



## **TUGAS AKHIR**

**ANALISA PERUBAHAN KARAKTERISTIK FISIK, MEKANIK DAN DINAMIK TERHADAP SIKLUS PENGERINGAN PEMBASAHAN PADA TANAH ASLI DAN TANAH YANG DI STABILISASI MENGGUNAKAN KAPUR DAN *FLY ASH* DI DESA SUMBER AJI KOTA BATU - MALANG**

**MUTIARA ANDINI  
NRP. 3112 105 039  
RAISA YUNANDA  
NRP. 3112 105 040**

**Dosen Konsultasi:  
Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI SOEMITRO, M.Eng  
Dr. DWA DESA WARNANA**

**PROGRAM STUDI SARJANA LINTAS JALUR TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2014**



**FINAL PROJECT – RC091318**

**ANALYSIS OF CHANGES IN PHYSICAL CHARACTERISTICS,  
MECHANICAL AND DYNAMIC OF DRYING WETTING CYCLES ON  
NATURAL SOIL AND STABILIZATION SOIL BY USE LIME AND FLY  
ASH IN SUMBER AJI VILLAGE OF KOTA BATU- MALANG**

**MUTIARA ANDINI  
NRP. 3112 105 039  
RAISA YUNANDA  
NRP. 3112 105 040**

**SUPERVISOR:  
Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI SOEMITRO, M.Eng  
Dr. DWA DESA WARNANA**

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

**ANALISA PERUBAHAN KARAKTERISTIK FISIK,  
MEKANIK DAN DINAMIK TERHADAP SIKLUS  
PENGERINGAN PEMBASAHAN PADA TANAH ASLI  
DAN TANAH YANG DI STABILISASI MENGGUNAKAN  
KAPUR DAN *FLY ASH* DI DESA SUMBER AJI  
KOTA BATU - MALANG**

**TUGAS AKHIR**

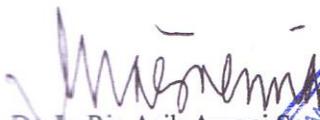
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Geoteknik  
Program Studi S-1 Lintas Jalur Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

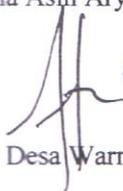
Oleh :

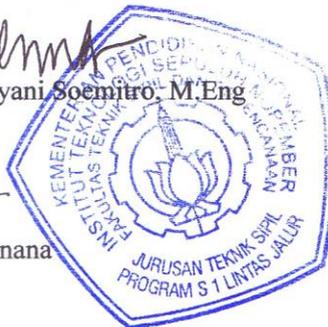
MUTIARA ANDINI  
RAISA YUNANDA

Nrp. 3112 105 039  
Nrp. 3112 105 040

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

  
1. Dr. J. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng

  
2. Dr. Dwa Desa Warnana



SURABAYA  
JULI, 2014

**ANALISA PERUBAHAN KARAKTERISTIK FISIK,  
MEKANIK DAN DINAMIK TERHADAP SIKLUS  
PENGERINGAN PEMBASAHAN PADA TANAH ASLI  
DAN TANAH YANG DI STABILISASI MENGGUNAKAN  
KAPUR DAN *FLY ASH* DI DESA SUMBER AJI  
KOTA BATU - MALANG**

Nama Mahasiswa : Mutiara Andini (NRP : 3112105039)  
Raisa Yunanda (NRP : 3112105040)

Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng  
Dr. Dwa Desa Warnana

**ABSTRAK**

Negara Indonesia adalah negara yang terletak digaris khatulistiwa sehingga Negara Indonesia dipengaruhi oleh dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau. Hal ini mengakibatkan secara alami tanah mengalami siklus pengeringan pembasahan berulang sehingga mempengaruhi karakteristik tanah, baik sifat fisik, sifat mekanik maupun sifat dinamik yang terjadi karena adanya perubahan volume tanah yang disebabkan perubahan kadar air. Siklus ini juga terjadi pada tanah yang berada di lereng Desa Sumber Aji Kota Batu – Malang.

Akibat adanya siklus pengeringan dan pembasahan yang berulang tersebut kekuatan tanah yang berada di lereng Desa Sumber Aji Kota Batu – Malang mengalami penurunan sehingga perlu dilakukan stabilisasi tanah. Cara peningkatan kekuatan tanah tersebut dilakukan secara kimiawi di laboratorium, dimana pada penelitian ini bahan stabilisasi yang digunakan adalah kapur dan *fly ash*. Adapun penelitian sifat fisik pada tanah meliputi kadar air ( $W_c$ ), angka pori ( $e$ ), derajat kejenuhan ( $S_r$ ), *specific gravity* ( $G_s$ ), kepadatan kering ( $\gamma_d$ ), berat volume tanah ( $\gamma_t$ ), batas *atterberg* ( $LL$ ,  $PL$ ,  $PI$ ), beserta analisa saringan dan hydrometer. Sifat mekanik meliputi kohesi ( $c$ ) dan tegangan air

pori negatif (-Uw). Sifat dinamik meliputi modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ) dengan pengujian elemen bender.

Penelitian ini mengutamakan pengaruh siklus pengeringan pembasahan menggunakan dua siklus dengan persentase penambahan dan pengurangan air per 10%. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa tanah yang distabilisasi dengan 5% *fly ash* memberikan pengaruh lebih baik terhadap kekuatan tanah. Hal ini ditunjukkan pada nilai yang didapat dari masing-masing tanah natural, tanah natural + 4% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash* pada kondisi yang sama (contoh titik initial *wetting* 1x) berikut ini; kepadatan kering tanah ( $\gamma_d$ ) meningkat dari 1.033 gr/cm<sup>2</sup>, 1.073 gr/cm<sup>2</sup> dan 1.076 gr/cm<sup>2</sup>, derajat kejenuhan ( $S_r$ ) menurun dari 68.433%, 63.987% dan 65.007%, angka pori ( $e$ ) menurun dari 1.445, 1.363 dan 1.298, kohesi ( $c$ ) meningkat dari 0.191 kg/cm<sup>2</sup>, 1.116 kg/cm<sup>2</sup> dan 1.201 kg/cm<sup>2</sup>, tegangan air pori negative (-Uw) meningkat dari 238.033 kPa, 387.502 kPa dan 313.941 kPa, modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ) meningkat dari 92.998 kPa, 297.472 kPa dan 455.837 kPa.

**Kata kunci : Siklus pengeringan pembasahan, sifat fisik, sifat mekanik, sifat dinamik, stabilisasi, stabilisator, natural, kapur dan *fly ash*.**

**ANALYSIS OF CHANGES IN PHYSICAL  
CHARACTERISTICS, MECHANICAL AND DYNAMIC OF  
DRYING WETTING CYCLES ON NATURAL SOIL AND  
STABILIZATION SOIL BY USE LIME AND FLY ASH IN  
SUMBER AJI VILLAGE OF KOTA BATU- MALANG**

Name : Mutiara Andini (NRP : 3112105039)  
Raisa Yunanda (NRP : 3112105040)

Supervisor : Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng  
Dr. Dwa Desa Warnana

***ABSTRACT***

Indonesia is a country that is underlined equator so that the Indonesian state is influenced by two seasons: the rainy season and dry season. This resulted in soil naturally suffered repeated cycles of wetting drying thereby affecting soil characteristics, good physical properties, mechanical properties and dynamic properties that occur due to changes in volume due to changes in soil water content. This cycle also occurs in the soil on the slopes of Sumber Aji village Kota Batu - Malang.

Due to the drying and wetting cycles are repeated soil strength on the slopes of Sumber Aji village Kota Batu - Malang decreased soil stabilization so that needs to be done. By increasing the strength of the soil chemically induced in the laboratory, which is in this study used lime and fly ash as stabilization material. The study on soil physical properties include water content ( $W_c$ ), void ratio ( $e$ ), the degree of saturation ( $S_r$ ), specific gravity ( $G_s$ ), dry density ( $\gamma_d$ ), heavy soil volume ( $\gamma_t$ ), Atterberg limits (LL, PL, PI), with sieving analyze and hydrometer. Mechanical properties include cohesion ( $c$ ) and pore water pressure is negative ( $-U_w$ ). Dynamic properties include the maximum shear modulus ( $G_{max}$ ) with bender element testing.

The priority of this research is to influence the drying wetting cycles using two cycles of addition and subtraction with the percentage of water by 10%. The results also showed that the soil stabilized with 5% fly ash gives a better effect against soil reinforcement. This is shown in the value obtained from each natural soil, natural soil + 4% lime and natural soil + 5% fly ash under the same conditions (eg initial point of wetting 1x) below; dry density of soil ( $\gamma_d$ ) gr/cm<sup>3</sup> increased from 1,033, 1,073 and 1,076 gr/cm<sup>3</sup> gr/cm<sup>3</sup>, degree of saturation ( $S_r$ ) decreased from 68 433% 65 007% 63 987% and, void ratio ( $e$ ) decreased from 1,445, 1,363 and 1,298, cohesion ( $c$ ) increased from 0.191 kg/cm<sup>2</sup>, 1,116 kg/cm<sup>2</sup> and 1201 kg/cm<sup>2</sup>, the negative pore water pressure ( $-U_w$ ) increased from 238 033 kPa, kPa 387 502 and 313 941 kPa, the maximum shear modulus ( $G_{max}$ ) increases from 92 998 kPa, 297 472 kPa and 455 837 kPa.

**Keywords: drying wetting cycle, physical properties, mechanical properties, dynamic properties, stabilization, stabilizer, natural, lime and fly ash.**

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami ucapkan ke Kehadirat Allah SWT atas segala karunia dan rahmat-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan penyusunan laporan Tugas Akhir kami yang berjudul **“ANALISA PERUBAHAN KARAKTERISTIK FISIK, MEKANIK DAN DINAMIK TERHADAP SIKLUS PENGERINGAN PEMBASAHAN PADA TANAH ASLI DAN TANAH YANG DI STABILISASI MENGGUNAKAN KAPUR DAN FLY ASH DI DESA SUMBER AJI KOTA BATU - MALANG”**

Tugas Akhir dilaksanakan sebagai persyaratan kelulusan pendidikan di Jurusan S1 Lintas Jalur Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dorongan, motivasi dan doa baik moral maupun material.
2. Ibu Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng, selaku Dosen Pembimbing.
3. Bapak Dr. Dwa Desa Warnana, selaku Dosen Pembimbing.
4. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini sehingga laporan ini dapat bermanfaat untuk kedepannya.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
ABSTRAK .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Lokasi Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Definisi Tanah .....	7
2.2 Klasifikasi Tanah .....	9
2.2.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur .....	10
2.2.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan <i>American Associate of State Highway And Transportation Officials Classification</i> (AASHTO) .....	11
2.2.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan <i>Unified Soil Classification System</i> (USCS).....	13
2.3 Pengujian di Laboratorium .....	16
2.3.1 Sifat Fisik Tanah .....	16
2.3.2 Sifat Mekanik Tanah .....	21
2.3.2.1 Pengujian Pemadatan <i>Standart Proctor</i> .....	21
2.3.2.2 Pengujian <i>Unconfined Compression Strength</i> .....	22

2.3.2.3	Pengujian Angka pori Negatif dengan Kertas Filter.....	23
2.3.3	Sifat Dinamik Tanah .....	25
2.4	Bahan-Bahan Stabilisator .....	26
2.4.1	Bahan Stabilisator Kapur .....	26
2.4.2	Bahan Stabilisator <i>Fly Ash</i> .....	27
2.5	Siklus Pengeringan dan Pembasahan .....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		31
3.1	Pendahuluan .....	31
3.2	Bagan Alir Penelitian .....	31
3.3	Tahapan Awal Penelitian .....	34
3.4	Pengujian Sampel .....	34
3.4.1	Pengujian Sampel Inisial .....	34
3.4.2	Pengujian Sampel Dengan Siklus Pembasahan Pengeringan .....	34
3.5	Tahapan Pengujian Sifat-Sifat Tanah.....	34
3.5.1	Pengujian Sifat Fisik Tanah .....	34
3.5.2	Pengujian Sifat Mekanik Tanah .....	36
3.5.3	Pengujian Sifat Dinamik Tanah .....	37
3.6	Proses Pengeringan dan Pembasahan.....	41
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....		45
4.1	Hasil Pengujian Karakteristik Tanah Natural .....	45
4.2	Hasil Pengujian Pematatan Standar .....	46
4.2.1	Tanah Natural .....	46
4.2.2	Tanah natural + Kapur.....	47
4.2.3	Tanah natural + <i>Fly Ash</i> .....	48
4.3	Hasil Pengujian Karakteristik Tanah yang Distabilisasi Dengan Kapur dan <i>Fly Ash</i> .....	49
4.4	Analisa Uji Proctor Standar pada Tanah Natural dan Tanah yang Distabilisasi dengan Kapur dan <i>Fly Ash</i> .....	51
4.4.1	Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori (e).....	53
4.4.2	Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori (e).....	53

4.4.3	Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Derajat Kejuhan ( $S_r$ ).....	54
4.4.4	Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejuhan ( $S_r$ ).....	54
4.4.5	Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ ).....	55
4.4.6	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ).....	56
4.5	Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan pada Siklus Pertama dan Kedua .....	56
4.5.1	Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ ).....	60
4.5.2	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ ).....	61
4.5.3	Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Derajat Kejuhan ( $S_r$ ).....	62
4.5.4	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejuhan ( $S_r$ ) .....	63
4.5.5	Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) .....	64
4.6	Perubahan Properti Dinamik Akibat Siklus Pengeringan-Pembasahan Pertama dan Kedua .....	65
4.6.1	Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ).....	69
4.6.2	Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) ...	70
4.6.3	Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ ) .....	71
4.6.4	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ ) .....	72
4.6.5	Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Derajat Kejuhan ( $S_r$ ) .....	73

4.7 Pengaruh Siklus Pengeringan Pembasahan 1x dan 2x Terhadap Hubungan Antara Derajat Kejenuhan, Berat Volume Tanah dan Modulus Geser Maksimum.....	74
4.7.1 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ ) .....	78
4.7.2 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ ) .....	78
4.7.3 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi (c) .....	79
4.7.4 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ ) .....	72
4.7.5 Hubungan Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi (c) .....	80
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	83
5.1 Kesimpulan .....	83
5.5 Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA .....	87
LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi tanah sistem AASHTO.....	12
Tabel 2.2	Simbol klasifikasi tanah berdasarkan Unified system .....	14
Tabel 2.3	Sistem Klasifikasi Tanah Unified .....	15
Tabel 2.4	Berat jenis tanah .....	18
Tabel 2.5	Angka pori, kadar air dan berat volume kering untuk beberapa tipe tanah yang masih dalam keadaan asli .....	20
Tabel 2.6	Komposisi dan klasifikasi <i>Fly Ash</i> .....	27
Tabel 4.1	Hasil pengujian karakteristik tanah .....	45
Tabel 4.2	Hasil pengujian pemadatan standar tanah natural + kapur .....	47
Tabel 4.3	Hasil pengujian pemadatan standar tanah natural + <i>fly ash</i> .....	48
Tabel 4.4	Hasil pengujian karakteristik tanah .....	50
Tabel 4.5	Nilai kadar air dan angka pori pada tanah natural dan tanah yang di stabilisasi pada kondisi yang sama .....	61
Tabel 4.6	Nilai angka pori dan tegangan air pori negative pada tanah natural dan tanah yang di stabilisasi pada kondisi yang sama .....	62
Tabel 4.7	Nilai kadar air dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah yang di stabilisasi pada kondisi yang sama .....	63
Tabel 4.8	Nilai derajat kejenuhan dan tegangan air pori negative pada tanah natural dan tanah yang di stabilisasi pada kondisi yang sama .....	64
Tabel 4.9	Nilai kadar air dan tegangan air pori negative pada tanah natural dan tanah yang di stabilisasi pada kondisi yang sama .....	65

Tabel 4.10	Nilai kadar air dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah yang di stabilisasi pada kondisi yang sama .....	70
Tabel 4.11	Nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah yang di stabilisasi pada kondisi yang sama .....	71
Tabel 4.12	Nilai kadar air dan kepadatan kering pada tanah natural dan tanah yang di stabilisasi pada kondisi yang sama .....	72
Tabel 4.13	Nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah yang di stabilisasi pada kondisi yang sama .....	73
Tabel 4.14	Nilai modulus geser maksimum dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah yang di stabilisasi pada kondisi yang sama .....	74
Tabel 4.15	Nilai berat volume dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah yang di stabilisasi pada kondisi yang sama .....	79
Tabel 4.16	Nilai kohesi dan derajat kejenuhan dititik inisial ( <i>wetting</i> 1x) pada tanah natural dan tanah yang di stabilisasi pada kondisi yang sama pada siklus pertama .....	80
Tabel 4.17	Nilai modulus geser maksimum dan kohesi dititik inisial ( <i>wetting</i> 1x) pada tanah natural dan tanah yang di stabilisasi pada kondisi yang sama pada siklus pertama .....	81

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Iklim di Indonesia secara garis besar di pengaruhi oleh hujan dan kemarau. Perubahan iklim tersebut menyebabkan terjadinya suatu proses pembasahan dan pengeringan. Siklus pembasahan dan pengeringan merupakan peristiwa alam yang terjadi secara terus menerus pada daerah beriklim tropis seperti Indonesia. Proses pembasahan dan pengeringan secara berulang dapat mempengaruhi sifat fisik, mekanik dan dinamik dari tanah itu sendiri karena terjadinya perubahan volume tanah yang disebabkan oleh perubahan kadar air.

Beberapa peneliti sebelumnya menyatakan bahwa siklus pembasahan-pengeringan sangat mempengaruhi karakteristik tanah. Soemitro dan Indarto (2000) menyatakan bahwa siklus pembasahan-pengeringan berperan penting dalam mengaktifkan mineral lempung pada tanah mengembang (*swelling soil*). Soemitro dan Muntaha (2005) menyatakan bahwa nilai tegangan air pori negatif dan kuat geser akan turun selama musim hujan dan meningkat segera setelah musim hujan berlalu (kemarau). Untuk itu perlu dilakukan perbaikan tanah agar sifat – sifat tanah tetap dapat terjaga. 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 tertentu (stabilisator) agar kualitas tanah dapat

ditingkatkan. Bahan stabilisator yang digunakan yaitu kapur dan *fly ash*.

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 menetralkan sifat kembang susut tanah lempung atau lanau yang besar. Stabilitas tanah dengan menggunakan kapur merupakan proses yang dapat merubah struktur tanah dengan membentuk butiran agregat yang lebih besar sehingga memberikan pengaruh yang lebih baik. Tujuan pemakaian kapur adalah untuk menambah kekuatan, kekakuan dan ketahanan dari tanah-tanah butir halus, terkadang digunakan juga untuk menaikkan sifat-sifat fraksi dari tanah-tanah granuler. 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. Kapur telah digunakan sebagai bahan stabilisator bagi tanah-tanah dibawah lapisan dasar dari sistem lapis perkerasan, dibawah pondasi beton, pada lereng *embankment* dan pelapis saluran. Dalam penelitian (Sudirham,1988) dikatakan bahwa dengan pemakaian kapur 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 ( $\text{SiO}_2$ ), besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Kalsium Oksida ( $\text{CaO}$ ), Magnesium Oksida ( $\text{MgO}$ ), dan Sulfat ( $\text{SO}_4$ ). Penambahan *fly ash* pada tanah dimaksudkan agar terbentuk reaksi *pozzolanic* yaitu reaksi antara kalsium yang terdapat pada *fly ash* dengan alumina dan silika yang terdapat pada tanah sehingga menghasilkan masa yang keras dan kaku. Penambahan *Fly Ash* sebagai campuran bahan untuk stabilisasi tanah berfungsi untuk meningkatkan nilai daya dukung dari tanah yang biasanya memiliki kemampuan yang rendah dalam memikul beban

Dari uraian diatas maka penting dilakukan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh proses pembasahan dan pengeringan secara berulang terhadap sifat-sifat karakteristik tanah baik tanah asli maupun tanah yang distabilisasi. Hasil yang didapat adalah berupa hubungan antara karakteristik fisik, mekanik dan dinamik tanah berdasarkan tanah asli serta tanah yang ditambahkan dengan bahan stabilisator akibat pengaruh proses pembasahan dan pengeringan.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Perumusan masalah dalam pengujian dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Pengaruh proses pembasahan dan pengeringan secara berulang terhadap karakteristik fisik, mekanik dan dinamik tanah permukaan di Desa Sumber Aji Kota Batu pada kondisi tanah asli (*initial*).
2. Pengaruh proses pembasahan dan pengeringan secara berulang terhadap karakteristik fisik, mekanik dan dinamik tanah permukaan di Desa Sumber Aji Kota Batu pada kondisi tanah asli (*initial*) dengan penambahan bahan stabilisator.

3. Komposisi campuran antara tanah asli (*initial*) dengan tambahan bahan stabilisasi 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 pembasahan dan pengeringan secara berulang terhadap karakteristik fisik, mekanik dan dinamik tanah permukaan di Desa Sumber Aji Kota Batu pada kondisi tanah asli (*initial*)
2. Mengetahui pengaruh proses pembasahan dan pengeringan secara berulang terhadap karakteristik fisik, mekanik dan dinamik tanah di Desa Sumber Aji Kota Batu pada kondisi tanah asli (*initial*) dengan penambahan bahan stabilisasi
3. Mengetahui komposisi campuran antara tanah asli (*initial*) dengan tambahan bahan stabilisasi yang paling optimum dari aspek peningkatan karakteristik fisik, mekanik dan dinamik.

### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam pengujian ini dibatasi sebagai berikut :

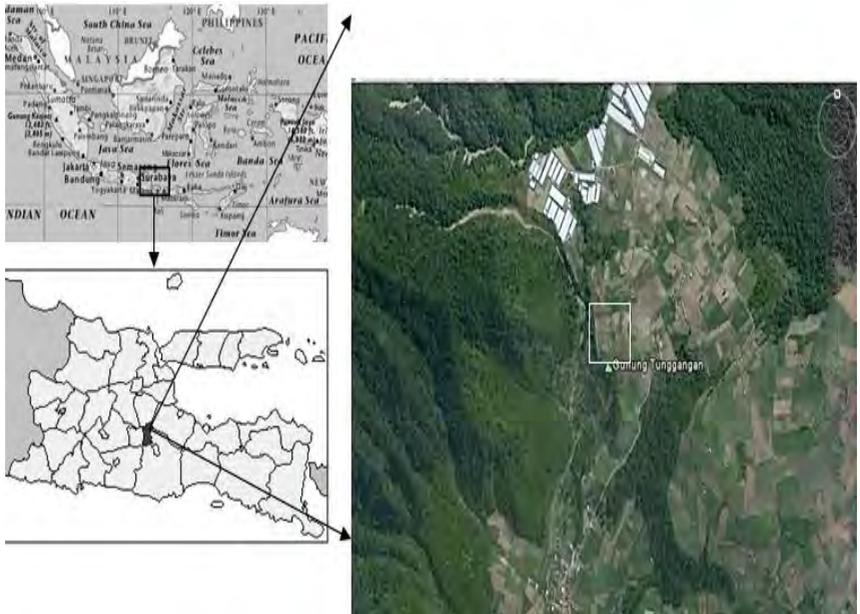
1. Penentuan komposisi optimum bahan stabilisator dengan menggunakan uji kepadatan *standard proctor test*.
2. Penelitian ini menggunakan bahan stabilisator berupa kapur aktif ( $\text{CaOH}_2$ ) dan *Fly Ash*.
3. Proses pengeringan dilakukan dengan mengurangi kadar air benda uji mulai dari kondisi inisial sampai kondisi kering. Sedangkan proses pembasahan dilakukan dengan menambahkan kadar air benda uji mulai dari kondisi inisial sampai kondisi jenuh (penambahan kadar air per 10%)
4. Siklus pembasahan dan pengeringan dilakukan dengan menggunakan 2 siklus.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari pengujian ini adalah mendapatkan masing-masing nilai karakteristik fisik, mekanik dan dinamik tanah permukaan di Desa Sumber Aji Kota Batu akibat proses pembasahan dan pengeringan pada kondisi tanah asli serta tanah asli dengan tambahan bahan stabilisasi. Disamping itu juga didapatkan komposisi optimum dari masing-masing campuran dari bahan stabilisasi tersebut.

## 1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Desa Sumber Aji Kota Batu.



**Gambar 1.1** Lokasi Penelitian

Sumber : <http://maps.google.com/>

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Definisi Tanah**

Tanah merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat adanya pengaruh air, erosi, angin, es, manusia atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Pelapukan tanah akibat reaksi kimia menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran lebih kecil dari 0,002 mm, yang disebut mineral lempung (Hardiyatmo, H.C 2001).

Tanah dibentuk oleh bebatuan dan organisme-organisme hidup dalam jangka waktu yang sangat lama sebagai respon terhadap pengaruh gaya-gaya alami yang bekerja dari dalam kerak bumi dan pengaruh-pengaruh dari gaya-gaya atmosfer. Pada bagian tanah yang jauh dari permukaan, massa tanah secara radikal mengalami perubahan akibat adanya gempa-gempa bumi yang menyebabkan retakan-retakan yang besar serta longsor di permukaan bumi dan juga gempa-gempa bumi tersebut juga menyebabkan letusan vulkanis yang membawa lava dan debu dari dalam inti bumi ke atas permukaan bumi serta membentuk lapisan tanah yang baru (Wesley, 1997).

Secara umum tanah terdiri dari tiga bahan yaitu butiran tanahnya sendiri (*solid*), air (*water*), pori (*void*) yaitu udara yang terdapat pada ruang antara butir-butir tersebut. (Wesley, 1997).

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

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.

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).

Secara umum tanah mempunyai dua karakter yaitu fisik dan mekanik. Sifat fisik tanah yaitu sifat yang berhubungan dengan elemen penyusunan massa tanah yang ada, misalnya volume tanah, kadar air dan berat tanah. Sedangkan sifat fisik yang utama menurut Das (1990) meliputi plastisitas indeks tanah untuk

melihat konsistensi tanah, gravimetri dan tanah yang meliputi kadar air, derajat kejenuhan, spesifik gravity, angka pori dan berat volume tanah, serta distribusi ukuran butiran tanah. Sifat-sifat tanah residual dapat dianggap bergantung pada dua faktor utama, yaitu komposisi serta struktur. Komposisi meliputi sifat-sifat butir sendiri, yaitu ukuran, bentuk, serta jenis mineral dan struktur meliputi keadaan asli tanah setempat meliputi kepadatan, gaya tarik menarik yang kuat antara butir (*interparticle bonds*) (Wesley, 1998). Wesley (2000) juga menyatakan bahwa tanah residual memiliki rentang sifat fisik dan sifat mekanik yang besar tergantung pada mineral pembentuk batuan induk, intensitas pelapukan, jumlah curah hujan dan suhu. Faktor-faktor ini juga dipengaruhi oleh letak geografis dan kondisi cuaca yang berlaku. Sifat fisik dan mekanik ini tidak hanya bervariasi dengan jarak (*spatial location*), tetapi juga dengan kedalaman.

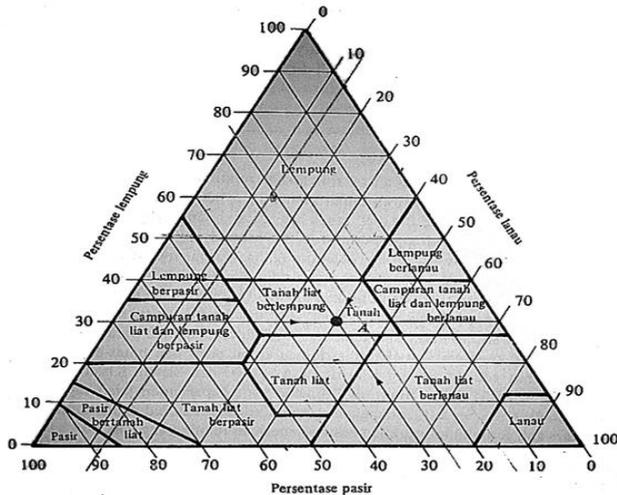
Sifat mekanik tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah saat dikenai suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanis. Parameter sifat tanah ini meliputi:

1. Kohesi ( $c$ ), yaitu gaya tarik antara butiran tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kondisi kerapatan butir.
2. Bagian butiran yang bersifat gesekan tergantung pada tekanan efektif bidang geser terhadap sudut geser dalam yang terbentuk.
3. Tegangan air pori negative, ditentukan dengan menggunakan kurva kalibrasi kertas filter Whatman no. 42.

## **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 Tanah Berdasarkan Tekstur



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

**Sumber :** Braja M. Das Jilid 1 Hal – 65

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.

Pada gambar 2.1 menunjukkan klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah seperti yang diterangkan sistem USDA yaitu :

- Pasir : butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05mm

- Lanau : butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm
- Lempung : butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm

### **2.2.2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan American Associate of State Highway and Transportation Officials Classification (AASHTO)**

Sistem klasifikasi *Bureau of Public Roads* (BPR) yang asli pada akhir tahun 1920-an telah direvisi beberapa kali. Sistem AASHTO menklasifikasikan tanah kedalam kelompok, A-1 sampai A-8, namun kelompok tanah A-8 tidak diperlihatkan tetapi merupakan gambut atau rawa, dan pada awalnya membutuhkan data-data sebagai berikut :

1. Analisis ukuran butiran
2. Batas cair dan batas plastis dan IP yang dihitung.
3. Batas susut.
4. Ekuivalen kelembaban lapangan ialah kadar lembab maksimum dimana satu tetes air yang dijatuhkan pada suatu permukaan yang kecil tidak segera diserap oleh permukaan tanah itu.
5. Ekuivalen kelembaban setrifugal ialah sebuah percobaan untuk mengatur kapasitas tanah dalam air.

Pada garis besarnya tanah dikelompokkan menjadi 2 kelompok besar yaitu : kelompok tanah berbutir kasar (<35% lolos saringan No. 200) dan tanah berbutir halus (>35% lolos saringan No. 200).

A-1, adalah kelompok tanah yang terdiri dari kerikil kecil dan pasir kasar dengan sedikit atau tanpa butir-butir halus.

A-2, adalah kelompok tanah yang terdiri dari pasir halus dengan sedikit sekali butir halus No. 200.

A-3, adalah kelompok batas antara tanah berbutir kasar dengan tanah berbutir halus. Terisi dari campuran kerikil/pasir dengan tanah berbutir halus cukup banyak (<35%).

- Kelompok tanah berbutir halus dibedakan atas :
- A-4, adalah kelompok tanah lanau dengan sifat plastisitas rendah.
  - A-5, adalah kelompok tanah lanau yang mengandung lebih banyak butir-butir plastis.
  - A-6, adalah kelompok tanah lempung yang masih mengandung butir-butir pasir dan kerikil, tetapi sifat perubahan volumenya cukup besar.
  - A-7, adalah kelompok tanah lempung yang bersifat plastis.

**Tabel 2.1** Klasifikasi tanah sistem AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang lolos ayakan No.200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa saringan (% lolos)							
No.10	maks 50						
No.40	maks 30	maks 50	maks 51				
No.200	maks 15	maks 25	maks 10	maks 35	maks 35	maks 35	maks 35
Karakteristik fraksi yang lolos ayakan No.40							
Batas cair (LL)				maks 40	maks 41	maks 40	maks 41
Indeks plastisitas (PI)	maks 6		NP	maks 10	maks 10	maks 10	maks 10
Indeks kelompok	0		0	0		maks 4	
Jenis-jenis bahan pendukung utama	fragmen batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Tingkatan umum sebagai tanah	Sangat baik sampai baik						

(Sumber : Bowles, 1984)

**Tabel 2.1** Klasifikasi tanah sistem AASHTO (lanjutan)

Klasifikasi umum	Tanah lanau – lempung (Lebih dari 35% lolos ayakan No.200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 ; A-7-6
Klasifikasi kelompok				
Analisa saringan (% lolos) No.10 No.40 No.200	min 36	min 36	min 36	min 36
Karakteristik fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas cair (LL) Indeks plastisitas (PI)	mak 41 mak 10	min 41 maks 10	mak 40 min 11	min 41 min 11
Indeks kelompok	maks 8	maks 12	mak 16	mak 20
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Tingkatan umum sebagai tanah	sedang sampai buruk			

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

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

(Sumber : Bowles, 1984)

### 2.2.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Unified Soil Classification System (USCS)

Klasifikasi berdasarkan *Unified System* (Das. Braja. M, 1988), tanah dikelompokkan menjadi :

1. Tanah butir 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 dengan 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.

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti : GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, perlu memperhatikan faktor-faktor berikut ini :

1. Persentase butiran yang lolos ayakan no.200 (fraksi halus).
2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan no.40.
3. Koefisien keseragaman (*Uniformity coefficient*,  $C_u$ ) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient*,  $C_c$ ) untuk tanah dimana 0-12% lolos ayakan no.200.
4. Batas cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos ayakan no.40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan no.200).

Selanjutnya tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok seperti terlihat dalam Tabel 2.2 berikut ini :

**Tabel 2.2** Simbol klasifikasi tanah berdasarkan *Unified System*

Jenis Tanah	Simbol	Sub kelompok	Simbol
Kerikil Pasir	G	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P
	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M	LL < 50%	L
Lempung	C	LL > 50%	H
Organik	O		
Gambut	PT		

(Sumber : Bowles, 1984)

**Tabel 2.3** Sistem klasifikasi tanah *Unified*

Divisi utama		Simbol Kelompok	Nama umum		
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No.200	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No.40	Kerikil bersih (hanya kerikil)	<b>GW</b> Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Kerikil dengan butiran halus	<b>GP</b> Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
			<b>GM</b> Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau		
			<b>GC</b> Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan no.40	Pasir bersih (hanya pasir)		<b>SW</b> Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
				<b>SP</b> Pasir bergradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Pasir dengan butiran halus		<b>SM</b> Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
				<b>SC</b> Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
			Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No.200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	<b>ML</b> Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
					<b>CL</b> Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)
<b>OL</b> Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah					
Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%		<b>MH</b> Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis.			
		<b>CH</b> Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)			
		<b>OH</b> Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		<b>PT</b>	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi		

(Sumber : Braja M. Das, 1988)

**Tabel 2.3** Sistem klasifikasi tanah *Unified* (lanjutan)

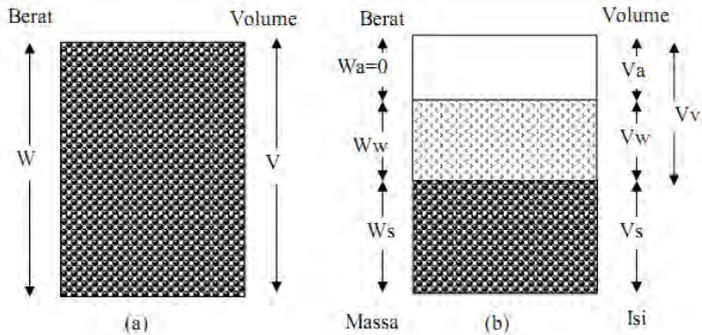
		Kriteria Klasifikasi	
Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus  Kurang dari 5% lolos ayakan No.200 Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 5% sampai 12% lolos ayakan No. 200	GW, GP, SW, SP GM, GC, SM, SC	$C_u = D_{60} / D_{10}$ Lebih besar dari 4  $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
	Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan dua simbol	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	
	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$		
			$C_u = D_{60} / D_{10}$ Lebih besar dari 4  $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3
			Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
			Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda

(Sumber : Braja M. Das, 1988)

## 2.3 Pengujian di Laboratorium

### 2.3.1 Sifat Fisik Tanah

Sifat fisik tanah yaitu sifat suatu elemen tanah yang berhubungan dengan elemen penyusunan masa tanah yang ada, misalnya volume tanah, kadar air, dan berat tanah. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian yaitu butiran padat, air, dan udara. Ilustrasi untuk memahami susunan elemen pada massa tanah dapat diasumsikan seperti Gambar 2.2 (Das, 1998).



**Gambar 2.2** (a) Elemen tanah dalam keadaan asli ; (b) tiga fase elemen tanah. (Sumber : Braja M. Das, 1988)

Pada gambar 2.2 (a) menunjukkan suatu elemen tanah yang mempunyai volume  $V$  dan berat  $W$ , sedangkan gambar 2.2 (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. Angka Pori ( $e$ ) adalah perbandingan antara volume pori ( $V_v$ ) dengan volume butiran padat ( $V_s$ ) yang dinyatakan dalam desimal, dapat dirumuskan :

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

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

$$n = \frac{V_v}{V} \dots\dots\dots(2.2)$$

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

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

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

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

- e. Berat jenis (*Specific Gravity*) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ ) dengan berat volume air ( $V_w$ ) pada temperatur 4°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.

**Tabel 2.4** Berat Jenis Tanah

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

(Sumber : Hardiyatmo, C.H 2001)

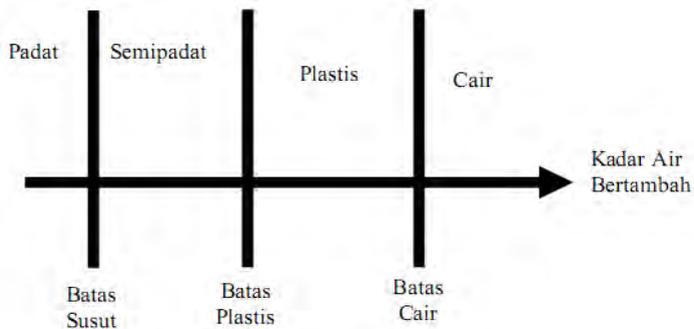
- f. Berat Volume Kering ( $\gamma_d$ ) adalah perbandingan antara berat butiran padat ( $W_s$ ) dengan volume tanah total ( $V$ ), dapat dirumuskan :

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \dots\dots\dots(2.5)$$

- g. Berat Volume Butiran Padat ( $\gamma_s$ ) adalah perbandingan antara berat butiran padat ( $W_s$ ) dengan volume butiran padat ( $V_s$ ), dapat dirumuskan :

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \dots\dots\dots(2.6)$$

Kadar air, dinyatakan dalam persen, di mana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi-padat didefinisikan sebagai batas-susut (*shrinkage 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 2.3.



**Gambar 2.3** Batas-batas *Atterberg*. (Sumber : Braja M.Das,1988)

- 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.
- 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. Batas Susut (*Shrinkage Limit*) SL, didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan semi-padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah selanjutnya.
- d. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*) PI, adalah perbedaan antara batas cair dan batas plastis suatu tanah, atau

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(2.7)$$

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, para ahli memberi gambaran harga angka pori, kadar air dari tanah jenuh air, dan berat volume kering tanah asli pada Tabel 2.5.

**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 <sup>3</sup> )
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)

### **2.3.2 Sifat Mekanik Tanah**

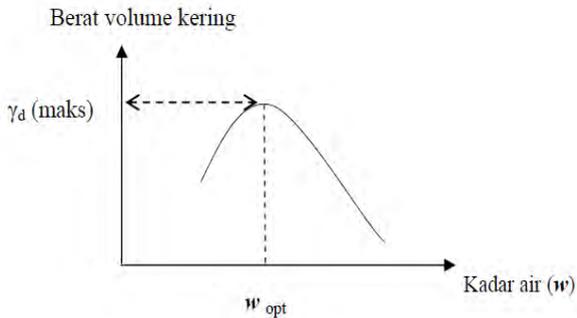
Sifat mekanis tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah pada suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanis. Pengujian untuk mengetahui sifat mekanik tanah meliputi :

#### **2.3.2.1 Pengujian Pemadatan Standard Proctor**

Pemadatan adalah suatu proses memadatnya partikel tanah sehingga terjadi pengurangan volume udara dan volume air dengan memakai cara mekanis. Kepadatan tanah tergantung banyaknya kadar air, jika kadar air tanah sedikit maka tanah akan keras begitu pula sebaliknya bila kadar air banyak maka tanah akan menjadi lunak atau cair. Pemadatan yang dilakukan pada saat kadar air lebih tinggi dari pada kadar air optimumnya akan memberikan pengaruh terhadap sifat tanah. Tujuan pemadatan tanah adalah memadatkan tanah pada kadar air optimum dan memperbaiki karakteristik mekanisme tanah, yang akan memberikan keuntungan yaitu :

- a. Memperkecil pengaruh air terhadap tanah.
- b. Bertambahnya kekuatan tanah.
- c. Memperkecilkan pemampatannya dan daya rembes airnya.
- d. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air. (Hardiyatmo, C.H 2001)

Pemadatan tanah dapat dilaksanakan di lapangan maupun di laboratorium. Di lapangan biasanya tanah akan digilas dengan mesin penggilas yang didalamnya terdapat alat penggetar, getaran akan menggetarkan tanah sehingga terjadi pemadatan. Sedangkan di laboratorium menggunakan pengujian standar yang disebut dengan uji proktor, dengan cara suatu palu dijatuhkan dari ketinggian tertentu beberapa lapisan tanah di dalam sebuah mold. Dengan dilakukannya pengujian pemadatan tanah ini, maka akan terdapat hubungan antara kadar air dengan berat volume.

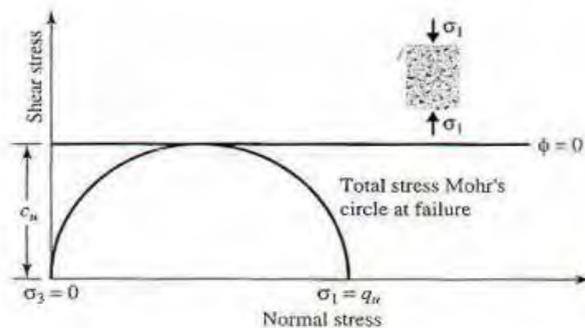


**Gambar 2.4**

Hubungan antara kadar air dan berat volume tanah

### 2.3.2.2 Pengujian Unconfined Compression Strength

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat geser tanah. Tes ini tidak berbeda dengan tes triaxial UU, hanya saja pada tes unconfined tidak diberi tegangan sel atau tegangan penyekap. Gambar 2.5 memperlihatkan kondisi tegangan pada saat uji unconfined.



**Gambar 2.5.** Lingkaran Mohr pada tes Unconfined.

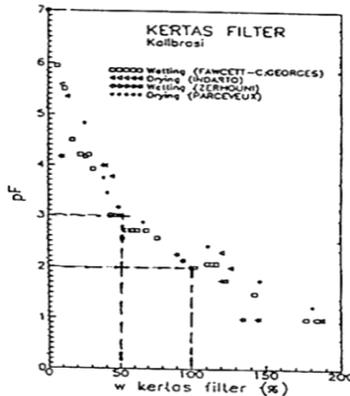
(Sumber : Braja M. Das, 2002)

### **2.3.2.3 Pengujian Angka 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 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.

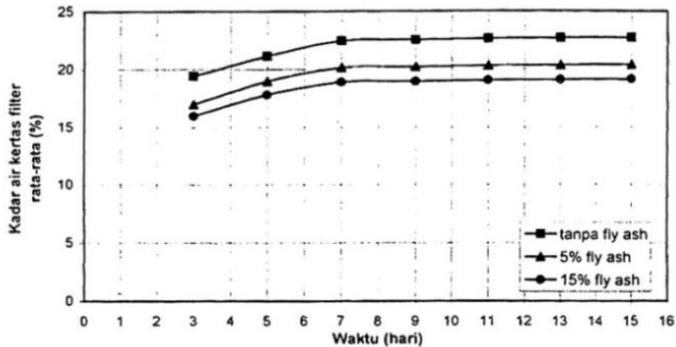
Misalnya kertas filter yang jenuh, maka tekanan air pori negatifnya adalah 0. Sedangkan pada kondisi kering sekali (kadar air = 0), tekanan air pori negatif nya mencapai -106 kPa. Untuk mengetahui tekanan air pori negatif terhadap kertas filter yang dipakai, maka setiap tahap perlu dihitung kadar air 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.



**Gambar 2.6** Kalibrasi kertas filter jenis Whatman no. 42 oleh beberapa peneliti. (Sumber : Indarto, 1995)

Pada Gambar 2.6 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<sub>2</sub>, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105<sup>0</sup>F. Sedangkan Parcevaux (1980) dan Indarto (1991) membungkusnya dengan kertas filter 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 2.7, 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.



**Gambar 2.7** Fungsi waktu dalam pemeraman benda uji terhadap keseimbangan kadar air kertas filter. (Sumber : Panjaitan, 2000)

### 2.3.3 Sifat Dinamik Tanah

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 and Drnevich, 1972).

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  $V_s$ .

$$V_s = \frac{L}{t} \dots\dots\dots (2.9)$$

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.

$$G_{maks} = \rho V^2 \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana :

$\rho$  : kerapatan massa tanah =  $\gamma/g$  (gr.dt<sup>2</sup>/cm<sup>4</sup>)

V :kecepatan rambat gelombang geser (cm/dt)

$\Gamma$  : berat volume tanah (gr/cm<sup>3</sup>)

## 2.4 Bahan-Bahan Stabilisator

### 2.4.1 Bahan Stabilisator Kapur

Kapur merupakan salah satu bahan yang digunakan untuk perbaikan tanah. Alternatif penggunaan kapur sebagai bahan perbaikan tanah merupakan suatu proses perbaikan tanah secara kimiawi.

Kapur adalah additive yang mengandung kation-kation Ca dan Mg yang mampu menetralsir sifat kembang susut tanah 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 akhirnya juga berpengaruh terhadap penambahan kekuatan tanah.

Dari penelitian sebelumnya (Wang, Matcos dan Davidsco,1963 dikutip dari Rianto, Fikriyah dan Laksito,2007) 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,1998 dikutip dari Rianto, Fikriyah dan Laksito,2007) dikatakan bahwa dengan pemakaian kapur baik bentuk powder mampu menurunkan harga Plasticity Index hingga 64%. Hal ini diperkuat dengan adanya penelitian di daerah Cepu Sudjanarko Sudirham dan Ria Asih Aryani Soemitro (1986). Dikatakan pula penambahan kapur dengan kadar 10% akan mampu mengurangi harga swelling yang relatif besar.

#### 2.4.2 Bahan Stabilisator *Fly Ash*

Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat fisik, kimia dan teknis dari *fly ash* adalah tipe batubara, kemurnian batu bara, tingkat penghancuran, tipe pemanasan dan operasi serta metoda penyimpanan dan penimbunan. Adapun komposisi kimia dan klasifikasinya seperti dapat dilihat pada Tabel 2.6

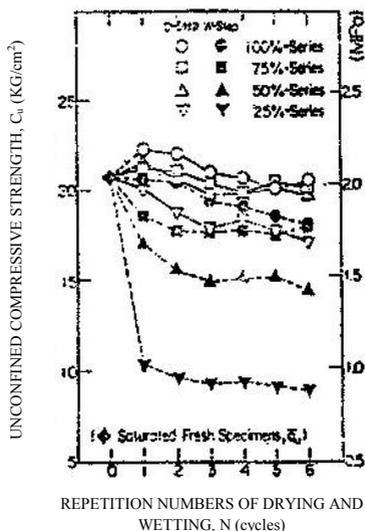
**Tabel 2.6** Komposisi dan klasifikasi *Fly Ash*

Komponen (%)	Bitumius	Subbitumins	Lignit
SiO <sub>2</sub>	20-60	40-60	15-45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5-35	20-30	20-25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	15-40
MgO	0-5	1-6	3-10
SO <sub>3</sub>	0-4	0-2	0-10
Na <sub>2</sub> O	0-4	0-2	0-6
K <sub>2</sub> O	0-3	0-4	0-4
LOI	0-15	0-3	0-5

#### 2.5 Siklus Pengeringan dan Pembasahan (*Drying-Wetting*)

Secara alamiah, siklus pengeringan-pembasahan yang berulang secara terus menerus sepanjang waktu akan mengakibatkan terjadinya perubahan pada kekuatan tanah. Maekawa dan Miyakita, menyimpulkan bahwa jumlah siklus

pengeringan-pembasahan dan tingkat pengeringan mempengaruhi kekuatan geser tanah (Gambar 2.8). Dari penelitian ini, juga menunjukkan bahwa jumlah siklus pengeringan-pembasahan memperbesar perubahan parameter tanah dan terlihat pada siklus ke 5 dan 6 parameter tanah cenderung konstan dan berusaha menunjukkan pengaruh siklus pengeringan-pembasahan dan pengulangannya terhadap kekuatan dinamik tanah.



**Gambar 2.8**

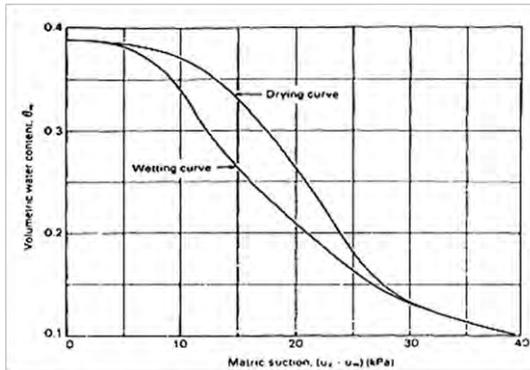
Hubungan antara *unconfined compressive strength* dan pengulangan siklus pengeringan-pembasahan. (Sumber:Maekawa dan Miyakita, 1991)

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 2.9 menunjukkan adanya hubungan antara

nilai tegangan air pori negatif (*suction*) dan kadar air pada suatu tanah yang membentuk suatu pola *hysteresis* 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 (Fredlund dan Rahardjo, 1993).



**Gambar 2.9** Bentuk khas kurva pengeringan dan pembasahan. (Sumber : Fredlund dan Raharjo, 1993)

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

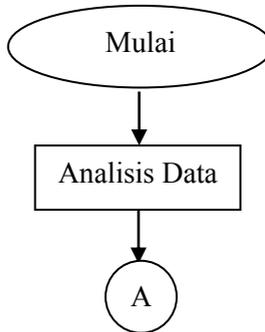
### **3.1 Pendahuluan**

Penelitian Tugas Akhir ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh proses pengeringan pembasahan pada tanah permukaan sehingga diketahui karakteristik fisik dan dinamik dari tanah tersebut. Penelitian ini menggunakan benda uji dari tanah permukaan dan dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Tanah Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

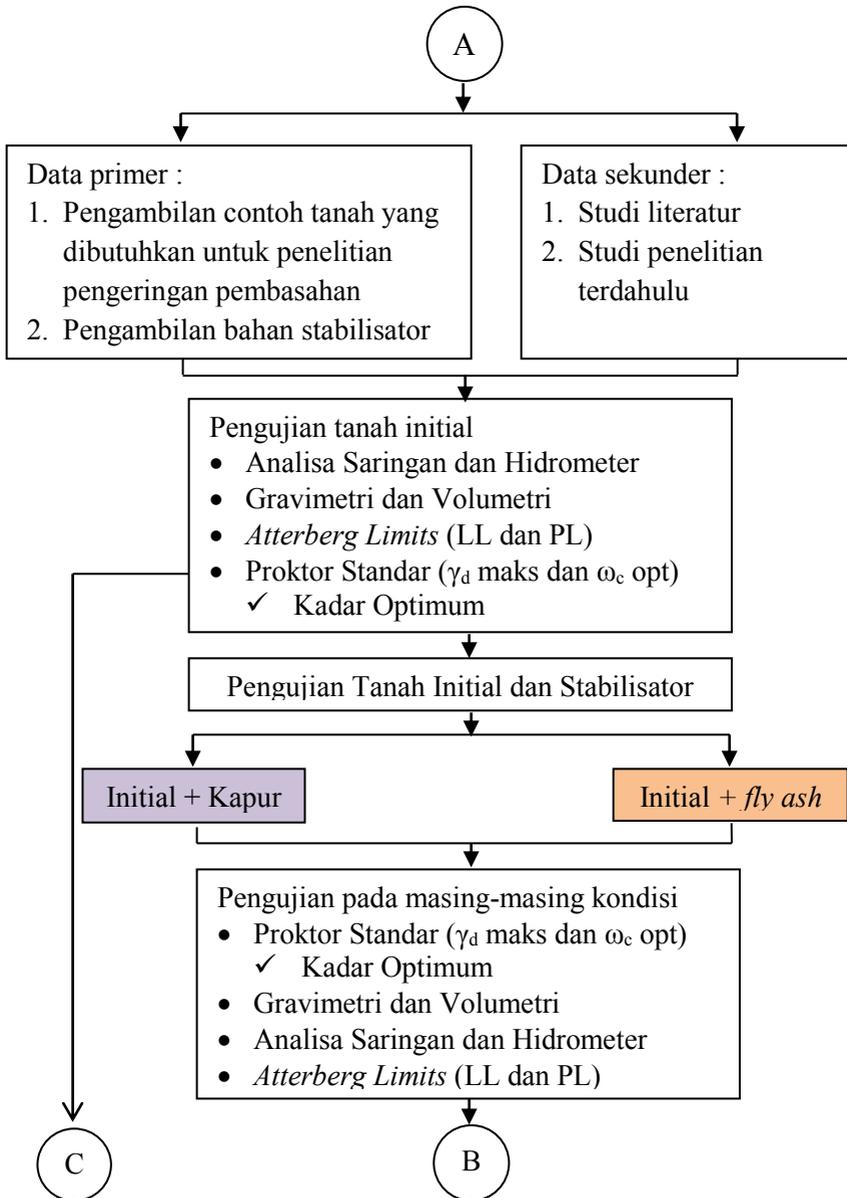
Pada dasarnya, metodologi penelitian yang dilakukan peneliti dapat dibedakan menjadi tiga tahapan utama, yaitu tahap persiapan, tahap pengumpulan dan pengolahan data, serta tahap analisa dan kesimpulan. Secara skematis, metodologi penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 3.1.

### **3.2 Bagan Alir Penelitian**

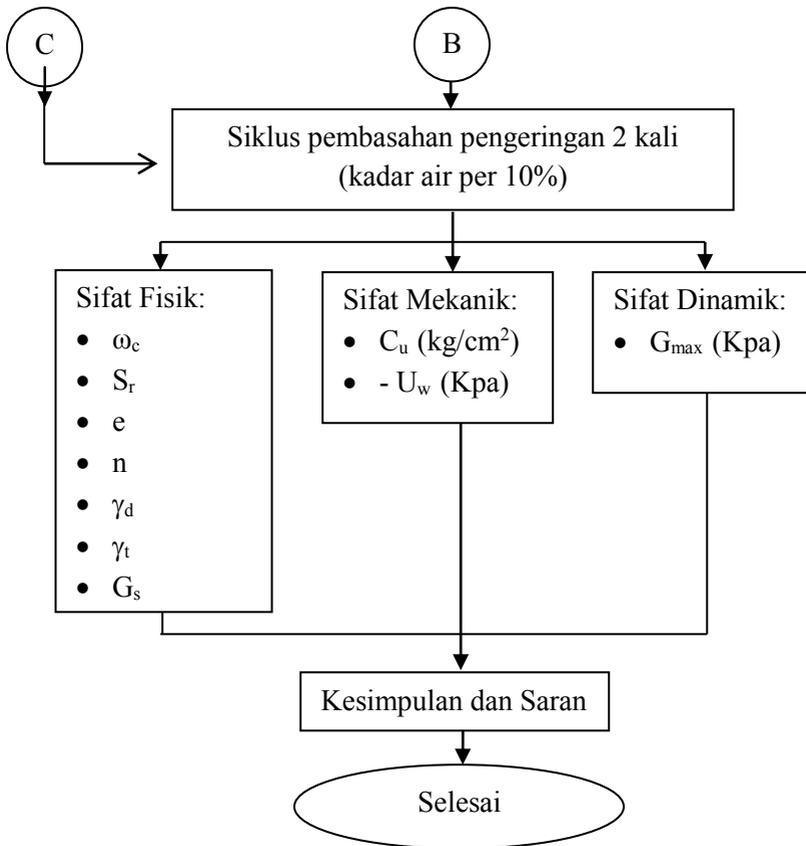
Tahapan penyelesaian tugas akhir ini dapat dilihat pada bagan alir di bawah ini.



**Gambar 3.1.a** Bagan Alir Penelitian (*bersambung*)



**Gambar 3.1.b** Bagan Alir Penelitian (*bersambung*)



Keterangan :

1. Mutiara andini :

2. Raisa yunanda :

**Gambar 3.1.c** Bagan Alir Penelitian

### **3.3 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 dan data stabilisator.

### **3.4 Pengujian Sampel**

Pengujian sampel dilakukan dengan mengambil sampel tanah yang didatangkan dari kota Batu. Kemudian penelitian dilakukan dengan dua perlakuan, yakni natural dan dicampur dengan bahan-bahan stabilisator berupa *fly ash* dan kapur.

#### **3.4.1 Pengujian Sample Inisial**

Pengujian pada tahap ini dilakukan terhadap tanah natural beserta tanah natural ditambah dengan bahan-bahan kimia berupa *fly ash* dan kapur tanpa adanya proses pengeringan pembasahan.

#### **3.4.2 Pengujian Sample dengan Siklus Pembasahan Pengeringan**

Pengujian pada tahap ini dilakukan terhadap tanah natural beserta tanah natural ditambah dengan bahan-bahan kimia berupa *fly ash* dan kapur dengan menggunakan proses pembasahan pengeringan.

Proses pembasahan pengeringan dilakukan dengan dua siklus, penambahan kadar air dilakukan per 10%.

### **3.5 Pengujian Laboratorium**

Pengujian laboratorium dilakukan terhadap kondisi inisial dan kondisi yang telah dilakukan proses siklus pembasahan pengeringan. Pengujian laboratoriumnya dapat berupa beberapa tahap berikut ini :

#### **3.5.1 Pengujian Sifat Fisik**

Pengujian sifat-sifat fisik dilakukan pada tanah asli dan tanah yang ditambah bahan stabilisator dengan menggunakan alat

uji standar di laboratorium Teknik Sipil. Pengujian sifat fisik tanah meliputi :

**a. Uji *Specific Gravity***

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis (*specific gravity*) dari suatu contoh tanah. Acuan standar yang digunakan pada pengujian berat jenis tanah ini adalah ASTM D 854-72. Nilai *specific gravity* (*G<sub>s</sub>*) yang diperoleh akan membantu dalam mengklasifikasikan tanah yang diuji.

**b. Uji Kadar Air ( *Water Content* )**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kadar air sampel tanah. Acuan standar yang digunakan pada pengujian kadar air tanah ini adalah ASTM D 2216-71.

**c. Uji *Atterberg Limit***

Acuan standar yang digunakan pada pengujian *Atterberg Limits* ini adalah ASTM D 4318-89. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan harga dari batas-batas konsistensi tanah. Batas-batas konsistensi tersebut adalah :

- Batas Cair (*Liquid Limit*)

Merupakan kondisi kadar air dimana ketika suatu tanah berubah dari keadaan cair ke keadaan padat. Pengujian ini menggunakan standar ASTM D 432-66.

- Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Merupakan kondisi kadar air minimum dimana ketika tanah masih dalam keadaan plastis. Pengujian ini menggunakan standar ASTM D 424-74.

Dari nilai batas-batas tersebut dapat diketahui nilai Indeks Plastisitas yaitu nilai nilai batas cair (LL) dikurangi nilai batas plastis (PL).

**d. Uji Analisa Saringan dan Hidrometer**

Acuan standar yang digunakan pada pengujian analisa saringan ASTM D 422-63 dan hidrometer ASTM D 1140-54. Kedua pengujian ini dilakukan untuk mengetahui gradasi ukuran butiran tanah.

### 3.5.2 Pengujian Sifat Mekanik Tanah

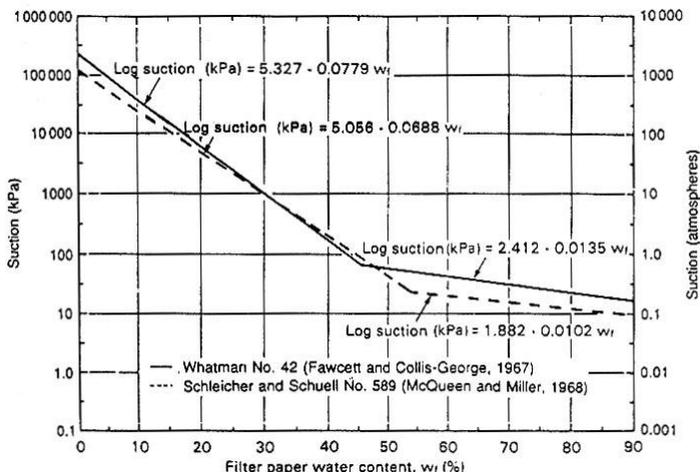
Tanah asli dan tanah yang dicampur dengan bahan stabilisator diuji terhadap sifat-sifat mekanik tanahnya dengan menggunakan alat uji standar di laboratorium Teknik Sipil. Pengujian sifat mekanik tanah meliputi:

#### a. Pengujian *Proctor Standar*

Pengujian pemadatan dengan *proctor standar* dilakukan pada benda uji tanah asli yang ditambah bahan stabilisator untuk mendapatkan kurva pemadatan, yaitu hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dan berat volume kering tanah ( $\gamma_d$ ). Pengujian ini menggunakan acuan standar ASTM D 698-70. Berdasarkan kurva pemadatan tersebut dapat ditentukan harga  $\gamma_{dmax}$  (*maximum dry density*, MDD) dan  $\omega_{opt}$  (*optimum moisture content*, OMC). Campuran tanah dan stabilisator dalam kondisi  $\omega_{opt}$  dan  $\gamma_{dmax}$  tersebut akan digunakan dalam pengujian *drying-wetting*.

#### b. 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 pada 1/3 dari panjang benda uji Triaksial. 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, yaitu 4 hari. Kurva tersebut menggambarkan hubungan antara kadar air kertas filter dengan tegangan air pori negatif (Gambar 3.2). Atau, dengan menggunakan persamaan 3.1 dan 3.2 (Fawcett dan Collis, 1967), yaitu:



**Gambar 3.2** Kurva kalibrasi kertas filter jenis Whatman no. 42 dan jenis Schleicher dan Schuell no. 589 (Sumber: Fredlund dan Rahardjo, 1993)

$$\text{Log suction (kPa)} = 5,327 - 0,0779 wf \dots\dots\dots (3.1)$$

untuk  $0\% \leq wf \leq 45\%$

$$\text{Log suction (kPa)} = 2,412 - 0,0135wf \dots\dots\dots (3.2)$$

untuk  $wf \geq 45 \%$

dengan:  $wf$  = kadar air kertas filter jenis Whatman no. 42

### 3.5.3 Pengujian Sifat Dinamik Tanah

Penelitian parameter dinamik dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat uji Elemen Bender (*Bender Element Test*) pada benda uji tanah asli dan tanah yang dicampur dengan bahan stabilisator. 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.



(Sumber : Penelitian)

**Gambar 3.3** Alat Uji Elemen Bender

Alat uji elemen bender terdiri atas beberapa komponen utama, meliputi: *power switch*, *selector XYZ*, *amplifier*, *receiver port*, *transmitter port*, *usb port*, *ground*, *trigger*, *output* dan *power source*.

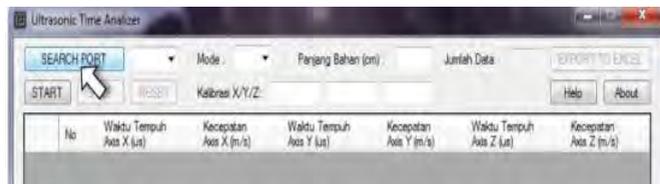
Proses pengujian parameter dinamik dilakukan dengan menggunakan pengukuran melalui komputer menggunakan software *Ultrasonic Time Analyzer*.

Langkah – langkah pengukuran disebutkan sebagai berikut:

- a. Persiapkan sampel uji, sampel dapat dibuat berbentuk silinder dengan diameter 3-4 cm dan tinggi 3-10 cm. Usahakan permukaan alas dan atas sampel (yang akan ditempelkan pada *transducer*) memiliki permukaan yang rata.
- b. Hubungkan *Port USB* perangkat *Electronic Unit* ke komputer dan kabel *Power Source* ke jaringan listrik.
- c. Pastikan bahwa *selector XYZ* berada pada posisi OFF.
- d. Nyalakan tombol *power* pada *Electronic Unit*.
- e. Buka software *Ultrasonic Time Analyzer* (UTA).



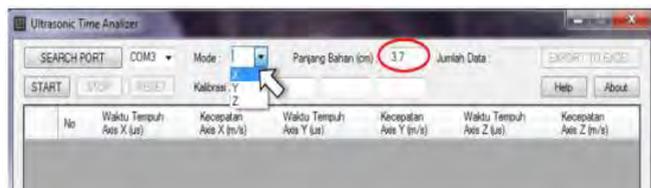
- f. Cari Port USB yang digunakan dengan menekan tombol SEARCH PORT pada software UTA.



- g. Pilih Port yang aktif atau yang digunakan oleh perangkat.



- h. Pilih mode pengukuran yang digunakan (X, Y atau Z). Sesuaikan pemilihan mode antara Electronic Unit dan software UTA.



- i. Isi panjang bahan.  
 j. Kalibrasikan alat kalibrasi dilakukan untuk mendapatkan koreksi agar hasil pengukuran yang diperoleh dapat sesuai dengan nilai yang sebenarnya. Kalibrasi dilakukan dengan

batang logam aluminium. Kecepatan rambat gelombang bunyi (gelombang mekanik) pada bahan ini adalah 5100 m/s, sehingga untuk batang aluminium sepanjang 3.7 cm yang telah tersedia, waktu tempuh gelombang yang terukur seharusnya adalah 7.3  $\mu$ s, dengan mengetahui nilai ini maka factor koreksi dapat ditentukan.

The screenshot shows the Ultrasonic Time Analyzer software interface. At the top, it displays 'SEARCH PORT: COM4', 'Mode: Z', 'Panjang Bahan (cm): 2.6', and 'Jumlah Data: 5'. Below this are buttons for 'START', 'STOP', 'RESET', and 'EXPORT TO EXCEL'. A table below shows measurement data for five trials. The table has columns for 'No', 'Waktu Tempuh Ass X ( $\mu$ s)', 'Kecepatan Ass X (m/s)', 'Waktu Tempuh Ass Y ( $\mu$ s)', 'Kecepatan Ass Y (m/s)', 'Waktu Tempuh Ass Z ( $\mu$ s)', and 'Kecepatan Ass Z (m/s)'. The data rows are as follows:

No	Waktu Tempuh Ass X ( $\mu$ s)	Kecepatan Ass X (m/s)	Waktu Tempuh Ass Y ( $\mu$ s)	Kecepatan Ass Y (m/s)	Waktu Tempuh Ass Z ( $\mu$ s)	Kecepatan Ass Z (m/s)
1	115	226.09	132	196.97	139	187.05
2	115	226.09	131	198.47	140	185.71
3	116	204.14	127	204.72	140	185.71
4	115	226.09	130	200.00	139	187.05
5	114	228.97	130	200.00	142	183.10

Faktor kalibrasi diperoleh dengan mencari selisih antara waktu tempuh gelombang pada batang aluminium menurut teori (7.3  $\mu$ s) dan waktu yang terukur.

$$\text{Factor Kalibrasi} = 7.3 \mu\text{s} - (\text{rata-rata waktu terukur})$$

Misal untuk mode X contoh diatas, diperoleh rata-rata waktu tempuh 115  $\mu$ s maka factor kalibrasinya adalah:

$$\text{Factor Kalibrasi} = 7.3 \mu\text{s} - 115 \mu\text{s} = - 108 \mu\text{s}$$

Dengan cara yang sama, factor kalibrasi untuk mode Y dan Z dapat dicari.

- k. Setelah benda uji diletakkan pada posisi yang benar dan alat telah diatur dengan sempurna, lakukan pengukuran perambatan gelombang geser. Waktu tempuh gelombang geser dapat di baca di komputer. Dengan mengetahui waktu tempuh ( $\Delta_t$ ), maka kecepatan rambat gelombang pada benda uji dapat ditentukan, selanjutnya modulus geser ( $G_{maks}$ ) dapat dihitung.



(Sumber : Penelitian)

**Gambar** Error! No text of specified style in document.**4** Posisi Benda Uji Dalam Proses Pengukuran

- Berikut adalah contoh hasil pengukuran sampel tanah dengan factor kalibrasi yang telah diperoleh

No	Waktu Tempuh Aks X (µs)	Kecapatan Aks X (m/s)	Waktu Tempuh Aks Y (µs)	Kecapatan Aks Y (m/s)	Waktu Tempuh Aks Z (µs)	Kecapatan Aks Z (m/s)
1	22	1.181.82	12	2.166.67	19	1.368.42
2	22	1.181.82	16	1.625.00	20	1.300.00
3	21	1.238.10	19	1.368.42	20	1.300.00
4	21	1.238.10	19	1.368.42	26	1.000.00
5	20	1.300.00	16	1.625.00	21	1.238.10
6	20	1.300.00	17	1.529.41	21	1.238.10
7	21	1.238.10	18	1.444.44	19	1.368.42
8	21	1.238.10	16	1.625.00	20	1.300.00
9	21	1.238.10	16	1.625.00	19	1.368.42
10	21	1.238.10	16	1.625.00	21	1.238.10
11	21	1.238.10	16	1.625.00	19	1.368.42

### 3.6 Proses Pengeringan dan Pembasahan

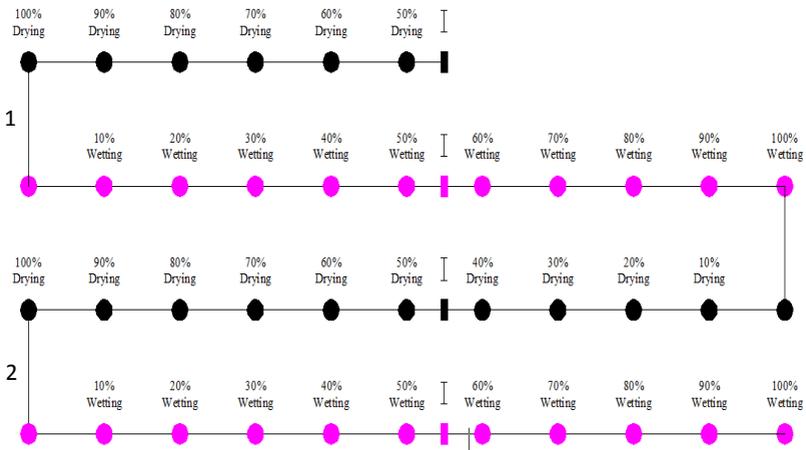
Benda uji yang diuji pada proses pengeringan (*drying*) - pembasahan (*wetting*) adalah tanah asli dan komposisi optimum dari tanah yang ditambah dengan bahan stabilisator. Pengujian ini dilakukan secara bertahap berdasarkan persentase pengurangan dan penambahan kadar air pada siklus ke- 1 dan ke 2. Pengkondisian pengurangan dan penambahan air ditentukan dari

fungsi selisih antara kadar air jenuh ( $\omega_{sat}$ ) dengan kadar air kering 100 % ( $\omega_{dry100\%}$ ) yang didapatkan dari pengeringan selama 7 hari kering udara dan 7 hari kering oven 30° C, perumusan dapat ditulis  $\omega_{sat} - \omega_{dry100\%}$  .

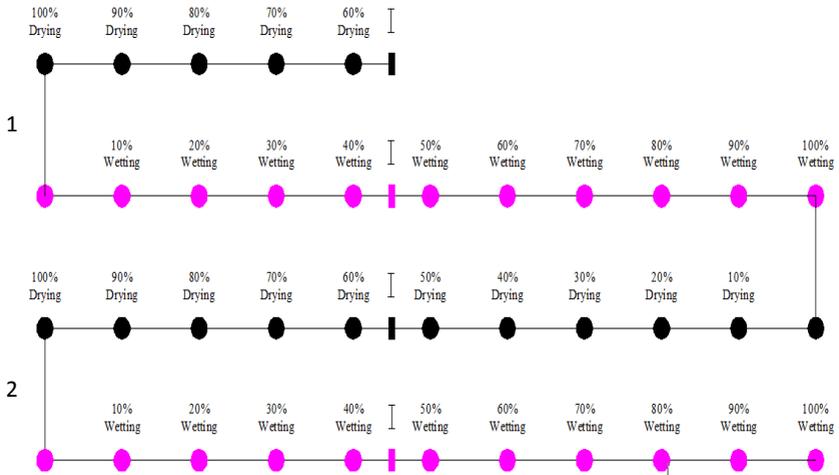
Pada proses pengeringan, benda uji pada kondisi inisial dikeringkan secara bertahap hingga mencapai kadar air 100% ( $\omega_{dry100\%}$ ). Sedangkan pada proses pembasahan, benda uji pada kondisi  $\omega_{dry100\%}$  dijenuhkan secara bertahap dengan penambahan air hingga mencapai ( $\omega_{sat}$ ).

Pada proses pengeringan dan pembasahan untuk kondisi tanah inisial pada tanah natural yang ditambah stabilisator, tanah yang digunakan dalam keadaan  $W_{optimum}$  yang didapat dari pengujian proctor.

Untuk pengukuran tegangan air pori negatif, kertas filter tipe Whatman no. 42 diletakkan pada setiap benda uji baik gravol, elemen bender dan UCS dengan penambahan 1 cm tanah diatas setiap benda uji.



**Gambar 3.5** Skema proses pengeringan dan pembasahan berulang pada tanah natural



**Gambar 3.6** Skema proses pengeringan dan pembasahan berulang pada tanah natural + 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° C selama 7 hari. Jadi total hari untuk mendapatkan nilai kadar air pada saat drying 100% adalah 14 hari, sehingga didapat  $w_{dry} = 18,034\%$ . Sedangkan untuk mendapatkan nilai kadar air pada saat kondisi wetting 100% adalah sebagai berikut:

Diketahui nilai	$e$	$= 1,376$
	$G_s$	$= 2,327$
	$S_r$	$= 100\%$

Jadi,  $s_r \times e = \omega_{sat} \times G_s$

$$\begin{aligned}
 w_{sat} &= \frac{e}{G_s} \times 100\% \\
 &= \frac{1,376}{2,327} \times 100\% \\
 &= 59,133\%
 \end{aligned}$$

Maka kadar air tanah inisial kondisi wetting 100% adalah 59,133%.

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. Kemudian selisih kadar air tersebut akan dibagi sepuluh dikarenakan rencana titik kadar air dari drying 100% sampai wetting 100% adalah 11 titik. Penjelasan selengkapnya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui nilai } \omega_{\text{dry}} &= 18,034 \\
 \omega_{\text{sat}} &= 59,133\% \\
 \text{selisih kadar air} &= \omega_{\text{sat}} - \omega_{\text{dry}} \\
 &= 41,099\% \\
 \text{Sehingga,} \\
 \text{selisih kadar air tiap titik} &= \frac{41,099}{210} \\
 &= 4,1099\%
 \end{aligned}$$

Maka, didapat selisih kadar air untuk setiap titik adalah 4,1099%.

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

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui } \text{berat total (} W_t \text{)} &= 35,424 \text{ gr} \\
 \text{Kadar air (} \omega_c \text{)} &= 42,238\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga,} \\
 \omega_c &= \frac{W_w}{W_t - W_w} \times 100\% \\
 42,238 &= \frac{W_w}{35,424 - W_w} \times 100\% \\
 W_w &= 10,519 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat kering benda uji (} W_s \text{)} &= W_t - W_w \\
 &= 35,424 - 10,519 \\
 &= 24,905 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

Maka, didapat berat kering benda uji tanah natural adalah 24,905 gr.

## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan terhadap tanah yang berada di lereng Desa Sumber Aji Kota Batu - Malang. Penelitian tanah ini dilakukan di laboratorium mekanika tanah Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya. Parameter-parameter tanah hasil pengujian yang dibahas meliputi: pengaruh siklus pembasahan dan pengeringan terhadap perubahan parameter fisik, mekanik dan dinamik tanah yang distabilisasi dengan kapur dan *fly ash*. Perubahan sifat fisik yang terjadi akibat pengaruh siklus pembasahan dan pengeringan yang akan dibahas terdiri dari: perubahan kadar air ( $\omega_c$ ), kepadatan kering tanah ( $\gamma_d$ ), derajat kejenuhan ( $S_r$ ), dan angka pori ( $e$ ). Untuk sifat mekanik meliputi: kohesi ( $c$ ) dan tegangan air pori negative ( $-U_w$ ). Sedangkan sifat dinamik yang dibahas adalah modulus geser ( $G_{max}$ ).

### 4.1 Hasil Pengujian Karakteristik Tanah Natural

Hasil pengujian karakteristik tanah natural dapat dilihat dalam tabel berikut ini.

**Tabel 4.1.** Hasil pengujian karakteristik tanah

Pengujian	Tanah Natural (Undisturbed)	Tanah Natural (Disturbed)
<b>Analisa Saringan dan Hidrometer</b>		
- Fraksi Kerikil ( <i>Gravel</i> )	0 %	0 %
- Fraksi Pasir ( <i>Sand</i> )	41.35 %	42.12 %
- Fraksi Lanau (silt)	52.05 %	52.64 %
Lempung ( <i>Clay</i> )	6.59 %	5.24 %

<b>Indeks Konsistensi</b>		
- Batas Cair (LL)	49 %	48.3 %
- Batas Plastis (PL)	39.010 %	38.325 %
- Indeks Plastis (PI)	9.990 %	9.975 %
<b>Spesifik Gravity (Gs)</b>	2.327	2.330
<b>Klasifikasi Tanah</b>		
- USCS	ML	ML
- AASHTO	A – 5	A – 5

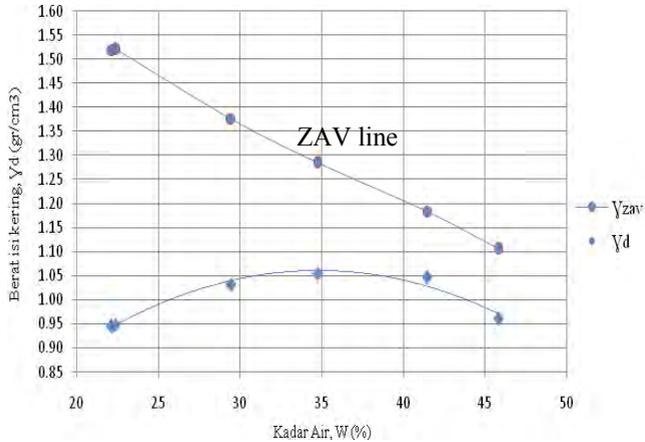
(Sumber: Hasil penelitian)

## 4.2 Hasil Pengujian Pemadatan Standar

Pengujian pemadatan standar menunjukkan hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dengan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ), untuk mendapatkan tingkat kepadatan kering maksimum (*maximum dry density*) dan kadar air optimum (*optimum moisture content*).

### 4.2.1 Tanah Natural

Dari hasil pengujian pemadatan standar untuk tanah natural yang berada di lereng Desa Sumber Aji Kota Batu - Malang didapat nilai kepadatan maksimum sebesar  $1.06 \text{ gr/cm}^3$  dan nilai kadar air optimum sebesar 34.5%, dapat dilihat pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah natural.  
(Sumber: Hasil Penelitian).

#### 4.2.2 Tanah Natural + Kapur

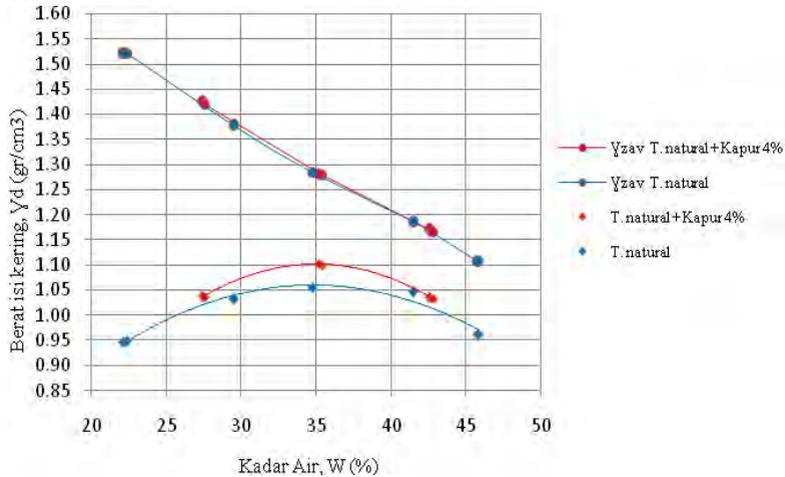
Hasil pengujian pemadatan terhadap tanah yang berasal dari lereng Desa Sumber Aji Kota Batu - Malang yang dicampur dengan 2%, 4%, dan 6% kapur dengan masa pemeraman masing-masing selama 7 hari, kemudian dilakukan pemadatan standar. Hasil pengujiannya dapat dilihat pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2.** Hasil pengujian pemadatan standar tanah Natural + kapur.

Kadar Kapur	$\gamma_d$ maks. (gr/cm <sup>3</sup> )	$\omega_c$ opt. (%)
2 %	1.090	35.7
4 %	1.101	35
6 %	1.070	34.4

(Sumber: Hasil Penelitian)

Dari tabel 4.2 dapat dilihat kadar kapur paling optimum yang digunakan adalah tanah natural + 4% kapur dengan nilai kepadatan maksimum sebesar 1.101 gr/cm<sup>3</sup> dan nilai kadar air optimum sebesar 35%, dapat dilihat juga pada gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Hasil pengujian pemadatan standar pada Tanah natural + 4% kapur.  
(Sumber: Hasil Penelitian).

#### 4.2.3 Tanah Natural + *Fly Ash*

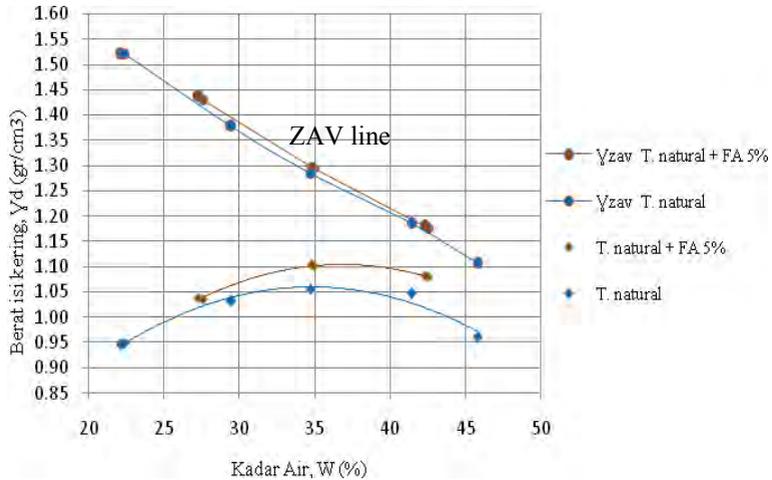
Hasil pengujian pemadatan terhadap tanah yang berasal dari lereng Desa Sumber Aji Kota Batu - Malang yang dicampur dengan 5%, 10%, dan 15% *fly ash* dengan masa pemeraman masing-masing selama 2 hari, kemudian dilakukan pemadatan standar. Hasil pengujiannya dapat dilihat pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah natural + *fly ash*.

Kadar <i>Fly Ash</i>	$\gamma_d$ maks. (gr/cm <sup>3</sup> )	$\omega_c$ opt. (%)
5 %	1.105	36.3
10 %	1.097	35.5
15 %	1.072	34.7

(Sumber: Hasil Penelitian)

Dari tabel 4.3 dapat dilihat kadar *fly ash* paling optimum yang digunakan adalah tanah natural + 5% *fly ash* dengan nilai kepadatan maksimum sebesar 1.105 gr/cm<sup>3</sup> dan nilai kadar air optimum sebesar 36.3%, dapat dilihat juga pada gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah + 5% *fly ash*.  
(Sumber: Hasil Penelitian)

#### 4.3 Hasil Pengujian Karakteristik Tanah yang Distabilisasi dengan Kapur dan *Fly Ash*

Hasil pengujian karakteristik tanah yang distabilisasi kapur dan *fly ash* dengan kadar optimum yang didapatkan dari hasil pemadatan standar dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 4.4.** Hasil pengujian karakteristik tanah

Pengujian	Jenis Tanah	
	T. Natural + 4% kapur ( 7 hari peram )	T. Natural + 5% <i>fly ash</i> ( 2 hari peram )
<b>Analisa Saringan dan Hidrometer</b> - Fraksi Kerikil ( <i>Gravel</i> ) - Fraksi Pasir ( <i>Sand</i> ) - Fraksi Lanau (silt) Lempung ( <i>Clay</i> )	0 % 49.65 % 45.89 % 4.46 %	0 % 51.84 % 44.97 % 3.18 %
<b>Indeks Konsistensi</b> - Batas Cair (LL) - Batas Plastis (PL) - Indeks Plastis (PI)	41 % 32.328 % 8.672 %	41.8 % 32.199 % 9.601 %
<b>Spesifik Gravity (Gs)</b>	2.403	2.459
<b>Klasifikasi Tanah</b> - USCS - AASHTO	ML A – 4	ML A – 5

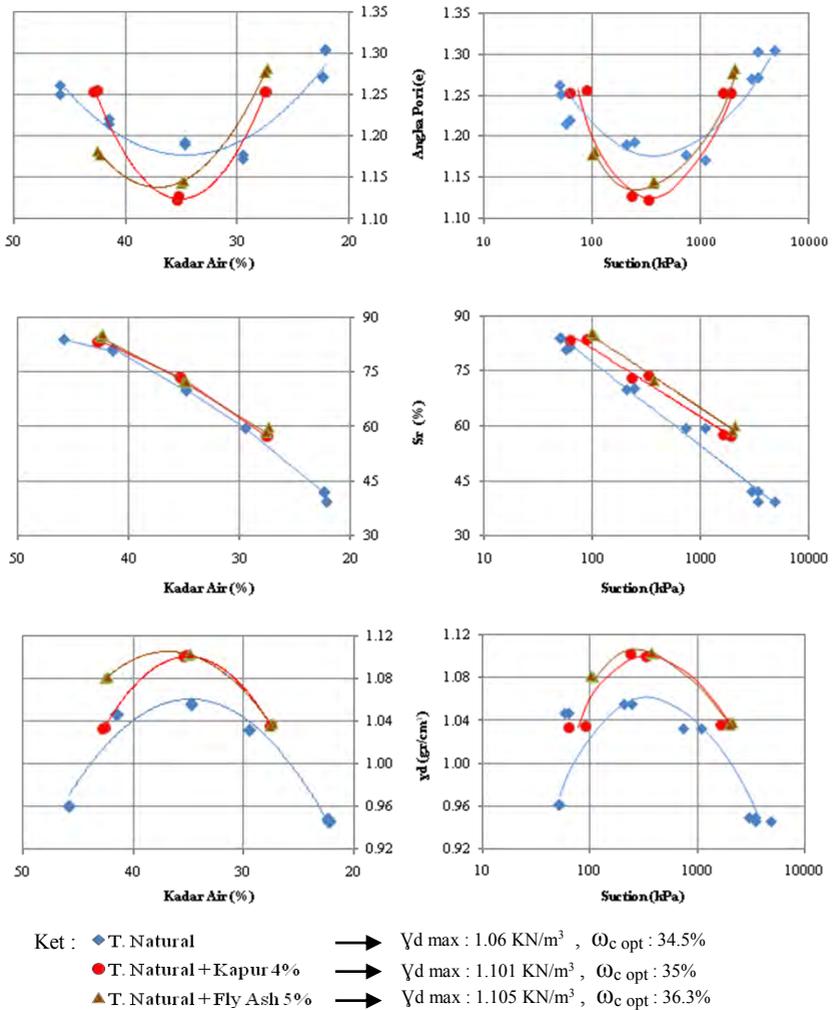
(Sumber: Hasil penelitian)

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa tanah yang distabilisasi menggunakan kapur dan *fly ash* mengakibatkan perubahan distribusi ukuran tanah dan indeks konsistensi tanah dari tanah lereng Desa Sumber Aji Kota Batu - Malang . Berdasarkan hasil gradasi ukuran butir, persentase fraksi pasir tanah yang distabilisasi cenderung semakin bertambah dan persentase fraksi lanau-lempung cenderung menurun dibandingkan tanah natural. Hal ini membuktikan bahwa tanah yang distabilisasi menggunakan bahan-bahan stabilisasi di atas bisa memperbaiki distribusi ukuran butir dari tanah natural.

Berdasarkan hasil indeks konsistensi tanah, terjadi penurunan nilai batas cair (LL) dan plastisitas indeks (PI) pada tanah yang telah distabilisasi dibandingkan dengan tanah natural. Hal ini membuktikan bahwa adanya perbaikan sifat-sifat fisik tanah pada tanah yang telah distabilisasi.

#### **4.4 Analisa Hasil Uji Proctor Standar pada Tanah Natural dan Tanah yang Distabilisasi dengan Kapur dan *Fly Ash***

Berikut adalah grafik hubungan dari uji tegangan air pori negatif, gravimetri, volumetri dan uji proctor standar pada kondisi optimum pemadatan standar dari tanah natural dan tanah yang distabilisasi.



**Gambar 4.4** Hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, kepadatan kering dan tegangan air pori negatif hasil pengujian proctor standar pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi (Sumber: Hasil Penelitian)

Keterangan Gambar 4.4 : (A) hubungan angka pori dengan kadar air, (B) hubungan angka pori dengan tegangan air pori negative, (C) hubungan derajat kejenuhan dengan kadar air, (D) hubungan derajat kejenuhan dengan tegangan air pori negatif, (E) hubungan berat volume kering dengan kadar air, (F) hubungan berat volume kering dengan tegangan air pori negative.

#### **4.4.1 Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.4A memperlihatkan kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori pada tanah natural, tanah natural + 4% kapur, dan tanah natural + 5% *fly ash*. Tampak bahwa untuk kadar air yang sama, tanah natural memiliki angka pori yang lebih besar dibanding dengan tanah yang distabilisasi. Pada kondisi natural dengan kadar air  $\pm 35\%$ , tanah natural memiliki angka pori sebesar 1,182 dan tanah yang distabilisasi dengan 5% *fly ash* berkurang menjadi 1,145 serta tanah yang distabilisasi dengan 4% kapur berkurang menjadi 1.129. 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 distabilisasi memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan benda uji natural. Pada kasus ini kepadatan yang paling tinggi terdapat pada benda uji yang distabilisasi dengan kapur.

#### **4.4.2 Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Angka Pori ( $e$ )**

Gambar 4.4B memperlihatkan kurva hubungan antara angka pori dengan tegangan air pori negatif pada tanah natural, tanah natural + 4% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash*. Dalam gambar 4.4B ditunjukkan bahwa untuk tegangan air pori negatif yang sama, angka pori tanah natural lebih besar dibanding dengan angka pori tanah yang distabilisasi. Peristiwa hidrasi mengakibatkan berkurangnya berat air dan bertambahnya berat dan 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 akan mengakibatkan mengecilnya angka pori. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan sifat-sifat fisik tanah juga dipengaruhi tegangan air pori negatif.

#### **4.4.3 Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.4C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan pada tanah natural, tanah natural + 4% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash*. Dari gambar 4.4C terlihat bahwa kadar air dengan derajat kejenuhan berbanding lurus, yaitu semakin besar kadar air semakin meningkat derajat kejenuhannya. Gambar 4.4C juga menunjukkan bahwa sebagai contoh untuk kadar air  $\pm 35\%$ , tanah natural memiliki derajat kejenuhan  $\pm 71.434\%$ , tanah natural + 4% kapur memiliki derajat kejenuhan  $\pm 73.878\%$  dan tanah natural + 5% *fly ash* memiliki derajat kejenuhan  $\pm 73.517\%$ . Dari contoh tersebut menunjukkan bahwa tanah natural yang telah distabilisasi, derajat kejenuhannya meningkat. Hal ini disebabkan oleh menurunnya volume pori, karena volume pori dan volume air merupakan rasio dari derajat kejenuhan ( $S_r = V_w/V_v$ ).

#### **4.4.4 Hubungan antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )**

Gambar 4.4D adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan pada tanah natural, tanah natural + 4% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash*. Dari gambar 4.4D terlihat bahwa tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin besar tegangan air pori negatif semakin menurun derajat kejenuhannya. Gambar 4.4D juga menunjukkan pada tegangan air pori negative yang sama, benda uji yang distabilisasi memiliki derajat kejenuhan lebih tinggi dari pada benda uji natural. Hal ini kemungkinan disebabkan terjadinya peristiwa hidrasi yang menghasilkan

penambahan butiran solid dan pengurangan volume pori. Dikarenakan derajat kejenuhan adalah rasio antara volume air dengan volume pori ( $S_r = V_w/V_v$ ), maka pengurangan volume pori akan mengakibatkan derajat kejenuhan meningkat.

#### **4.4.5 Hubungan antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )**

Gambar 4.4E adalah kurva hubungan antara kadar air ( $\omega_c$ ) dengan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) untuk tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Kurva tersebut menunjukkan bahwa kepadatan kering tanah natural sebesar  $1.06 \text{ gr/cm}^3$ , tanah natural + 4% kapur sebesar  $1.101 \text{ gr/cm}^3$  dan tanah natural + 5% *fly ash* sebesar  $1.105 \text{ gr/cm}^3$ . Hal ini menunjukkan bahwa tanah yang di stabilisasi menggunakan bahan tambah kapur dan *fly ash* dapat meningkatkan kepadatan tanah di Desa Sumber Aji Kota Batu – Malang. Seperti yang diketahui kepadatan kering adalah rasio antara berat butiran solid dengan volume total ( $\gamma_d = W_s / V$ ), karena dengan mengasumsikan bahwa volume total konstan maka peningkatan volume butiran solid harus diiringi dengan penurunan volume pori. Implikasi dari meningkatnya berat butiran solid dan menurunnya volume pori adalah bertambah besarnya kepadatan kering.

Peningkatan kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) disebabkan oleh tanah yang telah distabilisasi memiliki struktur partikel yang lebih rapat yang dibuktikan dengan nilai angka pori yang lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural.

Perubahan lain yang terjadi yaitu pada kadar air optimum tanah natural sebesar  $\omega_{\text{copt}} = 34.5\%$ , tanah natural + 4% kapur sebesar  $\omega_{\text{copt}} = 35\%$  dan tanah natural + 15% *fly ash* sebesar  $\omega_{\text{copt}} = 36.3\%$ . pada tanah yang ditambah stabilisator kapur dan *fly ash*, untuk mencapai kepadatan maksimum memerlukan kadar air sedikit lebih banyak dari pada kadar air pada tanah natural.

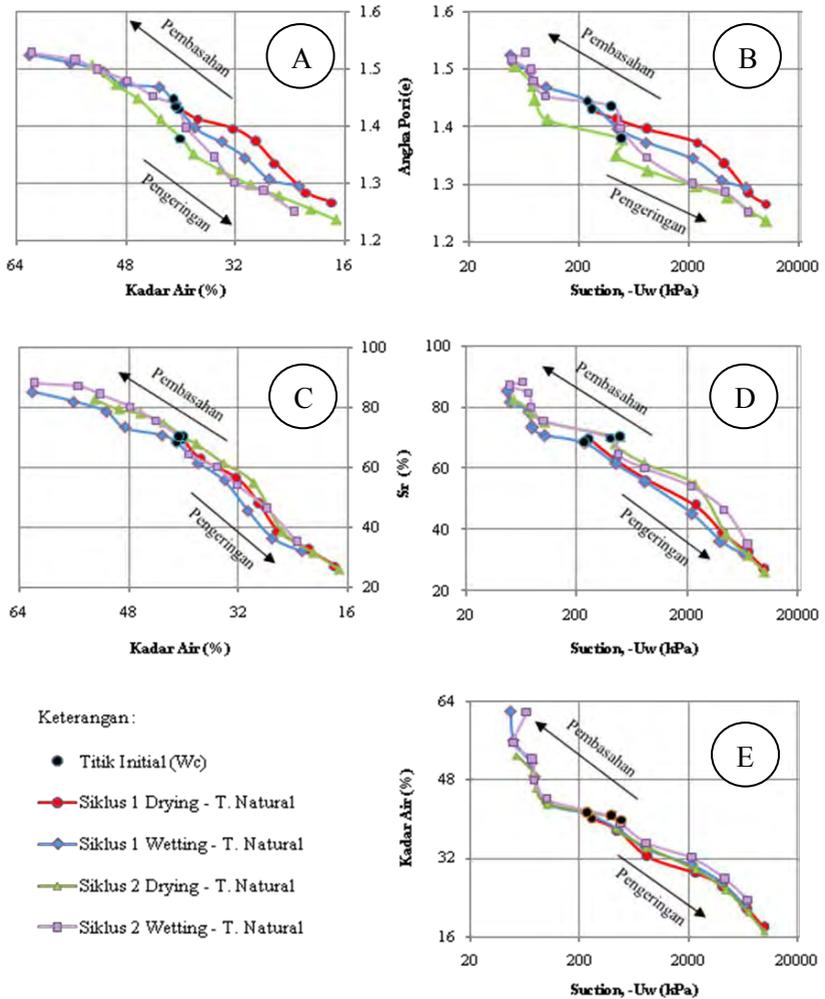
#### 4.4.6 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.4F adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan kepadatan kering untuk tanah natural dan tanah yang distabilisasi. Kurva ini juga menunjukkan bahwa pada tegangan air pori negative yang sama, benda uji yang distabilisasi memiliki kepadatan kering lebih besar dibandingkan benda uji inisial.

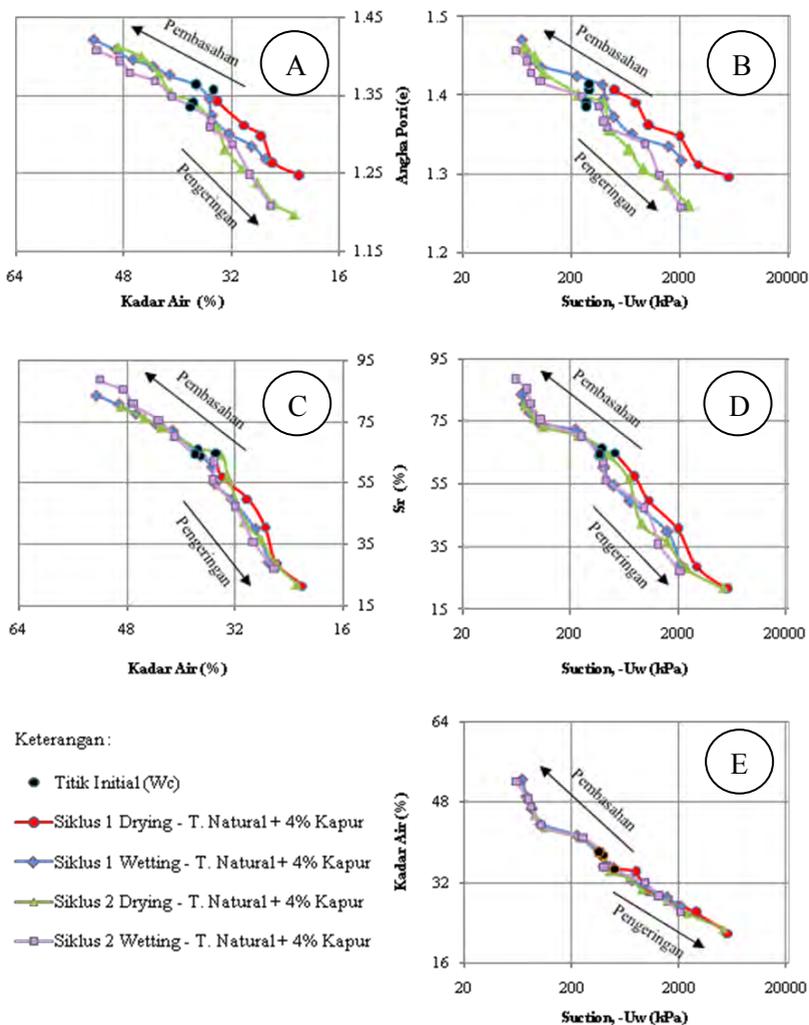
Hal ini kemungkinan disebabkan kemungkinan disebabkan karena penambahan stabilisator pada tanah natural akan membuat berat dan volume butiran solid ( $W_s$  dan  $V_s$ ) bertambah dan volume porinya berkurang. Dengan demikian, karena definisi Kepadatan kering ( $\gamma_d$ ) adalah perbandingan antara berat butiran solid dengan volume total ( $\gamma_d = W_s/V$ ) maka penambahan berat butiran solid dan pengurangan volume pori, yang berarti pengurangan volume totalnya menyebabkan meningkatnya kepadatan kering.

#### 4.5 Analisa Terhadap Benda Uji yang Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan pada Siklus Pertama dan Kedua

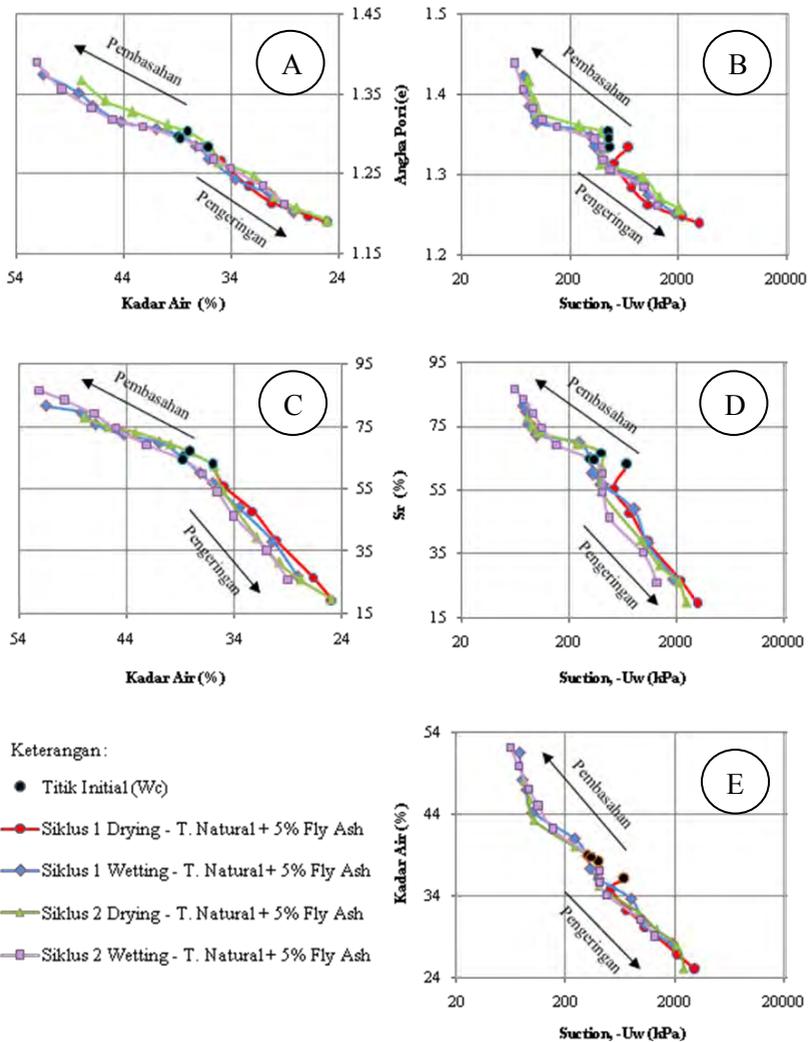
Setiap tahap pengeringan – pembasahan dilakukan uji gravimetri-volumetri ( $\omega_c$ ,  $e$ ,  $S_r$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_t$ ), uji tegangan air pori negatif ( $U_w$ ), uji *unconfined compression stress* ( $c$ ), dan elemen bender ( $G_{max}$ ). Berikut adalah grafik hubungan antara sifat fisik, mekanik, dan dinamik tanah natural dan tanah yang distabilisasi dari siklus pembasahan-pengeringan pada siklus pertama dan kedua.



**Gambar 4.5** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural  
(Sumber: Hasil Penelitian)



**Gambar 4.6** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 4% kapur (Sumber: Hasil Penelitian)



**Gambar 4.7** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural + 5% *fly ash* (Sumber: Hasil Penelitian)

Keterangan Gambar 4.5, 4.6 dan 4.7 : (A) hubungan angka pori dengan kadar air, (B) hubungan angka pori dengan tegangan air pori negative, (C) hubungan derajat kejenuhan dengan kadar air, (D) hubungan derajat kejenuhan dengan tegangan air pori negatif, (E) hubungan tegangan air pori dengan kadar air.

#### 4.5.1 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Angka Pori (e)

Gambar 4.5A, 4.6A dan 4.7A adalah kurva hubungan antara kadar air dengan angka pori untuk tanah natural, tanah natural + 4% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan pada saat proses berkurangnya kadar air dari kondisi awal (*drying*) nilai angka pori cenderung menurun. Hal ini dikarenakan tanah mengalami penyusutan yang menyebabkan angka pori tanah mengecil akibat mengecilnya volume pori. Sebaliknya, saat kadar air bertambah (*wetting*) tanah mengalami pengembangan yang menyebabkan angka pori membesar akibat besarnya volume pori.

Pada kurva tersebut menunjukkan nilai angka pori saat kondisi yang sama (ambil contoh titik inisial *wetting* 1x) pada tanah yang distabilisasi menggunakan kapur dan *fly ash* cenderung lebih kecil dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan pengaruh bahan stabilisasi diatas menyebabkan tanah lebih padat daripada tanah natural yang berarti angka pori menurun sehingga volume pori menurun. Untuk lebih memperjelas nilai angka pori diatas diperlihatkan pada tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Nilai kadar air dan angka pori pada tanah natural dan tanah yang telah distabilisasi pada kondisi yang sama.

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i> 1x	
	$\omega_c$ (%)	e
T. Natural	41.076	1.445
T. Natural + 4% Kapur	37.126	1.363
T. Natural + 5% <i>Fly Ash</i>	38.789	1.298

(Sumber: Hasil Penelitian)

Hal ini membuktikan pengaruh bahan stabilisasi diatas menyebabkan angka pori menurun sehingga bahan-bahan stabilisasi tersebut dapat memperbaiki sifat fisik pada tanah.

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

Gambar 4.5B, 4.6B dan 4.7B adalah kurva hubungan antara tegangan air pori negatif dengan angka pori untuk tanah natural, tanah natural + 4% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan bahwa semakin turun nilai angka pori nilai tegangan air pori negatif akan semakin naik. Peningkatan tegangan air pori negatif dipengaruhi oleh kadar air yang terserap oleh kertas filter whatman, semakin kecil angka pori semakin sedikit air yang terserap oleh kertas filter whatman. Semakin kecil kadar air pada kertas filter whatman akan semakin besar nilai tegangan air pori negatifnya.

Kurva tersebut menunjukkan juga bahwa tegangan air pori negatif pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial *wetting* 1x) pada tanah yang distabilisasi cenderung lebih besar dibandingkan pada tanah natural. Hal ini disebabkan karena angka pori pada tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural sehingga nilai tegangan air pori negatifnya meningkat. Untuk memperjelas nilai angka pori dan nilai tegangan air pori negatif untuk tanah natural dan tanah

yang distabilisasi pada kondisi yang sama akan diperlihatkan pada tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Nilai angka pori dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah yang telah distabilisasi pada kondisi yang sama.

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i> 1x	
	-U <sub>w</sub> (kPa)	e
T. Natural	238.003	1.445
T. Natural + 4% Kapur	387.502	1.363
T. Natural + 5% <i>Fly Ash</i>	313.941	1.298

(Sumber: Hasil Penelitian)

#### 4.5.3 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) Dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.5C, 4.6C dan 4.7C adalah kurva hubungan antara kadar air dengan derajat kejenuhan untuk tanah natural, tanah natural + 4% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan nilai derajat kejenuhan semakin meningkat jika bertambahnya kadar air, hal ini disebabkan tanah mengembang saat kadar air bertambah sehingga volume air membesar. Dimana derajat kejenuhan adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori. ( $S_r = V_w/V_v$ ) sehingga nilai derajat kejenuhan pun ikut membesar. Sebaliknya derajat kejenuhan menurun jika kadar air semakin kecil.

Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa pada kadar air yang sama nilai derajat kejenuhan pada tanah yang distabilisasi cenderung lebih besar dibandingkan dengan tanah natural. Hal ini disebabkan ruang pori tanah yang distabilisasi lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural. Sehingga pada volume air yang sama dan volume pori yang lebih kecil maka derajat kejenuhan akan lebih besar.

Akan tetapi jika dilihat pada kondisi yang sama (ambil contoh inisial *wetting*1x) nilai derajat kejenuhan tanah yang

distabilisasi lebih kecil dibandingkan dengan tanah natural. Hal ini disebabkan kadar air titik inisial *wetting* tanah natural lebih besar dibandingkan dengan tanah yang distabilisasi. Semakin besar kadar air berarti berat air dan volume air besar sehingga menyebabkan nilai derajat kejenuhan besar. Untuk memperjelas nilai derajat kejenuhan pada kondisi yang sama dapat dilihat pada tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Nilai kadar air dan derajat kejenuhan pada tanah natural dan tanah yang telah distabilisasi pada kondisi yang sama.

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i> 1x	
	$\omega_c$ (%)	$S_r$ (%)
T. Natural	41.076	68.433
T. Natural + 4% Kapur	37.126	63.987
T. Natural + 5% <i>Fly Ash</i>	38.789	65.007

(Sumber: Hasil Penelitian)

#### 4.5.4 Hubungan Antara Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.5D, 4.6D dan 4.7D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (suction) dengan derajat kejenuhan pada tanah natural, tanah natural + 4% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan bahwa tegangan air pori negatif dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin naik derajat kejenuhannya semakin turun tegangan air pori negatifnya (proses *wetting*) dan sebaliknya semakin turun derajat kejenuhannya semakin naik tegangan air pori negatifnya (proses *drying*). Untuk nilai derajat kejenuhan yang sama, nilai tegangan air pori negatif tanah natural cenderung lebih besar dibanding nilai tegangan air pori negatif tanah yang telah distabilisasi. Pada tabel 4.9 dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (ambil contoh inisial *wetting* 1x), derajat kejenuhan

tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dari tanah natural, sedangkan untuk tegangan air pori negatif tanah yang telah distabilisasi lebih besar dari tanah natural. Untuk memperjelas nilai derajat kejenuhan pada kondisi yang sama dapat dilihat pada tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Nilai derajat kejenuhan dan tegangan air pori pada tanah natural dan tanah yang telah distabilisasi pada kondisi yang sama.

Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting 1x</i> )	
	$S_r$ (%)	$-U_w$ (kPa)
T. Natural	68.433	238.003
T. Natural + 4% Kapur	63.987	387.502
T. Natural + 5% <i>Fly Ash</i>	65.007	313.941

(Sumber: Hasil Penelitian)

#### 4.5.5 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Tegangan Air Pori Negatif ( $-U_w$ )

Gambar 4.5E, 4.6E dan 4.7E adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif (suction) dengan kadar air pada tanah natural, tanah natural + 4% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash* pada siklus pertama. Kurva tersebut menunjukkan bahwa tegangan air pori negatif dengan kadar air berbanding terbalik, yaitu semakin naik kadar airnya semakin turun tegangan air pori negatifnya (proses *wetting*) dan sebaliknya semakin turun kadar airnya semakin naik tegangan air pori negatifnya (proses *drying*). Untuk kadar air yang sama, nilai tegangan air pori negatif tanah natural lebih besar dibanding nilai tegangan air pori negatif tanah yang telah distabilisasi. Pada tabel 4.10 dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (ambil contoh inisial *wetting 1x*), tegangan air pori negatif tanah yang telah distabilisasi lebih besar dari tanah natural. Untuk memperjelas nilai tegangan air pori negatif pada kondisi yang sama dapat dilihat pada tabel 4.9.

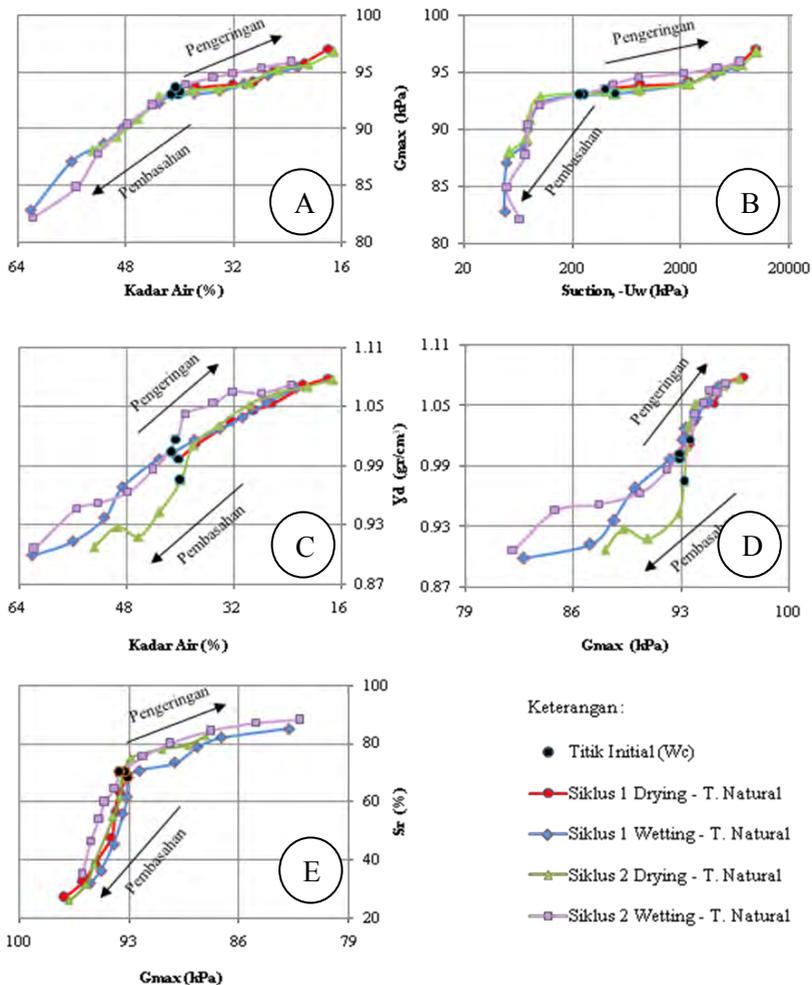
**Tabel 4.9** Nilai kadar air dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah yang telah distabilisasi pada kondisi yang sama.

Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting 1x</i> )	
	$\omega_c$ (%)	$-U_w$ (kPa)
T. Natural	41.076	238.003
T. Natural + 4% Kapur	37.126	387.502
T. Natural + 5% <i>Fly Ash</i>	38.789	313.941

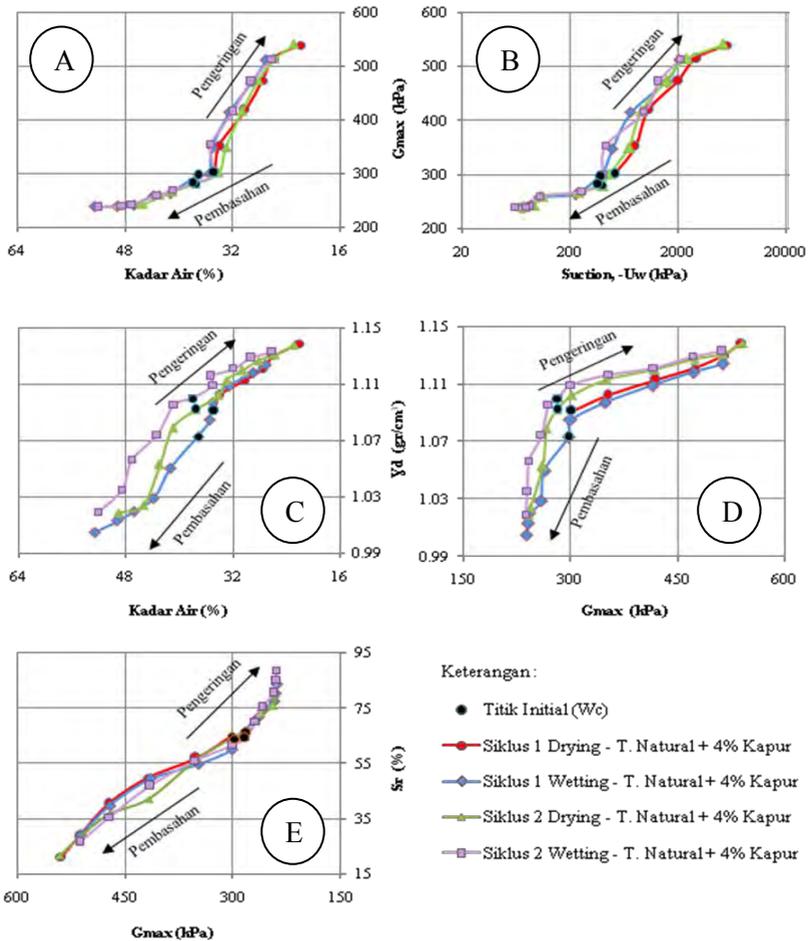
(Sumber: Hasil Penelitian)

#### 4.6 Perubahan Properti Dinamik Akibat Siklus Pengeringan-Pembasahan Pertama dan Kedua

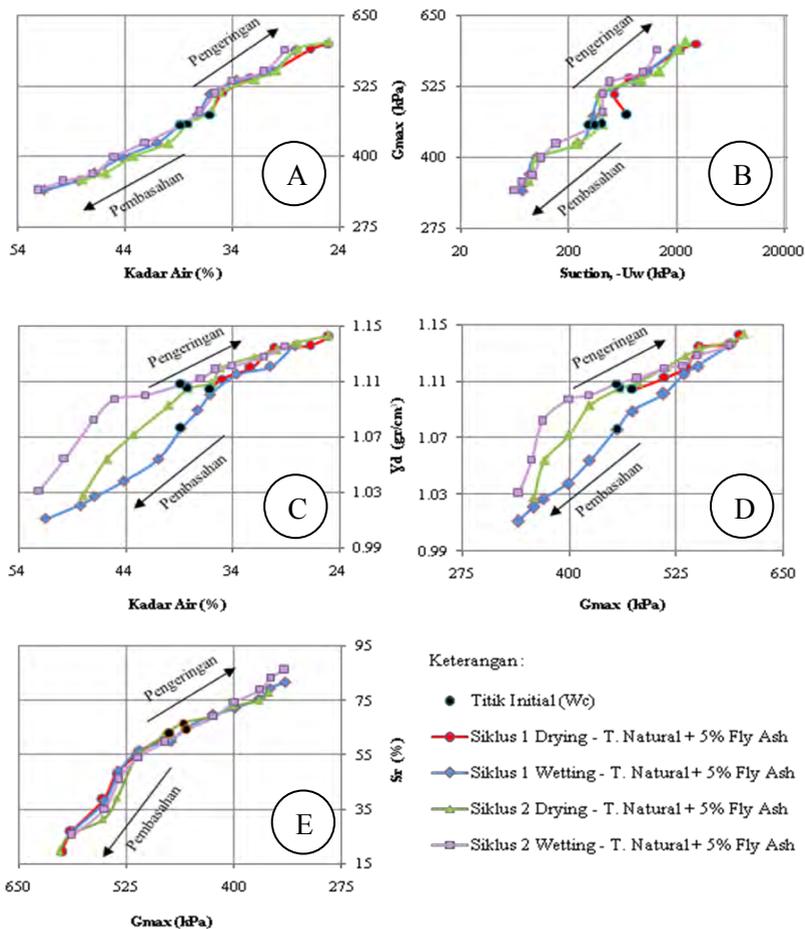
Pengujian properti dinamik yang dilakukan untuk memperoleh modulus geser maksimum. Pada prinsipnya pengujian ini menguji bagaimana seberapa cepat rambat suatu material dalam hal ini tanah menghantarkan sinyal. Tentu kecepatan rambat tersebut banyak dipengaruhi oleh banyak faktor. Di bawah ini adalah analisa hubungan sifat fisik tanah terhadap sifat dinamik tanah yang diperlihatkan pada hasil pengujian elemen bender ( $G_{max}$ ).



**Gambar 4.8** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x dan kedua terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural (Sumber: Hasil Penelitian)



**Gambar 4.9** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x dan kedua terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural + 4% kapur (Sumber: Hasil Penelitian)



Gambar 4.10 Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, tegangan air pori negatif, dan modulus geser maksimum pada tanah natural + 5% fly ash (Sumber: Hasil Penelitian)

Keterangan Gambar 4.8, 4.9 dan 4.10 : (A) hubungan modulus geser maksimum dengan kadar air, (B) hubungan tegangan air pori negative dengan modulus geser maksimum, (C) hubungan kepadatan kering dengan kadar air, (D) hubungan kepadatan kering dengan modulus geser maksimum, (E) hubungan derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum.

#### 4.6.1 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ )

Gambar 4.8A, 4.9A dan 4.10A adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kadar air dengan modulus geser maksimum pada tanah natural, tanah natural + 2% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash*. Pada kurva terlihat bahwa kadar air dengan modulus geser berbanding terbalik, yaitu semakin naik kadar airnya semakin turun modulus geser maksimumnya (proses *wetting*) dan sebaliknya semakin turun kadar airnya semakin naik modulus geser maksimumnya (proses *drying*). Untuk kadar air yang sama, nilai modulus geser maksimum tanah yang telah distabilisasi lebih besar dibanding nilai modulus geser maksimum tanah natural. Pada tabel 4.10 dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (ambil contoh inisial *wetting 1x*), modulus geser maksimum tanah yang telah distabilisasi lebih besar dari tanah natural.

**Tabel 4.10** Nilai kadar air dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah yang telah distabilisasi pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting 1x</i> )	
	$\omega_c$ (%)	$G_{max}$ (kpa)
T. Natural	41.076	92.998
T. Natural + 4% Kapur	37.126	297.471
T. Natural + 5% <i>Fly Ash</i>	38.789	455.837

(Sumber: Hasil Penelitian)

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

Gambar 4.8B, 4.9B dan 4.10B adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara tegangan air pori negatif dengan modulus geser maksimum pada tanah natural, tanah natural + 2% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash*. Pada kurva terlihat bahwa tegangan air pori negatif dengan modulus geser berbanding lurus, yaitu semakin naik tegangan air pori negatifnya, modulus geser maksimumnya juga semakin naik (proses *drying*) dan sebaliknya semakin turun tegangan air pori negatifnya, modulus geser maksimumnya juga semakin turun (proses *wetting*). Untuk tegangan air pori negatif yang sama, nilai modulus geser maksimum tanah yang telah distabilisasi lebih besar dibanding nilai modulus geser maksimum tanah natural. Pada tabel 4.11 dapat dilihat dalam kondisi yang sama misalnya pada titik inisial (ambil contoh inisial *wetting* 1x), modulus geser maksimum tanah yang telah distabilisasi lebih besar dari tanah natural, begitu juga dengan tegangan air pori negatif tanah yang telah distabilisasi lebih besar dari tanah natural.

**Tabel 4.11** Nilai tegangan air pori negatif dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah yang telah distabilisasi pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting</i> 1x)	
	$-U_w$ (kPa)	$G_{max}$ (kpa)
T. Natural	238.003	92.998
T. Natural + 4% Kapur	387.502	297.471
T. Natural + 5% <i>Fly Ash</i>	313.941	455.837

(Sumber: Hasil Penelitian)

### 4.6.3 Hubungan Antara Kadar Air ( $\omega_c$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.8C, 4.9C dan 4.10C adalah kurva hubungan antara perubahan kepadatan kering terhadap kadar air pada tanah natural, tanah natural + 2% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan tanah natural maupun tanah yang distabilisasi akan mengalami penurunan kepadatan kering pada saat terjadi pembasahan dan pada saat mengalami pengeringan kepadatan kering tanah akan meningkat sehingga masa tanah semakin padat. Penurunan kepadatan kering disebabkan oleh peningkatan angka pori yang terjadi akibat perubahan struktur dan partikel tanah akibat pengembangan dan penyusutan tanah selama proses pembasahan pengeringan tanah.

Pada kurva tersebut menunjukkan nilai kepadatan kering saat kondisi yang sama (ambil contoh inisial *wetting* 1x), kepadatan kering tanah yang distabilisasi cenderung lebih besar dibandingkan tanah natural. Untuk lebih memperjelas nilai kepadatan kering akan diperlihatkan pada tabel 4.12.

**Tabel 4.12** Nilai kadar air dan kepadatan kering pada tanah natural dan tanah yang telah distabilisasi pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i>	
	$\omega_c$ (%)	$\gamma_d$ (gr/cm <sup>2</sup> )
T. Natural	41.076	1.003
T. Natural + 4% Kapur	37.126	1.073
T. Natural + 5% <i>Fly Ash</i>	38.789	1.076

(Sumber: Hasil Penelitian)

#### 4.6.4 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kepadatan Kering ( $\gamma_d$ )

Gambar 4.8D, 4.9D dan 4.10D adalah kurva hubungan antara kepadatan kering dengan modulus geser maksimum pada tanah natural, tanah natural + 2% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash*. Dari kurva tersebut terlihat bahwa kepadatan kering dengan modulus geser maksimum berbanding lurus. Semakin besar kepadatan kering semakin besar pula modulus geser maksimumnya (proses *drying*) dan sebaliknya semakin kecil kepadatan kering semakin kecil pula modulus geser maksimumnya (proses *wetting*). Untuk kepadatan kering yang sama, tanah yang distabilisasi memiliki modulus geser maksimum yang lebih besar daripada tanah natural.

Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa nilai kepadatan kering saat kondisi yang sama (ambil contoh inisial *wetting* 1x), tanah yang distabilisasi cenderung memiliki nilai kepadatan kering lebih besar dibandingkan tanah natural dan nilai modulus geser maksimum tanah yang distabilisasi juga cenderung lebih besar dibandingkan tanah natural. Untuk lebih memperjelas nilai kepadatan kering dan nilai modulus geser maksimum akan diperlihatkan pada tabel 4.13.

**Tabel 4.13** Nilai kepadatan kering dan modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah yang telah distabilisasi pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i>	
	$\gamma_d$ ( $gr/cm^2$ )	$G_{max}$ (kpa)
T. Natural	1.003	92.998
T. Natural + 4% Kapur	1.073	297.471
T. Natural + 5% <i>Fly Ash</i>	1.076	455.837

(Sumber: Hasil Penelitian)

#### 4.6.5 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{\max}$ ) dengan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ )

Gambar 4.8E, 4.9E dan 4.10E adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan modulus geser maksimum pada tanah natural, tanah natural + 2% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash*. Dari kurva tersebut terlihat bahwa kepadatan kering dengan modulus geser maksimum berbanding terbalik. Semakin besar nilai derajat kejenuhan semakin kecil modulus geser maksimumnya (proses *wetting*) dan sebaliknya semakin kecil nilai derajat kejenuhan semakin besar nilai modulus geser maksimumnya (proses *drying*). Untuk derajat kejenuhan yang sama, tanah yang distabilisasi memiliki modulus geser maksimum yang lebih besar daripada tanah natural. Karena  $S_r = V_w / V_v$ , maka agar derajat kejenuhan sama, pengurangan volume air harus diikuti dengan pengurangan volume pori. Pengurangan volume pori mengakibatkan angka pori menjadi kecil sehingga tegangan efektif tanah meningkat. Dengan peningkatan tegangan efektif maka modulus geser maksimum pun akan meningkat.

Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa nilai modulus geser saat kondisi yang sama (ambil contoh inisial *wetting* 1x), tanah yang distabilisasi cenderung memiliki nilai modulus geser lebih besar dibandingkan tanah natural dan nilai derajat kejenuhan tanah yang distabilisasi juga cenderung lebih kecil dibandingkan tanah natural. Untuk lebih memperjelas nilai kepadatan kering dan nilai modulus geser maksimum diperlihatkan pada tabel 4.14.

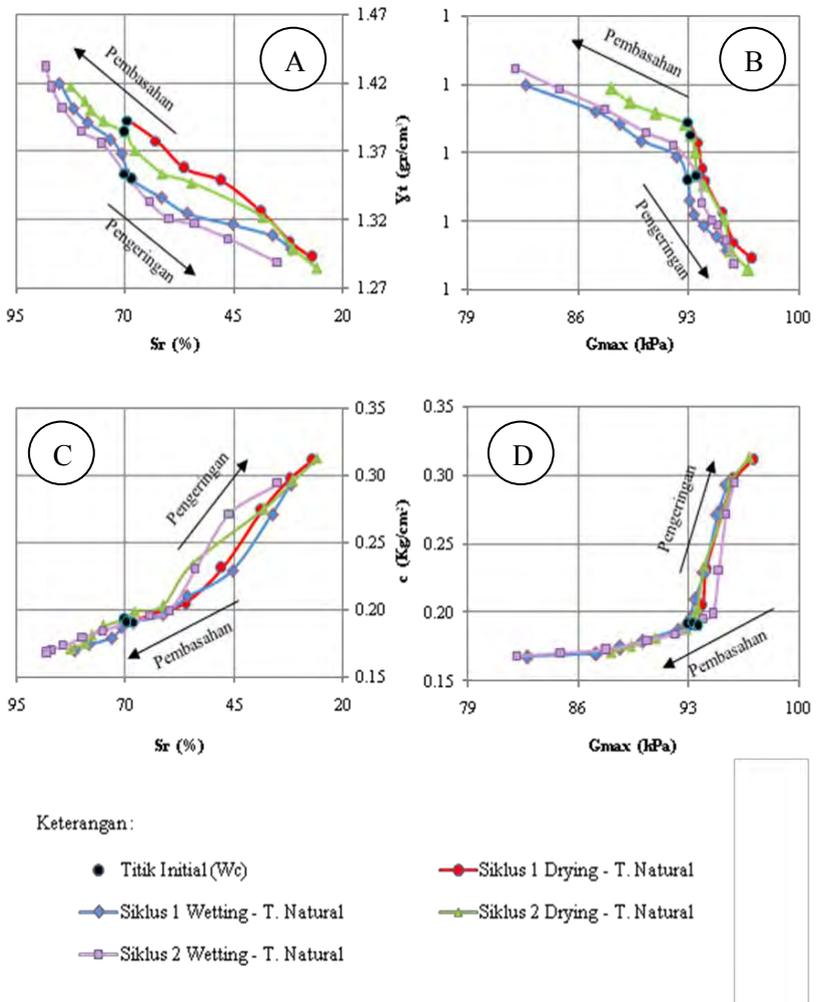
**Tabel 4.14** Nilai modulus dan derajat kejenuhan geser maksimum pada tanah natural dan tanah yang telah distabilisasi pada kondisi yang sama

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i>	
	$G_{\max}$ (kpa)	$S_r$ (%)
T. Natural	92.998	68.433
T. Natural + 4% Kapur	297.471	63.987
T. Natural + 5% <i>Fly Ash</i>	455.837	65.007

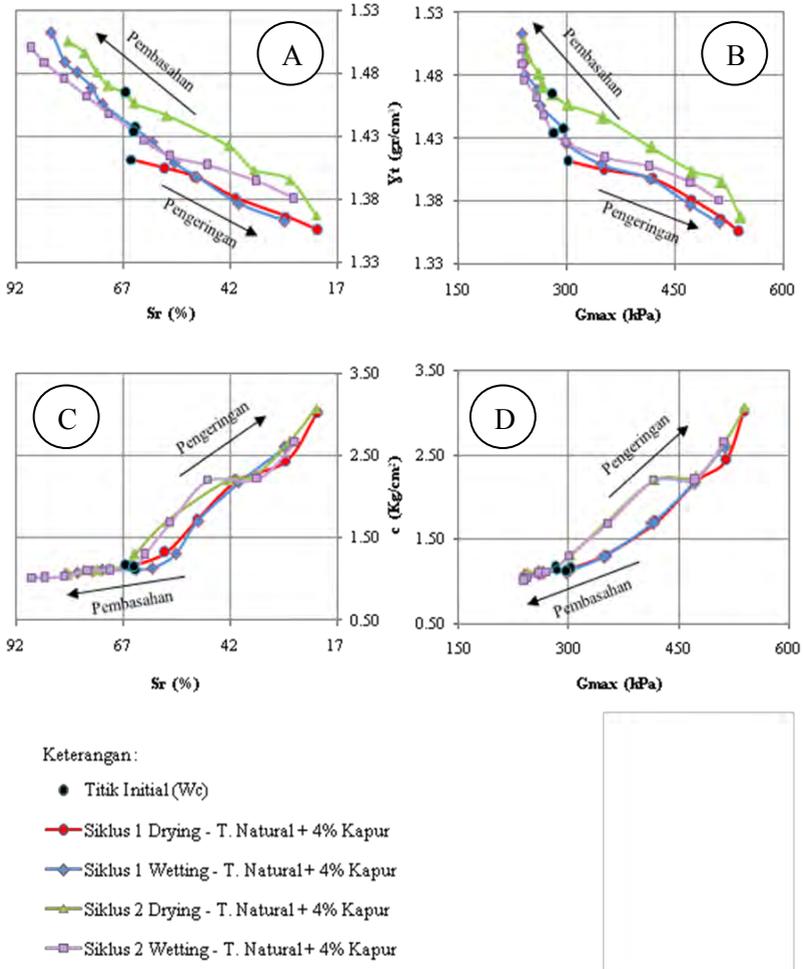
(Sumber: Hasil Penelitian)

#### **4.7 Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum**

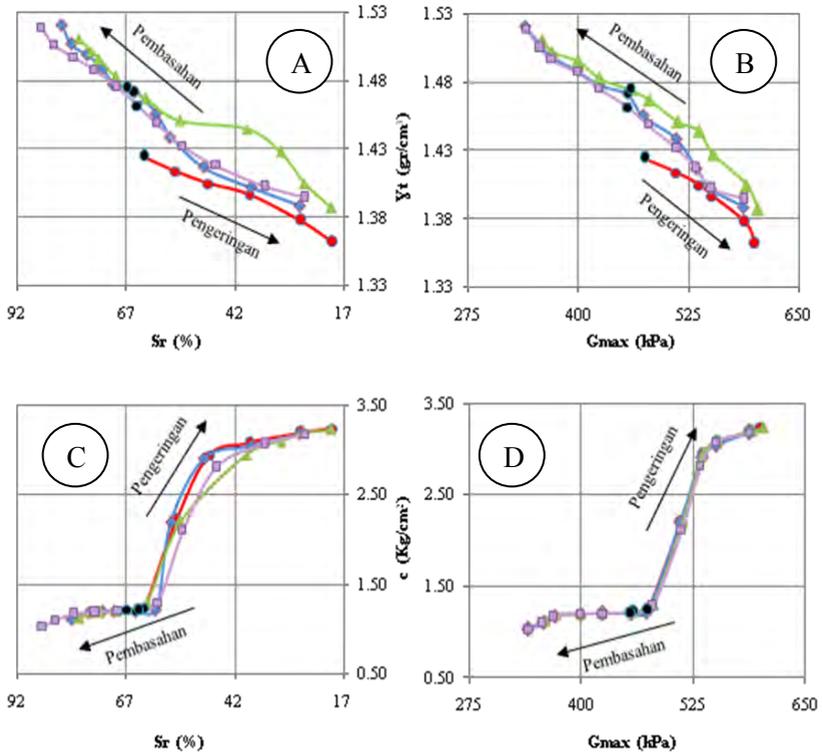
Berikut adalah grafik hubungan dari pengujian fisik, mekanik dan dinamik. Sifat fisik yang mempengaruhi adalah berat volume tanah ( $\gamma_v$ ) dan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) yang diperoleh dari pengujian gravimetric dan volumetric. Sifat dinamik yang mempengaruhi adalah modulus geser ( $G_{max}$ ) yang diperoleh dari pengujian element bender. Sifat mekanik yang mempengaruhi adalah nilai kohesi ( $c$ ) yang diperoleh dari *Unconfined Compressive Strength* (UCS).



**Gambar 4.11** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural (Sumber: Hasil Penelitian)



**Gambar 4.12** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural + 4% kapur (Sumber: Hasil Penelitian)



Keterangan :

- Titik Initial ( $W_c$ )
- Siklus 1 Drying - T. Natural + 5% Fly Ash
- Siklus 1 Wetting - T. Natural + 5% Fly Ash
- Siklus 2 Drying - T. Natural + 5% Fly Ash
- Siklus 2 Wetting - T. Natural + 5% Fly Ash

**Gambar 4.13** Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara derajat kejenuhan, berat volume tanah, modulus geser maksimum, dan kohesi pada tanah natural dan tanah + 5% fly ash (Sumber: Hasil Penelitian)

Keterangan Gambar 4.11, 4.12 dan 4.13 : (A) hubungan derajat kejenuhan dengan volume tanah, (B) hubungan modulus geser maksimum dengan volume tanah, (C) hubungan derajat kejenuhan dengan kohesi, (D) hubungan modulus geser maksimum dengan kohesi.

#### **4.7.1 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.11A, 4.12A dan 4.13A adalah kurva hubungan antara derajat kejenuhan dengan berat volume tanah untuk tanah natural, tanah natural + 2% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan nilai derajat kejenuhan cenderung meningkat seiring meningkatnya berat volume tanah. Peningkatan berat volume tanah meningkat karena kadar air yang bertambah berarti berat air bertambah sehingga berat tanah pun bertambah dan menyebabkan volume tanah basah meningkat sehingga berat volume tanah pun meningkat. Seiring meningkatnya berat volume tanah derajat kejenuhan pun meningkat.

#### **4.7.2 Hubungan Antara Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Berat Volume Tanah ( $\gamma_t$ )**

Gambar 4.11B, 4.12B dan 4.13B adalah kurva hubungan antara modulus geser dengan berat volume tanah untuk tanah natural, tanah natural + 2% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash*. Kurva tersebut menunjukkan nilai modulus geser maksimum meningkat seiring menurunnya berat volume tanah. Penurunan berat volume tanah diakibatkan oleh berat air yang berkurang sehingga tanah menyusut dan ruang pori menurun. Ruang pori yang menurun menyebabkan tanah menjadi lebih rapat dan padat. Kepadatan yang tinggi menyebabkan cepat rambat sinyal lebih cepat, artinya waktu dibutuhkan untuk menghantarkan sinyal lebih sedikit. Semakin cepat kecepatan rambat sinyal menyebabkan nilai modulus geser maksimum meningkat.

Kurva tersebut juga menunjukkan bahwa nilai modulus geser saat kondisi yang sama (ambil contoh inisial *wetting* 1x), nilai modulus geser maksimum lebih besar pada tanah yang distabilisasi cenderung lebih besar daripada tanah natural. Hal ini disebabkan karena tanah yang distabilisasi memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah natural. Seperti dijelaskan pada paragraf sebelumnya besarnya nilai modulus geser maksimum dipengaruhi oleh kepadatan dan kerapatan tanahnya. Tanah yang distabilisasi memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah natural. Untuk lebih memperjelas besarnya nilai modulus geser maksimum dan berat volume tanah pada kondisi yang sama akan diperlihatkan pada tabel 4.15.

**Tabel 4.15** Nilai berat volume tanah dan nilai modulus geser maksimum pada tanah natural dan tanah yang telah distabilisasi pada kondisi yang sama.

Jenis Tanah	Inisial <i>wetting</i> 1x	
	$\gamma_t$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$G_{max}$ (kPa)
T. Natural	1.350	92.998
T. Natural + 4% Kapur	1437	297.471
T. Natural + 5% <i>Fly Ash</i>	1.472	455.837

(Sumber: Hasil Penelitian)

#### 4.7.3 Hubungan Antara Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) dengan Kohesi (c)

Gambar 4.11C, 4.12C dan 4.13C adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kohesi (c) dengan derajat kejenuhan ( $S_r$ ) pada tanah natural, tanah natural + 2% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash*. Pada kurva terlihat bahwa kohesi dengan derajat kejenuhan berbanding terbalik, yaitu semakin turun kohesinya maka derajat kejenuhannya cenderung semakin naik (proses *wetting*) dan sebaliknya semakin naik

kohesinya maka derajat kejenuhannya cenderung semakin turun (proses *drying*). Untuk derajat kejenuhan yang sama, nilai kohesi tanah yang telah distabilisasi cenderung lebih besar dibanding nilai kohesi tanah natural. Pada tabel 4.17 dapat dilihat dalam kondisi yang sama (ambil contoh inisial *wetting* 1x), kohesi tanah yang telah distabilisasi lebih besar dari tanah natural, begitu juga dengan derajat kejenuhan tanah yang telah distabilisasi lebih kecil dari tanah natural.

**Tabel 4.16** Nilai kohesi dan derajat kejenuhan di titik inisial (*wetting* 1x) pada tanah natural dan tanah yang telah distabilisasi dalam kondisi yang sama pada siklus pertama

Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting</i> 1x)	
	c (kg/cm <sup>2</sup> )	S <sub>r</sub> (%)
T. Natural	0.191	68.433
T. Natural + 4% Kapur	1.116	63.987
T. Natural + 5% <i>Fly Ash</i>	1.203	65.007

(Sumber: Hasil Penelitian)

#### 4.7.4 Hubungan Antara Nilai Modulus Geser Maksimum ( $G_{max}$ ) dengan Kohesi (c)

Gambar 4.11D, 4.12D dan 4.13D adalah kurva pengaruh pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara modulus geser maksimum dengan kohesi pada tanah natural, tanah natural + 2% kapur dan tanah natural + 5% *fly ash*. Pada kurva terlihat bahwa modulus geser maksimum dengan kohesi berbanding lurus, yaitu semakin turun modulus geser maksimumnya maka kohesinya juga semakin turun (proses *wetting*) dan sebaliknya semakin naik modulus geser maksimumnya maka kohesinya juga semakin naik (proses *drying*). Untuk modulus geser maksimum yang sama, nilai kohesi tanah yang telah distabilisasi cenderung lebih kecil dibanding nilai kohesi tanah natural. Pada tabel 4.18 dapat dilihat dalam kondisi yang sama (ambil contoh inisial *wetting* 1x), modulus geser maksimum tanah yang telah

distabilisasi lebih besar dari tanah natural, begitu juga dengan kohesi tanah yang telah distabilisasi lebih besar dari tanah natural.

**Tabel 4.17** Nilai modulus geser maksimum dan kohesi di titik inisial (*wetting 1x*) pada tanah natural dan tanah yang telah distabilisasi dalam kondisi yang sama pada siklus pertama.

Jenis Tanah	Inisial ( <i>wetting 1x</i> )	
	$G_{\max}$ (kpa)	$c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
T. Natural	92.998	0.191
T. Natural + 4% Kapur	297.471	1.116
T. Natural + 5% <i>Fly</i> <i>Ash</i>	455.837	1.203

(Sumber: Hasil Penelitian)

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- 1) pengaruh proses pembasahan pada tanah natural adalah:
  - a. Berdasarkan pengujian sifat fisik yang telah dilakukan, diketahui klasifikasi tanah natural baik tanah *disturbed* ataupun *nondisturbed* di desa Sumber Aji termasuk tanah berlanau menurut USCS dan jenis tanah A-5 menurut AASHTO.
  - b. Dalam pengujian pemadatan proctor standar, didapatkan nilai kepadatan kering tanah ( $\gamma_d$ ) untuk tanah natural sebesar 1.06 gr/cm<sup>3</sup>.
  - c. Penelitian ini mengutamakan pengaruh siklus pengeringan pembasahan menggunakan dua siklus dengan persentase penambahan dan pengurangan air per 10%.
  - d. Dari hasil pengujian pengeringan pembasahan diketahui semakin basah maka angka pori (e), kadar air (wc), derajat kejenuhan (Sr) akan mengalami kenaikan, sedangkan untuk kohesi (c), tegangan air pori negative (-Uw) dan Modulus geser (Gmax) akan menurun.
- 2) Pengaruh proses pengeringan pembasahan pada tanah natural + stabilisasi adalah:
  - a. Jenis stabilisator tanah yang digunakan adalah kapur dan *fly ash*, dengan penambahan persentase kapur sebesar 2%, 4% dan 6% dan 5%, 10% dan 15% untuk *fly ash*.
  - b. Berdasarkan pengujian sifat fisik maka diketahui klasifikasi tanah natural + kapur termasuk tanah berlanau menurut USCS dan jenis tanah A-4 menurut AASHTO. Sedangkan tanah natural + fly

ash termasuk tanah berlanau menurut USCS dan jenis tanah A-5 menurut AASHTO;

- c. Dalam pengujian pemadatan proctor standar, didapatkan nilai kepadatan kering tanah ( $\gamma_d$ ) untuk tanah natural + 4% kapur sebesar 1.101 gr/cm<sup>3</sup> serta tanah natural + 5% fly ash sebesar 1.105 gr/cm<sup>3</sup>.
  - d. Nilai yang didapat dari masing-masing tanah natural, tanah natural + 4% kapur dan tanah natural + 5% fly ash pada kondisi yang sama (contoh titik initial wetting 1x) adalah sebagai berikut ; kepadatan kering tanah ( $\gamma_d$ ) meningkat dari 1.033 gr/cm<sup>2</sup>, 1.073 gr/cm<sup>2</sup> dan 1.076 gr/cm<sup>2</sup>, derajat kejenuhan (Sr) menurun dari 68.433%, 63.987% dan 65.007%, angka pori (e) menurun dari 1.445, 1.363 dan 1.298, kohesi (c) meningkat dari 0.191 kg/cm<sup>2</sup>, 1.116 kg/cm<sup>2</sup> dan 1.201 kg/cm<sup>2</sup>, tegangan air pori negative (-Uw) meningkat dari 238.033 kPa, 387.502 kPa dan 313.941 kPa, modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ) meningkat dari 92.998 kPa, 297.472 kPa dan 455.837 kPa.
- 3) Hasil komposisi campuran optimum antara lain:
- a. Hasil pencampuran tanah dengan bahan stabilisator didapatkan pencampuran optimum pada kapur sebesar 4% dan fly ash sebesar 5%.
  - b. Penambahan 5% fly ash sebagai stabilisator pada tanah di desa Sumber Aji memberikan pengaruh paling besar terhadap perkuatan tanah karena nilai parameter tanah yang dihasilkan lebih besar daripada kapur.
  - c. Diantara tanah natural dan tanah yang di stabilisasi terjadi peningkatan nilai parameter-parameter tanah pada tanah yang distabilisasi. Hal ini menunjukkan tanah yang distabilisasi memiliki perkuatan tanah yang lebih baik daripada tanah natural.

- d. Dari dua bahan stabilisasi yang digunakan yaitu kapur dan fly ash, fly ash merupakan alternative terbaik untuk perbaikan tanah di desa Sumber Aji.

## **5.2 Saran**

Adapun saran dan peluang dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- 1) Setelah pengambilan benda uji dari lapangan sebaiknya segera lakukan pengujian parameter-parameter tanah dilaboratorium agar kondisi tanah tidak terlalu berbeda akibat perbedaan suhu.
- 2) Pengujian untuk pengkondisian tanah sebaiknya mempersiapkan bahan seperti pipa PVC terlebih dahulu yang sesuai dengan ukuran bahan yang diujikan.
- 3) Untuk pengujian elemen bender dengan menggunakan *ultrasonic time analyzer*, benda uji sebaiknya dibuat dengan presisi sehingga nilai bacaan yang dihasilkan dari alat tersebut lebih valid.

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E. 1982. **Foundation Analysis and Design Third Edition**. International Student Edition. McGraw-Hill International Book Company.
- Das, B.M., (translated by Mochtar N.E, and Mochtar I.B.). 1988. **Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 1**. Erlangga, Jakarta.
- Indarto. 1995. **Metode Kertas Filter Untuk Menentukan Karakteristik Tegangan Air Pori Negatif pada Tanah**. Majalah IPTEK ITS. Surabaya.
- McCarthy, David. 1988. **Essentials of Soil Mechanics and Foundations. Basic Geotechnics. Third Edition**. Library of Congress Cataloging in Publication Data.
- 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 Pengerinan pada Tanah Permukaan Lereng di Ngantang – Malang.** Laporan Tugas Akhir Sarjana. Laporan Akhir Penelitian Disertasi Doktor Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Yusdiantoro, Y. 2001. **Pengaruh Siklus Pembasahan Pengerinan Berulang Terhadap Properti Dinamik Tanah Lempung Ekspansif Tidak Jenuh Yang Distabilisasi Dengan *Fly Ash* Menggunakan Alat Uji Kolom Resonansi.** Laporan Tesis Pascasarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.



Raisa yunanda dilahirkan di Titih, 17 September 1989, Merupakan anak ke enam dari enam bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SD Negri 07 Titih, SLTP Negri 01 Baso, SMA Negeri 01 Baso. Setelah lulus SMA Negeri 01 Baso tahun 2008 Penulis diterima di Jurusan D3 Teknik Sipil – FTSP – Universitas Andalas dan lulus tahun 2011. Tahun 2012 Penulis masuk

Lintas Jalur Teknik Sipil –FTSP- ITS dan terdaftar dengan NRP.3112.105.040. Di Jurusan Teknik Sipil ini Penulis mengambil Program Studi Geoteknik. Apabila pembaca ingin menghubungi penulis dapat melalui alamat email : [raisa\\_yunanda17@yahoo.com](mailto:raisa_yunanda17@yahoo.com)



Mutiara Andini merupakan sulung dari dua bersaudara, dilahirkan di Bengkulu 16 Juli 1990. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu pendidikan taman kanak-kanak di TK Dharma Wanita, sekolah dasar di SD Negeri 82 Bengkulu, SLTP Negeri 4 Bengkulu, SMA Negeri 5 Bengkulu. Setelah lulus dari SMA Negeri 5 Bengkulu tahun 2008, Penulis diterima di Jurusan D3 Teknik Sipil –

FTSP – Universitas Andalas dan lulus tahun 2011. Tahun 2012 Penulis masuk Lintas Jalur Teknik Sipil –FTSP- ITS dan terdaftar dengan NRP.3112.105.039. Di Jurusan Teknik Sipil ini Penulis mengambil Program Studi Geoteknik. Apabila pembaca ingin menghubungi penulis dapat melalui alamat email : [mutiara.andini69@gmail.com](mailto:mutiara.andini69@gmail.com)