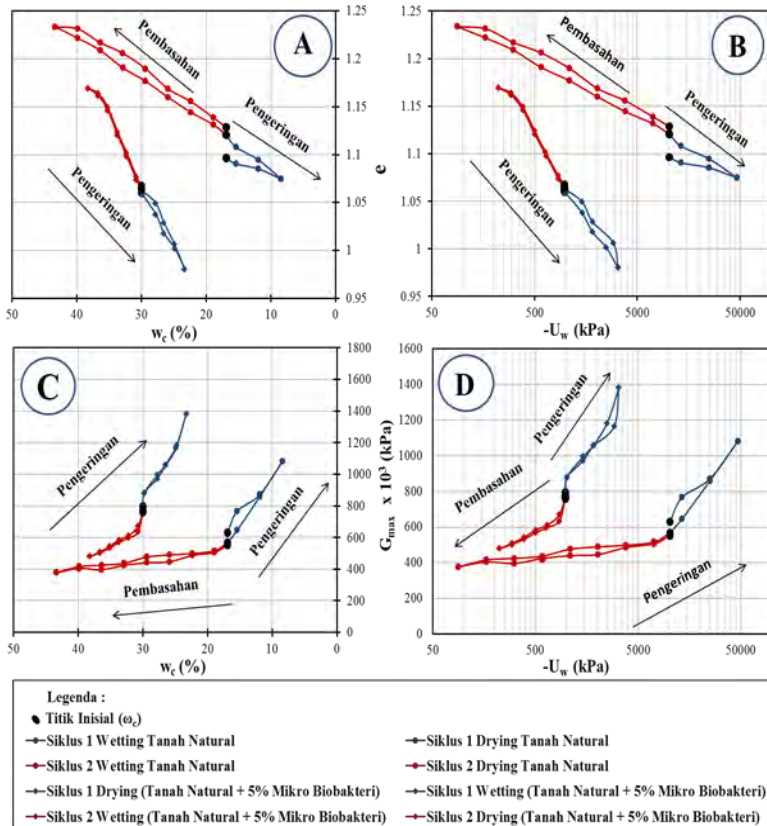
(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Dari tabel 4.17 diatas disimpulkan bahwa untuk parameter tanah untuk nilai kohesi pada tanah natural dengan tanah natural + 5% mikro biobakteri mengalami kenaikan sebesar mengalami penurunan sebesar 107,439%. Pada parameter sudut geser dalam sebesar 1,314°, untuk modulus geser elastisitas (E_1) mengalami penurunan 4,992% dan modulus geser elastisitas (E_2) mengalami kenaikan sebesar 18.039%.

4.5.3.3. Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Dan Pembasahan (Siklus Pertama Dan Kedua)

Proses pengeringan dan pembasahan akan mempengaruhi parameter fisik, mekanik, dan dinamik tanah. Dalam hal ini pada siklus pertama, pengeringan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100% dan pembasahan dimulai dari kondisi kering 100% hingga kondisi inisial. Kemudian pada siklus kedua, pembasahan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi basah 100% (jenuh) dan pengeringan dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi inisial. Berikut adalah grafik gabungan antara

pengaruh pengeringan dan pembasahan pada siklus pertama dan kedua tanah natural dengan tanah natural + 5% mikro biobakteri.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.72 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, tegangan air pori negatif tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri.

A. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.72A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai kadar air dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural siklus kedua sebesar 16,921%, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar 30,007% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 77,335%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural siklus kedua sebesar 1,129, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar 1,068 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan angka pori sebesar 5,415%.

B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.72B adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif semakin mengecil dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi inisial untuk nilai nilai tegangan air pori negatif tanah natural siklus kedua sebesar 10206,881 kPa, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar 976,011 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 90,438%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai angka pori tanah natural siklus kedua sebesar 1,129, dan pada tanah

natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar 1,068 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan angka pori sebesar 5,415%.

C. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.72C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

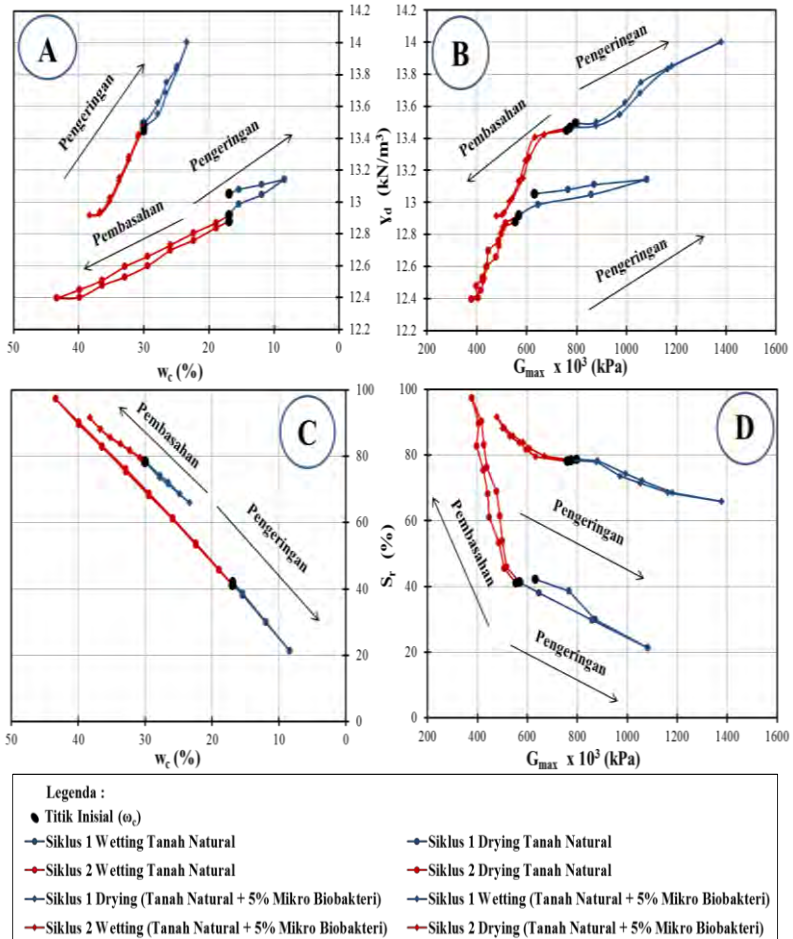
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural siklus kedua sebesar 16,921%, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar 30,007% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 77,335%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar $553,510 \times 10^3$ kPa, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar $759,812 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 37,271%.

D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.72D adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural siklus kedua sebesar 10206,881

kPa, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar 976,011 kPa sehingga tanah tersebut mengalami penurunan nilai tegangan air pori negatif sebesar 90,438%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar $553,510 \times 10^3$ kPa, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar $759,812 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 37,271%.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.73 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, derajat kejenuhan tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri.

E. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.73A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan berat volume kering pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural siklus kedua sebesar 16,921%, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar 30,007% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 77,335%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural siklus kedua sebesar 12,880 kN/m³, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar 13,450 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume kering sebesar 4,425%.

F. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.73B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume kering pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar 553,510 x 10³ kPa, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar 759,812 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 37,271%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume kering tanah natural siklus kedua sebesar 12,880

kN/m^3 , dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar $13,450 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume kering sebesar 4,425%.

G. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.73C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai tegangan kadar air semakin membesar dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

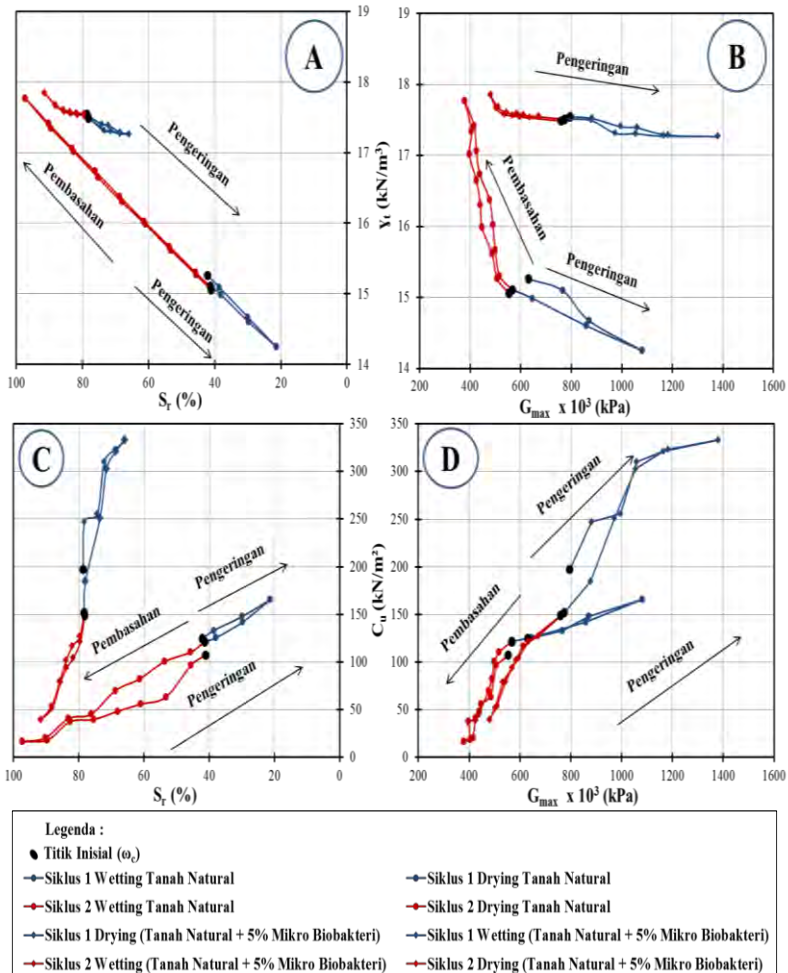
Pada kondisi inisial untuk nilai kadar air tanah natural siklus kedua sebesar 16,921%, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar 30,007% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kadar air sebesar 77,335%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus kedua sebesar 41,103%, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar 78,162% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 90,161%.

H. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.73D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar $553,510 \times 10^3$ kPa, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus

kedua sebesar $759,812 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 37,271%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus kedua sebesar 41,103%, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar 78,162% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 90,161%.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.74 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, kohesi tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri.

I. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.74A adalah grafik hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah basah pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus kedua sebesar 41,103%, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar 78,162% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 90,161%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural siklus kedua sebesar 15,059 kN/m³, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar 17,485 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume tanah basah sebesar 16,112%.

J. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.74B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah basah pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar 553,510 x 10³ kPa, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar 759,812 x 10³ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar

37,271%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural siklus kedua sebesar $15,059 \text{ kN/m}^3$, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar $17,485 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume tanah basah sebesar 16,112%.

K. Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.74C adalah grafik hubungan antara kohesi dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai kohesi dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural siklus kedua sebesar $107,226 \text{ kN/m}^3$, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar $148,814 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kohesi sebesar 38,785%. Kemudian pada kondisi inisial untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural siklus kedua sebesar 41,103%, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar 78,162% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 90,161%.

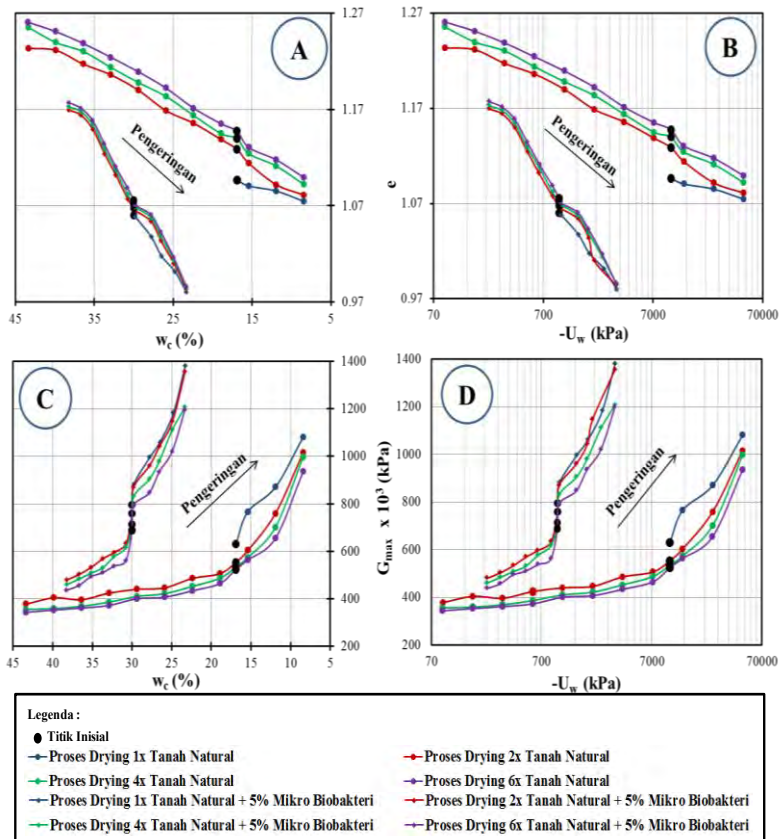
L. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) Dengan Kohesi (C_u)

Gambar 4.74D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada siklus pertama dan kedua pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan dan pembasahan pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan kohesi semakin mengecil.

Pada kondisi inisial untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural siklus kedua sebesar $553,510 \times 10^3$ kPa, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar $759,812 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 37,271%. Kondisi inisial untuk nilai kohesi tanah natural siklus kedua sebesar $107,226 \text{ kN/m}^3$, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri siklus kedua sebesar $148,814 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kohesi sebesar 38,785%.

4.5.3.4. Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Berulang (1 Kali, 2 Kali, 4 Kali, Dan 6 Kali)

Proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) akan mempengaruhi parameter fisik, mekanik, dan dinamik tanah. Berikut merupakan grafik pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Dalam hal ini, pada proses pengeringan 1 kali dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100%, sedangkan untuk proses pengeringan 2 kali, 4 kali, dan 6 kali dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi kering 100%.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.75 Pengaruh pengulangan proses pengeringan 1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, tegangan air pori negatif tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri.

A. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.75A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai angka pori semakin membesar.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai angka pori tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 1,224, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri sebesar 1,111 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan angka pori sebesar 4,863%.

B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.75B adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif semakin mengecil dan angka pori semakin membesar.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 581,719 kPa, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri sebesar 648,341 kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai tegangan air pori negatif sebesar 5,416%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai angka pori tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 1,224, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri sebesar 1,111 sehingga tanah tersebut mengalami penurunan angka pori sebesar 4,863%.

C. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.75C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

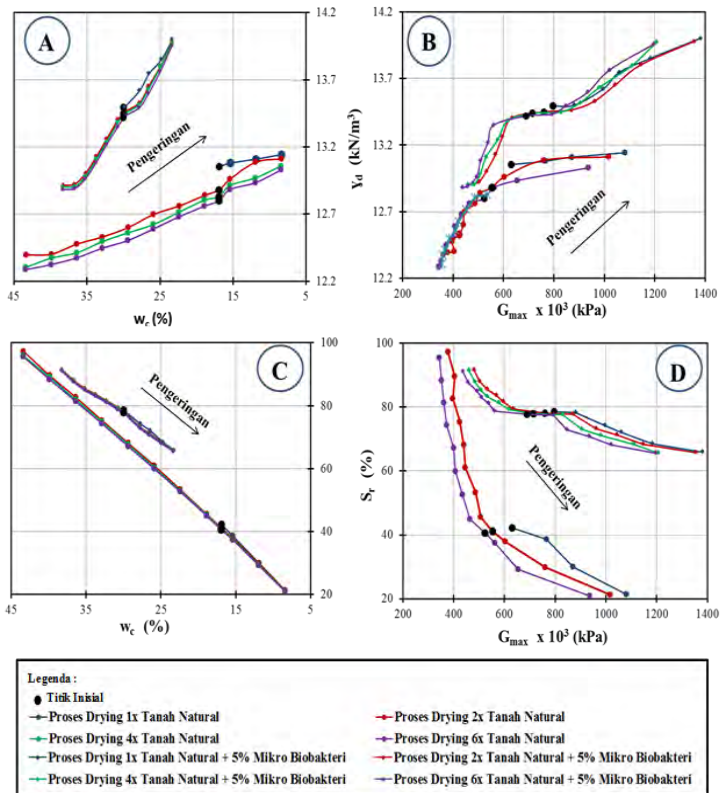
Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $372,568 \times 10^3$ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $538,002 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 18,168%.

D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.75D adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai tegangan air pori negatif tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 581,719 kPa, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri sebesar 648,341 kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan nilai tegangan air pori negatif sebesar 5,416%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 372,568

$\times 10^3$ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $538,002 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 18,168%



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.76 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, derajat kejenuhan tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri.

A. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.76A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan berat volume kering pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai kadar air semakin membesar dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai berat volume kering tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $12,446 \text{ kN/m}^3$, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 6 kali sebesar $13,220 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume kering sebesar $3,017\%$.

B. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{\max}) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.76B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume kering pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume kering semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $372,568 \times 10^3 \text{ kPa}$, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $538,002 \times 10^3 \text{ kPa}$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar $18,168\%$. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai berat volume kering tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $12,446 \text{ kN/m}^3$, dan pada

tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 6 kali sebesar $13,220 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume kering sebesar 3,017%.

C. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.76C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai tegangan kadar air semakin membesar dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

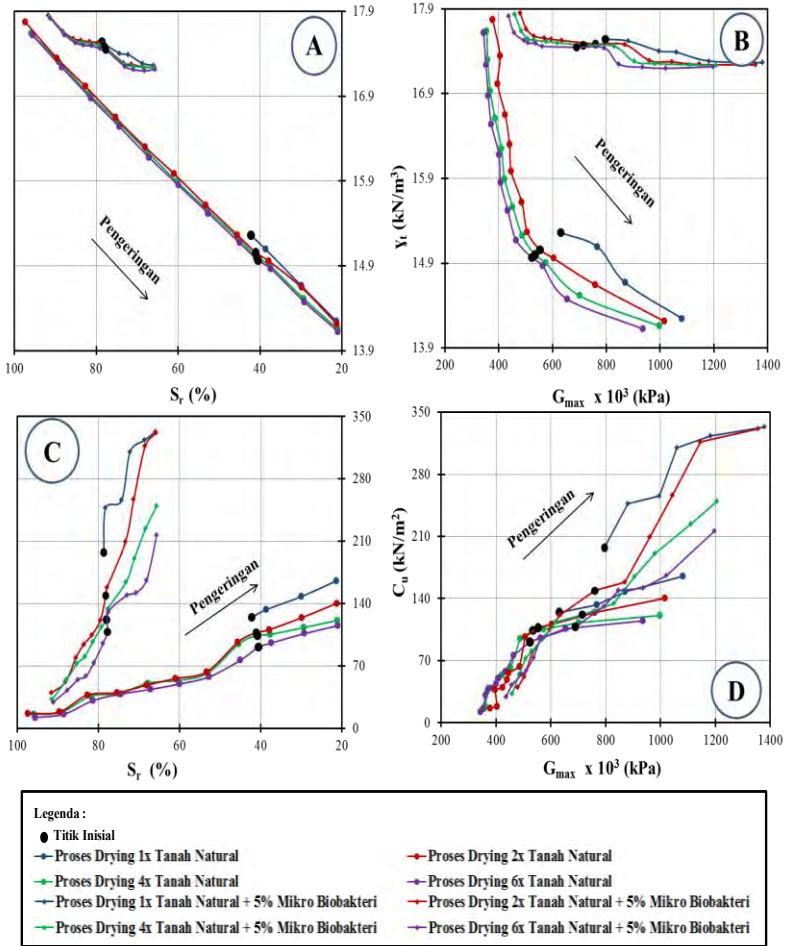
Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 74,383%, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 6 kali sebesar 81,124% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 4,335%.

D. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.76D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $372,568 \times 10^3 \text{ kPa}$, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $538,002 \times 10^3 \text{ kPa}$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum

sebesar 18,168%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 74,383%, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 6 kali sebesar 81,124% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 4,335%.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.77 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, kohesi tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri.

E. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ)

Gambar 4.77A adalah grafik hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah basah pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai derajat kejenuhan dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 74,383%, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 6 kali sebesar 81,124% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 4,335%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 16,540 kN/m³, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 6 kali sebesar 17,489 kN/m³ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume tanah basah sebesar 2,789%.

F. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah

Gambar 4.77B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah basah pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah basah semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 372,568 x 10³ kPa, dan pada

pengeringan 6 kali sebesar $538,002 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 18,168%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai berat volume tanah basah tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $16,540 \text{ kN/m}^3$, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 6 kali sebesar $17,489 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan berat volume tanah basah sebesar 2,789%.

G. Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.77C adalah grafik hubungan antara kohesi dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai kohesi dan derajat kejenuhan semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai kohesi tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $38,571 \text{ kN/m}^3$, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 6 kali sebesar $73,444 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kohesi sebesar 31,132%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai derajat kejenuhan tanah natural pengeringan 6 kali sebesar 74,383%, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 6 kali sebesar 81,124% sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan derajat kejenuhan sebesar 4,335%.

H. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) Dengan Kohesi (C_u)

Gambar 4.77D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada

tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri. Akibat adanya proses pengeringan berulang pada tanah natural dan tanah natural + 5% mikro biobakteri, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan kohesi semakin mengecil.

Pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai modulus geser maksimum tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $372,568 \times 10^3$ kPa, dan pada pengeringan 6 kali sebesar $538,002 \times 10^3$ kPa sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan modulus geser maksimum sebesar 18,168%. Kemudian pada kondisi kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$ untuk nilai kohesi tanah natural pengeringan 6 kali sebesar $38,571 \text{ kN/m}^3$, dan pada tanah natural + 5% mikro biobakteri pengeringan 6 kali sebesar $73,444 \text{ kN/m}^3$ sehingga tanah tersebut mengalami kenaikan kohesi sebesar 31,132%.

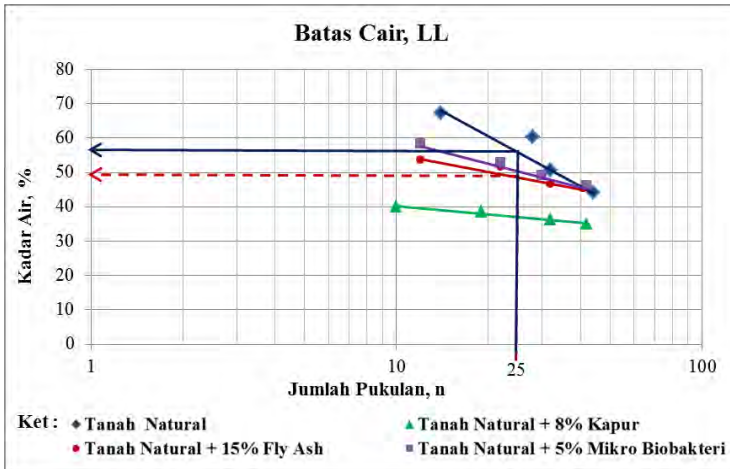
4.5.4. Perbandingan Hasil Pengujian Tanah Natural Dengan Tanah Natural Yang Distabilisasi (Tanah Natural + 8% Kapur, Tanah Natural + 15% Fly Ash, Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri)

4.5.4.1. Sifat Fisik

Sifat-sifat fisik bahan dasar dan benda uji yang digunakan pada penelitian ini didasarkan pada pengujian indeks konsistensi (batas-batas Atterberg), analisis ukuran butir, dan pengujian berat jenis. Sedangkan klasifikasi tanah diperoleh dengan klasifikasi standar USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO yang didasarkan pada sifat-sifat tanahnya.

A. Pengujian Atterberg Limit

Pengujian batas-batas *atterberg* (*atterberg limits*) bertujuan untuk mengetahui batas cair, batas plastis, dan indeks plastis suatu tanah. Hasil pengujian dapat dilihat selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 4.76 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

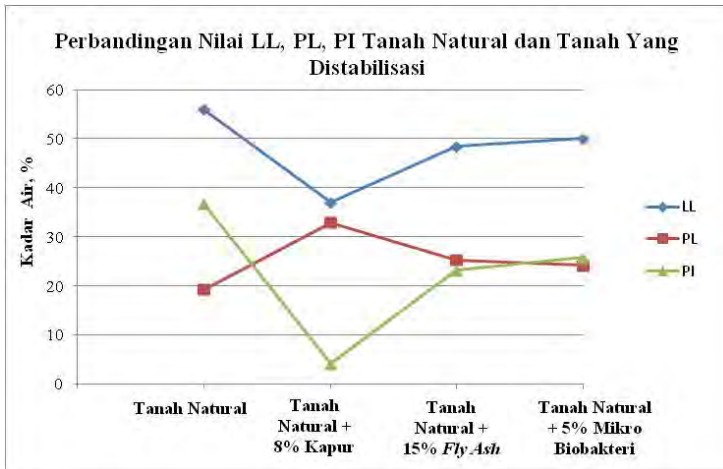
Gambar 4.78 Grafik hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi.

Dari Gambar 4.76 diatas didapatkan nilai batas cair (LL), batas plastis (PL), dan indeks plastisitas (PI) seperti yang tertera pada Tabel 4.18 dan gambar 4.79 dibawah ini.

Tabel 4.18 Tabel hasil pengujian Atterberg Limit tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi.

Jenis Pengujian	Tanah Natural	Tanah Natural + 8% Kapur	Tanah Natural + 15% Fly Ash	Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri
Konsistensi Tanah				
- Batas Cair, LL	56%	37%	48.50%	50%
- Batas Plastis, PL	19.27%	32.91%	25.32%	24.21%
- Indeks Plastisitas, PI	36.73%	4.09%	23.18%	25.79%

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)



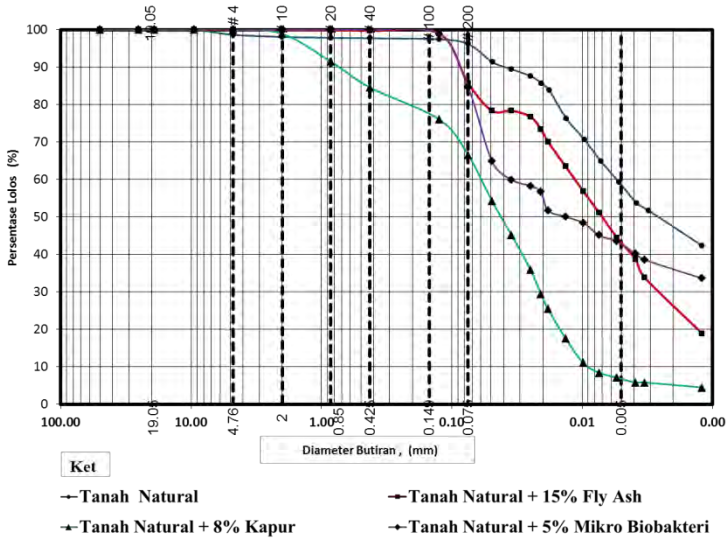
(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.79 Grafik perbandingan nilai LL, PL, PI tanah natural dan tanah yang distabilisasi.

Dari Tabel 4.18 dan gambar 4.79 diatas terlihat bahwa diantara ketiga bahan tambah, untuk nilai batas cair (LL) pada tanah natural yang distabilisasi memiliki nilai yang lebih kecil dari pada tanah natural. Nilai batas plastis (PL) pada tanah natural yang distabilisasi memiliki nilai yang lebih besar dari pada tanah natural. Sedangkan nilai Indeks Plastisitas (PI) pada tanah natural yang distabilisasi memiliki nilai yang lebih kecil dari pada tanah natural. Pengurangan nilai kadar air terbesar dihasilkan dari penambahan 8% kapur ke tanah natural. Hal ini dikarenakan partikel tanah yang berukuran lebih besar akan membutuhkan air yang lebih sedikit untuk menutup alur tanah pada saat pengujian batas cair pada saat pukulan ke 25. Untuk nilai batas plastis terbesar dihasilkan dari penambahan 8% kapur ke tanah natural, dikarenakan partikel tanah yang berukuran lebih besar akan membutuhkan air yang lebih banyak untuk membentuk batang-batang kecil pada saat pengujian batas plastis.

B. Pengujian Analisis Ukuran Butir

Hasil dari pengujian analisa ukuran butiran (analisa ayakan dan analisa hidrometer) tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi dapat dilihat selengkapnya pada Gambar 4.80 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.80 Grafik hasil pengujian analisa ukuran butiran tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi.

Dari Gambar 4.80 diatas akan terlihat gradasi tanah natural dan tanah natural yang distabilisaasi. Untuk hasil yang lebih jelas, nilai-nilai gradasi tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi akan dicantumkan dalam Tabel 4.19 dibawah ini.

Tabel 4.19 Nilai analisa ukuran butir tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi

Jenis Pengujian	Tanah Natural	Tanah Natural + 8% Kapur	Tanah Natural + 15% Fly Ash	Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri
Analisis Ukuran Butiran				
- Fraksi Kerikil (<i>Gravel</i>)	1.37%	-	0.04%	-
- Fraksi Pasir (<i>Sand</i>)	2.44%	33.45%	14.28%	15.38%
- Fraksi Lanau (<i>Silt</i>)	53.91%	62.10%	66.84%	51.05%
- Fraksi Lempung (<i>Clay</i>)	42.28%	4.46%	18.85%	33.58%

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Dari Tabel 4.19 diatas, terlihat bahwa penambahan 8% kapur ke tanah natural akan menghasilkan pengurangan gradasi butiran berpartikel halus terbesar bila dibandingkan dengan penambahan 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri.

C. Klasifikasi Tanah

Berdasarkan dari nilai batas-batas Atterberg dan nilai analisis ukuran butir diatas, sehingga tanah natural dan tanah yang distabilisasi dapat diklasifikasikan seperti yang tertera pada Tabel 4.20 dibawah berikut.

Tabel 4.20 Tabel klasifikasi tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi

Jenis Pengujian	Tanah Natural	Tanah Natural + 8% Kapur	Tanah Natural + 15% Fly Ash	Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri
Klasifikasi Tanah				
- USCS (Unified Soil Classification System)	CH	ML	CL	CL
- AASHTO	A - 7 - 6	A-4	A-7-6	A-7-6

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Dari Tabel 4.20 diatas disimpulkan bahwa adanya stabilisasi tanah natural dengan bahan tambah 8% kapur, 15% *fly ash*, dan 5% mikro biobakteri, maka tanah dapat diklasifikasikan sebagai tanah lempung anorganik dengan

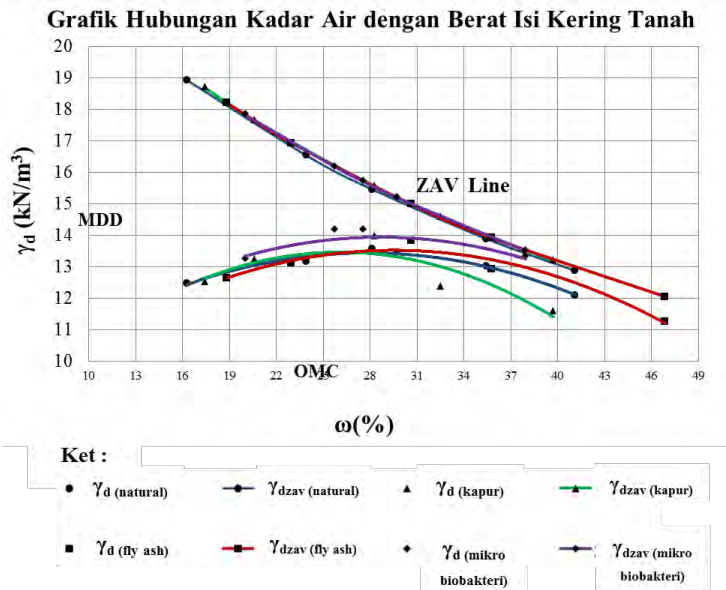
plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berlanau, dan lempung berlanau.

4.5.4.2. Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik meliputi pengujian pemadatan *proctor* (*Proctor Compaction Test*), tegangan air pori negatif (*Suction*) dan pengujian triaksial.

A. Pengujian Pemadatan Proctor Standar

Pengujian pemadatan Proctor dimaksudkan untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum. Pada saat pengujian, dilakukan juga pengukuran tegangan air pori negatif (*suction*) setiap benda uji menggunakan kertas filter tipe whatman no.42 yang diletakkan pada 1/3 dan 2/3 tinggi benda uji. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya tegangan air pori negatif tanah pada tingkat kepadatan maksimum. Hasil pengujian pemadatan Proctor (*Proctor Compaction Test*) tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi dapat dilihat pada Gambar 4.78 dibawah ini.



(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.81 Grafik hubungan kadar air optimum (ω_c) dengan berat volume kering maksimum (γ_d) tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi.

Dari Gambar 4.81 diatas, hasil pemadatan Proctor standar tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi didapatkan nilai berat volume kering maksimum (γ_{dmaks}) dan nilai kadar air optimumnya ω_{opt} yang tertera pada Tabel dibawah ini.

Tabel 4.21 Tabel Hasil Pemadatan Proctor Standar Tanah Natural dan Tanah Natural Yang Distabilisasi.

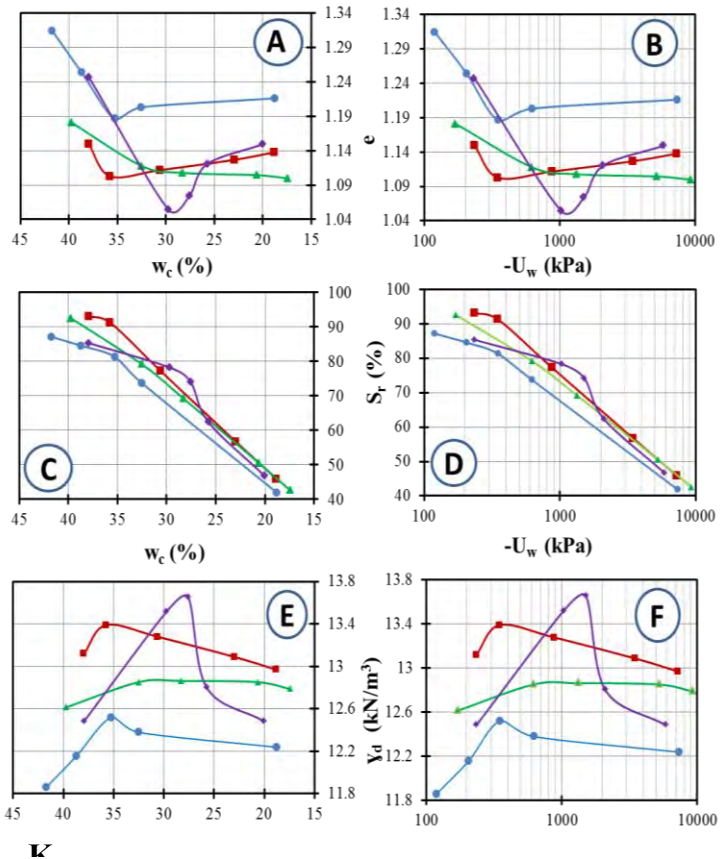
Parameter Tanah	Tanah Natural	Tanah + 8% Kapur	Tanah + 15% <i>Fly Ash</i>	Tanah + 5% Mikro Biobakteri
Berat Volume Kering Maksimum, MDD (kN/m^3)	13.4	13.5	13.55	13.9
Kadar Air Optimum, OMC (%)	27	28	30	30

(Sumber: Hasil Pengujian, 2014)

Dari Tabel 4.21 diatas, terlihat perbedaan nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum antara tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi. Persentase kenaikan nilai berat volume kering maksimum antara tanah natural dengan tanah natural + 8% kapur, tanah natural + 15% *fly ash*, dan tanah natural + 5% mikro biobakteri adalah 0.746%, 1.119%, dan 3.731%. Kemudian persentase kenaikan nilai kadar air optimum antara tanah natural dengan tanah natural + 8% kapur, tanah natural + 15% *fly ash*, dan tanah natural + 5% mikro biobakteri adalah 3.704%, 11.111%, dan 11.111%.

B. Analisis Hasil Pengujian Pemadatan Proctor Standar

Pengujian pemadatan Proctor standar ini selain untuk mendapatkan nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum, juga untuk mendapatkan harga tegangan air pori negatif, angka pori, dan derajat kejenuhan. Angka pori dan derajat kejenuhan diperoleh dengan pengujian volumetri. Hasil-hasil pengujian *suction* dan volumetri dapat dilihat selengkapnya pada Gambar 4.82 dibawah ini.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.82 Grafik hubungan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, berat volume kering, dan tegangan air pori negatif hasil pengujian pada benda uji tanah natural dan tanah yang distabilisasi

a. Hubungan Antara Angka Pori (e) dengan Kadar Air (ω_c)

Gambar 4.82A memperlihatkan kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk benda uji tanah natural dan tanah natural yang ditambah dengan *stabilisator*. Secara umum tampak bahwa nilai angka pori tanah natural lebih besar dibanding dengan tanah natural yang distabilisasi. Angka pori adalah parameter yang sangat berpengaruh terhadap kepadatan tanah, semakin kecil angka pori maka kepadatan tanah akan semakin tinggi, dan sebaliknya. Hal ini berarti bahwa benda uji yang diberi *stabilisator* memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji tanah natural. Diantara ketiga *stabilisator* terlihat bahwa penambahan 8% kapur menghasilkan nilai angka pori terkecil dibanding 15% *fly ash* dan 5% mikro biobakteri. Sehingga, kepadatan yang paling tinggi adalah tanah natural dengan 8% kapur. Dalam rentang kadar air $\pm(29-32)\%$, penurunan nilai angka pori antara tanah natural dengan 15% *fly ash*, 8% kapur, dan 5% mikro biobakteri adalah 3.946%, 3.658%, dan 6.598%.

Fenomena di atas kemungkinan besar menunjukkan adanya proses hidrasi yang disebabkan oleh *fly ash* dan kapur terhadap tanah natural tersebut, sedangkan mikro biobakteri mempunyai fenomena dimana cairan bakteri mengikat partikel tanah yang menyebabkan volume pori berkurang. Hidrasi mengakibatkan terjadinya perubahan pada fase tanah, yaitu bertambah besar volume dan berat butiran solidnya. Agar sebuah partikel tanah yang distabilisasi dengan bahan *fly ash*, kapur, dan mikro biobakteri memiliki kadar air yang sama dengan benda uji tanah natural, maka peningkatan volume butiran solid harus diimbangi dengan pengurangan volume pori. Karena angka pori merupakan rasio antara volume pori dengan volume butiran solid ($e = V_v/V_s$), maka semakin kecil volume pori dan semakin besar volume butiran solid, akan mengakibatkan angka pori semakin mengecil.

Fenomena lain yang tampak adalah kadar air benda uji yang diberi *stabilisator* cenderung lebih kecil dari pada benda uji tanah natural. Hal ini semakin memperkuat adanya hidrasi pada benda uji yang distabilisasi.

b. Hubungan Antara Tegangan Air Pori ($-U_w$) Negatif dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.82B memperlihatkan kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif antara tanah natural dan tanah natural ditambah *stabilisator*. Dari Gambar 4.5B tersebut ditunjukkan bahwa untuk nilai tegangan air pori negatif tanah yang distabilisasi memiliki nilai lebih besar dibanding dengan tanah natural. Dikarenakan nilai angka pori pada tanah yang distabilisasi lebih kecil dibanding dengan tanah natural. Tegangan air pori negatif (*suction*) adalah logaritma dari ketinggian kolom air dalam sebuah pipa. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, peristiwa hidrasi yang disebabkan oleh *fly ash* dan kapur serta peristiwa mengikatnya partikel butiran yang disebabkan oleh mikro biobakteri mengakibatkan berkurangnya berat air dan bertambahnya volume butiran solidnya. Agar tegangan air pori negatif tetap atau dengan kata lain ketinggian air sama, maka peningkatan volume butiran solid harus diimbangi dengan pengurangan volume pori, yang berarti angka pori pun akan mengecil. Hal ini sesuai dengan analisis sebelumnya bahwa perubahan sifat-sifat fisik tanah juga dipengaruhi tegangan air pori negatif. Dalam rentang tegangan air pori negatif $\pm(100-300)$ kPa, penurunan nilai angka pori antara tanah natural dengan 15% *fly ash*, 8% kapur, dan 5% mikro biobakteri adalah 6.679%, 5.344%, dan 2.621%.

c. Hubungan Antara Kadar Air (ω_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.82C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan antara benda uji tanah natural

dan tanah natural ditambah *stabilisator*. Dari Gambar 4.82C tersebut terlihat bahwa hasil uji tanah natural dan tanah natural diberi *stabilisator* mempunyai pola yang sama bahwa derajat kejenuhan terus meningkat dengan bertambahnya kadar air, hingga mencapai kondisi jenuh. Dalam rentang kadar air $\pm(29-32)\%$, kenaikan nilai derajat kejenuhan antara tanah natural dengan 15% *fly ash*, 8% kapur, dan 5% mikro biobakteri adalah 2.364%, 3.597%, dan 3.021%. Penambahan air kedalam benda uji menyebabkan ruang pori yang masih kosong akan terisi oleh air. Semakin banyak air yang ditambahkan, maka akan semakin sedikit ruang pori yang belum terisi oleh air, hingga suatu saat seluruh ruang pori akan terisi oleh air. Bila kondisi ini tercapai maka benda uji berada dalam kondisi jenuh air. Untuk proses pengeringan, terjadi sebaliknya, dimana penurunan kadar air akan menyebabkan pengurangan derajat kejenuhan. Dari Gambar 4.5A dijelaskan bahwa nilai angka pori dan nilai kadar air tanah natural lebih besar dari pada tanah yang distabilisasi. Dengan demikian nilai derajat kejenuhan tanah natural lebih besar dibandingkan tanah yang ditambah dengan *stabilisator*.

d. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Pengujian Gambar 4.5D menunjukkan bahwa efek dari penambahan *stabilisator* pada benda uji tanah natural adalah meningkatkan tegangan air pori negatif. Perbedaan nilai tegangan air pori negatif ini dipengaruhi oleh perbedaan nilai angka pori seperti yang dijelaskan di atas. Gambar 4.82B memiliki pola yang sama dengan Gambar 4.82D. Dalam rentang tegangan air pori negatif $\pm(100-300)$ kPa, kenaikan nilai derajat kejenuhan antara tanah natural dengan 15% *fly ash*, 8% kapur, dan 5% mikro biobakteri adalah 3.324%, 3.017%, dan 1.030%.

e. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.82E adalah kurva hubungan antara kadar air dengan berat volume kering untuk tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi. Kurva tersebut memperlihatkan bahwa benda uji yang distabilisasi memiliki berat volume kering yang lebih besar dibanding dengan tanah natural. Berat volume kering adalah rasio antara berat butiran solid dengan volume total ($\gamma_d = W_s/V$). Berdasarkan uraian sebelumnya, penambahan *stabilisator* pada benda uji akan menghasilkan penambahan volume dan berat butiran solid. Karena volume total ($V = V_s + V_v$), dengan demikian peningkatan volume butiran solid akan diiringi dengan penurunan volume pori. Implikasi dari meningkatnya berat butiran solid dan menurunnya volume pori adalah bertambah besarnya berat volume kering. Dalam rentang kadar air $\pm(29-32)\%$, kenaikan nilai berat volume kering antara tanah natural dengan 15% *fly ash*, 8% kapur, dan 5% mikro biobakteri adalah 3.510%, 1.873%, dan 4.394%.

f. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) Dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.82F memperlihatkan kurva hubungan antara tegangan pori negatif dengan berat volume kering untuk benda uji tanah natural dan benda uji yang distabilisasi. Kurva tersebut menunjukkan bahwa pada tegangan air pori negatif yang sama, benda uji yang distabilisasi memiliki berat volume kering yang lebih besar dibandingkan benda uji tanah natural. Dalam rentang tegangan air pori negatif $\pm(100-300)$ kPa, kenaikan nilai berat volume kering antara tanah natural dengan 15% *fly ash*, 8% kapur, dan 5% mikro biobakteri adalah 3.324%, 3.017%, dan 1.030%.

C. Pengujian Triaksial

Pengujian Triaksial dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter kekuatan geser tanah (kohesi dan sudut geser). Dimana kekuatan geser adalah gaya perlawanan internal oleh butir-butir tanah per satuan luas terhadap desakan atau tarikan sepanjang bidang geser dalam tanah (Das, 1993). Gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan yang lainnya tidak dapat saling menempel karena molekulnya saling tolak menolak. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D 3080-72 dengan menggunakan Triaksial tipe *Unconsolidated Undrained* (UU). Hasil pengujian Triaksial tipe UU dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel 4.22 Hasil pengujian triaksial tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi.

Parameter Tanah	Sifat Mekanik			
	Tanah Natural	Tanah + 8% Kapur	Tanah + 15% Fly Ash	Tanah + 5% Mikro Biobakteri
Kohesi, c_u (kN/m ²)	92.2	629	109.4	191.3
Sudut Geser Dalam, ϕ (°)	4.42	1.191	3.831	3.106
Modulus Elastisitas, $E_1 = E_{30}$ (kN/m ²)	8707.2	153407.1	7756.7	8272.5
Modulus Elastisitas, $E_2 = E_{30}$ (kN/m ²)	7859.3	86191.1	9512.1	9276.9

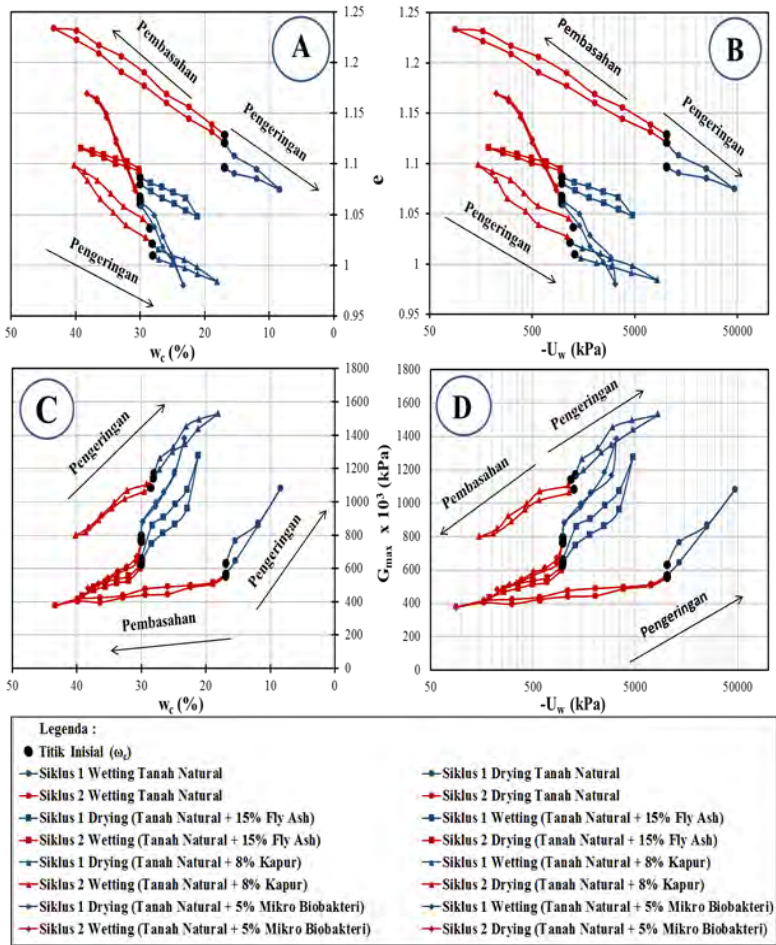
(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Dari Tabel diatas terlihat nilai kohesi terbesar didapat dari penambahan stabilisator ke tanah natural. Nilai sudut geser terbesar didapat dari tanah natural.

4.5.4.3. Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Dan Pembasahan (Siklus Pertama Dan Kedua)

Proses pengeringan dan pembasahan akan mempengaruhi parameter fisik, mekanik, dan dinamik tanah. Dalam hal ini pada siklus pertama, pengeringan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100% dan pembasahan

dimulai dari kondisi kering 100% hingga kondisi inisial. Kemudian pada siklus kedua, pembasahan dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi basah 100% (jenuh) dan pengeringan dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi inisial. Berikut grafik pengaruh pengeringan dan pembasahan pada siklus pertama dan kedua tanah natural dan tanah yang distabilisasi.



(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

Gambar 4.83 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, tegangan air pori negatif tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi.

A. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.83A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Pada siklus pertama ini akan terlihat perbedaan antara grafik siklus pertama pengeringan (*drying*) dan siklus pertama pembasahan (*wetting*). Kadar air merupakan perbandingan antara berat air dan berat total benda uji dalam persen. Semakin besar jumlah air yang berada pada suatu benda uji maka akan menghasilkan nilai kadar air yang lebih besar. Pada siklus pertama ini, siklus pertama *wetting* memiliki nilai kadar air yang lebih besar dibandingkan dengan siklus pertama *drying*. Suatu nilai kadar air akan mempengaruhi nilai angka pori, semakin besar nilai kadar air semakin besar pula nilai angka pori suatu benda uji. Hal ini dipengaruhi oleh adanya perubahan susunan dan struktur tanah yang terjadi akibat adanya pengeringan dan pembasahan. Pada saat tanah mengalami pengeringan, maka akan terjadi penyusutan yang menyebabkan angka pori tanah mengecil akibat mengecilnya volume pori, begitu sebaliknya.

Pada kondisi inisial, perbandingan untuk nilai kadar air serta nilai angka pori pada tanah natural siklus 1 *drying* dengan siklus 1 *wetting* mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,011% dan angka pori sebesar 1,098%. Untuk perbandingan nilai kadar air serta nilai angka pori pada tanah natural ditambah kapur pada siklus 1 *drying* dengan siklus 1 *wetting* mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,147% dan angka pori sebesar 0,579%. Untuk perbandingan nilai kadar air serta nilai angka pori pada tanah natural ditambah *fly ash* pada siklus 1 *drying* dengan siklus 1 *wetting* mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,020% dan angka pori sebesar 0,312%. Untuk perbandingan nilai kadar air serta nilai angka pori pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada siklus

Idrying dengan siklus 1 wetting mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,003% dan angka pori sebesar 0,184%.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai kadar air dan angka pori tanah natural pada siklus 1 dengan siklus 2 mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,023% dan angka pori sebesar 1,446%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur siklus 1 dan siklus 2 mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,856% dan angka pori sebesar 1,321%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* siklus 1 dan siklus 2 mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,023% dan angka pori sebesar 0,286%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri siklus 1 dan siklus 2 mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,007% dan angka pori 0,344%.

Terlihat dari Gambar 4.83A diatas bahwa nilai angka pori tanah natural lebih besar dibandingkan dengan nilai angka pori tanah yang distabilisasi. Hal ini terjadi dikarenakan pori-pori suatu benda uji yang distabilisasi diisi oleh bahan tambah (*stabilisator*), sehingga menyebabkan berkurangnya volume pori suatu benda uji. Diantara ketiga *stabilisator* yang digunakan dalam pengujian ini, penggunaan 8% kapur menyebabkan nilai angka pori terkecil dibandingkan dengan penambahan 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri.

B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.83B adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada siklus pertama dan kedua tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Pada Gambar 4.83 terlihat bahwa proses pengeringan menyebabkan berkurangnya kadar air suatu benda uji, angka pori menurun dan tegangan air pori negatif semakin besar. Sebaliknya proses pembasahan menyebabkan nilai angka pori membesar dan tegangan air pori negatif semakin kecil. Hal ini

disebabkan karena semakin kecilnya nilai angka pori suatu benda uji akan mempengaruhi daya serap air suatu tanah. Namun untuk pengujian kali ini, tanah natural dan tanah yang distabilisasi memiliki perbedaan selisih kadar air yang cukup jauh.

Pada kondisi inisial, perbandingan untuk nilai tegangan air pori negatif serta nilai angka pori pada tanah natural siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0,036% dan angka pori sebesar 1,098%. Untuk perbandingan nilai tegangan air pori negatif serta nilai angka pori pada tanah natural ditambah kapur pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 5,156% dan angka pori sebesar 0,579%. Untuk perbandingan nilai tegangan air pori negatif serta nilai angka pori pada tanah natural ditambah *fly ash* pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0,081% dan angka pori sebesar 0,312%. Untuk perbandingan nilai tegangan air pori negatif serta nilai angka pori pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0.009% dan angka pori sebesar 0,184%.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai tegangan air pori negatif dan angka pori tanah natural pada siklus 1 dengan siklus 2 mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0,072% dan kenaikan angka pori sebesar 1,446%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 1,538% dan kenaikan angka pori sebesar 1,321%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0,148% dan kenaikan angka pori sebesar 0,286%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri siklus 1 dan siklus 2 mengalami

penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0,036% dan kenaikan angka pori 0,344%.

Perbedaan selisih kadar air yang cukup besar ini menyebabkan nilai tegangan air pori negatif tanah natural yang seharusnya lebih kecil dibandingkan tanah yang distabilisasi, tetapi menghasilkan nilai yang lebih besar dari yang seharusnya. Dari ketiga bahan tambah yang dipakai pada Hasil Pengujian ini, nilai tegangan air pori negatif terbesar dihasilkan dari penambahan 8% kapur.

C. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.83C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan modulus geser pada siklus pertama dan kedua tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Pada siklus pertama ini akan terlihat perbedaan antara grafik siklus pertama pengeringan (*drying*) dan siklus pertama pembasahan (*wetting*). Nilai modulus geser dipengaruhi oleh kadar air, terlihat bahwa semakin tinggi kadar air (jenuh) nilai modulus geser tanah akan mengecil, begitu sebaliknya. Sehingga nilai modulus geser pada siklus pertama *drying* lebih besar dibanding siklus pertama *wetting*. Nilai modulus geser pada siklus pertama lebih besar dibandingkan dengan siklus kedua.

Pada kondisi inisial, perbandingan untuk nilai kadar air serta nilai modulus geser maksimum pada tanah natural siklus 1 *drying* dengan siklus 1 *wetting* mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,011% dan penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 5,226%. Untuk perbandingan nilai kadar air serta nilai modulus geser maksimum pada tanah natural ditambah kapur pada siklus 1 *drying* dengan siklus 1 *wetting* mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,147% dan penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 1,351%. Untuk perbandingan nilai kadar air serta nilai modulus geser maksimum pada tanah natural ditambah *fly ash* pada siklus 1 *drying* dengan siklus 1 *wetting* mengalami kenaikan kadar

air sebesar 0,020% dan penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 1,519%. Untuk perbandingan nilai kadar air serta nilai modulus geser maksimum pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami kenaikan kadar air sebesar 0.003% dan penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 1,380%.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai kadar air dan nilai modulus geser maksimum tanah natural pada siklus 1 dengan siklus 2 mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,023% dan penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 6,517%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur siklus 1 dan siklus 2 mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,856% dan penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 3,961%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* siklus 1 dan siklus 2 mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,023% dan penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 2,925%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri siklus 1 dan siklus 2 mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,007% dan penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 2,311%.

Adanya penambahan *stabilisator* juga mempengaruhi nilai modulus geser suatu tanah. Terlihat bahwa nilai modulus geser tanah natural lebih kecil dari pada tanah yang distabilisasi. Diantara ketiga *stabilisator* yang digunakan pada pengujian ini, penambahan 8% kapur menghasilkan nilai modulus geser yang paling besar dibandingkan dengan penambahan 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri. Hal ini disebabkan karena benda uji yang diberi 8% kapur memiliki kadar air yang paling kecil diantara benda uji yang diberi 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri.

D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

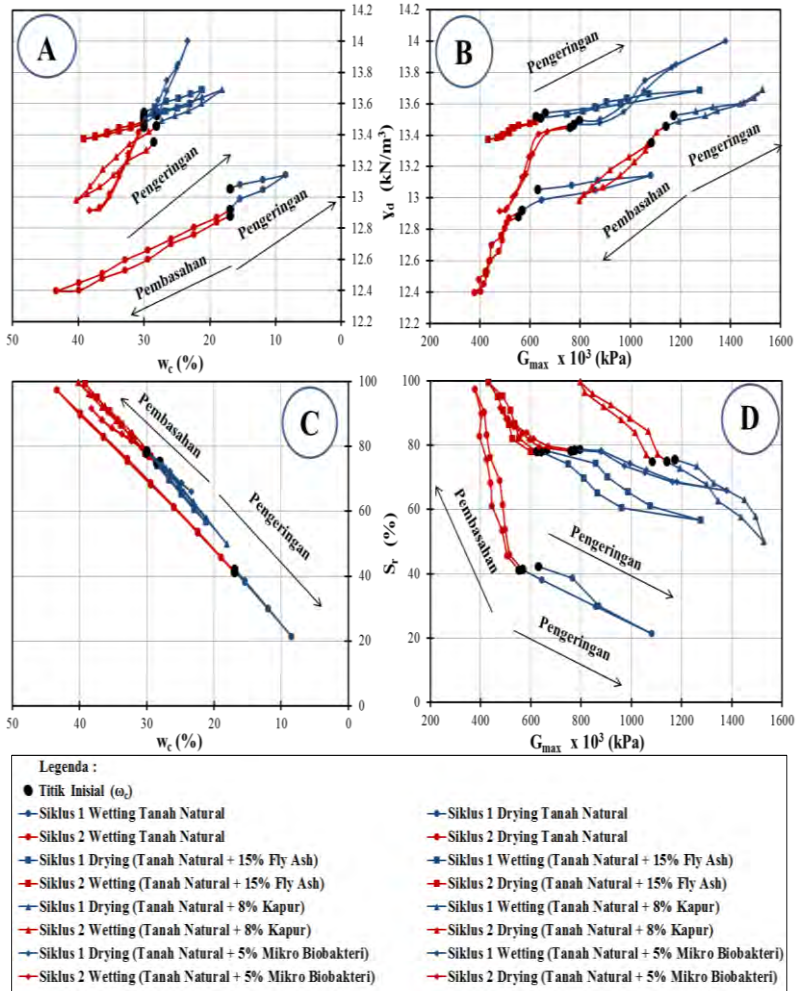
Gambar 4.83D adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada siklus pertama dan kedua tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Tegangan air pori negatif juga berperan pada perubahan nilai modulus geser maksimumnya. Pada proses pengeringan, nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum tanah akan bertambah besar. Sebaliknya pada proses pembasahan, kedua nilai tersebut akan mengecil.

Pada kondisi inisial, perbandingan untuk nilai tegangan air pori negatif serta nilai modulus geser maksimum pada tanah natural siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0,036% dan modulus geser maksimum sebesar 5,226%. Untuk perbandingan nilai tegangan air pori negatif serta nilai modulus geser maksimum pada tanah natural ditambah kapur pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 5,156% dan modulus geser maksimum sebesar 1,351%. Untuk perbandingan nilai tegangan air pori negatif serta nilai modulus geser maksimum pada tanah natural ditambah *fly ash* pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0,081% dan modulus geser maksimum sebesar 1,519%. Untuk perbandingan nilai tegangan air pori negatif serta nilai modulus geser maksimum pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0,009% dan modulus geser maksimum sebesar 1,380%.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum tanah natural pada siklus 1 dengan siklus 2 mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0,072% dan penurunan modulus geser maksimum sebesar 6,517%. Untuk

perbandingan pada tanah natural ditambah kapur siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 1,538% dan penurunan modulus geser maksimum sebesar 3,961%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0,148% dan penurunan modulus geser maksimum sebesar 2,925%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0,036% dan penurunan modulus geser maksimum sebesar 2,311%.

Secara umum diketahui bahwa tegangan geser tanah hanya dapat ditahan oleh butiran-butiran solid tanah, yaitu oleh gaya-gaya yang bekerja pada bidang singgung antar butiran solidnya. Semakin banyak jumlah butiran solid suatu benda uji maka akan semakin besar pula modulus geser maksimumnya. Adanya penambahan bahan tambah kedalam suatu benda uji, akan mempengaruhi susunan partikel-partikel tanah yang juga akan berpengaruh terhadap kerapatan dan kepadatan suatu benda uji tersebut. Hal ini yang menyebabkan tanah yang distabilisasi memiliki nilai modulus geser maksimum yang lebih besar dibandingkan dengan tanah natural. Diantara ketiga *stabilisator*, penambahan 8% kapur memiliki nilai modulus geser maksimum yang paling besar dibandingkan dengan penambahan 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.84 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, derajat kejenuhan tanah natural dan tanah yang distabilisasi.

E. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.84A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan berat volume kering pada siklus pertama dan kedua tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Terdapat perbedaan antara grafik siklus pertama pengeringan (*drying*), siklus pertama pembasahan (*wetting*), siklus kedua pembasahan (*wetting*), dan siklus kedua pengeringan (*drying*). Hal ini disebabkan proses pembasahan pada tanah yang distabilisasi mengalami penambahan butiran solid tanah. Akibatnya volume pori berkurang, yang diikuti dengan mengecilnya angka pori. Karena rumus $\gamma_d = G_s \times \gamma_w / (1+e)$, dengan asumsi bahwa berat jenis (G_s) dan berat volume air (γ_w) adalah tetap maka pengurangan angka pori akan berimplikasi pada meningkatnya berat volume kering tanah. Sehingga nilai berat volume kering tanah pada siklus pertama lebih besar dari pada siklus kedua.

Pada kondisi inisial, perbandingan untuk nilai kadar air serta nilai berat volume kering pada tanah natural siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,011% dan penurunan nilai berat volume kering sebesar 0,515%. Untuk perbandingan nilai kadar air serta nilai berat volume kering pada tanah natural ditambah kapur pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,147% dan penurunan nilai berat volume kering sebesar 0,251%. Untuk perbandingan nilai kadar air serta nilai berat volume kering pada tanah natural ditambah *fly ash* pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,020% dan penurunan nilai berat volume kering sebesar 0,126%. Untuk perbandingan nilai kadar air serta nilai berat volume kering pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami kenaikan kadar air sebesar 0.003% dan penurunan nilai berat volume kering sebesar 0,095%.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai kadar air dan nilai berat volume kering tanah natural pada siklus 1 dengan siklus 2 mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,023% dan penurunan nilai berat volume kering sebesar 0,669%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur siklus 1 dan siklus 2 mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,856% dan penurunan nilai berat volume kering sebesar 0,639%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* siklus 1 dan siklus 2 mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,023% dan penurunan nilai berat volume kering sebesar 0,085%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri siklus 1 dan siklus 2 mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,007% dan penurunan nilai berat volume kering sebesar 0,163%.

Terlihat dari hasil pengujian yang tertera pada Gambar 4.84A bahwa nilai berat volume kering tanah natural lebih kecil dari pada tanah yang distabilisasi. Diantara ketiga *stabilisator* yang digunakan, penambahan 5% mikro biobakteri menghasilkan nilai berat jenis kering tanah yang paling besar dibandingkan dengan penambahan 8% kapur ataupun 15% *fly ash*. Hal ini disebabkan karena benda uji yang diberi 5% mikro biobakteri memiliki nilai kadar air tanah yang paling besar diantara benda uji lainnya.

F. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.84B adalah grafik hubungan antara modulus geser (G_{max}) dengan berat volume kering (γ_d) pada siklus pertama dan kedua tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Terdapat perbedaan antara grafik siklus pertama pengeringan (*drying*), siklus pertama pembasahan (*wetting*), siklus kedua pembasahan (*wetting*), dan siklus kedua pengeringan (*drying*). Sebelumnya telah diuraikan bahwa proses pembasahan pada tanah yang distabilisasi mengalami

penambahan butiran solid tanah. Akibatnya volume pori berkurang, yang diikuti dengan mengecilnya angka pori yang mengakibatkan berat volume kering tanah meningkat. Karena G_{maks} berbanding lurus dengan berat volume kering tanah ($G_{maks} = \rho \times V^2$) maka peningkatan berat volume kering tanah membuat modulus geser maksimum meningkat. Sehingga nilai modulus geser maksimum pada siklus pertama lebih besar dari pada siklus kedua.

Pada kondisi inisial, perbandingan untuk nilai modulus geser maksimum serta nilai berat volume kering pada tanah natural siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 5,226% dan penurunan nilai berat volume kering sebesar 0,515%. Untuk perbandingan nilai modulus geser maksimum serta nilai berat volume kering pada tanah natural ditambah kapur pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 1,351% dan penurunan nilai berat volume kering sebesar 0,251%. Untuk perbandingan nilai modulus geser maksimum serta nilai berat volume kering pada tanah natural ditambah *fly ash* pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 1,519% dan penurunan nilai berat volume kering sebesar 0,126%. Untuk perbandingan nilai modulus geser maksimum serta nilai berat volume kering pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 1,380% dan penurunan nilai berat volume kering sebesar 0,095%..

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai modulus geser maksimum dan nilai berat volume kering tanah natural pada siklus 1 dengan siklus 2 mengalami penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 6,517% dan nilai berat volume kering sebesar 0,669%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur siklus 1 dan

siklus 2 mengalami penurunan sebesar nilai modulus geser maksimum 3,961% dan nilai berat volume kering sebesar 0,639%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 2,925% dan nilai berat volume kering sebesar 0,085%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 2,311% dan nilai berat volume kering sebesar 0,163%.

Terlihat dari hasil pengujian yang tertera pada Gambar 4.84B, bahwa nilai modulus geser maksimum tanah natural lebih kecil dari pada tanah yang distabilisasi. Diantara ketiga *stabilisator* yang digunakan penambahan 8% kapur menghasilkan nilai modulus geser maksimum tanah yang paling besar dibandingkan dengan penambahan 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri.

G. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.84C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Terdapat perbedaan antara grafik siklus pertama pengeringan (*drying*), siklus pertama pembasahan (*wetting*), siklus kedua pembasahan (*wetting*), dan siklus kedua pengeringan (*drying*). Nilai derajat kejenuhan dipengaruhi oleh kadar air. Terlihat di dalam grafik bahwa semakin tinggi kadar air (jenuh) semakin tinggi juga derajat kejenuhannya, begitu sebaliknya. Nilai kadar air pada siklus pertama lebih kecil dibandingkan dengan siklus kedua. Seharusnya nilai derajat kejenuhan pada siklus pertama lebih kecil bila dibandingkan dengan siklus kedua. Tetapi sebaliknya, nilai derajat kejenuhan pada siklus pertama lebih besar dibandingkan siklus kedua. Hal ini dipengaruhi oleh volume pori yang meningkat, dimana derajat

kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori ($S_r = \frac{V_w}{V_v}$).

Pada kondisi inisial, perbandingan untuk nilai kadar air serta nilai derajat kejenuhan pada tanah natural siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,011% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 1,025%. Untuk perbandingan nilai kadar air serta nilai derajat kejenuhan pada tanah natural ditambah kapur pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,147% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,392%. Untuk perbandingan nilai kadar air serta nilai derajat kejenuhan pada tanah natural ditambah *fly ash* pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,020% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,256%. Untuk perbandingan nilai kadar air serta nilai derajat kejenuhan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,003% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,182%.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai kadar air serta nilai derajat kejenuhan tanah natural pada siklus 1 dengan siklus 2 mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,023% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 1,330%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur siklus 1 dan siklus 2 mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,856% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,435%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* siklus 1 dan siklus 2 mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,023% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,120%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri siklus 1 dan siklus 2 mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,007% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,324%.

Adanya penambahan *stabilisator* juga mempengaruhi nilai derajat kejenuhan tanah. Terlihat dari hasil pengujian

yang tertera pada Gambar 4.84C, bahwa nilai derajat kejenuhan tanah natural lebih kecil dari pada tanah yang distabilisasi. Diantara ketiga *stabilisator* yang digunakan penambahan 8% kapur menghasilkan nilai derajat kejenuhan yang paling besar dibandingkan dengan penambahan 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri.

H. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

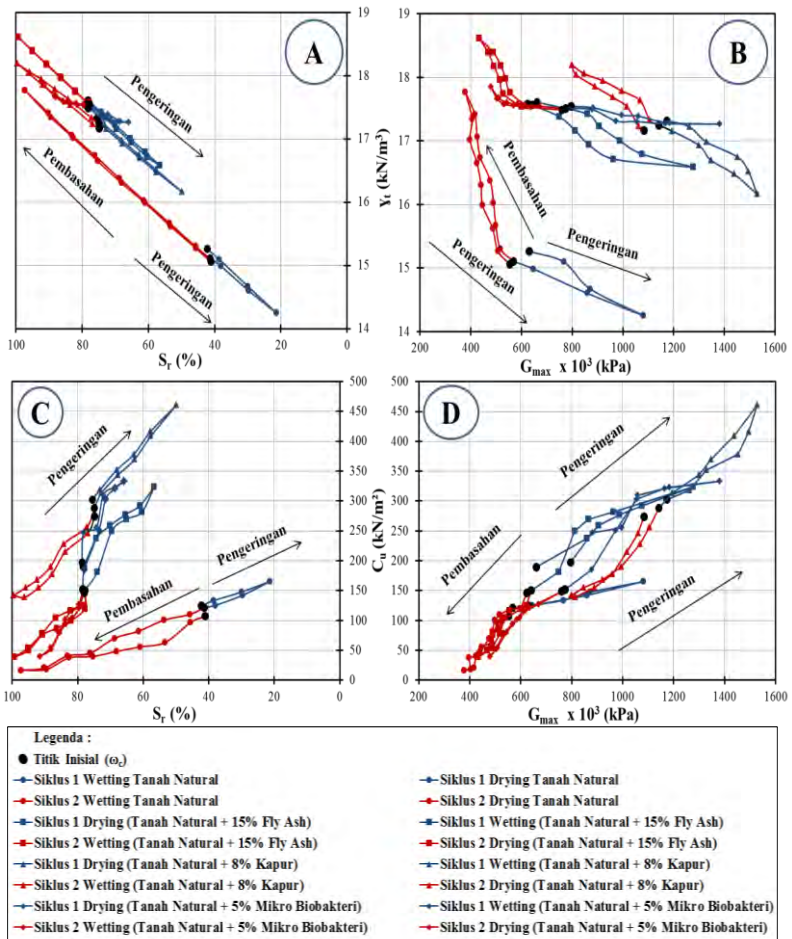
Gambar 4.84D adalah grafik hubungan antara modulus geser dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Terdapat perbedaan antara grafik siklus pertama pengeringan (*drying*), siklus pertama pembasahan (*wetting*), siklus kedua pembasahan (*wetting*), dan siklus kedua pengeringan (*drying*). Sebelumnya telah diuraikan bahwa nilai derajat kejenuhan dipengaruhi dengan nilai kadar air, semakin tinggi nilai kadar air semakin tinggi juga nilai derajat kejenuhan. Dalam hal ini nilai modulus geser maksimum dipengaruhi oleh kadar air tanah. Semakin tinggi kadar air semakin kecil nilai modulus geser maksimum, sehingga semakin tinggi nilai derajat kejenuhan semakin kecil juga nilai modulus geser tanah.

Pada kondisi inisial, perbandingan untuk nilai modulus geser maksimum serta nilai derajat kejenuhan pada tanah natural siklus 1 *drying* dengan siklus 1 *wetting* mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 5,226% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 1,025%. Untuk perbandingan nilai modulus geser maksimum serta nilai derajat kejenuhan pada tanah natural ditambah kapur pada siklus 1 *drying* dengan siklus 1 *wetting* mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 1,351% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,392%. Untuk perbandingan nilai modulus geser maksimum serta nilai derajat kejenuhan pada tanah natural ditambah *fly ash* pada siklus 1 *drying* dengan siklus 1 *wetting* mengalami

penurunan modulus geser maksimum sebesar 1,519% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,256%. Untuk perbandingan nilai modulus geser maksimum serta nilai derajat kejenuhan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 1,380% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,182%.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai modulus geser maksimum serta nilai derajat kejenuhan tanah natural pada siklus 1 dengan siklus 2 mengalami penurunan sebesar modulus geser maksimum sebesar 6,517% dan derajat kejenuhan sebesar 1,330%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan sebesar modulus geser maksimum sebesar 3,961% dan derajat kejenuhan sebesar 0,435%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar sebesar 2,925% dan derajat kejenuhan sebesar 0,120%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar sebesar 2,311% dan derajat kejenuhan sebesar 0,324%.

Adanya penambahan *stabilisator* juga mempengaruhi nilai modulus geser maksimum tanah. Terlihat dari hasil pengujian yang tertera pada Gambar 4.84D, bahwa nilai modulus geser maksimum tanah natural lebih kecil dari pada tanah yang distabilisasi. Diantara ketiga *stabilisator* yang digunakan penambahan 8% kapur menghasilkan nilai modulus geser maksimum yang paling besar dibandingkan dengan penambahan 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri. Hal ini disebabkan karena benda uji yang diberi 8% kapur memiliki nilai derajat kejenuhan yang paling besar diantara benda uji lainnya.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.85 Pengaruh siklus pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, kohesi tanah natural dan tanah yang distabilisasi.

I. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_t) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.85A adalah grafik hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah basah pada siklus pertama dan kedua tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Terdapat perbedaan antara grafik siklus pertama pengeringan (*drying*), siklus pertama pembasahan (*wetting*), siklus kedua pembasahan (*wetting*), dan siklus kedua pengeringan (*drying*). Berdasarkan atas apa yang telah dijelaskan sebelumnya, nilai derajat kejenuhan pada siklus pertama lebih besar dibandingkan dengan siklus kedua. Sehingga nilai berat volume tanah basah pada siklus pertama lebih besar dibandingkan siklus kedua.

Pada kondisi inisial, perbandingan untuk nilai derajat kejenuhan serta nilai berat volume basah pada tanah natural siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 1,025% dan penurunan nilai berat volume basah sebesar 0,513%. Untuk perbandingan nilai derajat kejenuhan serta nilai berat volume basah pada tanah natural ditambah kapur pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 0,392% dan penurunan nilai berat volume basah sebesar 0,219%. Untuk perbandingan nilai derajat kejenuhan serta nilai berat volume basah pada tanah natural ditambah *fly ash* pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 0,256% dan penurunan nilai berat volume basah sebesar 0,121%. Untuk perbandingan nilai derajat kejenuhan serta nilai berat volume basah pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan derajat kejenuhan sebesar 0,182% dan penurunan nilai berat volume basah sebesar 0,094%..

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai derajat kejenuhan serta nilai berat volume tanah basah tanah natural pada siklus 1 dengan siklus 2 mengalami

penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 1,330% dan berat volume tanah basah sebesar 0,666%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,435% dan berat volume tanah basah sebesar 0,450%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,120% dan berat volume tanah basah sebesar 0,080%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,324% dan berat volume tanah basah sebesar 0,162%.

Adanya penambahan *stabilisator* juga mempengaruhi nilai berat volume tanah basah. Terlihat dari hasil pengujian yang tertera pada Gambar 4.85A, bahwa nilai berat volume tanah basah natural lebih kecil dari pada tanah yang distabilisasi. Diantara ketiga *stabilisator* yang digunakan penambahan 15% *fly ash* menghasilkan nilai berat volume tanah basah yang paling besar dibandingkan dengan penambahan 8% kapur ataupun 5% mikro biobakteri.

J. Hubungan Antara Modulus Geser (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.85B adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah basah pada siklus pertama dan kedua tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Terdapat perbedaan antara grafik siklus pertama pengeringan (*drying*), siklus pertama pembasahan (*wetting*), siklus kedua pembasahan (*wetting*), dan siklus kedua pengeringan (*drying*). Sebelumnya telah diuraikan bahwa nilai modulus geser maksimum dipengaruhi dengan nilai derajat kejenuhan tanah. Semakin tinggi nilai derajat kejenuhan semakin tinggi juga berat volume tanah basah. Hal ini menyebabkan semakin jenuh tanah tersebut nilai modulus geser maksimum semakin kecil dan berat volume tanah basah

akan semakin tinggi. Sehingga nilai modulus geser maksimum pada

Pada kondisi inisial, perbandingan untuk nilai modulus geser maksimum serta nilai berat volume basah pada tanah natural siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 5,226% dan penurunan nilai berat volume basah sebesar 0,513%. Untuk perbandingan nilai modulus geser maksimum serta nilai berat volume basah pada tanah natural ditambah kapur pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 1,351% dan penurunan nilai berat volume basah sebesar 0,219%. Untuk perbandingan nilai modulus geser maksimum serta nilai berat volume basah pada tanah natural ditambah *fly ash* pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 1,519% dan penurunan nilai berat volume basah sebesar 0,121%. Untuk perbandingan nilai modulus geser maksimum serta nilai berat volume basah pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 1,380% dan penurunan nilai berat volume basah sebesar 0,094%.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai modulus geser serta nilai berat volume tanah basah tanah natural pada siklus 1 dengan siklus 2 mengalami penurunan modulus geser sebesar 6,517% dan nilai berat volume tanah basah sebesar 0,666%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan modulus geser sebesar 3,961% dan nilai berat volume tanah basah sebesar 0,450%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan modulus geser sebesar 2,925% dan nilai berat volume tanah basah sebesar 0,080%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri

siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan modulus geser sebesar 2,311% dan nilai berat volume tanah basah sebesar 0,162%.

Adanya penambahan *stabilisator* juga mempengaruhi nilai berat volume tanah basah. Terlihat dari hasil pengujian yang tertera pada Gambar 4.85B, bahwa nilai berat volume tanah basah tanah yang distabilisasi lebih besar dibandingkan dengan tanah natural. Diantara ketiga *stabilisator* yang digunakan penambahan 15% *fly ash* menghasilkan nilai berat volume tanah basah yang paling besar dibandingkan dengan penambahan 8% kapur ataupun 5% mikro biobakteri.

K. Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.85C adalah grafik hubungan antara kohesi dengan derajat kejenuhan pada siklus pertama dan kedua tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Terdapat perbedaan antara grafik siklus pertama pengeringan (*drying*), siklus pertama pembasahan (*wetting*), siklus kedua pembasahan (*wetting*), dan siklus kedua pengeringan (*drying*). Terlihat dari grafik bahwa nilai kohesi tanah dipengaruhi oleh nilai derajat kejenuhan. Semakin jenuh suatu tanah, maka nilai kohesi tanah akan menurun serta memiliki nilai derajat kejenuhan yang meningkat, sehingga nilai kohesi pada siklus pertama lebih besar dibandingkan dengan siklus kedua. Tetapi, seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, untuk nilai derajat kejenuhan pada siklus pertama lebih besar dibandingkan dengan siklus kedua.

Pada kondisi inisial, perbandingan untuk nilai kohesi serta nilai derajat kejenuhan pada tanah natural siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan kohesi sebesar 1,226% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 1,025%. Untuk perbandingan nilai kohesi serta nilai derajat kejenuhan pada tanah natural ditambah kapur pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan

kohesi sebesar 2,368% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,392%. Untuk perbandingan nilai kohesi serta nilai derajat kejenuhan pada tanah natural ditambah *fly ash* pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan kohesi sebesar 11,530% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,256%. Untuk perbandingan nilai kohesi serta nilai derajat kejenuhan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan kohesi sebesar 13,001% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,182%

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai kohesi serta nilai derajat kejenuhan tanah natural pada siklus 1 dengan siklus 2 mengalami penurunan nilai kohesi sebesar 7,449% dan derajat kejenuhan sebesar 1,330%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan nilai kohesi sebesar 4,913% dan derajat kejenuhan sebesar 0,435%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan nilai kohesi sebesar 12,908% dan derajat kejenuhan sebesar 0,120%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan nilai kohesi sebesar 13,981% dan derajat kejenuhan sebesar 0,324%.

Adanya penambahan *stabilisator* juga mempengaruhi nilai kohesi. Terlihat dari hasil pengujian yang tertera pada Gambar 4.82C, bahwa nilai kohesi tanah natural lebih kecil dari pada tanah yang distabilisasi. Diantara ketiga *stabilisator* yang digunakan penambahan 8% kapur menghasilkan kohesi tanah yang paling besar dibandingkan dengan penambahan 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri. Hal ini disebabkan karena benda uji yang diberi 8% kapur memiliki nilai derajat kejenuhan tanah yang paling kecil diantara benda uji lainnya.

L. Hubungan Antara Modulus Geser (G_{max}) dengan Kohesi (C_u)

Gambar 4.85D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada siklus pertama dan kedua tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Terdapat perbedaan antara grafik siklus pertama pengeringan (*drying*), siklus pertama pembasahan (*wetting*), siklus kedua pembasahan (*wetting*), dan siklus kedua pengeringan (*drying*). Sebelumnya telah diuraikan bahwa nilai modulus geser maksimum dipengaruhi dengan nilai derajat kejenuhan tanah. Hal ini menyebabkan semakin jenuh tanah tersebut nilai modulus geser maksimum semakin kecil dan pada nilai kohesi tanah nilainya akan semakin kecil. Sehingga nilai modulus geser maksimum pada siklus pertama lebih besar dibanding siklus kedua.

Pada kondisi inisial, perbandingan untuk nilai modulus geser maksimum serta nilai kohesi pada tanah natural siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 5,226% dan penurunan nilai kohesi sebesar 1,226%. Untuk perbandingan nilai modulus geser maksimum serta nilai kohesi pada tanah natural ditambah kapur pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 1,351% dan penurunan nilai kohesi sebesar 2,368%. Untuk perbandingan nilai modulus geser maksimum serta nilai kohesi pada tanah natural ditambah *fly ash* pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 1,519% dan penurunan nilai kohesi sebesar 11,530%. Untuk perbandingan nilai modulus geser maksimum serta nilai kohesi pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada siklus 1 drying dengan siklus 1 wetting mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar 1,380% dan penurunan nilai kohesi sebesar 13,001%.

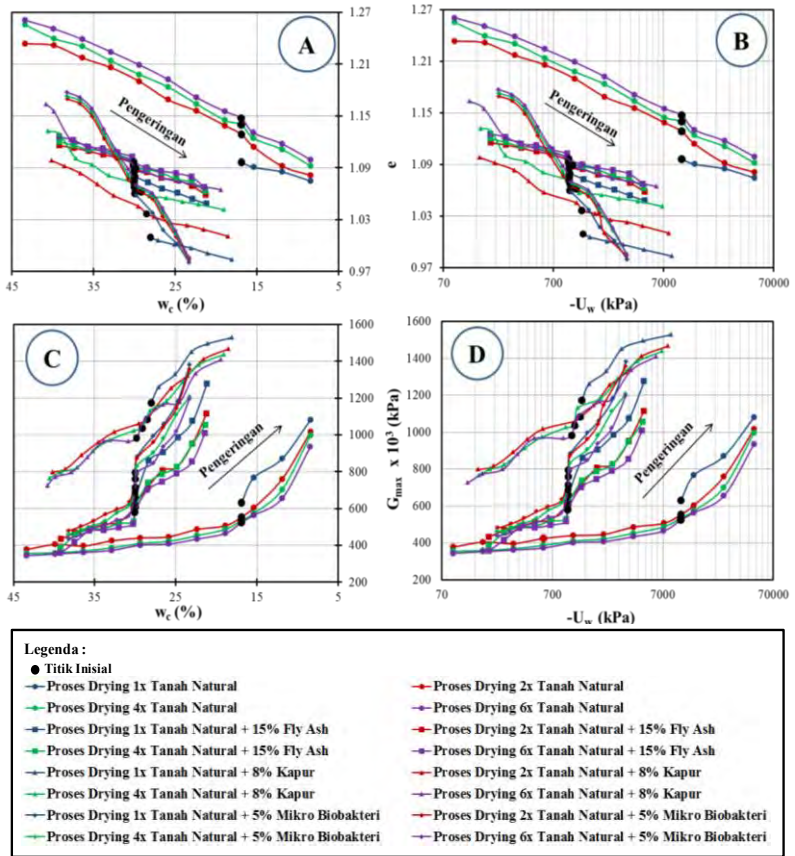
Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai modulus geser serta nilai nilai kohesi tanah natural pada siklus 1 dengan siklus 2 mengalami penurunan nilai modulus geser sebesar 6,517% dan nilai kohesi sebesar 7,449%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan nilai modulus geser sebesar 3,961% dan nilai kohesi sebesar 4,913%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan nilai modulus geser sebesar 2,925% dan nilai kohesi sebesar 12,908%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri siklus 1 dan siklus 2 mengalami penurunan nilai modulus geser sebesar 2,311% dan nilai kohesi sebesar 13,981%.

Adanya penambahan *stabilisator* juga mempengaruhi nilai modulus geser maksimum. Terlihat dari hasil pengujian yang tertera pada Gambar 4.85D, bahwa nilai modulus geser maksimum tanah natural lebih kecil dari pada tanah yang distabilisasi. Diantara ketiga *stabilisator* yang digunakan penambahan 8% kapur menghasilkan nilai modulus geser maksimum yang paling besar dibandingkan dengan penambahan 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri. Hal ini disebabkan karena benda uji yang diberi 8% kapur memiliki nilai modulus geser maksimum yang paling besar diantara benda uji lainnya.

4.5.4.4. Analisa Hubungan Parameter Tanah Hasil Pengujian Proses Pengeringan Berulang (1 Kali, 2 Kali, 4 Kali, Dan 6 Kali)

Berikut merupakan grafik pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Dalam hal ini, pada proses pengeringan 1 kali dimulai dari kondisi inisial hingga kondisi kering 100%, sedangkan untuk proses pengeringan 2

kali, 4 kali, dan 6 kali dimulai dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi kering 100%.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.86 Pengaruh pengulangan proses pengeringan 1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali terhadap hubungan kadar air, angka pori, modulus geser, tegangan air pori negatif tanah natural dan tanah yang distabilisasi.

A. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.86A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan angka pori pada proses pengeringan berulang tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Akibat adanya proses pengeringan yang berulang maka akan menyebabkan nilai angka pori meningkat. Ketika benda uji dibasahi, air masuk ke dalam pori-pori tanah. Karena nilai kadar air yang meningkat dengan adanya pengulangan siklus pengeringan dan pembasahan, sehingga volume pori meningkat.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai kadar air dan angka pori tanah natural pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,040% dan angka pori sebesar 2.272%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami kenaikan kadar air sebesar 3,094% dan angka pori sebesar 3,790%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,115% dan angka pori sebesar 0,765%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami kenaikan kadar air sebesar 0,275% dan angka pori 1,345%

Baik tanah natural ataupun tanah yang distabilisasi, nilai kadar air dan angka porinya semakin meningkat dengan adanya pengulangan proses pengeringan. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, nilai angka pori antara tanah natural dengan tanah yang distabilisasi, tanah natural memiliki nilai angka pori yang lebih besar dibandingkan dengan tanah yang distabilisasi. Untuk penambahan 8% kapur akan menghasilkan nilai angka pori terkecil bila dibandingkan dengan penambahan 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri.

B. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.86B adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori pada proses pengeringan berulang tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Akibat adanya proses pengeringan berulang baik tanah natural ataupun tanah yang distabilisasi, menyebabkan nilai angka pori membesar dan tegangan air pori negatif semakin kecil.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai tegangan air pori negatif dan angka pori tanah natural pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0,126% dan kenaikan angka pori sebesar 2,272%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 10,389% dan kenaikan angka pori sebesar 3,790%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0,641% dan kenaikan angka pori sebesar 0,765%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 3,803% dan kenaikan angka pori 1,345%.

Diantara ketiga *stabilisator* yang digunakan penambahan 8% kapur menghasilkan nilai tegangan air pori negatif yang terbesar dibandingkan dengan penambahan 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri. Hal ini disebabkan karena benda uji yang diberi 8% kapur memiliki nilai angka pori yang terkecil diantara benda uji lainnya.

C. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.86C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada proses pengeringan berulang tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Nilai modulus geser dipengaruhi oleh kadar air, terlihat bahwa semakin tinggi kadar air (jenuh) nilai modulus geser tanah akan mengecil, begitu sebaliknya. Akibat adanya proses pengeringan berulang baik tanah natural ataupun tanah yang distabilisasi, menyebabkan nilai kadar air membesar dan modulus geser maksimum semakin kecil.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai kadar air dan nilai modulus geser maksimum tanah natural pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,040% dan penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 9,249%. Untuk perbandingan pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 3,093% dan penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 8.785%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,115% dan penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 6,393%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,275% dan penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 7,172%.

Adanya penambahan *stabilisator* juga mempengaruhi nilai modulus geser suatu tanah. Terlihat dari hasil pengujian yang tertera pada Gambar 4.86C, bahwa nilai modulus geser tanah natural lebih kecil dari pada tanah yang distabilisasi. Diantara ketiga *stabilisator* yang digunakan pada pengujian ini, penambahan 5% kapur menghasilkan nilai modulus geser

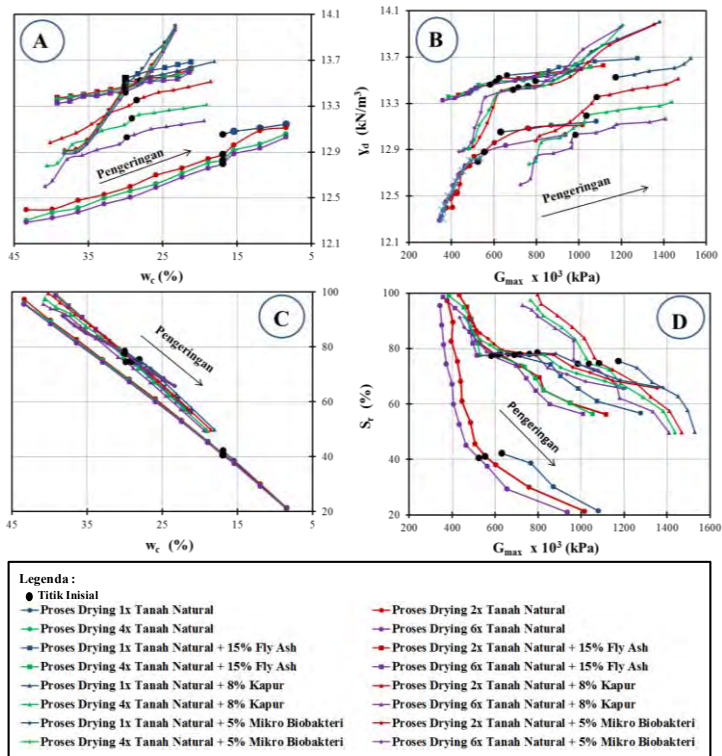
yang paling besar dibandingkan dengan penambahan 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri. Hal ini disebabkan karena benda uji yang diberi 8% kapur memiliki kadar air yang paling kecil diantara benda uji yang diberi 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri.

D. Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ($-U_w$) dengan Modulus Geser Maksimum (G_{max})

Gambar 4.86D adalah grafik hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada proses pengeringan berulang tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Akibat adanya proses pengeringan berulang baik tanah natural ataupun tanah yang distabilisasi, menyebabkan nilai modulus geser maksimum dan nilai tegangan air pori negatif semakin kecil.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum tanah natural pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0,126% dan penurunan modulus geser maksimum sebesar 9,249%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 10,389% dan penurunan modulus geser maksimum sebesar 8,785%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 0,641% dan penurunan modulus geser maksimum sebesar 6,393%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan tegangan air pori negatif sebesar 3,803% dan penurunan modulus geser maksimum sebesar 7,172%.

Hal ini menunjukkan bahwa nilai tegangan air pori negatif yang semakin mengecil juga akan menyebabkan nilai modulus geser maksimum semakin mengecil. Nilai tegangan air pori dan nilai modulus geser maksimum yang terbesar diperoleh dari penambahan 8% kapur.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.87 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan berat volume kering, kadar air, modulus geser, derajat kejenuhan tanah natural dan tanah yang distabilisasi.

E. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.87A adalah grafik hubungan antara kadar air dengan berat volume kering pada proses pengeringan berulang tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Akibat adanya proses pengeringan yang berulang maka akan menyebabkan nilai berat volume kering semakin menurun. Hal ini disebabkan ketika benda uji dibasahi, air masuk ke dalam pori-pori tanah. Sehingga menyebabkan perubahan struktur pada tanah dan pengeringan yang kemudian mengakibatkan nilai berat volume kering semakin menurun.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai kadar air dan nilai berat volume kering tanah natural pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,040% dan penurunan nilai berat volume kering sebesar 0,981%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 3,094% dan penurunan nilai berat volume kering sebesar 1,867%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,115% dan penurunan nilai berat volume kering sebesar 0,301%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,275% dan penurunan nilai berat volume kering sebesar 0,175%.

Nilai berat volume kering yang terbesar dimiliki oleh tanah yang distabilisasi dengan 5% mikro biobakteri, yaitu berkisar antara (1,291 - 1,4 gr/cm³), nilai ini lebih besar daripada tanah natural yang berkisar antara (1,240 - 1,314 gr/cm³). Hal ini disebabkan karena tanah yang distabilisasi telah mengalami perubahan pada volume pori dan butiran solidnya. Untuk *stabilisator* 15% *fly ash* nilai berat volume

keringnya berkisar antara (1,337-1,369) dan untuk 8% kapur berkisar antara (1,298-1,369).

F. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Berat Volume Kering (γ_d)

Gambar 4.87B adalah grafik hubungan antara modulus geser dengan berat volume kering pada proses pengeringan berulang tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya akibat adanya proses pengeringan berulang maka akan menyebabkan nilai berat volume kering semakin menurun. Hal ini juga berbanding lurus dengan nilai modulus geser maksimum yang semakin menurun setiap dilakukan proses pengeringan berulang.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai modulus geser maksimum dan nilai berat volume kering tanah natural pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 9,249% dan nilai berat volume kering sebesar 0,981%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan sebesar nilai modulus geser maksimum 8,785% dan nilai berat volume kering sebesar 1,867%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 6,393% dan nilai berat volume kering sebesar 0,301%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan nilai modulus geser maksimum sebesar 7,172% dan nilai berat volume kering sebesar 1,751%.

Diantara ketiga *stabilisator* yang menggunakan penambahan 8% kapur menghasilkan nilai modulus geser maksimum yang terbesar dibandingkan dengan penambahan

15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri. Hal ini mungkin disebabkan karena pada penambahan 8% kapur memiliki berat volume kering yang terkecil yang mengakibatkan modulus geser maksimumnya lebih besar dari pada dua bahan tambah lainnya.

G. Hubungan Antara Kadar Air (w_c) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.87C adalah grafik hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Akibat adanya proses pengeringan berulang maka akan menyebabkan nilai derajat kejenuhannya semakin menurun pada tiap siklus. Hal ini juga berbanding terbalik dengan kadar air, yang mempunyai arti jika kadar air pada proses pengeringan berulang semakin meningkat.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai kadar air serta nilai derajat kejenuhan tanah natural pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,040% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 2,011%. Untuk perbandingan pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 3,093% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,624%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,115% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,553%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami kenaikan nilai kadar air sebesar 0,275% dan penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 2,674%.

Pada Gambar 4.87C, juga terlihat bahwa nilai dari derajat kejenuhan tanah natural lebih kecil dari pada tanah

yang distabilisasi. Sedangkan jika dibandingkan diantara tanah yang distabilisasi, tanah dengan 8% kapur mempunyai nilai derajat kejenuhan yang paling besar.

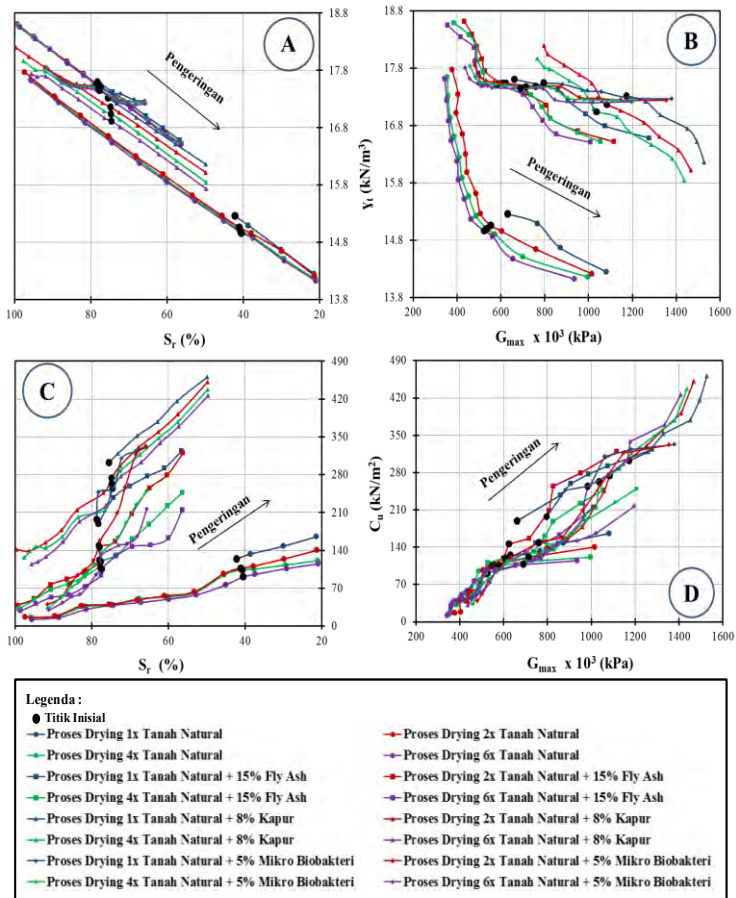
H. Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum (G_{max}) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.87D adalah grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya akibat adanya proses pengeringan berulang maka akan menyebabkan nilai derajat kejenuhannya semakin menurun pada tiap siklus. Hal ini juga berbanding lurus dengan modulus geser maksimum yang juga semakin menurun pada tiap proses pengeringan berulang.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai modulus geser maksimum serta nilai derajat kejenuhan tanah natural pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan sebesar modulus geser maksimum sebesar 9,248% dan derajat kejenuhan sebesar 2,011%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan sebesar modulus geser maksimum sebesar 8,785% dan derajat kejenuhan sebesar 0,624%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar sebesar 6,393% dan derajat kejenuhan sebesar 0,553%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan modulus geser maksimum sebesar sebesar 7,172% dan derajat kejenuhan sebesar 2,674%.

Adanya penambahan *stabilisator* juga mempengaruhi nilai modulus geser maksimum tanah. Terlihat dari hasil

pengujian yang tertera pada Gambar 4.84D, bahwa nilai modulus geser maksimum tanah natural lebih kecil dari pada tanah yang distabilisasi. Diantara ketiga *stabilisator* yang digunakan penambahan 8% kapur menghasilkan nilai modulus geser yang paling besar. Hal ini disebabkan karena benda uji yang diberi 8% kapur memiliki nilai derajat kejenuhan yang paling besar diantara benda uji lainnya.



(Sumber : Hasil Pengujian)

Gambar 4.88 Pengaruh proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) terhadap hubungan derajat kejenuhan, berat volume tanah basah, modulus geser, kohesi tanah natural dan tanah yang distabilisasi.

I. Hubungan Antara Derajat Kejenuhan (S_r) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.88A adalah grafik hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah basah pada proses pengeringan berulang tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Akibat adanya proses pengeringan berulang akan menyebabkan nilai derajat kejenuhan mengecil dan nilai berat volume tanah basah juga mengecil. Hal ini disebabkan karena nilai volume pori yang meningkat, derajat kejenuhan merupakan perbandingan antara volume air dengan volume pori ($S_r = \frac{V_w}{V_v}$), sehingga nilai derajat kejenuhan mengecil. Selain itu, meningkatnya nilai volume pori tidak hanya mempengaruhi nilai derajat kejenuhan saja, tetapi nilai berat volume tanah basah ikut terpengaruh. Karena berat volume tanah basah merupakan perbandingan antara berat tanah basah dengan volume total tanah ($\gamma_t = \frac{W}{V_t}$), bila volume pori meningkat maka volume total tanah akan meningkat, sehingga nilai berat volume tanah basah akan mengecil.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai derajat kejenuhan serta nilai berat volume tanah basah tanah natural pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 2,011% dan berat volume tanah basah sebesar 0,975%. Untuk perbandingan pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,624% dan berat volume tanah basah sebesar 1,173%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 0,553% dan berat volume tanah basah sebesar 0,275%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6

kali mengalami penurunan nilai derajat kejenuhan sebesar 2,675% dan berat volume tanah basah sebesar 1,814%.

Adanya penambahan *stabilisator* juga mempengaruhi nilai berat volume tanah basah. Terlihat dari hasil pengujian yang tertera pada Gambar 4.88A, bahwa nilai berat volume tanah basah natural lebih kecil dari pada tanah yang distabilisasi. Diantara ketiga *stabilisator* yang digunakan, penambahan 15% *fly ash* menghasilkan nilai berat volume tanah basah yang paling besar dibandingkan dengan penambahan 8% kapur ataupun 5% mikro biobakteri.

J. Hubungan Antara Modulus Geser (G_{max}) dengan Berat Volume Tanah Basah (γ_t)

Gambar 4.88B merupakan grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan berat volume tanah basah pada proses pengeringan berulang tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Sebagaimana yang telah diuraikan sebelumnya, adanya proses pengeringan berulang akan menyebabkan nilai volume pori membesar, sehingga nilai berat volume tanah basah akan mengecil. Tetapi semakin basah (jenuh) suatu tanah, nilai modulus geser maksimum akan mengecil. Sehingga nilai modulus geser maksimum semakin mengalami proses pengeringan berulang akan semakin mengecil.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai modulus geser serta nilai berat volume tanah basah tanah natural pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan modulus geser sebesar 9,249% dan nilai berat volume tanah basah sebesar 0,981%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan modulus geser sebesar 8,785% dan nilai berat volume tanah basah sebesar 1,173%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* pada proses pengeringan 1 kali dengan proses

pengeringan 6 kali mengalami penurunan modulus geser sebesar 6,394% dan nilai berat volume tanah basah sebesar 0,275%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan modulus geser sebesar 7,172% dan nilai berat volume tanah basah sebesar 1,814%

Adanya penambahan *stabilisator* juga mempengaruhi nilai berat volume tanah basah. Terlihat dari hasil pengujian yang tertera pada Gambar 4.88B, bahwa nilai berat volume tanah basah natural lebih kecil dari pada tanah yang distabilisasi. Diantara ketiga *stabilisator* yang digunakan, penambahan 15% *fly ash* menghasilkan nilai berat volume tanah basah yang paling besar dibandingkan dengan penambahan 8% kapur ataupun 5% mikro biobakteri.

K. Hubungan Antara Kohesi (C_u) dengan Derajat Kejenuhan (S_r)

Gambar 4.88C merupakan grafik hubungan antara kohesi dengan derajat kejenuhan pada proses pengeringan berulang tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Semakin tinggi nilai kadar air suatu tanah (jenuh), maka nilai kohesi tanah tersebut akan semakin mengecil. Adanya proses pengeringan berulang akan menyebabkan kondisi tanah semakin jenuh, sehingga nilai kohesi akan mengecil. Untuk nilai derajat kejenuhan, sebagaimana yang telah dibahas sebelumnya, nilai derajat kejenuhan akan semakin kecil seiring dengan proses pengeringan berulang, baik itu tanah natural ataupun tanah yang distabilisasi.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai kohesi serta nilai derajat kejenuhan tanah natural pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan nilai kohesi sebesar 15,493% dan derajat kejenuhan sebesar 2,011%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur pada proses pengeringan 1 kali

dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan nilai kohesi sebesar 8,568% dan derajat kejenuhan sebesar 0,624%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan nilai kohesi sebesar 28,402% dan derajat kejenuhan sebesar 0,553%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan nilai kohesi sebesar 12,690% dan derajat kejenuhan sebesar 2,674%.

Adanya penambahan *stabilisator* akan mempengaruhi nilai kohesi, hal tersebut dikarenakan *stabilisator* tersebut akan bereaksi dengan tanah, sehingga akan menghasilkan nilai kohesi tanah yang lebih besar bila dibandingkan dengan tanah natural. Diantara ketiga *stabilisator* yang dipakai dalam Hasil Pengujian, penambahan kapur menghasilkan nilai kohesi yang paling besar dibandingkan dengan penambahan 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri. Hal ini sudah pasti dikarenakan penambahan 8% kapur memiliki nilai derajat kejenuhan yang paling kecil diantara benda uji yang lainnya.

L. Hubungan Antara Modulus Geser (G_{max}) dengan Kohesi (C_u)

Gambar 4.88D merupakan grafik hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada proses pengeringan berulang tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Apabila kondisi suatu tanah semakin padat, maka akan menghasilkan nilai modulus geser maksimum dan kohesi yang besar. Namun sebaliknya, bila kondisi suatu tanah semakin basah (jenuh), maka nilai modulus geser maksimum dan kohesi akan kecil. Adanya proses pengeringan berulang mengakibatkan kondisi tanah, baik tanah natural ataupun tanah yang distabilisasi menjadi jenuh, akibatnya nilai modulus geser maksimum dan kohesi semakin mengecil.

Untuk perbandingan kondisi inisial pada parameter nilai modulus geser serta nilai nilai kohesi tanah natural pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan nilai modulus geser sebesar 9,249% dan nilai kohesi sebesar 15,493%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah kapur pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan nilai modulus geser sebesar 8,785% dan nilai kohesi sebesar 8,568%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah *fly ash* pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan nilai modulus geser sebesar 6,394% dan nilai kohesi sebesar 28,402%. Untuk perbandingan pada tanah natural ditambah mikro biobakteri pada proses pengeringan 1 kali dengan proses pengeringan 6 kali mengalami penurunan nilai modulus geser sebesar 7,172% dan nilai kohesi sebesar 12,690%.

Tetapi dengan adanya penambahan *stabilisator* terhadap suatu tanah, akan menghasilkan nilai modulus geser maksimum dan kohesi yang lebih besar dibandingkan dengan tanah natural. Diantara ketiga *stabilisator*, penambahan 15% *fly ash* menghasilkan nilai modulus geser maksimum dan kohesi terkecil, namun penambahan 8% kapur memiliki nilai yang terbesar.

4.6. Hasil Rekapitulasi

4.6.1. Rekapitulasi hasil peningkatan dan penurunan parameter dalam proses pengeringan dan pembasahan (siklus pertama dan kedua)

Berikut ini persentase peningkatan dan penurunan parameter pada proses pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua dalam kondisi yang sama yaitu kondisi inisial pada tanah natural, tanah natural + 8% kapur, tanah natural + 15% *fly ash*, dan tanah natural + 5% mikro biobakteri yang terdapat pada tabel 4.23 dibawah ini.

Tabel 4.23 Nilai perubahan parameter akibat proses pengeringan dan pembasahan siklus pertama dan kedua dalam kondisi yang sama yaitu kondisi inisial.

Siklus	Dalam Kondisi Yang Sama (Inisial Awal)	ω_c (%)	S_r (%)	e	γ_t (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	C_u (kN/m ²)	- U_w (kPa)	$C_{max} \times 10^3$ (kPa)
1 Drying Ke 1 Wetting	Tanah Natural	16.913	42.211	1.097	15.261	13.053	124.485	10221.538	630.688
		16.917	41.355	1.121	15.105	12.919	121.469	10214.207	568.043
	Persentase (%)	0.022	-2.028	2.221	-1.021	-1.024	-2.423	-0.072	-9.933
	Tanah Natural + 15% Fly Ash	30.007	78.267	1.080	17.607	13.543	189.563	976.186	661.217
		30.019	77.868	1.087	17.564	13.509	150.370	974.611	641.433
	Persentase (%)	0.040	-0.510	0.626	-0.242	-0.251	-20.675	-0.161	-2.992
	Tanah Natural + 8% Kapur	28.047	75.508	1.010	17.318	13.525	302.208	1298.321	1173.020
		28.130	74.918	1.021	17.243	13.457	288.223	1170.994	1141.752
	Persentase (%)	0.294	-0.780	1.164	-0.437	-0.501	-4.627	-9.807	-2.666
	Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri	30.003	78.669	1.060	17.542	13.494	197.189	976.711	795.756
		30.004	78.384	1.064	17.509	13.468	151.814	976.536	774.089
	Persentase (%)	0.006	-0.363	0.368	-0.189	-0.190	-23.011	-0.018	-2.723
1 Ke 2	Tanah Natural	16.913	42.211	1.097	15.261	13.053	124.485	10221.538	630.688
		16.921	41.103	1.129	15.059	12.880	107.226	10206.881	553.510
	Persentase (%)	0.046	-2.625	2.933	-1.323	-1.329	-13.865	-1.143	-12.237
	Tanah Natural + 15% Fly Ash	30.007	78.267	1.080	17.607	13.543	189.563	976.186	661.217
		30.020	77.955	1.086	17.578	13.520	146.221	973.301	623.636
	Persentase (%)	0.046	-0.399	0.573	-0.160	-0.171	-22.864	-0.296	-5.684
	Tanah Natural + 8% Kapur	28.047	75.508	1.010	17.318	13.525	302.208	1298.321	1173.020
		28.532	74.853	1.037	17.163	13.353	273.905	1258.993	1083.629
	Persentase (%)	1.727	-0.867	2.677	-0.895	-1.269	-9.365	-3.029	-7.621
	Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri	30.003	78.669	1.060	17.542	13.494	197.189	976.711	795.756
		30.007	78.162	1.068	17.485	13.450	148.814	976.011	759.812
	Persentase (%)	0.014	-0.645	0.689	-0.323	-0.326	-24.532	-0.072	-4.517

(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

- = Penurunan

+ = Peningkatan

+ = Peningkatan

4.6.2. Rekapitulasi Hasil Peningkatan dan Penurunan Parameter dalam Proses Pengeringan Berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali)

Berikut ini persentase peningkatan dan penurunan parameter pada proses pengeringan berulang 1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali kondisi yang sama yaitu kondisi inisial pada tanah natural, tanah natural + 8% kapur, tanah natural + 15% *fly ash*, dan tanah natural + 5% mikro biobakteri yang terdapat pada tabel 4.24 dibawah ini.

Tabel 4.24 Nilai perubahan parameter akibat proses pengeringan berulang 1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali dalam kondisi yang sama yaitu kondisi inisial.

Drying	Dalam Kondisi Yang Sama (Inisial Awal)	ω_c (%)	S_r (%)	e	γ_t (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	C_u (kN/m ²)	- U_w (kPa)	$G_{max} \times 10^3$ (kPa)
1 Drying Ke 1 Wetting	Tanah Natural	16.913	42.211	1.097	15.261	13.053	124.485	10221.538	630.688
		16.917	41.355	1.121	15.105	12.919	121.469	10214.207	568.043
	Percentase	0.022	-2.028	2.221	-1.021	-1.024	-2.423	-0.072	-9.933
	Tanah Natural + 15% Fly Ash	30.007	78.267	1.080	17.607	13.543	189.563	976.186	661.217
		30.019	77.868	1.087	17.564	13.509	150.370	974.611	641.433
	Percentase	0.040	-0.510	0.626	-0.242	-0.251	-20.675	-0.161	-2.992
	Tanah Natural + 8% Kapur	28.047	75.508	1.010	17.318	13.525	302.208	1298.321	1173.020
		28.130	74.918	1.021	17.243	13.457	288.223	1170.994	1141.752
	Percentase	0.294	-0.780	1.164	-0.437	-0.501	-4.627	-9.807	-2.666
	Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri	30.003	78.669	1.060	17.542	13.494	197.189	976.711	795.756
		30.004	78.384	1.064	17.509	13.468	151.814	976.536	774.089
	Percentase	0.006	-0.363	0.368	-0.189	-0.190	-23.011	-0.018	-2.723
1 kali ke 2 kali	Tanah Natural	16.913	42.211	1.097	15.261	13.053	124.485	10221.538	630.688
		16.921	41.103	1.129	15.059	12.880	107.226	10206.881	553.510
	Percentase	0.046	-2.625	2.933	-1.323	-1.329	-13.865	-0.143	-12.237
	Tanah Natural + 15% Fly Ash	30.007	78.267	1.080	17.607	13.543	189.563	976.186	661.217
		30.020	77.955	1.086	17.541	13.520	146.221	973.301	623.636
	Percentase	0.046	-0.399	0.573	-0.374	-0.171	-22.864	-0.296	-5.684
	Tanah Natural + 8% Kapur	28.047	75.508	1.010	17.318	13.525	302.208	1298.321	1173.020
		28.532	74.853	1.037	17.163	13.353	273.905	1258.993	1083.629
	Percentase	1.727	-0.867	2.677	-0.895	-1.269	-9.365	-3.029	-7.621
	Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri	30.003	78.669	1.060	17.542	13.494	197.189	976.711	795.756
		30.007	78.162	1.068	17.485	13.450	148.814	976.011	759.812
	Percentase	0.014	-0.645	0.689	-0.323	-0.326	-24.532	-0.072	-7.517

(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

- = Penurunan

+ = Peningkatan

+ = Peningkatan

Tabel 4.25 Nilai perubahan parameter akibat proses pengeringan berulang 1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali dalam kondisi yang sama yaitu kondisi inisial. (Lanjutan)

Drying	Dalam Kondisi Yang Sama (Inisial Awal)	ω_c (%)	S_r (%)	e	γ_t (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	C_u (kN/m ²)	$-U_w$ (kPa)	$G_{max} \times 10^3$ (kPa)
1 kali ke 4 kali	Tanah Natural	16.913	42.211	1,097	15.261	13.053	124.485	10221.538	630.688
		16.924	40.761	1.140	15.000	12.829	104.214	10201.390	534.666
	Persentase	0.064	-3.434	3.946	-1.707	-1.716	-16.284	-0.197	-15.225
	Tanah Natural + 15% Fly Ash	30.007	78.267	1.080	17.607	13.543	189.563	976.186	661.217
		30.042	77.645	1.092	17.541	13.489	119.578	969.381	608.398
	Persentase	0.118	-0.795	1,079	-0.373	-0.400	-36.919	-0.697	-7.988
	Tanah Natural + 8% Kapur	28.047	75.508	1.010	17.318	13.525	302.208	1298.321	1173.020
		29.155	74.690	1.062	17.041	13.194	262.773	1123.128	1035.959
	Persentase	3.948	-1.083	5.189	-1.601	-2.445	-13.049	-13.494	-11.684
	Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri	30.003	78.669	1.060	17.542	13.494	197.189	976.711	795.756
30.010		77.978	1,071	17.472	13.439	121.835	975.486	714.344	
Persentase	0.024	-0.879	1.034	-0.401	-0.406	-38.214	-0.125	-10.231	
1 kali Ke 6 kali	Tanah Natural	16.913	42.211	1,097	15.261	13.053	124.485	10221.538	630.688
		16.927	40.547	1.147	14.966	12.800	91.086	10195.902	523.906
	Persentase	0.080	-3.943	4.649	-1.931	-1.943	-26.830	-0.251	-16.931
	Tanah Natural + 15% Fly Ash	30.007	78.267	1.080	17.607	13.543	189.563	976.186	661.217
		30.076	77.406	1,097	17.510	13.461	105.702	963.746	581.749
	Persentase	0.230	-1.100	1,543	-0.548	-0.600	-44.239	-1.274	-12.019
	Tanah Natural + 8% Kapur	28.047	75.508	1.010	17.318	13.525	302.208	1298.321	1173.020
		29.838	74.571	1.089	16.917	13.029	254.509	1053.938	983.570
	Persentase	6.385	-1.240	7.878	-2.319	-3.666	-15.783	-18.823	-16.151
	Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri	30.003	78.669	1.060	17.542	13.494	197.189	976.711	795.756
30.016		77.720	1,076	17.446	13.418	108.322	974.524	689.246	
Persentase	0.044	-1.206	1.449	-0.549	-0.559	-45.067	-0.125	-13.385	

(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

- = Penurunan

+ = Peningkatan

+ = Peningkatan

4.6.3. Rekapitulasi Hasil Perbandingan Nilai Parameter Dalam Proses Pengeringan dan Pembasahan Dalam Kadar Air Yang Sama Antara Tanah Natural dan Tanah Natural Yang Distabilisasi

Setelah mengetahui peningkatan dan penurunan nilai parameter setiap siklus dan juga setiap kali pengeringan yang ditinjau pada kondisi yang sama (kondisi inisial), kemudian dilakukan perbandingan antara tanah natural dengan tanah natural yang distabilisasi yang ditinjau dalam kadar air yang sama yaitu dengan nilai kadar air ± 32 % pada proses pengeringan berulang 1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali. Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil perubahan parameter setiap kali pengeringan yang terdapat pada tabel 4.26 dan 4.27 dibawah ini.

Tabel 4.26 Nilai perbandingan antara tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi akibat proses pengeringan dan pembasahan dalam kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$.

Drying	Perbandingan Tanah Natural Dalam Kadar Air Yang Sama ($\pm 32\%$)	S_r (%)	e	γ_t (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	C_u (kN/m ²)	$-U_w$ (kPa)	$G_{max} \times 10^3$ (kPa)
Drying 1	Tanah Natural + 15% <i>Fly Ash</i>	76.194	1.191	16.736	12.595	45.320	582.868	437.466
		82.183	1.097	17.760	13.460	116.604	689.236	554.930
	Persentase	7.861	-7.840	6.118	6.871	157.289	18.249	26.851
	Tanah Natural + 8% Kapur	76.194	1.191	16.736	12.595	45.320	582.868	437.466
		84.220	1.039	17.631	13.339	228.114	579.151	1067.901
	Persentase	10.535	-12.715	5.350	5.912	403.337	-0.638	144.110
	Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri	76.194	1.191	16.736	12.595	45.320	582.868	437.466
		81.850	1.098	17.563	13.279	116.933	651.898	611.307
Persentase	7.424	-7.791	4.940	5.434	158.014	11.843	39.738	
Drying 2	Tanah Natural + 15% <i>Fly Ash</i>	75.369	1.206	16.649	12.529	39.885	582.607	424.503
		82.020	1.102	17.743	13.444	99.726	684.738	527.508
	Persentase	8.824	-8.646	6.570	7.300	150.031	17.530	24.265
	Tanah Natural + 8% Kapur	75.369	1.206	16.649	12.529	39.885	582.607	424.503
		83.759	1.058	17.535	13.229	215.062	573.532	1015.895
	Persentase	11.133	-12.287	5.316	5.585	439.200	-1.558	139.314
	Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri	75.369	1.206	16.649	12.529	39.885	582.607	424.503
		81.620	1.102	17.541	13.262	104.550	639.965	595.514
Persentase	8.294	-8.645	5.353	5.850	162.127	-9.845	40.285	

(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

- = Penurunan

+ = Peningkatan

+ = Peningkatan

Tabel 4.27 Nilai perbandingan antara tanah natural dan tanah natural yang distabilisasi akibat proses pengeringan dan pembasahan dalam kadar air yang sama yaitu $\pm 32\%$. (Lanjutan)

Drying	Perbandingan Tanah Natural Dalam Kadar Air Yang Sama ($\pm 32\%$)	S_r (%)	e	γ_t (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	C_u (kN/m ²)	$-U_w$ (kPa)	$G_{max} \times 10^3$ (kPa)
Drying 4	Tanah Natural + 15% <i>Fly Ash</i>	74.957	1.214	16.605	12.495	38.829	582.136	386.462
		81.879	1.105	17.726	13.428	91.834	681.063	519.070
	Persentase	9.235	-8.944	6.752	7.462	136.507	16.994	34.313
	Tanah Natural + 8% Kapur	74.957	1.214	16.605	12.495	38.829	582.136	386.462
		83.519	1.081	17.424	13.085	201.060	563.945	972.885
	Persentase	11.423	-10.927	4.931	4.720	417.805	-3.125	151.742
	Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri	74.957	1.214	16.605	12.495	38.829	582.136	386.462
		81.360	1.107	17.515	13.241	97.063	649.214	577.059
Persentase	8.542	-8.805	5.479	5.964	149.974	11.523	49.318	
Drying 6	Tanah Natural + 15% <i>Fly Ash</i>	74.383	1.224	16.540	12.446	38.571	581.719	372.568
		81.774	1.107	17.710	13.413	72.717	678.502	496.483
	Persentase	9.936	-9.548	7.074	7.770	88.526	16.637	33.260
	Tanah Natural + 8% Kapur	74.383	1.224	16.540	12.446	38.571	581.719	372.568
		83.155	1.108	17.291	12.919	193.143	482.137	965.618
	Persentase	11.793	-9.449	4.539	3.801	400.741	-17.119	159.179
	Tanah Natural + 5% Mikro Biobakteri	74.383	1.224	16.540	12.446	38.571	581.719	372.568
		81.124	1.111	17.489	13.220	73.444	648.341	538.002
Persentase	9.063	-9.276	5.738	6.221	90.409	-15.404	14.404	

(Sumber : Hasil Pengujian, 2014)

- = Penurunan

+ = Peningkatan

+ = Peningkatan

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data siklus pengeringan dan pembasahan pertama dan kedua dan proses pengeringan berulang (1 kali, 2 kali, 4 kali, dan 6 kali) yang telah dilakukan, maka penelitian ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Adanya penambahan bahan tambah menyebabkan perubahan klasifikasi tanah tanggul Sungai Bengawan Solo *cross section* 0±000 Desa Semambung, Bojonegoro, dari tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi menjadi tanah lempung anorganik dengan plastisitas rendah (lempung berlanau) dan tanah lanau anorganik. Hal ini diduga disebabkan karena adanya ikatan antara butiran tanah dengan bahan tambah (*stabilisator*), sehingga terjadi perubahan struktur dari partikel yang halus ke partikel yang lebih besar. Dari ketiga *stabilisator* yang dipakai, penambahan 8% kapur yang menyebabkan penurunan partikel halus paling besar dibandingkan dengan 15% *fly ash* dan 5% mikro biobakteri.
2. Adanya pengurangan partikel halus dan penambahan partikel kasar diduga mempengaruhi nilai batas cair (LL), batas plastis (PL), dan indeks plastisitas (PI). Dimana, semakin besar partikel suatu tanah maka, nilai LL akan berkurang dan nilai PL akan bertambah. Dari ketiga *stabilisator* yang dipakai, penambahan 8% kapur menghasilkan nilai LL terkecil dan PL terbesar dibandingkan dengan 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri.
3. Dalam pengujian pemadatan Proctor Standar, adanya penambahan bahan tambah diduga mengakibatkan nilai

- kepadatan kering ($\gamma_{d \text{ max}}$) meningkat dan kadai air (ω_{opt}) meningkat.
4. Berdasarkan pengujian triaksial (*Unconsolidated Undrained*), akan didapat nilai kohesi (C_u) dan sudut geser (ϕ). Nilai parameter kekuatan geser tanah natural merupakan nilai yang terkecil dibandingkan dengan tanah yang distabilisasi. Dimana semakin besar nilai kuat geser yang dikandung oleh suatu tanah, maka kemungkinan terjadinya pergeseran tanah akan semakin kecil.
 5. Pada saat pembasahan nilai kadar air (ω), derajat kejenuhan (S_r), angka pori (e), berat jenis (G_s), dan berat volume tanah basah (γ_t) akan semakin meningkat. Namun untuk nilai berat volume kering (γ_d), kohesi (C_u), tegangan air pori negatif ($-U_w$), dan modulus geser maksimum (G_{max}) akan semakin menurun, begitu sebaliknya. Adanya siklus pengeringan dan pembasahan (pertama dan kedua), juga proses adanya proses pengeringan berulang akan menyebabkan nilai kadar air (ω), angka pori (e) dan berat jenis (G_s) bertambah, namun untuk nilai derajat kejenuhan (S_r) dan berat volume tanah basah (γ_t), berat volume kering (γ_d), kohesi (C_u), tegangan air pori negative ($-U_w$) dan modulus geser maksimum (G_{max}) akan semakin menurun.
 6. Nilai parameter-parameter tanah yang distabilisasi memiliki nilai lebih baik dibanding tanah natural. Diantara ketiga *stabilisator* yang dipakai dalam tugas akhir ini, bahwa penambahan 8% kapur merupakan alternatif yang terbaik untuk perbaikan tanah tanggul Sungai Bengawan Solo *cross section* 0±000 Desa Semambung, Bojonegoro dibandingkan dengan 15% *fly ash* ataupun 5% mikro biobakteri.

5.2. Saran

Adapun saran dan peluang dalam penelitian selanjutnya adalah:

- Melakukan pengujian mekanik Triaksial dengan kondisi *Consolidated Undrained* (CU) agar mendapatkan nilai tegangan air pori (u).
- Untuk mempermudah menguji pengkondisian diperlukan alat cetak yang dibuat sesuai dengan ukuran bahan uji.
- Pada proses pengkondisian pembasahan sebaiknya disimpan didalam desikator kaca untuk menjaga kadar air tanah tetap dan tidak berubah.
- Sebaiknya lakukan siklus pengeringan dan pembasahan berulang (siklus 1, siklus 2, siklus 4, dan siklus 6).
- Berdasarkan pemahaman proses siklus pengeringan dan pembasahan, dalam 1 siklus terdapat proses pengeringan dan pembasahan. Dimana untuk siklus 1 sebaiknya dilakukan pengurangan air dari kondisi natural hingga kering 100%, sedangkan penambahan air dilakukan dari kondisi kering 100% hingga kondisi basah 100% (jenuh) untuk hasil yang lebih rinci. Untuk siklus 2, 4, dan 6 sebaiknya dilakukan pengurangan air dari kondisi basah 100% (jenuh) hingga kondisi kering (100%), sedangkan penambahan air dilakukan dari kondisi kering 100% hingga kondisi basah 100% (jenuh) untuk hasil yang lebih rinci.

”Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E. 1968. **Foundation Analysis And Design**. International Student Edition. McGraw-Hill International Book Company.
- Bowles, J.E. 1982. **Foundation Analysis And Design Third Edition**. International Student Edition. McGraw-Hill International Book Company.
- Bowles, J.E. 1984. **Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah**, Erlanga, Jakarta.
- Das, B.M., (translated by Mochtar N.E, and Mochtar I.B.). 1988. **Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid I**. Erlangga, Jakarta.
- Fredlund, D.G. and Rahardjo, H. 1993. **Soil Mechanics for Unsaturated Soils**, Balkema. Rotterdam.
- Indarto, 1995. **Metode Kertas Filter Untuk Menentukan Karakteristik Tegangan Air Pori Negatif pada Tanah**, Majalah IPTEK ITS, Surabaya.
- Mochtar, Indrasurya B., M. Khoiri., dan Yudhi Lastiasih. 2012. **Petunjuk Pengujian Tanah Di Laboratorium Dan Praktikum Mekanika Tanah**. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Muntaha, M. 2010. **Perilaku Parameter Dinamik (*Shear Modulus*) Tanah Residual Akibat Siklus Pembasahan-Pengeringan**. Laporan Akhir Penelitian Disertasi Doktor Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Muntaha, M. 2012. **Karakteristik Statik dan Dinamik Tanah Residual Tidak Terganggu**

- (Undisturbed Residual Soils) Akibat Pengaruh Siklus Pembasahan-Pengeringan.** Laporan Akhir Penelitian Disertasi Doktor Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Mustomo, Indra., Efendi Yasin., Andi Patriadi. 2012. **Studi Perubahan Karakteristik Fisik, Mekanik dan Dinamik Tanah Terhadap Siklus Pembasahan dan Pengeringan Pada Tanah Permukaan Lereng Di Ngantang-Malang.** Tugas Akhir S1. ITS, Surabaya.
- Panjaitan, S.R.N. 2000. **Pengaruh Siklus Pengeringan dan Pembasahan Terhadap Karakteristik Kuat Tekan Tanah Mengembang Yang Distabilisasi Dengan Fly Ash.** Tesis S2, Pasca Sarjana, ITS, Surabaya.
- Paulus, Nikolas. 2005. **Pengaruh Al Garam Pada Proses Pengeringan dan Pembasahan Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung Yang Distabilisasi Dengan Fly Ash + Kapur.** Tesis S2, Pasca Sarjana, ITS, Surabaya.
- Rasyid, Faris Al. 2012. **Analisis Stabilitas Lereng Akibat Musim Hujan dan Musim Kemarau di Ngantang-Malang.** Tugas Akhir S1. ITS, Surabaya.
- Safitri, Cyela Nor., Widya Handayani. 2011. **Stabilisasi Tanah Dasar Jatiwangi-Majalengka Dengan Menggunakan Bahan Tambah Kapur Tohor.** Tugas Akhir D3. Polban, Bandung.
- Sholeh, Moch. 2010. **Pengaruh Proses Pembasahan dan Pengeringan Pada Tanah Ekspansif Yang Distabilisasi Dengan Kapur dan Eco Cure²¹.** Tesis S2, Pasca Sarjana, ITS, Surabaya.

Vidayanti, D. **Pengembangan Bahan Ajar Modul 10 Stabilitas Lereng**. UMB, Jakarta

Yusdiantoro, Y. 2001, **Pengaruh siklus pembasahan – pengeringan berulang terhadap propertik dinamik tanah lempung ekspansif tidak jenuh yang distabilisasi dengan fly ash menggunakan alat uji kolom resonansi**, *Tesis*, Pascasarjana ITS, Surabaya

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BIODATA PENULIS



TYAS NUR AMALIA

Penulis dilahirkan di Bandung, 02 Juli 1990, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Tutuka Bandung, SDN Tunas Harapan I Bandung, SMPN 1 Bandung, SMAN 1 Bandung, dan Politeknik Negeri Bandung (POLBAN). Setelah lulus dari Politeknik Negeri Bandung tahun 2011, Penulis mengikuti test untuk masuk program Lintas Jalur dan diterima di Jurusan

Teknik Sipil FTSP ITS pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 311106016. Di jurusan Teknik Sipil ini penulis mengambil Bidang Studi Geoteknik.

BIODATA PENULIS



RIZKI FATIMAH SEPTIASARI

Penulis dilahirkan di Surabaya, 10 September 1990, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Budi Murni Bandung, SD Kartika XI-II Bandung, SMPN 13 Bandung, SMAN 23 Bandung, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung (POLBAN). Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Sipil POLBAN dan dalam Badan Pengurus Harian

Jurusan Teknik Sipil POLBAN, bagian Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa, Divisi Kreatifitas. Setelah lulus dari POLBAN, Penulis meneruskan pendidikan ke Jurusan Teknik Sipil Lintas Jalur FTSP ITS pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3111106044.

BIODATA PENULIS



ANGGER DWI OKTAVIANTO

Penulis dilahirkan di Jakarta, 28 Oktober 1990, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Gaya Motor Jakarta, SD Semper Timur 01 Pagi Jakarta, SMPN 244 Jakarta, SMAN52 Jakarta, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta (PNJ). Setelah lulus dari PNJ, Penulis meneruskan pendidikan ke Jurusan Teknik Sipil Lintas Jalur FTSP ITS pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3111106035.