



TUGAS AKHIR - RC18-4803

**PENGARUH PROSES PEMBASAHAN-PENGERINGAN
TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIK
TANAH LEMPUNG NATURAL DAN STABILISASI
UNTUK *SUBGRADE* JALAN INSPEKSI (LOKASI STUDI
: DESA KANOR, KABUPATEN BOJONEGORO)**

ISABELLA RUTH
NRP. 0311174500001

NAILUS SA'ADAH
NRP. 0311174500017

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M. Eng

Dosen Pembimbing II
Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST. MT

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



TUGAS AKHIR - RC18-4803

**PENGARUH PROSES PEMBASAHAN-PENGERINGAN
TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIK
TANAH LEMPUNG NATURAL DAN STABILISASI
UNTUK *SUBGRADE* JALAN INSPEKSI (LOKASI STUDI
: DESA KANOR, KABUPATEN BOJONEGORO)**

ISABELLA RUTH
NRP. 03111745000001

NAILUS SA' ADAH
NRP. 03111745000017

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M. Eng

Dosen Pembimbing II
Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST. MT

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



FINAL PROJECT - RC18-4803

**THE EFFECT OF DRYING-WETTING PROCESS
AGAINST PHYSICAL AND MECHANICAL SOIL
CHARACTERISTICS OF CLAY NATURE AND
STABILIZATION FOR THE SUBGRADE INSPECTION
ROAD (STUDY LOCATION: KANOR VILAGGE,
BOJONEGORO REGENCY)**

ISABELLA RUTH
NRP. 03111745000001

NAILUS SA'ADAH
NRP. 03111745000017

Supervisor I
Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M. Eng

Supervisor II
Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST. MT

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

**PENGARUH PROSES PEMBASAHAN-PENGERINGAN
TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIK
TANAH LEMPUNG NATURAL DAN STABILISASI
UNTUK *SUBGRADE* JALAN INSPEKSI (LOKASI STUDI :
DESA KANOR, KABUPATEN BOJONEGORO)**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

ISABELLA RUTH
NRP. 03111745000001
NAILUS SA'ADAH
NRP. 03111745000017

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M. Eng
NIP. 195601191986012 003
2. Dr. Trihanyndio Rendy Saurya, ST, MT
NIP. 198410102008121 004



SURABAYA, JULI 2019

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan hikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “PENGARUH PROSES PEMBASAHAN-PENGERINGAN TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIK TANAH LEMPUNG NATURAL DAN STABILISASI UNTUK SUBGRADE JALAN INSPEKSI (LOKASI STUDI : DESA KANOR KABUPATEN BOJONEGORO)” dengan lancar dan sesuai waktu yang ditentukan.

Penulis Laporan Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Program Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orangtua dan segenap keluarga atas segala dukungannya baik berupa materil maupun spiritual.
2. Bapak Dr. techn. Umboro Lasminto, ST., M.Sc. selaku ketua program Sarjana Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Bu Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M. Eng selaku dosen pembimbing I dan Bapak Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST. MT selaku dosen pembimbing II atas semua arahan, waktu, dan bimbingannya yang telah diberikan dari awal hingga terselesaikannya laporan ini.
4. Bapak dan Ibu dosen pengajar di Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Bapak-bapak di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

6. Teman-teman penulis di Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah banyak membantu dan menyumbangkan ide, inspirasi maupun motivasinya selama ini.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu demi satu yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharap masukan, saran, dan kritik yang bersifat membangun dalam menyempurnakan Laporan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis mengharap semoga Laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis dan bagi pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

**PENGARUH PROSES PEMBASAHAN-PENGERINGAN
TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIK
TANAH LEMPUNG NATURAL DAN STABILISASI
UNTUK SUBGRADE JALAN INSPEKSI (LOKASI STUDI :
DESA KANOR, KABUPATEN BOJONEGORO)**

Nama Mahasiswa : Isabella Ruth Nailus Sa'adah
NRP : 0311174500001 0311174500017
Jurusan : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M. Eng
Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST. MT.

Abstrak

Perubahan iklim di Indonesia 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 memengaruhi sifat fisik dan mekanik dari tanah itu sendiri karena terjadinya perubahan volume tanah yang disebabkan oleh perubahan kadar air. Tanah di sekitar tanggul yang berada di Sungai Bengawan Solo, Desa Kanor, Kecamatan Kanor, Kabupaten Bojonegoro telah mengalami perubahan karakteristik tanah dan kekuatan tanah menurun sehingga terjadi penurunan kuat geser (shear strength) tanah pada lapisan subgrade. Untuk itu perlu dilakukan perbaikan tanah agar sifat-sifat tanah tetap dapat terjaga. Usaha untuk perbaikan karakter fisik dan mekanik dapat dilakukan dengan banyak cara, salah satu diantaranya yaitu stabilisasi tanah. Tujuan dari stabilisasi tanah adalah untuk meningkatkan kuat dukung tanah dengan peningkatan kohesi tanah dan kepadatan tanah. Cara stabilisasi yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu stabilisasi mekanik dengan pemadatan dan kimia dengan menambahkan bahan tambah tertentu

(stabilisator) agar kualitas tanah dapat ditingkatkan. Bahan stabilisator yang digunakan yaitu kapur.

Terjadinya perubahan parameter fisik dan mekanik pada tanah natural dan tanah yang telah distabilisasi juga akan memengaruhi besar dari kekuatan geser tanah, khususnya tanah dasar, pada struktur jalan inspeksi di sekitar lokasi studi. Oleh karena itu perlu diadakan penelitian untuk mengetahui perubahan parameter fisik dan mekanik tanah antural (undisturbed) dan tanah stabilisasi (disturbed) dan pengaruhnya terhadap kekuatan geser tanah pada struktur jalan inspeksi di sepanjang sungai apabila terkena pengaruh perubahan kadar air.

Penambahan kapur akan menurunkan indeks plastisitas dan mengubah properties tanah dari kondisi tanah inisial (undisturbed). Kadar optimum campuran untuk tanah stabilisasi (disturbed) berasal dari kadar campuran 6% kapur aktif dengan 94% tanah. Akibat proses pengeringan-pembasahan mengakibatkan perubahan pada nilai kadar air (W_c), derajat kejenuhan (S_r), berat volume tanah (γ_r), kohesi undrained (C_u), sudut geser dalam (ϕ), dan tegangan air pori negatif ($-U_w$) dari kondisi inisial masing-masing. Jika dibandingkan dengan kondisi asli (undisturbed) tanah yang terkena pengaruh pengeringan dan pembasahan, tanah yang distabilisasi memiliki nilai CBR lebih besar dari persyaratan.

Kata kunci: Proses pembasahan dan pengeringan, Sifat Fisik dan Mekanik, Desa Kanor Kabupaten Bojonegoro, Subgrade, Stabilisasi

**THE EFFECT OF DRYING-WETTING PROCESS
AGAINST PHYSICAL AND MECHANICAL SOIL
CHARACTERISTICS OF CLAY NATURE AND
STABILIZATION FOR THE SUBGRADE INSPECTION
ROAD (STUDY LOCATION: KANOR VILLAGE,
BOJONEGORO REGENCY)**

Name : Isabella Ruth Nailus Sa'adah
NRP : 0311174500001 0311174500017
Department : Teknik Sipil FTSLK-ITS
Supervisor : Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M. Eng
Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST. MT.

Abstract

Climate change in Indonesia causes a process of wetting and drying. The wetting and drying cycle is a natural event that occurs continuously in tropical climates such as Indonesia. The repeated wetting and drying process can affect the physical and mechanical properties of the soil itself due to changes in soil volume caused by changes in moisture content. The land around the embankment in the Bengawan Solo River, Kanor Village, Kanor District, Bojonegoro Regency has undergone changes in soil characteristics and soil power decreased so there is a decrease in shear strength (shear strength) in the subgrade layer. For this it is necessary to improve soil to keep the properties of soil intact. The effort to improve physical and mechanical character can be done in many ways, one of them is stabilization of land. The purpose of stabilizing the soil is to enhance strong soil support with increased soil cohesion and soil density. The way of stabilization that will be used in this research is chemical stabilization by adding certain added materials (stabilizers) so that the quality of soil can be improved. The material stabilizers used are lime.

The occurrence of changes in physical and mechanical parameters of natural soils and stabilized soil will also affect the strength of the ground shear forces, particularly the ground soil,

on the structure of the inspection roads around the site of study. Therefore, research needs to be conducted to determine the change in physical and mechanical parameters of natural soil and soil that has been stabilized and its effect on the shear strength of soil on the structure of the inspection road along the river when exposed Influence of water content variation.

The addition of lime will decrease the plasticity index and The addition of lime will decrease the plasticity index and change the soil properties of the initials soil condition (undisturbed). The optimal mixture content for soil stabilization (disturbed) is 6% active lime mixture with 94% soil. Due to the drying process-wetting resulted in changes in the value of water content (w_c), degree of saturation (S_r), weight of the volume of soil (γ_t), undrained cohesion (C_u), inner shear angles (ϕ), and negative pore water pressure ($-U_w$) of each initials condition. When compared to the undisturbed condition of the soil affected by drying and wetting, the soil is stabilized has a CBR value greater than the requirements.

Keywords: The process of wetting and drying, Physical and mechanical properties, Kanor village of Bojonegoro Regency, Subgrade, Stabilization.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.1.1. Tanah Inisial Undisturbed.....	3
1.1.2. Tanah yang Distabilisasi.....	6
1.2. Perumusan Masalah	10
1.3. Tujuan Penelitian	10
1.4. Batasan Masalah	11
1.5. Manfaat penelitian.....	12
1.6 Lokasi penelitian.....	12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	15
2.1. Definisi Tanah.....	15
2.2. Klasifikasi Tanah	17
2.2.1. Sistem Klasifikasi Associate of State Highway and Transportation Officials Classification (AASHTO)18	
2.2.2. Sistem Klasifikasi Unified Soil Classification System (USCS).....	20
2.3. Pengujian di Laboratorium.....	22
2.3.1. Karakteristik Fisik Tanah.....	22
a. Pengujian Volumetri – Gravimetri	23
b. Pengujian Atterberg Limit.....	24
c. Pengujian Analisa Butiran Tanah.....	26
2.3.2. Karakteristik Mekanik Tanah	27

a. Pemadatan Tanah.....	27
b. Pengujian Triaksial.....	31
c. Pengukuran Tegangan Air Pori Negatif (Suction) dengan Kertas Filter	34
2.4. Pengaruh Proses Pembasahan dan Pengeringan Terhadap Perilaku Tanah.....	35
2.4.1. Pengaruh Proses Pembasahan dan Pengeringan pada Sifat Fisik Tanah	35
2.4.2. Pengaruh Proses Pembasahan dan Pengeringan pada Sifat Mekanik Tanah.....	37
2.4.3. Pengaruh Proses Pembasahan dan Pengeringan pada Kekuatan Geser Tanah	39
2.5. Bahan Tambah Stabilisasi	41
2.5.1. Kapur.....	41
2.5.2. Fly Ash.....	43
2.6. Perilaku Kembang Susut Tanah Lempung	44
2.7. Stabilisasi Tanah Kembang Susut	46
2.7.1. Stabilisasi Mekanik (Mechanical Stabilization).....	47
2.7.2. Stabilisasi Kimiawi (Chemical Stabilization)	47
a. Penentuan kadar optimum bahan tambah stabilisasi .	49
b. Pengaruh bahan tambah pada kekuatan tanah	50
2.8. Klasifikasi Jalan	51
2.9. Kekuatan Geser Tanah	54
2.9.1. Kriteria Keruntuhan Menurut Mohr-Coulomb.....	54
2.9.2. CBR (California Bearing Ratio)	57
1. CBR Lapangan (CBR inplace atau field Inplace).....	58
2. CBR Laboratorium	58
3. CBR lapangan rendaman (undisturbed soaked CBR)	58
2.9.3. Hubungan Kuat Geser Tanah (Shear Strength) dengan harga CBR.....	59
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	65
3.1 Bagan Alir Penelitian	65

3.2	Uraian Tahapan Penelitian	69
3.2.1	Studi Literatur	69
3.2.2	Pengambilan Benda Uji	69
3.2.3	Pengujian di Laboratorium	69
	1. Tanah inisial (undisturbed).....	69
	2. Tanah stabilisasi (disturbed) dengan bahan stabilisator	70
3.2.4	Pembuatan Benda Uji	70
3.2.5	Penentuan Kadar Optimum Campuran	70
3.2.6	Proses Pembasahan dan Pengeringan	71
	1. Tanah Inisial (Undisturbed).....	71
	2. Tanah Stabilisasi (Disturbed)	72
3.2.7	Perhitungan Korelasi Shear-Strength Tanah dan CBR untuk Jalan Inspeksi.....	72
	1. Tanah Inisial (Undisturbed) dan Tanah Stabilisasi (Disturbed)	73
	2. Akibat Pengaruh Pembasahan dan Pengeringan pada Tanah Inisial (Undisturbed) dan Tanah Stabilisasi (Disturbed)	73

BAB IV SIFAT FISIK DAN MEKANIK TANAH NATURAL (UNDISTURBED)

4.1	Pengambilan Benda Uji Undisturbed.....	75
4.2	Pembuatan Benda Uji Undisturbed.....	76
4.3	Sifat Fisik Tanah Inisial Undisturbed.	76
	4.3.1 Analisa Saringan dan Hidrometer.....	77
	4.3.2 Pengujian Atterberg Limit	78
	4.3.3 Pengujian Gravimetri- Volumetri	80
4.4	Sifat Mekanik Tanah Natural Undisturbed.	80
	4.4.1 Pengujian Suction	80
	4.4.2 Pengujian Triaxial.....	82
4.5	Rekapitulasi Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Natural (Undisturbed)	83

4.5.1 Rekapitulasi Sifat Fisik Mekanik Tanah Natural (Undisturbed).....	83
4.5.2 Rekapitulasi Sifat Mekanik Tanah Natural (Undisturbed).....	84

BAB V SIFAT FISIK DAN MEKANIK TANAH STABILISASI (DISTURBED)..... 85

5.1 Pengambilan Benda Uji Disturbed.....	85
5.2 Pengujian Proktor Standar.....	85
5.3 Pembuatan Benda Uji.....	93
5.4 Masa Reaktif Tanah dan Kapur.....	95
5.5 Sifat Fisik Tanah Stabilisasi (Disturbed).....	100
5.6 Sifat Mekanik Tanah Stabilisasi (Disturbed)	105
5.6.1 Pengujian Suction	105
5.6.2 Pengujian Triaksial	106
5.7 Penentuan Kadar Optimum Campuran Tanah Stabilisasi (Disturbed)	108
5.8 Penentuan Properties Tanah Stabilisasi (Disturbed)	109
5.8.1 Analisa Ukuran Butiran	110
5.8.2 Atterberg Limit	111
5.8.3 Pengujian Gravimetri-Volumetri	112

BAB VI PENGARUH PROSES PEMBASAHAN DAN PENGERINGAN..... 115

6.1 Pengaruh Proses Pengeringan dan Pembasahan Tanah Inisial (Undisturbed)	115
6.1.1 Penentuan Penambahan dan Pengurangan Air.....	115
6.1.2 Sifat Fisik Tanah Natural (Undisturbed).....	117
6.1.3 Sifat Mekanik Tanah Inisial (Undisturbed).....	121
6.2 Pengaruh Proses Pengeringan dan Pembasahan Tanah Stabilisasi (Disturbed).....	123
6.2.1 Penentuan Penambahan dan Pengurangan Air.....	123
6.2.2 Sifat Fisik Tanah Stabilisasi (Disturbed)	124

6.2.3 Sifat Mekanik Tanah Stabilisasi (Disturbed).....	128
6.3 Rekapitulasi Sifat Fisik dan Mekanik Akibat Pengaruh Pengerinan dan Pembasahan pada Tanah Inisial (Undisturbed) dan Tanah Stabilisasi (Disturbed).....	131
6.3.1 Sifat Fisik Tanah Natural (Undisturbed) dan Tanah Stabilisasi (Disturbed).....	131
6.3.2 Sifat Mekanik Tanah Natural (Undisturbed) dan Tanah Stabilisasi (Disturbed).....	132
BAB VII KORELASI SHEAR-STRENGTH TERHADAP NILAI CBR.....	135
7.1. Korelasi Shear-Strength terhadap Nilai CBR Tanah Natural Undisturbed.....	135
7.2. Korelasi Shear-Strength Terhadap Nilai CBR Tanah Disturbed Distabilisasi	137
7.3 Korelasi Shear-Strength terhadap Nilai CBR Akibat Proses Pengerinan dan Pembasahan.....	141
7.3.1 Tanah Natural Undisturbed.....	142
7.3.2 Tanah Stabilisasi (Disturbed).....	144
BAB VIII KESIMPULAN	149
8.1 Kesimpulan	149
8.2 Saran	149
DAFTAR PUSTAKA.....	151

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Hasil Penelitian Karakteristik Tanah Natural di Sekitar Sungai Bengawan Solo, Desa Semambung, Kabupaten Bojonegoro, tahun 2014.	3
Tabel 1. 2 Hasil Penelitian Karakteristik Tanah Natural di Sekitar Sungai Bengawan Solo, Desa Semambung, Kabupaten Bojonegoro, tahun 2014. (Lanjutan)	4
Tabel 1. 3 Sifat Fisik dan Mekanik Tanah yang Distabilisasi Dibandingkan dengan Tanah Natural.....	7
Tabel 1. 4 Presentase Perubahan Nilai Sifat Fisik dan Mekanik Tanah yang Distabilisasi Dibandingkan dengan Tanah Natural.....	8
Tabel 2. 1 Presentase perubahan nilai sifat fisik benda uji yang mengalami proses pengeringan dan pembasahan siklus 1x dan 2x.....	37
Tabel 2. 2 Presentase perubahan nilai sifat mekanik benda uji yang mengalami proses pengeringan dan pembasahan siklus 1x dan 2x.....	39
Tabel 2. 3 Komposisi dan Klasifikasi Fly Ash.....	43
Tabel 2. 4 Kenaikan dan penurunan hasil uji proktor standar (benda uji remoulding) pada tanah yg distabilisasi dibandingkan dengan tanah natural.....	49
Tabel 2. 5 Presentase perubahan kekuatan tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.....	50
Tabel 2. 6 Perkiraan Harga-harga Minimum CBR Untuk Perencanaan Tanah Dasar Di Bawah Jalan Perkerasan yang Dipadatkan Sampai 95% dari Berat Isi Kering Maksimum Proctor (Road Note 31, 1977).	53
Tabel 4. 1 Rekapitulasi Hasil Analisa Ayakan dan Hidrometer.	77
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Hasil Analisa Ayakan dan Hidrometer. (Lanjutan).....	78
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Atterberg Limit.....	79

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Gravimetri-Volumetri Tanah Natural Undisurbed.	80
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Suction.....	82
Tabel 4. 6 Rekapitulasi Sifat Fisik Tanah Natural (Undisurbed)	83
Tabel 4. 7 Rekapitulasi Sifat Mekanik Tanah Natural (Undisurbed).....	84
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Nilai γ_{d-max} dan W_{c-opt}	93
Tabel 5. 2 Campuran Benda Uji Stabilisasi Berdasarkan Hasil Pengujian Proktor Standar	94
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Parameter Fisik Tanah Stabilisasi (Disturbed) dengan Variasi Hari Pemeraman.....	95
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Parameter Mekanik Tanah Stabilisasi (Disturbed) dengan Variasi Hari Pengujian.....	99
Tabel 5. 5 Rekapitulasi Parameter Fisik Tanah Stabilisasi (Disturbed).....	101
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Suction dengan Kertas Whatman No.42	105
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Suction dengan Kertas Whatman No.42 (Lanjutan).	106
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Hasil Pengujian Triaksial Tanah Stabilisasi (<i>Disturbed</i>).	106
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Hasil Analisa Ayakan dan Hidrometer.	110
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Hasil Analisa Ayakan dan Hidrometer.	111
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Pengujian Atterberg Limit.	111
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Pengujian Gravimetri Volumetri.....	112
Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Triaksial.....	113
Tabel 6. 1 Perubahan Sifat Fisik Akibat Proses Pembasahan Dan Pengeringan Pada Tanah Natural (Undisurbed).	121

Tabel 6. 2 Perubahan Sifat Mekanik Akibat Proses Pembasahan Dan Pengeringan Pada Tanah Natural (Undisturbed).	122
Tabel 6. 3 Perubahan sifat fisik akibat proses pembasahan dan pengeringan pada tanah stabilisasi (disturbed).....	128
Tabel 6. 4 Perubahan sifat mekanik akibat proses pembasahan dan pengeringan pada tanah stabilisasi (disturbed).....	130
Tabel 6. 5 Presentase Perubahan Sifat Fisik Akibat Proses Pengeringan dan Pembasahan terhadap Kondisi Inisial.	131
Tabel 6. 6 Presentase Perubahan Sifat Mekanik Akibat Proses Pengeringan dan Pembasahan terhadap Kondisi Inisial.	132
Tabel 6. 7 Perubahan Sifat Fisik dan Mekanik Akibat Proses Pengeringan dan Pembasahan terhadap Kondisi Inisial.	133
Tabel 7. 1 Hasil Pengujian Parameter Fisik dan Mekanik Tanah Natural Undisturbed	135
Tabel 7. 2 Hasil Pengujian Parameter Fisik dan Mekanik Tanah yang Distabilisasi	137
Tabel 7. 3 Hasil Pengujian Parameter Fisik dan Mekanik Tanah yang Distabilisasi. (Lanjutan).....	138
Tabel 7. 4 Hasil Pengujian Parameter Fisik dan Mekanik Tanah yang Distabilisasi (Lanjutan).....	138
Tabel 7. 5 Hasil Pengujian Parameter Fisik dan Mekanik Tanah yang Distabilisasi (Lanjutan).....	138
Tabel 7. 6 Hasil Pengujian Parameter Fisik dan Mekanik Tanah yang Distabilisasi (Lanjutan).....	139
Tabel 7. 7 Hasil Perhitungan Nilai CBR Rendaman untuk Masing-Masing kondisi dan Aspek Peningkatannya terhadap Kondisi Inisial.	140

Tabel 7. 8	Hasil Perhitungan Nilai CBR Rendaman untuk Masing-Masing kondisi dan Aspek Peningkatannya terhadap Kondisi Inisial. (Lanjutan).....	141
Tabel 7. 9	Hasil Pengujian Gravimetri-Volumetri dan Triaxial Tanah Tak Terganggu pada saat w_{sat}	142
Tabel 7. 10	Hasil Korelasi Perhitungan CBR pada Tanah Natural Undisturbed yang Telah Mengalami Proses Pengeringan dan Pembasahan.	144
Tabel 7. 11	Hasil Pengujian Gravimetri-Volumetri dan Triaxial Tanah yang Distabilisasi pada saat w_{sat}	144
Tabel 7. 12	Hasil Pengujian Gravimetri-Volumetri dan Triaxial Tanah yang Distabilisasi pada saat w_{sat} . (Lanjutan).	145
Tabel 7. 13	Hasil Korelasi CBR Terhadap Shear Strength Pada Tanah Stabilisasi (Disturbed) Akibat Pengaruh Proses Pengeringan dan Pembasahan.	146

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Perubahan nilai curah hujan musiman di Indonesia tahun 2018	1
Gambar 1. 2	Perubahan nilai curah hujan musiman di Pulau Jawa tahun 2018	2
Gambar 1. 3	Perubahan jumlah hari tanpa hujan di Pulau Jawa Tahun 2018.....	2
Gambar 1. 4	Kondisi muka air sungai saat (a) musim penghujan (b) musim kemarau.....	5
Gambar 1. 5	Akibat dari fluktuasi muka air Sungai Bengawan Solo, terjadi kerusakan pada jalan inspeksi sekitar sungai Bengawan Solo	5
Gambar 1. 6	Proses stabilisasi tanah di lapangan dengan menggunakan kapur	8
Gambar 1. 7	Lokasi Penelitian.....	12
Gambar 1. 8	Lokasi Penelitian (Lanjutan).....	13
Gambar 2. 1	Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO ...	19
Gambar 2. 2	Sistem klasifikasi tanah berdasarkan USCS untuk jenis tanah kerikil/ gravel.	21
Gambar 2. 3	Sistem klasifikasi tanah berdasarkan USCS untuk jenis tanah pasir/ sand.....	21
Gambar 2. 4	Hubungan Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI).....	22
Gambar 2. 5	Sistem klasifikasi tanah berdasarkan USCS untuk jenis tanah lanau atau lempung dan gambut.....	22
Gambar 2. 6	(a) Elemen tanah dalam keadaan asli; (b) Tiga fase elemen tanah.....	23
Gambar 2. 7	Batas-batas atterberg.....	25
Gambar 2. 8	Bentuk kurva hasil tes ayakan dan tes hidrometer.	27
Gambar 2. 9	Bentuk umum kurva kepadatan untuk empat jenis tanah.	29

Gambar 2. 10	Bermacam-macam tipe kurva pemadatan yang sering dijumpai pada tanah.	30
Gambar 2. 11	Bermacam-macam tipe kurva pemadatan yang sering dijumpai pada tanah (lanjutan).	30
Gambar 2. 12	Skema Alat Triaksial. (Sumber : Bishop and Bjerrum, 1960)	32
Gambar 2. 13	Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi.	36
Gambar 2. 14	Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap sifat mekanik pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi.	38
Gambar 2. 15	Nilai sudut geser dalam (ϕ) tanah akibat proses pembasahan dan pengeringan.	39
Gambar 2. 16	Nilai kohesi (c) tanah akibat proses pembasahan dan pengeringan.	40
Gambar 2. 17	Nilai kuat geser tanah terhadap tegangan normal akibat proses pembasahan dan pengeringan.	40
Gambar 2. 18	Mekanisme stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan kapur (Ingles dan Metacalf, 1972).	42
Gambar 2. 19	Zona aktif lapisan tanah di daerah Houston-formasi Beaumont	45
Gambar 2. 20	Garis keruntuhan menurut Mohr	54
Gambar 2. 21	Hukum keruntuhan dari Mohr	55
Gambar 2. 22	Lingkaran Mohr dan garis keruntuhan.	56
Gambar 2. 23	Lapisan perkerasan jalan.	59
Gambar 2. 24	Indikasi perkiraan nilai CBR, tidak berlaku untuk tanah alluvial jenuh atau gambut.	60
Gambar 2. 25	Klasifikasi nilai CBR terhadap kekuatan subgrade jalan.	60
Gambar 2. 26	Grafik korelasi tegangan geser dan nilai CBR terhadap kadar semen.	61

Gambar 2. 27	Pengujian CBR yang dianalogikan terhadap Pondasi Dangkal Berbentuk Lingkaran.....	62
Gambar 3. 1	Bagan Alir Penelitian.....	65
Gambar 3. 2	Bagan Alir Penelitian (Lanjutan).....	66
Gambar 3. 3	Bagan Alir Penelitian (Lanjutan).....	66
Gambar 3. 4	Bagan Alir Penelitian (Lanjutan).....	67
Gambar 3. 5	Bagan Alir Penelitian (Lanjutan).....	68
Gambar 3. 6	Skema proses pengeringan dan pembasahan berulang pada tanah natural.....	71
Gambar 3. 7	Skema proses pengeringan dan pembasahan berulang pada tanah remolded campuran kapur.....	72
Gambar 4. 1	Sketsa Lokasi Pengambilan Contoh Tanah.....	75
Gambar 4. 2	Jalan Inspeksi yang Ditinjau.....	75
Gambar 4.3	Pengambilan Tanah Undisturbed dengan menggunakan tabung Shelby.....	76
Gambar 4. 4	Pembuatan Benda Uji Undisturbed.....	76
Gambar 4. 5	Grafik Hasil Analisa Ayakan dan Hidrometer.....	77
Gambar 4. 6	Hasil Pengujian Liquid Limit (1).....	78
Gambar 4. 7	Hasil Pengujian Liquid Limit (2).....	79
Gambar 4. 8	Pengkondisian Benda Uji Suction.....	81
Gambar 4. 9	Grafik Hubungan Jumlah Hari dengan Tegangan Air Pori Negatif Pada Tanah Inisial Undistubed.....	81
Gambar 4. 10	Garis Keruntuhan Hasil Pengujian Undrained Unconsolidated Triaksial.....	82
Gambar 5. 1	Mencangkul Sampel Tanah Terganggu.....	85
Gambar 5. 2	Sampel Tanah Terganggu Dimasukkan ke dalam Karung.....	85
Gambar 5. 3	Hubungan γ_{dry} dan W_c untuk Tanah Tanpa Bahan Stabilisasi.....	86
Gambar 5. 4	Grafik Hubungan γ_{dry} dan W_c untuk Campuran 2% Kapur + 98% Tanah.....	87
Gambar 5. 5	Hubungan γ_{dry} dan W_c untuk Campuran 4% Kapur + 96% Tanah.....	88

Gambar 5. 6 Hubungan γ_{dry} dan W_c untuk Campuran 6% Kapur + 94% Tanah.....	89
Gambar 5. 7 Hubungan γ_{dry} dan W_c untuk Campuran 8% Kapur + 92% Tanah.....	90
Gambar 5. 8 Hubungan γ_{dry} dan W_c untuk Campuran 10% Kapur + 90% Tanah.	91
Gambar 5. 9 Hubungan γ_{dry} dan W_c untuk Masing-Masing Kondisi.	92
Gambar 5. 10 Pembuatan Benda Uji.....	94
Gambar 5. 11 Pengaruh Kapur dengan Jumlah Hari Pemeraman terhadap Berat-Volume Tanah (γ_t).	96
Gambar 5. 12 Pengaruh Kapur dengan Jumlah Hari Pemeraman terhadap Berat-Volume Kering (γ_d).....	96
Gambar 5. 13 Pengaruh Kapur dengan Jumlah Hari Pemeraman terhadap Kadar Air (W_c).....	97
Gambar 5. 14 Pengaruh Kapur dengan Jumlah Hari Pemeraman terhadap Derajat Kejenuhan (S_r).....	98
Gambar 5. 15 Pengaruh Kapur dengan Jumlah Hari Pemeraman terhadap Angka Pori (e).....	98
Gambar 5. 16 Pengaruh Kapur dengan Jumlah Hari Pemeraman terhadap Kohesi Undrained (C_u).....	99
Gambar 5. 17 Pengaruh Kapur dengan Jumlah Hari Pemeraman terhadap Sudut Geser (ϕ).....	100
Gambar 5. 18 Hubungan Kondisi Benda Uji Remolded dengan Berat-Volume Basah (γ_t).	102
Gambar 5. 19 Hubungan Kondisi Benda Uji Remolded dengan Berat-Volume Kering.	102
Gambar 5. 20 Hubungan Kondisi Benda Uji Remolded dengan Kadar Air.	103
Gambar 5. 21 Hubungan Kondisi Benda Uji Remolded dengan Derajat Kejenuhan (S_r).	104
Gambar 5. 22 Hubungan Kondisi Benda Uji Remolded dengan Angka Pori (e).	104

Gambar 5. 23	Hubungan Kondisi Benda Uji Remolded dengan Specific Gravity (G_s).....	105
Gambar 5. 24	Hubungan Kondisi Benda Uji Remolded dengan Kohesi Undrained (C_u).....	107
Gambar 5. 25	Hubungan <i>Kondisi Benda Uji</i> Remolded dengan Sudut Geser (ϕ).....	108
Gambar 5. 26	Grafik Analisa Ayakan dan Hidrometer.....	110
Gambar 6. 1	Hubungan Kadar Air Tanah Natural dengan Jumlah Hari Penimbangan.....	116
Gambar 6. 2	Hubungan Kadar Air, Tegangan Air Pori Negatif, Derajat Kejenuhan, dan Angka Pori pada Tanah Natural (Undisturbed) Akibat Pengeringan-Pembasahan	117
Gambar 6. 3	Hubungan Kadar Air, Tegangan Air Pori Negatif, Berat-Volume Tanah, dan Berat-Volume Kering pada Tanah Natural (Undisturbed) Akibat Pengeringan-Pembasahan.....	118
Gambar 6. 4	Hubungan Angka Pori dan Berat-Volume Tanah terhadap Derajat Kejenuhan pada Tanah Natural (Undisturbed) Akibat Pengeringan-Pembasahan. ...	120
Gambar 6. 5	Hubungan Kadar Air, Tegangan Air Pori Negatif, terhadap Kohesi dan Sudut Geser pada Tanah Natural (Undisturbed) Akibat Pengeringan-Pembasahan. ...	121
Gambar 6. 6	Hubungan Kadar Air Tanah Stabilisasi (Disturbed) dengan Jumlah Hari Penimbangan.....	123
Gambar 6. 7	Hubungan Angka Pori dan Berat-Volume Tanah terhadap Derajat Kejenuhan pada Tanah Stabilisasi (Disturbed) Akibat Pengeringan-Pembasahan.	124
Gambar 6. 8	Hubungan Kadar Air, Tegangan Air Pori Negatif, Derajat Kejenuhan, dan Angka Pori pada Tanah Stabilisasi (Disturbed) Akibat Pengeringan-Pembasahan.....	125
Gambar 6. 9	Hubungan Kadar Air, Tegangan Air Pori Negatif, Berat-Volume Tanah, Berat-Volume Kering, dan	

Angka Pori pada Tanah Stabilisasi (Disturbed) Akibat Pengeringan-Pembasahan.....	127
Gambar 6. 10 Hubungan Derajat Kejenuhan, Tegangan Air Pori Negatif, Berat-Volume Tanah, dan Kohesi Undrained pada Tanah Stabilisasi (Disturbed) Akibat Pengeringan-Pembasahan.....	129

BAB I PENDAHULUAN

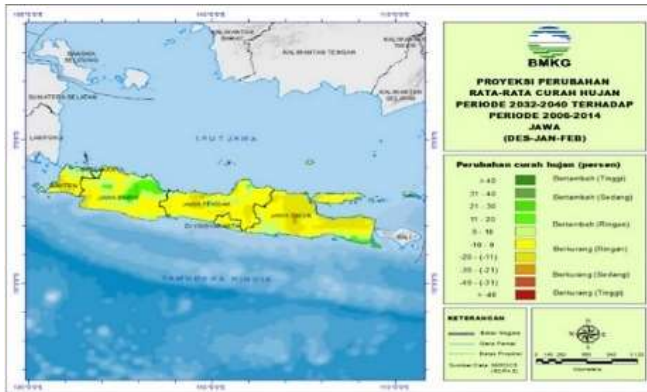
1.1. Latar Belakang

Iklim di Indonesia secara garis besar dipengaruhi oleh musim hujan dan musim 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 memengaruhi sifat fisik dan mekanik dari tanah itu sendiri karena terjadinya perubahan kadar air.



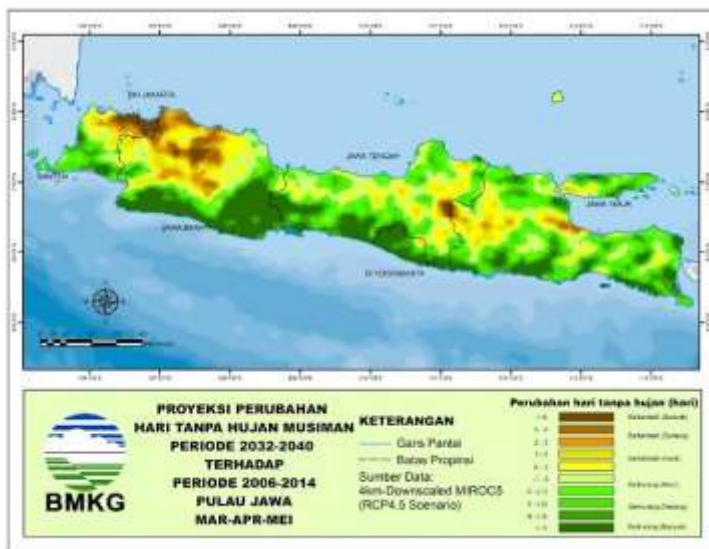
Gambar 1. 1 Perubahan nilai curah hujan musiman di Indonesia tahun 2018

(Sumber : bmgk.go.id 2018)



Gambar 1. 2 Perubahan nilai curah hujan musiman di Pulau Jawa tahun 2018

(Sumber : bmgk.go.id 2018)



Gambar 1. 3 Perubahan jumlah hari tanpa hujan di Pulau Jawa Tahun 2018

(Sumber : bmgk.go.id 2018)

1.1.1. Tanah Inisial *Undisturbed*

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M. Eng et. al, tahun 2014, didapatkan kondisi tanah di lokasi studi Sungai Bengawan Solo *cross section* ± 500 di Desa Semambung, Kabupaten Bojonegoro yaitu cenderung memiliki prosentase kandungan lanau (*silt*) dan lempung (*clay*) yaitu berturut-turut sebesar 56,487% dan 36,203%. Serta dari pengujian triaksial didapatkan nilai sudut geser dalam (ϕ) $4,3^\circ$ dan kohesi (C_u) sebesar 55,6 kN/m² yang apabila dikorelasikan dengan tabel di buku J.E.Bowles, 1984 termasuk ke dalam tanah lempung berpasir. Dengan lokasi studi yang akan dilakukan yaitu di sekitar Sungai Bengawan Solo, Kabupaten Bojonegoro, maka dapat diketahui kondisi tanah di lokasi studi adalah berupa lempung yang akan terpengaruh adanya fluktuasi muka air sungai dan pergantian musim.

Tabel 1. 1 Hasil Penelitian Karakteristik Tanah Natural di Sekitar Sungai Bengawan Solo, Desa Semambung, Kabupaten Bojonegoro, tahun 2014.

Pengujian	Tanah Natural
Analisa Saringan dan Hidrometer	
Fraksi kerikil (<i>gravel</i>)	0%
Fraksi pasir (<i>sand</i>)	7,31%
Fraksi lanau (<i>silt</i>)	56,487%
Fraksi lempung (<i>clay</i>)	36,203%
Indeks Konsistensi	
Batas cair (LL)	57%
Batas plastis (PL)	28,536%
Indeks plastisitas (PI)	28,964%
<i>Specific gravity</i> (Gs)	2,625

(Sumber : Jurnal oleh Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng., et. al, 2014)

Tabel 1. 2 Hasil Penelitian Karakteristik Tanah Natural di Sekitar Sungai Bengawan Solo, Desa Semambung, Kabupaten Bojonegoro, tahun 2014. (Lanjutan)

Pengujian	Tanah Natural
Klasifikasi Tanah	
USCS	CH
AASHTO	A-7-6(31)
Triaksial	
ϕ (°)	4,3
C (kN/m ²)	55,6
E ₁ (kN/m ²)	3970,8
E ₂ (kN/m ²)	3810,86

(Sumber : Jurnal oleh Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng., et. al, 2014)

Tanah di sekitar tanggul yang berada di Sungai Bengawan Solo, Desa Kanor, Kecamatan Kanor, Kabupaten Bojonegoro telah mengalami perubahan karakteristik tanah dan kekuatan tanah menurun sehingga peluang terjadinya penurunan kuat geser (*shear strength*) tanah, khususnya tanah dasar (*sub grade*) menjadi meningkat. Penyebabnya adalah perubahan musim hujan dan kemarau yang mengakibatkan fluktuasi muka air yang signifikan. Meluapnya debit air pada daerah hulu Sungai Bengawan Solo mengakibatkan tingginya muka air pada Sungai Bengawan Solo di Desa Kanor, Kecamatan Kanor, Kabupaten Bojonegoro. Ditambahkan lagi ketidakmampuan tanah di sekitar sungai dalam menahan tegangan yang terjadi akibat fluktuasi muka air sehingga pada saat musim hujan peristiwa banjir di daerah sekitar tanggul tidak dapat dihindarkan lagi. Pada akhirnya dengan terjadinya banjir di daerah sekitar sungai mengakibatkan kerusakan struktur disekitarnya khususnya jalan inspeksi.



Gambar 1. 4 Kondisi muka air sungai saat (a) musim penghujan (b) musim kemarau
(Sumber : Soemitro et al, 2014)



Gambar 1. 5 Akibat dari fluktuasi muka air Sungai Bengawan Solo, terjadi kerusakan pada jalan inspeksi sekitar sungai Bengawan Solo
(Sumber : <https://www.inews.id/daerah/jatim>)

Perubahan fluktuasi muka air Sungai Bengawan Solo memengaruhi struktur di sekitar tanggul sungai khususnya adalah jalan inspeksi di sekitar lokasi studi. Banyak sekali jalan inspeksi di sekitar tanggul Sungai Bengawan Solo yang rusak akibat adanya perubahan muka air sungai saat musim penghujan. Hal ini juga membuktikan bahwa adanya

perubahan musim yaitu dari musim kemarau ke musim penghujan akan mengakibatkan perubahan kekuatan geser (*shear strength*) tanah dasar (*sub grade*) dan terjadi perubahan pada karakteristik tanah.

Beberapa peneliti sebelumnya menyatakan bahwa siklus pembasahan-pengeringan sangat memengaruhi 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 fisis dan mekanis dapat dilakukan dengan banyak cara, salah satu diantaranya yaitu stabilisasi tanah.

1.1.2. Tanah yang Distabilisasi

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 termal. Cara stabilisasi yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu stabilisasi kimia dengan menambahkan bahan tambah tertentu (stabilisator) agar kualitas tanah dapat ditingkatkan dan mengurangi plastisitas. Bahan stabilisator yang digunakan yaitu kapur.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M. Eng et. al, tahun 2014, didapatkan kondisi tanah di lokasi studi Sungai Bengawan Solo *cross section* ± 500 di Desa Semabung, Kabupaten Bojonegoro setelah

dilakukan stabilisasi kimia tanah dengan hasil sebagai berikut,

Tabel 1. 3 Sifat Fisik dan Mekanik Tanah yang Distabilisasi Dibandingkan dengan Tanah Natural.

Pengujian	Tanah Natural	Natural + 6% kapur 7 hari pemeraman	Natural + 10% <i>fly ash</i> 2 hari pemeraman	Natural + 7% mikrobiobakteri 0 hari pemeraman
Analisa Saringan dan Hidrometer				
Fraksi kerikil (<i>gravel</i>)	0%	0%	0%	0%
Fraksi pasir (<i>sand</i>)	7,31%	14,668%	10,83%	8,21%
Fraksi lanau (<i>silt</i>)	56,487%	77,908%	65,744%	41,878%
Fraksi lempung (<i>clay</i>)	36,203%	7,424%	23,426%	49,908%
Indeks Konsistensi				
Batas cair (LL)	57%	38%	40%	50%
Batas plastis (PL)	28,536%	32,317%	21,706%	27,205%
Indeks plastisitas (PI)	28,964%	5,683%	18,294%	22,795%
Specific gravity (Gs)	2,625	2,705	2,761	2,847
Klasifikasi Tanah				
USCS	CH	ML	CL	CL
AASHTO	A-7-6 (31)	A-7-5 (17)	A-7-6(7)	A-7-6(24)
Triaksial				
ϕ (°)	4,3	1,8	2,7	2,6
C (kN/m ²)	55,6	589	123	221,1
E ₁ (kN/m ²)	3970,8	117712	12875,7	23025,5
E ₂ (kN/m ²)	3810,86	118349,4	13175	15660,63

(Sumber : Jurnal oleh Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng., et. al, 2014)

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa stabilisasi kimia dapat mengurangi fraksi lempung pada analisa ukuran butiran, menurunkan nilai indeks plastisitas, dan meningkatkan nilai kohesi *undrained* tanah. Kemudian dapat dilihat peningkatan sifat fisik

dan mekaniknya dibandingkan tanah natural pada tabel 1.3 sebagai berikut,

Tabel 1. 4 Presentase Perubahan Nilai Sifat Fisik dan Mekanik Tanah yang Distabilisasi Dibandingkan dengan Tanah Natural.

Parameter	Presentase Perubahan Nilai pada (%)		
	Tanah natural ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly</i>	7%
γ_t	5,209	4,437	4,919
γ_d	4,738	4,506	4,625
S_r	7,977	1,932	3,027
e	-2,087	4,739	5,863
$-U_w$	-55,8	-69,389	-69,12
C_u	35,11	4,051	10,284

(Sumber : Jurnal oleh Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng., et. al, 2014)

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan kadar kapur 6% dengan waktu pemeraman 7 hari menambah kekuatan tanah yang paling optimum.



Gambar 1. 6 Proses stabilisasi tanah di lapangan dengan menggunakan kapur

(Sumber : www.google.co.id/image)

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-anion Ca^{++} Mg^{++}

yang mampu menetralsir sifat kembang susut tanah lempung atau lanau yang besar. Tujuan pemakaian kapur adalah untuk menambah kekuatan, kekakuan, dan ketahanan dari tanah berbutir halus dan terkadang digunakan juga untuk menaikkan sifat-sifat fraksi dari tanah-tanah granuler. Selain itu kapur juga adalah untuk merangsang terjadinya proses sementasi antara butiran tanah sehingga membentuk gumpalan partikel yang lebih besar sehingga plastisitas tanah akan berkurang yang pada akhirnya juga berpengaruh terhadap penambahan kekuatan tanah. Dalam penelitian (Sudirman, 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 bahan kapur mampu mengurangi terjadinya *swelling* pada tanah lempung atau lanau hingga 7%.

Terjadinya *swelling* pada tanah lempung atau lanau ini akan menghasilkan variasi parameter fisik dan mekanik tanah yang telah dilakukan melalui siklus *drying-wetting*. Variasi parameter fisik dan mekanik ini akan memberikan pengaruh pada kekuatan tanah di sekitar Sungai Bengawan Solo. Oleh karena itu dilakukan stabilisasi tanah disekitar tanggul Sungai Bengawan Solo di Bojonegoro untuk mencegah terjadinya perubahan parameter fisik dan mekanik tanah yang signifikan akibat dari fluktuasi muka air sungai. Terjadinya perubahan parameter fisik dan mekanik pada tanah yang sebelum dan sesudah distabilisasi juga akan memengaruhi besar dari kekuatan geser tanah pada struktur jalan inspeksi di

sekitar lokasi studi. Oleh karena itu perlu diadakan penelitian untuk mengetahui perubahan parameter fisik dan mekanik tanah sebelum dan sesudah distabilisasi serta pengaruhnya terhadap kekuatan geser tanah pada struktur jalan inspeksi di sepanjang sungai apabila terkena pengaruh variasi kadar air.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perubahan parameter fisik dan mekanik tanah sebelum dan sesudah distabilisasi akibat pembasahan dan pengeringan serta untuk mengetahui perubahan kekuatan geser (*shear strength*) tanah, khususnya tanah dasar (*sub grade*) pada struktur jalan inspeksi di sekitar sungai apabila tanah sebelum dan sesudah distabilisasi terkena pengaruh variasi kadar air tanah.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam pengujian dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik fisik dan mekanik tanah pada kondisi tanah inisial *undisturbed*?
2. Berapa komposisi campuran antara tanah *disturbed* dengan ditambahkan bahan stabilisasi yang paling optimum dan aspek peningkatan karakteristik fisik dan mekanik ?
3. Bagaimana pengaruh pembasahan dan pengeringan terhadap karakteristik fisik dan mekanik tanah di sekitar Sungai Bengawan Solo saat kondisi tanah *undisturbed* (sebelum distabilisasi) dan tanah diberi bahan stabilisator ?
4. Bagaimana nilai CBR *subgrade* yang telah dikorelasikan dengan kuat geser untuk jalan inspeksi akibat adanya perubahan kadar air pada tanah *undisturbed* (sebelum distabilisasi) dan tanah yang sudah distabilisasi ?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik tanah pada kondisi tanah inisial *undisturbed*.
2. Mengetahui komposisi campuran antara tanah *disturbed* dengan ditambahkan bahan stabilisasi yang paling optimum dan aspek peningkatan karakteristik fisik dan mekanik.
3. Mengetahui pengaruh pembasahan dan pengeringan terhadap karakteristik fisik dan mekanik tanah di sekitar Sungai Bengawan Solo saat kondisi tanah *undisturbed* (sebelum distabilisasi) dan tanah diberi bahan stabilisator.
4. Mengetahui nilai CBR *subgrade* yang telah dikorelasikan dengan kuat geser untuk jalan inspeksi akibat adanya perubahan kadar air pada tanah *undisturbed* (sebelum distabilisasi) dan tanah yang sudah distabilisasi.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pengujian ini dibatasi sebagai berikut :

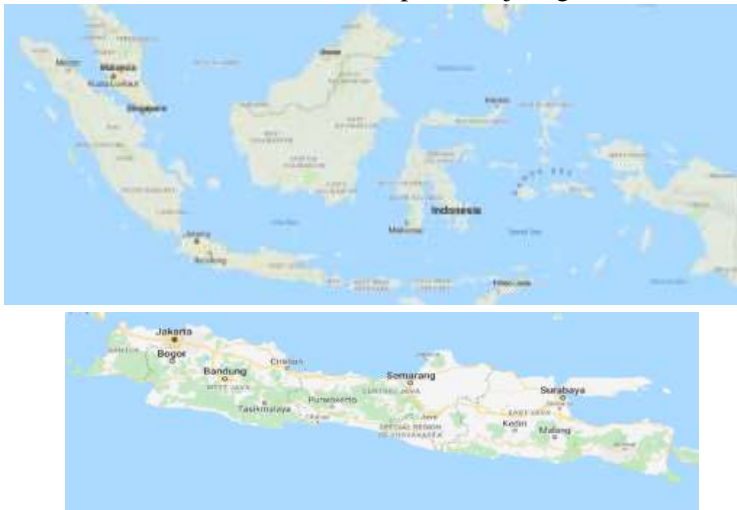
1. Proses pengeringan dilakukan dengan mengurangi kadar air benda uji mulai dari kondisi inisial sampai kondisi kering. Sedangkan proses pembasahan dilakukan dengan menambahkan kadar air benda uji mulai dari kondisi inisial sampai kondisi jenuh.
2. Siklus pembasahan dan pengeringan dilakukan dengan menggunakan 1 siklus.
3. Aplikasi hasil pengujian parameter fisik dan mekanik tanah akibat siklus pembasahan dan pengeringan divariasikan berdasarkan variasi kadar air tanah yaitu kuat geser tanah untuk jalan inspeksi.
4. Tidak meninjau aspek manajemen konstruksi dan rencana anggaran biaya.

1.5. Manfaat penelitian

1. Sebagai salah satu cara untuk menanggulangi terjadinya kerusakan pada bangunan sekitar Sungai Bengawan Solo di Desa Kanor, Kecamatan Kanor, Kabupaten Bojonegoro khususnya jalan inspeksi yaitu dengan cara stabilisasi kimia menggunakan bahan kapur.
2. Untuk mengetahui harga CBR tanah (*sub grade*) untuk jalan inspeksi di daerah sekitar Sungai Bengawan Solo di Desa Kanor, Kecamatan Kanor, Kabupaten Bojonegoro.

1.6 Lokasi penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Desa Kanor, Kecamatan Kanor, Kabupaten Bojonegoro



Gambar 1. 7 Lokasi Penelitian

(Sumber : <https://www.google.co.id/maps/place>)



Gambar 1. 8 Lokasi Penelitian (Lanjutan)

(Sumber : <https://www.google.co.id/maps/place>)

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Tanah

Tanah merupakan himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif 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 (Hardiyanto, 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 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 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 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 mm sampai 0,006 mm dan maksimum berukuran dari 0,05 mm 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 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 hamper 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 partikel 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 utamanya menurut Das (1990) meliputi plastisitas indeks

tanah untuk melihat konsistensi tanah, gravimetric, 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 terhantung 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 locaton*) tetapi juga dengan kedalaman.

Sifat mekanik tanah merupakan 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 berbentuk.
3. Tegangan air pori negatif, ditentukan dengan menggunakan 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. Sistem Klasifikasi *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 mengklasifikasikan tanah ke dalam kelompok, A-1 sampai A-8 namun kelompok tanah A-8 tidak diperlihatkan tetapi merupakan tanah gambut atau rawa dan pada awalnya membutuhkan data-data sebagai berikut :

1. Analisa ukuran butiran
2. Batas cair dan batas plastis serta IP yang dihitung.
3. Batas susut.
4. Ekuivalen kelembapan lapangan ialah kadar kelembapan maksimum dimana satu tetes air yang dijatuhkan pada suatu permukaan yang kecil tidak segera diserap oleh permukaan tanah tersebut.
5. Ekuivalen kelembapan sentrifugal 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 yang lolos ayakan No.200.
- A-3 adalah kelompok batas antara tanah berbutir kasar dengan tanah berbutir halus. Terisi dari campuran kerikil atau 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.

General classification	Granular materials (35% or less of total sample passing No.200)						
Group classification	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Sieve analysis (percent passing) No.10 No.40 No.200	50 max 30 max 15 max	50 max 25 max	51 min 10 max	35 max	35 max	35 max	35 max
Characteristic of fraction passing No.40 Liquid Limit Plasticity Index	6 max		NP	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min
Usual types of significant constituent materials	Stone fragment, gravel and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand			
General subgrade rating	Excellent to good						
General classification	Silt-clay materials (More than 35% of total sample passing No.200)						
Group classification	A-4	A-5	A-6	A-7			
				A-7-5*			
				A-7-6^			
Sieve analysis (percent passing) No.10 No.40 No.200	36 min	36 min	36 min	36 min			
Characteristic of fraction passing No.40 Liquid Limit Plasticity Index	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min			
Usual types of significant constituent materials	Silty soils		Clayey soils				
General subgrade rating	Fair to poor						
* For A-7-5, $PI \leq LL - 30$							
^ For A-7-6, $PI > LL - 30$							

Gambar 2. 1 Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO
(Sumber : Braja M. Das, 1998)

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

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

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*) yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No.200. Simbol dari kelompok ini dimulai 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 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 benar, perlu memerhatikan faktor-faktor berikut ini :

1. Persentase butiran lolos ayakan No.200 (fraksi halus).
2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No.40.
3. Koefisien keseragaman (*Uniformity coefficient, Cu*) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient, Cc*) 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).

Run sieve analysis and if less than 50% passed the #200 sieve, then the soil is coarse. If more than 50% of the coarse material is retained on the #4 sieve, then the soil is gravel.

% passing #200 sieve	Unified Soil Classification Criteria	Group Symbol	Group Name
Less than 5%	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3$	GW	Well graded gravel
	$C_u < 4$ and $1 > C_c > 3$	GP	Poorly graded gravel
Between 5% & 12%	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3$ and fines classify as CL or CH	GW - GC	Well graded gravel with clay
	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3$ and fines classify as ML or MH	GW - GM	Well graded gravel with silt
	$C_u < 4$ and $1 > C_c > 3$ and fines classify as CL or CH	GP - GC	Poorly graded gravel with clay
	$C_u < 4$ and $1 > C_c > 3$ and fines classify as ML or MH	GP - GM	Poorly graded gravel with silt
More than 12%	Fines classify as CL or CH (LL and PL above A-line)	GC	Clayey gravel
	Fines classify as ML or MH (LL and PL below A-line)	GM	Silty gravel
	Fines classify as CL - ML (LL and PL in shaded area)	GC - GM	Silty, clayey gravel

Gambar 2. 2 Sistem klasifikasi tanah berdasarkan USCS untuk jenis tanah kerikil/ *gravel*.

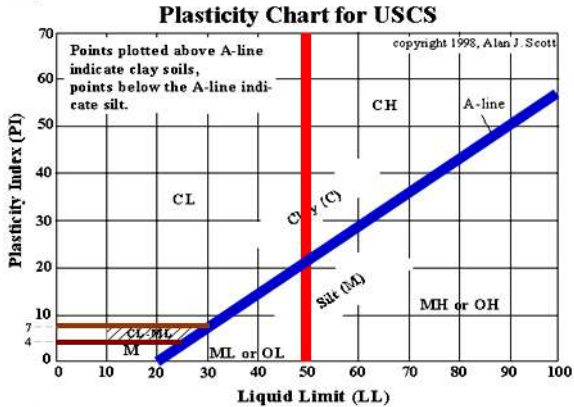
(Sumber : Braja M. Das, 1998)

Run sieve analysis and if less than 50% passed the #200 sieve, then the soil is coarse. If less than 50% of the coarse material is retained on the #4 sieve, then the soil is sand

% passing #200 sieve	Unified Soil Classification Criteria	Group Symbol	Group Name
Less than 5%	$C_u \geq 6$ and $1 \leq C_c \leq 3$	SW	Well graded sand
	$C_u < 6$ and $1 > C_c > 3$	SP	Poorly graded sand
Between 5% & 12%	$C_u \geq 6$ and $1 \leq C_c \leq 3$ and fines classify as CL or CH	SW - SC	Well graded sand with clay
	$C_u \geq 6$ and $1 \leq C_c \leq 3$ and fines classify as ML or MH	SW - SM	Well graded sand with silt
	$C_u < 6$ and $1 > C_c > 3$ and fines classify as CL or CH	SP - SC	Poorly graded sand with clay
	$C_u < 6$ and $1 > C_c > 3$ and fines classify as ML or MH	SP - SM	Poorly graded sand with silt
More than 12%	Fines classify as CL or CH (LL and PL above A-line)	SC	Clayey sand
	Fines classify as ML or MH (LL and PL below A-line)	SM	Silty sand
	Fines classify as CL - ML (LL and PL in shaded area)	SC - SM	Silty, clayey sand

Gambar 2. 3 Sistem klasifikasi tanah berdasarkan USCS untuk jenis tanah pasir/ *sand*.

(Sumber : Braja M. Das, 1998)



Gambar 2. 4 Hubungan Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI).

(Sumber : ASTM, Cassagrande)

SILT OR CLAY			
Run sieve analysis and if less than 50% passed the #200 sieve, then the soil is fine. Run liquid limit and plastic limit tests on materials passing #40 sieve. Note that ASTM requires that the liquid limit be determined using oven dried and undried samples . The ratio of the dried to the undried value is called the liquid limit ratio LLR.			
Liquid Limit	Unified Soil Classification Criteria	Group Symbol	Group Name
Less than 50%	LLR < 0.75	OL	Organic silt or clay
	LLR > 0.75 and PI < 4 or plots below A-line in Fig.	ML	Inorganic silt
	LLR > 0.75 and PI > 7 or plots above A-line in Fig.	CL	Lean clay
	LLR > 0.75 and PI > 7 and LL and PI in shaded area of Fig.	CL-ML	Silty clay
More than 50%	LLR < 0.75	OH	Organic silt or clay
	LLR > 0.75 and PI plots below A-line in Fig.	MH	Elastic silt
	LLR > 0.75 and PI plots on or above A-line in Fig.	CH	Fat clay

Gambar 2. 5 Sistem klasifikasi tanah berdasarkan USCS untuk jenis tanah lanau atau lempung dan gambut.

(Sumber : Braja M. Das, 1998)

2.3. Pengujian di Laboratorium

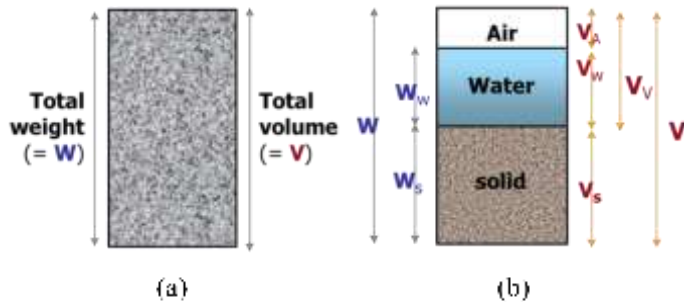
2.3.1. Karakteristik Fisik Tanah

Sifat fisik tanah yaitu sifat suatu elemen tanah yang berhubungan dengan elemen penyusunan massa 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 2.6. (Das. Braja M., 1998).

a. Pengujian Volumetri – Gravimetri

Pada gambar 2.6.(a) menunjukkan suatu elemen tanah yang mempunyai volume V dan berat W , sedangkan gambar 2.6.(b) menunjukkan hubungan volume dan berat dalam tiga fase yang dipisahkan (butiran padat, air, dan udara).



Gambar 2. 6 (a) Elemen tanah dalam keadaan asli; (b) Tiga fase elemen tanah.

(Sumber : Braja M. Das, 1998)

Hubungan volume yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah :

- a. Angka pori (e) adalah perbandingan antara volume pori (V_v) dengan volume butiran (V_s) yang dinyatakan dalam desimal dengan persamaan :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2. 1)$$

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

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (2. 2)$$

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

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (2. 3)$$

- 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 :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (2. 4)$$

- e. Berat jenis (*specific gravity*) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (V_w) pada suhu 4°C. Berat dari berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75 (Hardiyatno, H.C 2001).

- f. Berat volume kering (γ_d) adalah perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume tanah total (V) yang dapat dirumuskan :

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (2. 5)$$

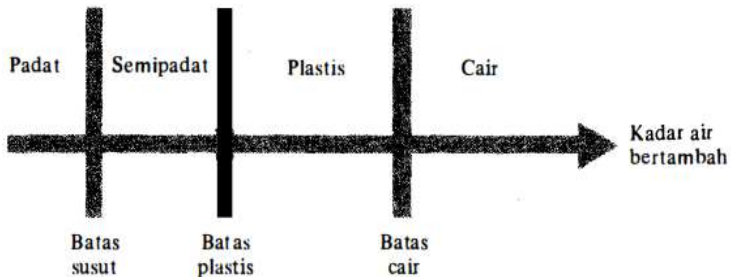
- g. Berat volume butiran padat (γ_s) adalah perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume butiran padat (V_s) dapat dirumuskan :

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (2. 6)$$

b. Pengujian Atterberg *Limit*

Kadar air dinyatakan dalam persen dimana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi-padat didefinisikan sebagai batas susut

(*shrinkage limit*). Kadar air dimana 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 limit*). Kedudukan batas-batas konsistensi untuk tanah disajikan dalam gambar 2.7.



Gambar 2.7 Batas-batas atterberg.

(Sumber : Braja M. Das, 1998)

- 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

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

c. Pengujian Analisa Butiran Tanah

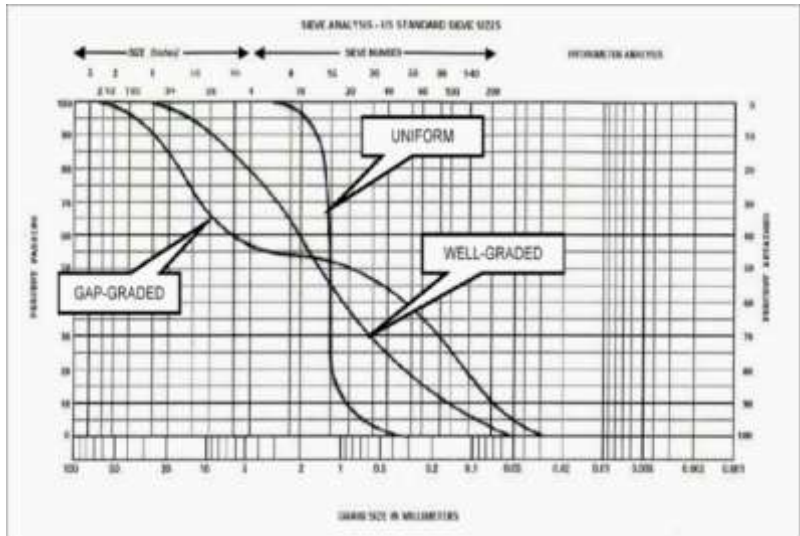
Analisis mekanis dari tanah adalah penentuan variasi ukuran partikel-partikel yang ada pada tanah. Variasi tersebut dinyatakan dalam persentase dari berat kering total. Ada dua cara yang umum digunakan untuk mendapatkan distribusi ukuran-ukuran partikel tanah, yaitu: (1) analisis ayakan, untuk ukuran partikel-partikel berdiameter lebih besar dari 0,075 mm, dan (2) analisis hidrometer, untuk ukuran partikel-partikel berdiameter lebih kecil dari 0,075 mm.

- Analisis ayakan

Analisis ayakan adalah mengayak dan mengge tarkan contoh tanah melalui satu set ayakan dimana lubang-lubang ayakan tersebut makin kecil secara berurutan. Hasil-hasil dari analisis ayakan biasanya dinyatakan dalam persentase dari berat total.

- Analisis Hidrometer

Analisis hidrometer didasar kan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butir-butir tanah dalam air. Bila suatu contoh tanah dilarutkan dalam air, partikel-partikel tanah akain mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada bentuk, ukuran, dan beratnya.



Gambar 2. 8 Bentuk kurva hasil tes ayakan dan tes hidrometer.
(Sumber : Braja M. Das, 1998)

2.3.2. Karakteristik Mekanik Tanah

Sifat mekanik tanah merupakan sifat dan perilaku dari struktur massa tanah ada suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknik mekanik. Pengujian untuk mengetahui sifat mekanik tanah meliputi pengujian sebagai berikut.

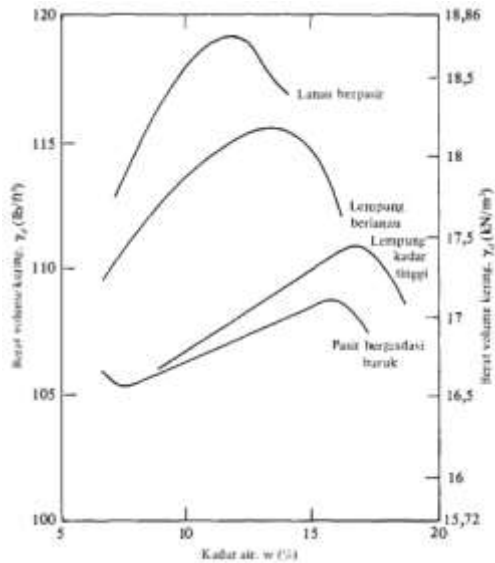
a. Pemadatan Tanah

Pemadatan adalah suatu prose memadatnya partikel tanah sehingga terjadi pengurangan volume udara dan volume air dengan memakai cara mekanik. Keapatan tanah tergantung banyaknya kadar air. Jika kadar air tanah sedikit maka tanah akan keras begitu pula sebaliknya bila kadar air terlalu berlebih 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 :

- Memperkecil pengaruh air terhadap tanah.
- Bertambahnya kekuatan tanah.
- Memperkecil pemampatannya dan daya rembes airnya.
- Mengurangi perubahan volume sebagai akibat variasi kadar air. (Hardiyanto, 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 memberikan getaran pada tanah sehingga pori-pori tanah dapat terisi oleh butiran yang lebih halus. Sedangkan di laboratorium menggunakan pengujian standar yaitu disebut dengan uji proktor dengan cara pengujian menggunakan palu yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu dengan beberapa lapis tanah di dalam sebuah mold. Dengan dilakukannya pengujian pemadatan tanah ini, maka akan terdapat hubungan antara kadar air dengan berat volume kering tanah.
- Pengaruh Jenis Tanah

Jenis tanah yang diwakili oleh distribusi ukuran butiran, bentuk butiran tanah, berat spesifik bagian padat tanah, dan jumlah serta jenis mineral lempung yang ada pada tanah mempunyai pengaruh besar terhadap harga berat volume kering maksimum dan kadar air optimum dari tanah tersebut.



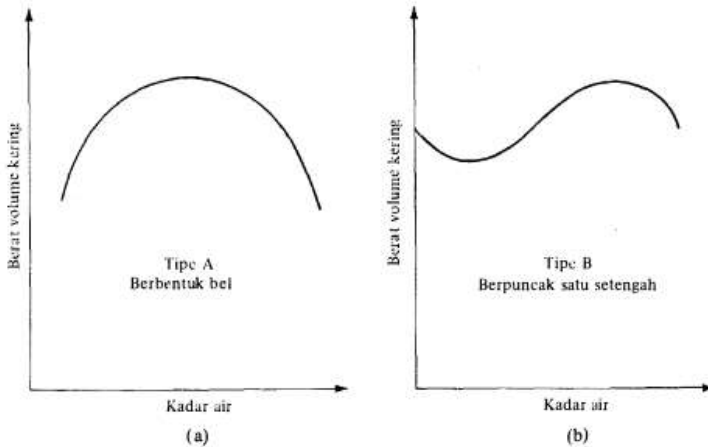
Gambar 2. 9 Bentuk umum kurva kepadatan untuk empat jenis tanah.

(Sumber : ASTM D-698)

Untuk fraksi tanah yang cenderung pasir, harga berat volume kering umumnya cenderung untuk menurun dahulu dengan naiknya kadar air, kemudian naik sampai mencapai harga maksimum dengan penambahan kadar air lebih lanjut. Penurunan berat volume kering pada awal kurva disebabkan karena pengaruh peristiwa kapiler tanah. Pada kadar air yang lebih rendah, adanya tegangan tarik kapiler pada pori-pori tanah mencegah kecenderungan partikel tanah untuk bergerak dengan bebas agar menjadi lebih padat. Kemudian tegangan kapiler tersebut akan berkurang dengan bertambahnya kadar air sehingga partikel-artikel menjadi lebih mudah bergerak dan menjadi lebih padat.

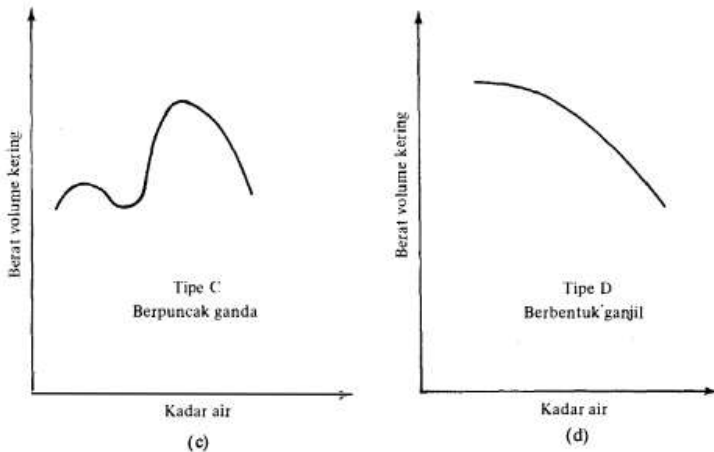
Lee dan Suedkamp (1972) telah mempelajari kurva-kurva pemadatan dari 35 jenis tanah dan menyimpulkan bahwa kurva pemadatan tanah

tersebut dapat dibedakan hanya menjadi empat tipe umum.



Gambar 2. 10 Berbagai macam tipe kurva pemadatan yang sering dijumpai pada tanah.

(Sumber : Lee dan Suedkamp, 1972)



Gambar 2. 11 Berbagai macam tipe kurva pemadatan yang sering dijumpai pada tanah (lanjutan).

(Sumber : Lee dan Suedkamp, 1972)

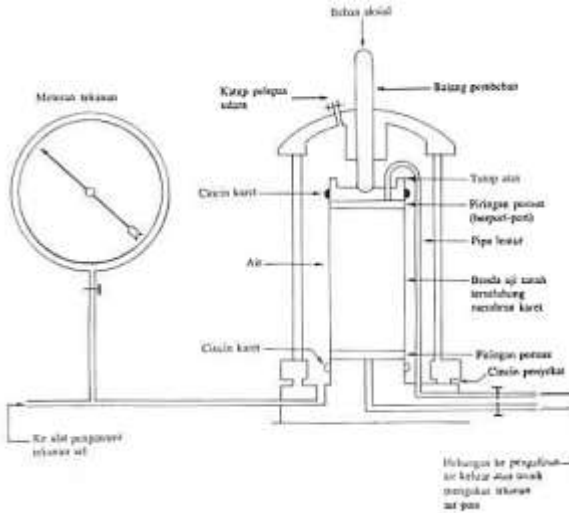
Kurva pemadatan tipe A adalah kurva yang mempunyai hanya satu puncak. Tipe ini biasanya ditemukan pada tanah-tanah yang mempunyai batas cair antara 30 dan 70. Kurva tipe B adalah untuk tipe yang mempunyai satu-setengah puncak, dan kurva tipe C adalah untuk yang mempunyai puncak ganda. Kurva-kurva pemadatan tipe B dan C dijumpai pada tanah-tanah dengan batas cair kurang dari 30. Tipe kurva pemadatan D adalah tipe yang tidak mempunyai puncak tertentu. Tipe ini disebut sebagai berbentuk ganjil. Tanah dengan batas cair lebih esar dari 70 kemungkinan mempunyai bentuk kurva pemadatan seperti tipe C atau D.

b. Pengujian Triaksial

Pada uji ini umumnya digunakan sebuah sampel tanah kira-kira berdiameter 1,5 inci (38,1 mm) dan panjang 3 inci (76,2 mm). Sampel tanah (= benda uji) tersebut ditutup dengan membran karet yang tipis dan diletakkan di dalam sebuah bejana silinder dari bahan plastik (atau juga gelas) yang kemudian bejana tersebut diisi dengan air atau larutan gliserin. Di dalam bejana, benda uji tersebut akan mendapat tekanan hidrostatis. (Catatan: untuk media penekan dapat juga di gunakan udara). Untuk menyebabkan terjadinya keruntuhan geser pada benda uji, tegangan aksial (vertikal) diberikan melalui suatu piston vertikal (tegangan ini biasanya juga disebut tegangan deviator). Pembebanan arah vertikal dapat dilakukan dengan dua cara:

- a. Dengan memberikan beban mati yang berangsur-angsur ditambah (penambahan setiap saat sama) sampai benda uji runtuh (deformasi arah aksial akibat pembebanan ini diukur dengan sebuah arloji ukur/*dial gage*);
- b. Dengan memberikan deformasi arah aksial (vertikal) dengan kecepatan deformasi yang tetap dengan bantuan gigi-gigi mesin atau

pembebanan hidrolis. Cara ini disebut juga sebagai uji regangan terkendali.



Gambar 2. 12 Skema Alat Triaksial.
(Sumber : Bishop and Bjerrum, 1960)

Kondisi-kondisi drainase selama pemberian tekanan sel dan beban aksial, masing-masing menjadi dasar klasifikasi umum tes kompresi triaksial ada 3 yaitu :

1. *Unconsolidated Undrained* (UU)

Tak terkonsolidasi dan tak terdrainase (UU). Pada tes ini, suatu tekanan sel diberikan pada spesimen tes dan tegangan deviator atau penggeseran diberikan segera setelah tekanan sel stabil. Drainase tidak diizinkan selama pemberian tekanan sel (tegangan keliling) dan drainase tidak diizinkan selama pemberian tegangan deviator. Pengujian *Unconsolidated Undrained* (UU) dilakukan untuk mensimulasikan kondisi di lapangan apabila penambahan/pemberian beban relatif cepat sehingga lapisan tanah belum sempat terkonsolidasi (air

di dalam pori tanah tidak sempat mengalir ke luar selama proses pemberian beban), oleh karena itu pengujian ini juga dinamakan quick test. Sebagai contoh dalam kasus ini adalah suatu lapisan tanah yang menerima beban relatif cepat seperti beban urugan yang berlangsung relatif singkat.

2. *Consolidated Undrained (CU)*

Pada tes ini, drainase diizinkan selama pemberian tegangan keliling dan spesimen sepenuhnya terkonsolidasi di bawah tegangan ini. Drainase tidak diizinkan selama pemberian tegangan deviator. Pengujian *Consolidated Undrained (CU)* dilakukan untuk mensimulasikan kondisi lapisan tanah yang telah terkonsolidasi dan kemudian menerima penambahan beban yang relatif cepat. Pada kasus ini mula-mula air di dalam pori tanah dibiarkan mengalir keluar akibat proses konsolidasi, dan setelah tanah terkonsolidasi sempurna (100%), lapisan tanah tersebut menerima tambahan beban yang relatif cepat sehingga air di dalam pori tanah pada saat penambahan beban tidak sempat mengalir ke luar. Sebagai contoh pada kasus ini adalah beban tanki yang didirikan di atas suatu urugan pada tanah lempung yang telah mengalami konsolidasi 100%.

3. *Consolidated Drained (CD)*

Pada tes ini, drainase diizinkan baik selama pemberian tegangan keliling dan tegangan deviator sehingga spesimen sepenuhnya terkonsolidasi di bawah tegangan keliling dan tekanan pori eksis tidak terbentuk selama penggeseran. Pengujian *Consolidated Drained (CD)* dilakukan untuk mensimulasikan kondisi pemberian beban pada tanah yang telah terkonsolidasi dengan kecepatan yang

relatif lambat dibandingkan dengan keluarnya air dari pori tanah.

c. Pengukuran Tegangan Air Pori Negatif (*Suction*) 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 kertas filter, contoh tanah harus dijaga agar tidak mengalami perubahan suhu yang drastic sehingga kadar airnya konstan. Metode pengukuran tegangan 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 suhu sekelilingnya juga dijaga agar tidak mengalami perubahan yang drastis. Untuk contoh tanah yang diberikan siklus pembasahan-pengeringan dapat ditentukan dari kondisi yang palig ekstrim, atau besarnya 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 thap perlu dihitung kadar air dari kertas filter yaitu dengan menimbang kertas filter tersebut. Selanjutnya

dengan menggunakan grafik hasil kalibrasi kertas filter dapat diketahui besarnya tekanan air pori negatif.

2.4. Pengaruh Proses Pembasahan dan Pengerinan Terhadap Perilaku Tanah

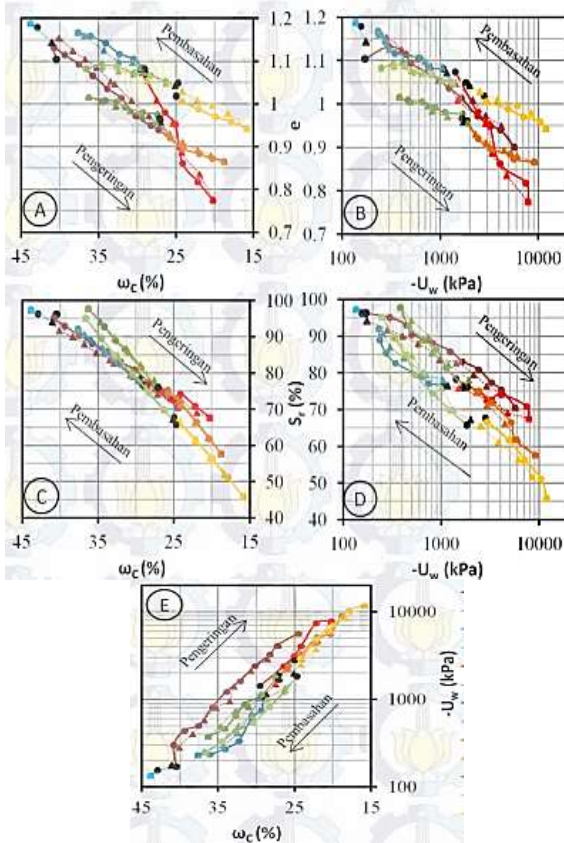
Secara alami, siklus pengerinan dan pembasahan yang berulang secara terus menerus sepanjang waktu akan mengakibatkan terjadinya perubahan kekuatan tanah. Maekawa dan Miyakita, menyimpulkan bahwa jumlah siklus pembasahan- pengerinan dan tingkat pengerinan memengaruhi kekuatan geser tanah. Dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa jumlah siklus pengerinan – pembasahan memperbesar perubahan parameter tanah dan terlihat pada siklus ke-3 (siklus ke-5 dan ke-6) parameter tanah cenderung konstan dan hal tersebut menunjukkan pengaruh siklus pembasahan-pengerinan dengan pengulangannya terhadap kekuatan fisik dan mekanik tanah.

Proses pengerinan (*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.

2.4.1. Pengaruh Proses Pembasahan dan Pengerinan pada Sifat Fisik Tanah

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M. Eng et. al, tahun 2014 dengan lokasi studi di tanggul Sungai Bengawan Solo *cross section* ± 500 , Desa Semambung, Kabupaten Bojonegoro, didapatkan kesimpulan bahwa akibat terjadinya proses pembasahan dan pengerinan berulang dapat memengaruhi sifat fisik tanah. Akibat proses pengerinan berulang dapat menurunkan nilai sifat fisik tanah yaitu angka pori (e), porositas (n), derajat kejenuhan (S_r), kadar air (w_c), berat volume tanah

(γ_t), dan *specific gravity* (G_s). Sedangkan akibat proses pembasahan berulang dapat menaikkan sifat tanah. Hal tersebut dapat ditunjukkan dalam tabel dan gambar di bawah ini.



Gambar 2. 13 Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap hubungan antara kadar air, angka pori, derajat kejenuhan dan tegangan air pori negatif pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi.

(Sumber : Jurnal oleh Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng., et. al, 2014)

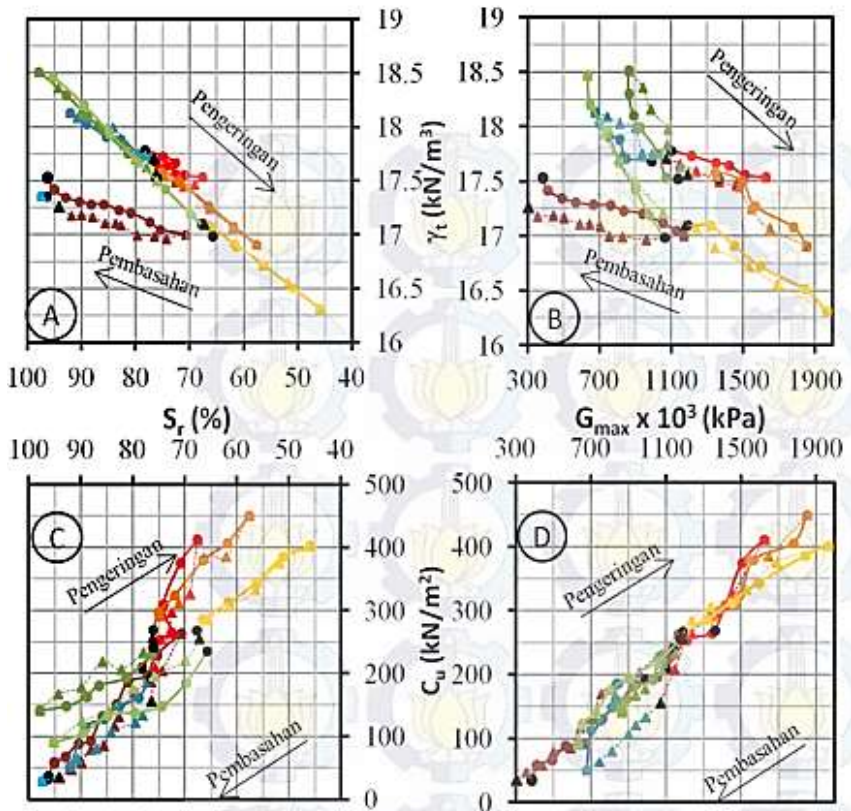
Tabel 2. 1 Presentase perubahan nilai sifat fisik benda uji yang mengalami proses pengeringan dan pembasahan siklus 1x dan 2x.

Parameter	Presentase Perubahan Nilai pada (%)			
	Tanah Natural	Tanah natural + 6% Kapur	Tanah natural + 10% <i>fly ash</i>	Tanah natural + 7% Mikrobiobakteri
γ_t (kN/m ³)	-1,03	0,006	-0,686	-0,582
S_r (%)	0,051	-0,08	-2,944	-2,112
e	6,796	0,473	3,022	0,662

(Sumber : Jurnal oleh Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng., et. al, 2014)

2.4.2. Pengaruh Proses Pembasahan dan Pengeringan pada Sifat Mekanik Tanah

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M. Eng et. al, tahun 2014 dengan lokasi studi di tanggul Sungai Bengawan Solo *cross section* ± 500 , Desa Semambung, Kabupaten Bojonegoro, didapatkan kesimpulan bahwa akibat terjadinya proses pembasahan dan pengeringan berulang dapat memengaruhi sifat mekanik tanah. Akibat proses pengeringan berulang dapat meningkatkan nilai sifat mekanik tanah yaitu nilai kohesi (C_u) dan tegangan air pori negatif ($-U_w$). Sedangkan akibat proses pembasahan berulang dapat menurunkan sifat tanah. Hal tersebut dapat ditunjukkan dalam tabel dan gambar di bawah ini.



Gambar 2. 14 Pengaruh siklus pengeringan-pembasahan 1x dan 2x terhadap sifat mekanik pada tanah natural dan tanah yang distabilisasi.

(Sumber : Jurnal oleh Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng., et. al, 2014)

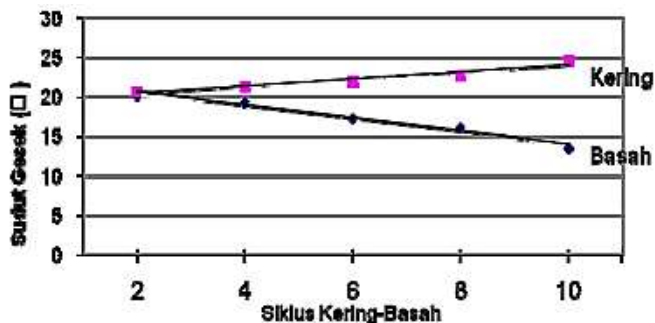
Tabel 2. 2 Presentase perubahan nilai sifat mekanik benda uji yang mengalami proses pengeringan dan pembasahan siklus 1x dan 2x.

Parameter	Presentase Perubahan Nilai pada (%)			
	Tanah Natural	Tanah natural + 6% Kapur	Tanah natural + 10% <i>fly ash</i>	Tanah natural + 7% Mikrobiobakteri
γ_d (kN/m ³)	-2,734	-0,035	-0,48	-0,156
-U _w (kPa)	8,955	-11,109	-35,097	-24,543
C _u (kN/m ²)	7,344	-10,333	-12,069	-7,897

(Sumber : Jurnal oleh Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng., et. al, 2014)

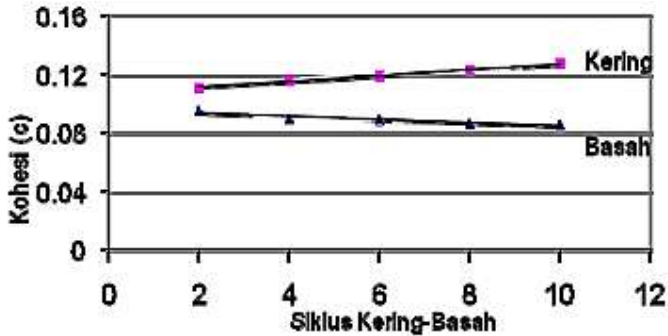
2.4.3. Pengaruh Proses Pembasahan dan Pengeringan pada Kekuatan Geser Tanah

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sukiman Nurdin, tahun 2010 dengan lokasi studi di Palu, dapat disimpulkan dari hasil uji geser langsung pada kondisi kering memiliki nilai kohesi (c) dan sudut gesek (ϕ) yang lebih besar daripada kondisi basah sehingga semakin besar nilai c dan ϕ maka semakin besar nilai kuat geser tanahnya (τ_f).



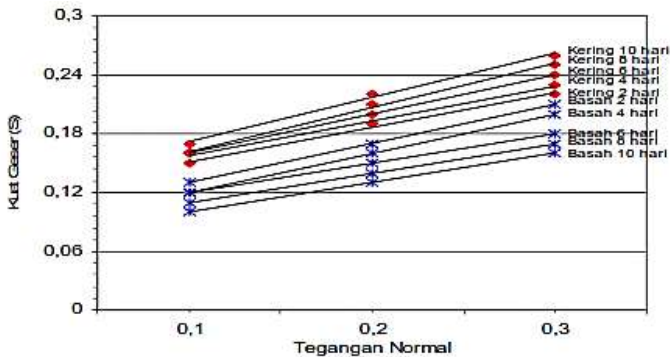
Gambar 2. 15 Nilai sudut gesek dalam (ϕ) tanah akibat proses pembasahan dan pengeringan.

(Sumber : Jurnal oleh Sukiman Nurdin, 2010)



Gambar 2.16 Nilai kohesi (c) tanah akibat proses pembasahan dan pengeringan.

(Sumber : Jurnal oleh Sukiman Nurdin, 2010)



Gambar 2.17 Nilai kuat geser tanah terhadap tegangan normal akibat proses pembasahan dan pengeringan.

(Sumber : Jurnal oleh Sukiman Nurdin, 2010)

Pada penelitian tersebut digunakan sampel tanah dengan waktu pengeringan dan pembasahan selama 4, 6, 8, dan 10 hari dengan kondisi tanah natural tak terganggu (*undisturbed*). Untuk sampel kering 2 hari sampai 10 hari diperoleh nilai kuat gesernya semakin meningkat dari 0,19 kg/cm² menjadi 0,22 kg/cm²; untuk sampel basah nilai kuat gesernya semakin menurun dari 0,17 kg/cm² menjadi 0,13 kg/cm². Hal tersebut menunjukkan

bahwa jika tanah lempung terkena air maka tanah cepat menjadi “lemah” sehingga kuat geser tanah semakin menurun.

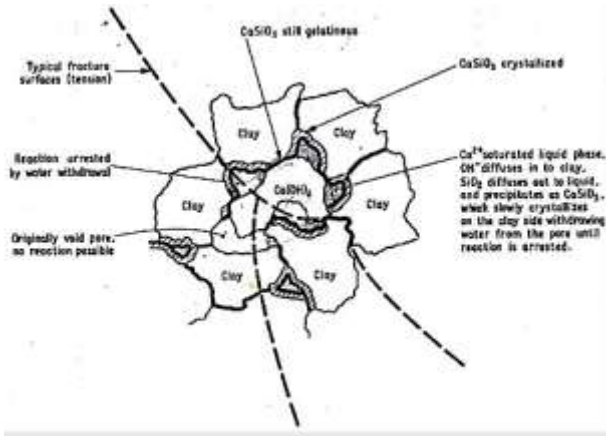
2.5. Bahan Tambah Stabilisasi

2.5.1. Kapur

Kapur adalah zat adiktif yang mengandung kation-anion Ca dan Mg yang mampu menetralkan sifat kembang susut tanah yang besar. Selain itu kapur juga berfungsi untuk merangsang terjadinya proses sementasi antara butiran tanah yang 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 limit* dan *plasticity index* bahkan terjadi penurunan yang mencolok pada harga *Atterberg limit* 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 yang telah dilakukan Sudjanarko Sudirham dan Ria Asih Aryani Soemitro (1986). Dikatakan pula penambahan kapur dengan kadar 10% akan mampu mengurangi harga *swelling* yang relatif besar.



Gambar 2. 18 Mekanisme stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan kapur (Ingles dan Metacalf,1972).

(Sumber : Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah, 2012)

Reaksi antara kapur, tanah, dan air adalah sebagai berikut :

1. Kapur bereaksi dengan mineral lempung atau butiran halus lainnya (misalkan : Hidrous Silica), membentuk *water-insoluble gel* dari Calcium Silicate (yang berasal dari kapur (CaO), silika berasal dari butiran lempung, tergantung jenis mineral apa yang ada di lempung) yang berfungsi untuk mengikat partikel tanah.
2. Gel yang terbentuk mempunyai perilaku seperti semen (semen berfungsi sebagai material pengikat/pengisi) dalam fungsinya sebagai *cementing agent*.
3. Silicate gel yang terbentuk kemudian membungkus dan mengikat gumpalan-gumpalan lempung dan menutup pori lempung.
4. Secara perlahan gel tersebut mengkristal menjadi *calcium silicate hydrates*.
5. Air yang ditambahkan dalam stabilisasi kimia juga memiliki peran penting dalam reaksi antara kapur dan tanah. Jika air yang ditambahkan dalam campuran

sedikit maka reaksi antara kapur dan tanah akan terjadi sehingga tidak terbentuk *water-insoluble gel* yang menyebabkan tanah tidak akan mengalami peningkatan kekuatan. Akan tetapi apabila air yang ditambahkan banyak akan tetapi kapur yang ditambahkan sedikit maka reaksi antara kapur dan tanah akan lama sehingga membutuhkan waktu untuk tanah mencapai kekuatannya.

2.5.2. Fly Ash

Faktor-faktor yang memengaruhi sifat fisik, kimia, dan teknik dari *fly ash* adalah tipe batubara, kemurnian batu bara, tingkat penghancuran, tipe pemanasan, dan operasi serta metode penyimpanan dan penimbunan. Adapun komposisi kimia dan klasifikasinya seperti dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Komposisi dan Klasifikasi Fly Ash

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

(Sumber : http://exergia.gr/projectsites/ALF-CEMIND-CD/AF_and_ARM_fly_ash.htm)

2.6. Perilaku Kembang Susut Tanah Lempung

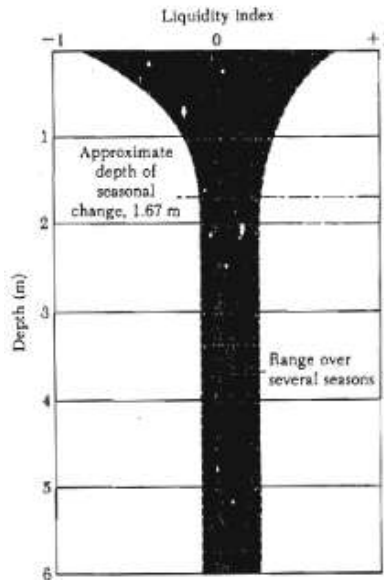
Tanah kembang-susut mempunyai ciri-ciri : tanah akan mengembang bila tanah menjadi basah (pada musim penghujan) dan menyusut apabila tanah menjadi kering (pada musim kemarau). Besarnya pengembangan dan penyusutan tersebut biasanya tidak merata dari satu titik ke titik lain. Hal ini menyebabkan permukaan tanah yang semula rata menjadi tidak rata atau bergelombang.

Adanya *differential movement* (perbedaan pergerakan kembang susut tanah) tersebut menyebabkan terjadinya kerusakan pada bangunan, misalnya :

- Dinding tembok rumah retak dan terkadang merekah lebar.
- Lantai rumah yang semula rata menjadi bergelombang.
- Jalan raya beraspal yang baru mengalami perbaikan dan mulus beberapa waktu kemudian mulai bergelombang dan kemudian diikuti retak-retak di beberapa bagian.
- Kemungkinan miringnya abutment jembatan karena pengembangan tanah dibelakangnya.

Semua hal tersebut tentunya menimbulkan kerugian yang tidak sedikit bagi masyarakat.

Peningkatan kadar air menyebabkan tanah menjadi mengembang; kedalaman suatu profil tanah yang kadar airnya berubah-ubah dan menyebabkan kembang tanah yang dinamakan “zona aktif”. Kedalaman zona aktif dapat dengan mudah ditentukan dengan menggambar grafik *liquidity index* dan kedalaman profil lapisan tanah pada seluruh musim. Gambar 2.19 menunjukkan contoh formasi Beaumont di daerah Houston, Amerika Serikat.



Gambar 2. 19 Zona aktif lapisan tanah di daerah Houston-formasi Beaumont .

(Sumber : O'Neill dan Poormoayed, 1980)

Adanya interaksi fisika-kimia antar butir menyebabkan terjadinya kohesi, sifat-sifat plastis dari tanah lempung, dan juga sifat mengembang dan menyusut. Pada tanah kerikil dan pasir, dimana *specific surface*-nya relatif sangat kecil, sifat interaktif butiran hanya dipengaruhi oleh mekanisme gravitasi nya saja. Kohesi, plastisitas, dan sifat kembang susut praktis tidak ada pada tanah berbutir kasar. Tanah lanau (*silt*) merupakan jenis tanah dengan sifat diantara pasir dan lempung (*clay*). Sehingga meskipun tanah lanau juga mempunyai sedikit kohesi, plastisitas, dan sifat kembang-susut yang relatif tidak berarti.

Tanah dengan *specific surface*-nya yang besar umumnya sangat "aktif"; artinya sifat tanah lebih dipengaruhi oleh interaksi fisika-kimia antar butiran/partikel. Akan tetapi sifat fisika-kimia tersebut

tentunya jugat dipengaruhi oleh besarnya muatan listrik pada permukaan partikel tanah. Banyak mineral-mineral tanah yang juga sangat kecil buturannya dan juga sangat besar *specific surface* nya tetapi praktis tidak bermuatan listrik sama sekali atau netral. Sehingga tidak terjadi interaksi fisika-kimia antar butiran dan tanah seperti ini bersifat seperti pasir atau lanau dengan nilai plastisitas dan kohesi yang kecil.

2.7. Stabilisasi Tanah Kembang Susut

Stabilisasi tanah merupakan usaha untuk memperbaiki sifat tanah secara teknis dengan menggunakan bahan-bahan tertentu. Pekerjaan ini umumnya dilakukan dengan mencampur tanah dengan jenis tanah lain sehingga gradasi yang diinginkan bisa didapatkan. Selain itu, pencampuran tanah juga dapat dilakukan dengan menggunakan bahan-bahan buatan pabrik agar sifat-sifat teknis dari tanah bisa lebih baik.

Stabilisasi tanah biasanya memiliki tujuan utama untuk mengubah sifat teknis tanah itu sendiri, seperti sifat kompresibilitas, kapasitas dukung, kemudahannya untuk dikerjakan, permeabilitas, sensitifitasnya terhadap kadar air yang berubah, serta potensi pengembangannya.

Untuk mencapai tujuan tersebut, proses stabilisasi ini dapat dilakukan dengan cara paling sederhana seperti pemadatan, hingga menggunakan teknik yang lebih efektif dan juga memerlukan dana yang cukup besar, yakni dengan mencampur tanah dengan pasir atau semen, grouting atau injeksi semen, abu terbang, pemanasan dan lain sebagainya.

Dengan dilakukannya stabilisasi tanah, kualitas tanah akan semakin meningkat. Lapisan tanah yang lebih stabil membuatnya dapat mendistribusikan beban lebih jauh lagi dengan lebih baik. Selain itu, tebal lapisan tanah yang harus dibuat juga berkurang sehingga juga mengurangi biaya pembangunan.

Salah satu bagian dari proses stabilisasi tanah adalah mempertimbangkan apakah kondisi tanah sudah cukup

memenuhi syarat sebagai lokasi pelaksanaan konstruksi. Apabila belum memenuhi syarat, maka hal-hal yang diperlukan antara lain:

- Pembongkaran tanah atau material yang ada di lokasi serta kemudian menggantinya dengan yang lebih sesuai.
- Meningkatkan sifat tanah yang ada di lokasi sehingga dapat lebih baik dan memenuhi syarat untuk dilaksanakannya konstruksi.

Terdapat 2 cara umum yang bisa dilakukan untuk menstabilkan tanah yaitu dengan stabilisasi mekanik dan stabilisasi kimia.

2.7.1. Stabilisasi Mekanik (*Mechanical Stabilization*)

Cara stabilisasi mekanik pada intinya adalah :

- Mencampurkan tanah dasar dengan tanah yang tidak mengembang. Hal ini dapat dilakukan dengan mencampurkan pasir atau lanau dengan jumlah yang sedemikian rupa sehingga kembang susut tanah asli berkurang.
- Memadatkan tanah dasar (*soil compaction*); tanah yang padat dengan susunan struktur matriks yang lebih kokoh dapat mengurangi kembang-susut tanah meskipun misalnya tegangan kapiler dan osmosis yang terjadi sama besar.

Stabilisasi mekanis tidak terlalu efektif untuk tanah yang mempunyai sifat kembang susut yang besar karena diperlukan volume tanah pencampur yang cukup banyak, selain itu pemadatan hanya mampu menurunkan sedikit sifat kembang-susut dari tanah. Disamping itu, kegunaannya tidak banyak apabila kembang susut awal dari tanah sudah besar.

2.7.2. Stabilisasi Kimiawi (*Chemical Stabilization*)

Stabilisasi tanah secara kimiawi merupakan penambahan bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah. Di

dalam usaha stabilisasi tanah ini, dikenal banyak jenis stabilizing agent's yaitu air sendiri di dalam jumlah yang tepat dan tanah dalam jumlah proporsional.

- *Lime stabilization* (pencampuran dengan kapur)
Kation-kation Ca^{2+} dan Mg^{2+} dan kapur dapat berfungsi sebagai penetralisir dari difat mengembang tanah. Disamping itu kapur jугan menyebabkan terjadinya proses sementasi antar butiran tanah sehingga terbentuk gumpalan partikel yang lebih besar dan muatan permukaan yang rekatif lebih kecil. Sebagai akibatnya plastisitas dari tanah berkurang dan kembang susut dari tanah berkurang. Selain itu terjadi kekuatan tanah dasar karena stabilisasi kimia menggunakan kapur.
- *Salt stabilization*
Dilakukan dengan cara menambahkan garam-garam ke dalam tanah. Garam dapur misalnya NaCl banyak mengandung kation-kation Na atau garam yang lain
- *Cement Stabilization*
Hampir sama dengan stabilisasi dengan menggunakan kapur dan garam, semen (*Portland cement*) disamping memberikan tambahan kation-kation kepada tanah juga yang paling utama untuk sementasi atau pengikatan butiran-butiran tanah sehingga tanah menjadi lebih kaku, butiran membesar, plastisitas turun, dan sifat kembang susut juga menurun.
- *Bituminous stabilization*
Aspal atau bitumen berfungsi untuk menutup permukaan pori-pori di dalam tanah sehingga air tidak dapat masuk pori-pori. Sehingga mekanisme *swelling* dan *shrinking* pada tanah tidak dapat berlangsung. Disamping itu bahan

bitumen juga berfungsi mengikat partikel-partikel tanah menjadi butiran yang lebih besar.

a. Penentuan kadar optimum bahan tambah stabilisasi

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M. Eng et. al, tahun 2014 dengan lokasi studi di tanggul Sungai Bengawan Solo *cross section* ± 500 , Desa Semambung, Kabupaten Bojonegoro, untuk menentukan kadar optimum suatu campuran dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui berapa persen bahan stabilisator yang harus ditambahkan ke dalam tanah untuk dapat meningkatkan kekuatan tanah. Hasil penelitian tersebut disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut,

Tabel 2. 4 Kenaikan dan penurunan hasil uji proktor standar (benda uji *remoulding*) pada tanah yg distabilisasi dibandingkan dengan tanah natural.

Parameter	Presentase Perubahan Nilai pada (%)		
	Tanah natural + 6% Kapur	Tanah natural + 10% <i>fly ash</i>	Tanah natural + 7% Mikrobiobakteri
W_c (%)	3,846	-3,846	11,538
γ_d (kN/m ³)	1,487	1,859	2,825
e	11,066	-5,64	-0,929
$-U_w$ (kPa)	445,408	278,817	1081,128

(Sumber : Jurnal oleh Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng., et. al, 2014)

Penelitian di atas menggunakan 3 bahan tambah stabilisasi yaitu kapur, *fly ash*, dan mikrobioakteri dengan masing-masing memiliki kadar dan waktu

pemeraman yang berbeda-beda. Untuk kapur, terdapat 5 campuran yaitu (a) tanah + 2% kapur; (b) tanah + 4% kapur; (c) tanah + 6% kapur; (d) tanah + 8% kapur; (e) tanah + 10% kapur. Untuk *fly ash*, terdapat 5 campuran (a) tanah + 5% *fly ash*; (b) tanah + 10% *fly ash*; (c) tanah + 15% *fly ash*; (d) tanah + 20% *fly ash*; (e) tanah + 25% *fly ash*. Untuk mikrobiobakteri, terdapat 4 campuran (a) tanah + 3% mikrobiobakteri; (b) tanah + 5% mikrobiobakteri; (c) tanah + 7% mikrobiobakteri; (d) tanah + 9% mikrobiobakteri. Masing-masing campuran diperam dalam waktu 7 hari, 2 hari, dan tanpa pemeraman. Kemudian dari masing-masing campuran, dilakukan pengujian proktor standar untuk mengetahui kadar optimum dan waktu pemeraman masing-masing bahan tambah stabilisasi.

b. Pengaruh bahan tambah pada kekuatan tanah

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M. Eng et. al, tahun 2014 dengan lokasi studi di tanggul Sungai Bengawan Solo *cross section* ± 500 , Desa Semambung, Kabupaten Bojonegoro, pengaruh dari penambahan bahan tambah dapat memengaruhi kekuatan dan karakteristik tanah. Hasil dari penelitian adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 5 Presentase perubahan kekuatan tanah yang distabilisasi dibandingkan tanah natural.

Parameter	Presentase Perubahan Nilai pada (%)		
	Tanah natural ditambah		
	6% Kapur	10% <i>fly ash</i>	7% Mikrobiobakteri
γ_t	5,209	4,437	4,919
γ_d	4,738	4,506	4,625
S_r	7,977	1,932	3,027
e	-2,087	4,739	5,863
$-U_w$	-55,8	-69,389	-69,12
C_u	35,11	4,051	10,284

(Sumber : Jurnal oleh Dr. Ir. Ria Asih Aryani
Soemitro, M.Eng., et. al, 2014)

2.8. Klasifikasi Jalan

Jalan raya dapat digolongkan dalam klasifikasi berdasarkan fungsinya yang mana mencakup beberapa golongan meliputi:

- a. Jalan arteri; jalan arteri merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara berdaya guna.
- b. Jalan kolektor; jalan kolektor merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.
- c. Jalan lokal; jalan lokal merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk dibatasi.
- d. Jalan lingkungan; jalan lingkungan merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat, dan kecepatan rata-rata rendah.

Klasifikasi menurut kelas jalan dan ketentuannya serta kaitannya dengan klasifikasi menurut fungsi jalan (Pasal 11 PP No.43/1993), sebagai berikut:

- a. Jalan kelas I, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 18.000 milimeter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan lebih besar dari 10 ton.;
- b. Jalan kelas II, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 18.000 milimeter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan 10 ton.;
- c. Jalan kelas IIIA, yaitu jalan arteri atau kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 18.000 milimeter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan 8 ton.;
- d. Jalan kelas IIIB, yaitu jalan kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 12.000 milimeter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan 8 ton.;
- e. Jalan kelas IIIC, yaitu jalan lokal yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.100 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 9.000 milimeter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan 8 ton.

Jalan inspeksi (perancangan keairan) direncana, dibangun, dan dipelihara oleh dinas pengairan. Jalan ini terutama digunakan untuk memeriksa, mengeksploitasi, dan memelihara jaringan irigasi dan pembuang yaitu saluran dan bangunan-bangunan pelengkap. Akan tetapi di kebanyakan daerah pedesaan, jalan-jalan ini juga sekaligus berfungsi sebagai jalan utama dan oleh karena itu juga digunakan pada kendaraan-kendaraan komersial dengan pembebanan as yang lebih berat dibandingkan dengan kendaraan-kendaraan inspeksi.

Semua jalan inspeksi digolongkan sebagai jalan kelas III atau lebih rendah lagi menurut standar Bina Marga No.13/1970 (Bina Marga, 1970b) dan merupakan jalan satu jalur. Untuk jalan-jalan yang berada dibawah wewenang direktorat irigasi, standar Bina Marga telah diperluas menjadi :

- a. Kelas I; Jalan nasional.
- b. Kelas II; Jalan provinsi.
- c. Kelas III; Jalan kabupaten, jalan desa, jalan inspeksi utama.
- d. Kelas IV; Jalan penghubung, jalan inspeksi sekunder.
- e. Kelas V; Jalan setapak atau jalan orang.

Jalan kelas III dengan perkerasan, jalan kelas IV boleh dengan perkerasan (untuk yang lebih penting) atau tanpa perkerasan. Kelas V umumnya tanpa perkerasan.

Tabel 2. 6 Perkiraan Harga-harga Minimum CBR Untuk Perencanaan Tanah Dasar Di Bawah Jalan Perkerasan yang Dipadatkan Sampai 95% dari Berat Isi Kering Maksimum Proctor (Road Note 31, 1977).

Kedalaman muka air tanah dari ketinggian formasi	CBR minimum (persen)					Lanau
	Pasir non plastik	Lempung pasiran PI=10	Lempung pasiran PI=20	Lempung pasiran PI=30	Lempung pasiran PI>40	
	(PI = Indeks Plastisitas)					
0,6 mm	8	5	4	3	2	1
1,0 mm	25	6	5	4	3	2
1,5 mm	25	8	6	5	3	
2,0 mm	25	8	7	5	3	
2,5 mm	25	8	8	6	4	Lihat
3,0 mm	25	25	8	7	4	catatan
3,5 mm	25	25	8	8	4	3
5,0 mm	25	25	8	8	5	
7,0 m atau lebih	25	25	8	8	7	

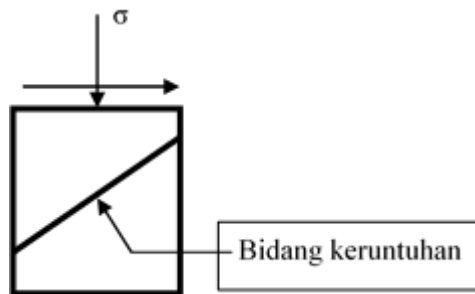
(Sumber : KP-04, 1986)

2.9. Kekuatan Geser Tanah

Kekuatan geser suatu massa tanah merupakan perlawanan internal tanah tersebut per satuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud. Untuk menganalisis masalah stabilitas tanah seperti daya dukung, stabilitas talud (lereng), dan tekanan tanah ke samping pada suatu struktur (misalkan tura atau tembok penahan tanah), maka harus diketahui terlebih dahulu sifat-sifat ketahanan penggeser tanah tersebut.

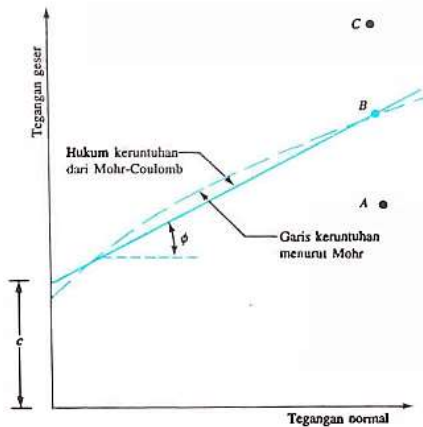
2.9.1. Kriteria Keruntuhan Menurut Mohr-Coulomb

Mohr (1980) memberikan sebuah teori tentang keruntuhan pada material, yang menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan tegangan geser, dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum saja. Sehingga hubungan antara tegangan normal dan geser pada sebuah bidang keruntuhan dapat dinyatakan dengan persamaan $\tau_f = f(\sigma)$.



Gambar 2. 20 Garis keruntuhan menurut Mohr
(Sumber : Braja M. Das, 1998)

Garis keruntuhan (*failure envelope*) yang dinyatakan oleh persamaan $\tau_f = f(\sigma)$ berbentuk garis lengkung seperti pada gambar berikut.



Gambar 2. 21 Hukum keruntuhan dari Mohr.
(Sumber : Braja M. Das, 1998)

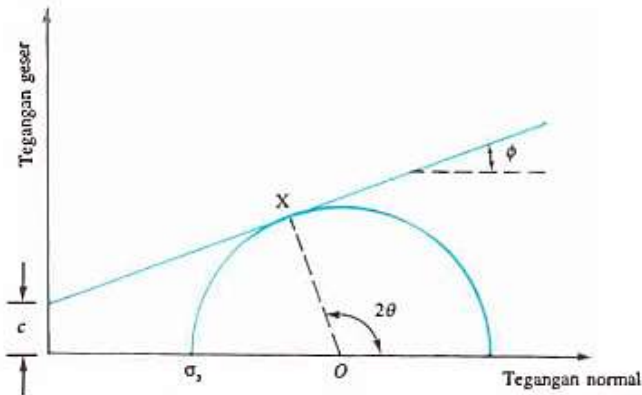
Untuk sebagian besar masalah-masalah mekanika tanah, garis tersebut cukup didekati dengan sebuah garis lurus yang menunjukkan hubungan linear antara tegangan normal dan tegangan geser (Coulomb, 1776). Persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (2. 8)$$

dimana, c = kohesi; ϕ = sudut geser-internal

Hubungan di atas disebut juga sebagai kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb. Bila tegangan normal dan geser pada sebuah bidang dalam suatu massa tanah sedemikian rupa sehingga tegangan-tegangan tersebut dapat digambarkan sebagai titik A (gambar 2.21), maka keruntuhan geser tidak akan terjadi pada bidang tersebut. Tetapi bila tegangan normal dan geser bekerja pada suatu bidang lain dapat digambarkan sebagai titik B (yang tepat berada pada garis keruntuhan), maka keruntuhan geser akan terjadi pada bidang tersebut. Suatu keadaan kombinasi yang berwujud titik C tidak mungkin terjadi karena bila

titik tersebut tergambar di atas garis keruntuhan, keruntuhan geser pasti sudah terjadi sebelumnya.



Gambar 2. 22 Lingkaran *Mohr* dan garis keruntuhan.

(Sumber : Braja M. Das, 1998)

Pada tanah jenuh air, besar tegangan normal total pada sebuah titik adalah sama dengan jumlah tegangan efektifnya ditambah dengan tegangan air pori atau dapat ditulis dengan persamaan,

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2.9)$$

Tegangan efektif σ' , diterima oleh bagian butiran padat dari tanah. Sehingga berdasarkan prinsip mekanika tanah, persamaan 2.7 dapat dituliskan kembali menjadi,

$$\tau_f = c + (\sigma - u) \tan \phi \quad (2.10)$$

Nilai c dari tanah pasir dan lanau anorganik adalah sama dengan nol. Untuk tanah lempung yang terkonsolidasi normal, harga c juga dapat dianggap sama dengan nol. Tanah lempung terkonsolidasi lebih mempunyai harga $c > 0$. Sudut geser internal ϕ , dapat disebut juga sudut geser air teralirkan.

2.9.2. CBR (*California Bearing Ratio*)

CBR (*California Bearing Ratio*) adalah percobaan daya dukung tanah yang dikembangkan oleh *California State Highway Departement*. Prinsip pengujian ini adalah pengujian penetrasi dengan menusukkan benda ke dalam benda uji. Dengan cara ini dapat dinilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang dipergunakan untuk membuat perkerasan. Nilai kekuatan tanah tersebut digunakan sebagai acuan perlu tidaknya distabilisasi setelah dibandingkan dengan yang disyaratkan dalam spesifikasinya.

Pengujian CBR adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Nilai CBR dihitung pada penetrasi sebesar 0.1 inci dan penetrasi sebesar 0.2 inci dan selanjutnya hasil kedua perhitungan tersebut dibandingkan sesuai dengan SNI 03-1744-1989 diambil hasil terbesar.

Tujuan dilakukan pengujian CBR ini adalah untuk mengetahui nilai CBR pada variasi kadar air pemadatan. Untuk menentukan kekuatan lapisan tanah dasar dengan cara percobaan CBR diperoleh nilai yang kemudian dipakai untuk menentukan tebal perkerasan yang diperlukan di atas lapisan yang nilai CBR nya tertentu (Wesley,1977). Dalam menguji nilai CBR tanah dapat dilakukan di laboratorium. tanah dasar (*Subgrade*) pada kontruksi jalan baru merupakan tanah asli, tanah timbunan, atau tanah galian yang sudah dipadatkan sampai mencapai kepadatan 95% dari kepadatan maksimum. Makin tinggi nilai CBR tanah (*subgrade*) maka lapisan perkerasan di atasnya akan semakin tipis dan semakin kecil nilai CBR (*daya dukung tanah rendah*), maka akan semakin tebal lapisan perkerasan di atasnya sesuai beban yang akan dipikulnya.

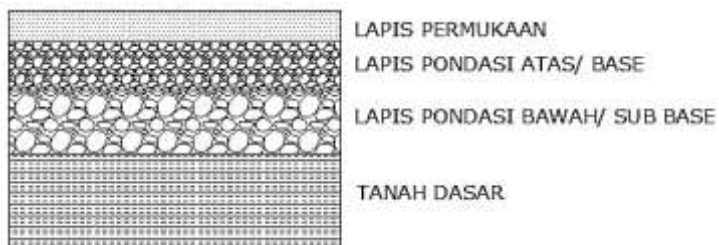
Berdasarkan cara mendapatkan contoh tanahnya, CBR dapat dibagi menjadi 3 yaitu :

1. CBR Lapangan (*CBR in place* atau *field Inplace*)
Digunakan untuk memperoleh nilai CBR asli di Lapangan sesuai dengan kondisi tanah pada saat itu. Umum digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan yang lapisan tanah dasarnya tidak akan dipadatkan lagi. Pemeriksaan ini dilakukan dalam kondisi kadar air tanah tinggi (musim penghujan), atau dalam kondisi terburuk yang mungkin terjadi. Juga digunakan apakah kepadatan yang diperoleh dengan sesuai dengan yang diinginkan.
2. CBR Laboratorium
Tanah dasar (*Subgrade*) pada konstruksi jalan baru dapat berupa tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang telah dipadatkan sampai mencapai kepadatan 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar tersebut merupakan nilai kemampuan lapisan tanah memikul beban setelah tanah tersebut dipadatkan. CBR ini disebut CBR laboratorium, karena disiapkan di Laboratorium. CBR Laboratorium dibedakan atas 2 macam, yaitu CBR Laboratorium rendaman dan CBR Laboratorium tanpa rendaman.
3. CBR lapangan rendaman (*undisturbed soaked CBR*)
Digunakan untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di Lapangan pada keadaan jenuh air dan tanah mengalami pengembangan (*swell*) yang maksimum. Hal ini sering digunakan untuk menentukan daya dukung tanah di daerah yang lapisan tanah dasarnya tidak akan dipadatkan lagi, terletak pada daerah yang badan jalannya sering terendam air pada musim penghujan dan

kering pada musim kemarau. Sedangkan pemeriksaan dilakukan di musim kemarau. Pemeriksaan dilakukan dengan mengambil contoh tanah dalam tabung (*mould*) yang ditekan masuk kedalam tanah mencapai kedalaman yang diinginkan. Tabung berisi contoh tanah dikeluarkan dan direndam dalam air selama beberapa hari sambil diukur pengembangannya. Setelah pengembangan tidak terjadi lagi, barulah dilakukan pemeriksaan besarnya CBR.

2.9.3. Hubungan Kuat Geser Tanah (*Shear Strength*) dengan harga CBR

Tiga faktor terpenting di dalam desain perkerasan adalah lalu lintas, tanah dasar, dan pengaruh air. Selain itu, pada kasus perkerasan yang harus dibangun di kawasan dengan tanah bermasalah seperti gambut dan tanah lunak, karakteristik tanah merupakan faktor yang penting karena analisis tanah dasar biasa tidak dapat menghasilkan perkerasan dengan kinerja yang diharapkan.



Gambar 2. 23 Lapisan perkerasan jalan.

(Sumber : google.co.id)

Berdasarkan kriteria-kriteria yang telah ada, tanah dasar yang lazim ditemui di Indonesia mempunyai nilai CBR 4% bahkan dapat serendah 2%. Pada tanah lunak yang didefinisikan sebagai

tanah terkonsolidasi normal atau sedikit *over* konsolidasi (*lightly over consolidated*) biasanya berupa tanah lempung atau lempung kelanauan dengan CBR tanah dasar kurang dari 2,5% dan kekuatan geser tanah (q_c) lebih kecil dari 7,5 kPa dan umumnya nilai IP lebih besar dari 25%. Sedangkan CBR tanah dasar minimum untuk desain tebal perkerasan adalah 10%.

		Posisi muka air tanah (Tabel 6.2)	Dibawah standar minimum (Tidak dianjurkan)	Sesuai desain standar	≥ 1200 mm dibawah tanah dasar
		Implementasi	Semua jalan kecuali seperti ditunjukkan untuk kasus 3 dan frekuensi tanpa drainase yang baik dan LAP* < 1000 mm di atas muka tanah asli		
			Galian di zona iklim 1** dan semua timbunan berdrainase baik (m ≥ 1) dan LAP* 1000 mm di atas muka tanah asli		
Jenis tanah	PI \ KASUS	1	2	3	
Lempung	50 - 70	2	2	2,5	
Lempung kelanauan	40	2,5	3	3,5	
	50	3	4	4	
Lempung kepasiran	20	4	4	5	
	10	4	4	5	
Lanau		1	1	2	

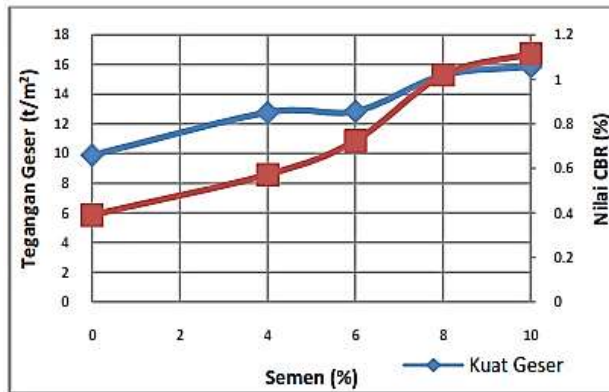
* LAP: Level Akhir Pemadatan
** Lihat zona iklim Lampiran II

Gambar 2. 24 Indikasi perkiraan nilai CBR, tidak berlaku untuk tanah alluvial jenuh atau gambut.
(Sumber : Manual desain perkerasan jalan, 2017)

Nilai CBR	Kekuatan Subgrade	Komentar
<3%	Jelek	Pemadatan diperlukan
3% - 5%	Normal	Perlu tidaknya pemadatan tergantung dengan kategori jalan
5% - 15%	Bagus	Pemadatan secara normal tidak diperlukan kecuali untuk lalu lintas berat

Sumber : *Guide to Highways Maintenance, 2000*

Gambar 2. 25 Klasifikasi nilai CBR terhadap kekuatan *subgrade* jalan.
(Sumber : *Guide to Highway Maintenance, 2000*)



Gambar 2. 26 Grafik korelasi tegangan geser dan nilai CBR terhadap kadar semen.

(Sumber : Jurnal oleh Brertyndah Kezia Lumikis, et.al, 2013)

Garry H. Gregory (2007) melakukan studi korelasi antara nilai CBR dengan parameter *shear-strength* dengan jenis tanah kohesif dan tanah non-kohesif menggunakan pengujian *unconsolidated undrained* (UU) tes triaksial dan pengujian CBR rendaman selama 96 jam. Korelasi yang didapatkan berdasarkan teori daya dukung tanah. Hasil penelitian Garry H. Gregory ditunjukkan dengan persamaan berikut,

$$\text{CBR} = (q_{\text{ult}} \times 100) / 6895 \quad (q_{\text{ult}} \text{ dalam kPa}) \quad (2. 11)$$

$$\text{CBR} = (q_{\text{ult}} \times 100) / 1000 \quad (q_{\text{ult}} \text{ dalam psi}) \quad (2. 12)$$

Dimana,

$$Q_{\text{ult}} = c N_c s_c d_c + q' N_q S_q d_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma \quad (2. 13)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (2. 14)$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} K_p \quad (2. 15)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan (1,4\phi) \quad (2. 16)$$

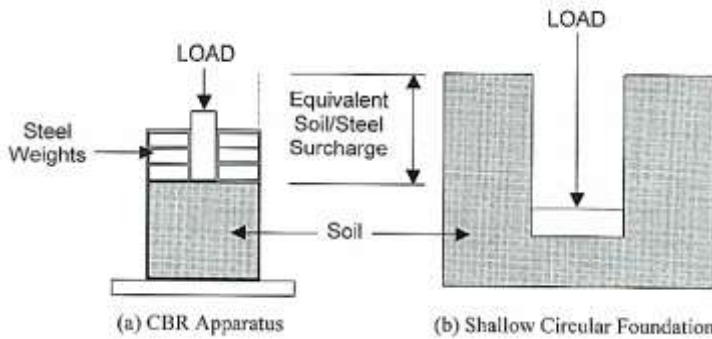
$$S_c = 1 + 0,2 K_p (B/L) \quad (2. 17)$$

$$S_q = S_\gamma = 1 + 0,1 K_p (B/L) \quad (2. 18)$$

$$d_c = 1 + 0,2 (K_p)^{0,5} (D/B) \quad (2. 19)$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0,1 (K_p)^{0,5} (D/B) \quad (2. 20)$$

$$K_p = \tan^2 (45 + \frac{1}{2} \phi) \quad (2. 21)$$



Gambar 2. 27 Pengujian CBR yang dianalogikan terhadap Pondasi Dangkal Berbentuk Lingkaran.

(Sumber : Jurnal “*Correlation of CBR with Shear-Strength Parameters*” by Garry H. Gregory, Ph.D., P.E. dan Stephen A. Cross, Ph.D., P.E., 2007)

Dimana pada Jurnal ini terdapat jenis tanah berkohesif dan non-kohesif, dan dimana parameter tanah pada jenis tersebut dikolerasikan pada nilai CBR.

a. Tanah Berkohesif.

Untuk tanah kohesif ($\phi = 0$), maka nilai $N_c = 2 + \pi$ dan persamaan *bearing capacity* menjadi $q_{ult} = 6.2 C_u$. q_{ult} yang memiliki nilai tegangan yang sama pada CBR dengan penetrasi sebesar 2.54 mm memiliki korelasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{CBR} &= (q_{ult} \times 100) / 6895 = (6.2 \times C_u \times 100) / 6895 \\ &= 0.09 C_u \text{ (Satuan kPa)} \end{aligned} \quad (2. 22)$$

$$\begin{aligned} \text{CBR} &= (q_{ult} \times 100) / 1000 = (6.2 \times C_u \times 100) / 1000 \\ &= 0.62 C_u \text{ (Satuan psi)} \end{aligned} \quad (2. 23)$$

b. Tanah Non-kohesif.

Pada tanah non-kohesif dengan nilai $C_u = 0$, maka nilai suku pertama pada persamaan 2.14 sama dengan 0. Nilai $B/L = 1$ dikarenakan piston yang dianalogikan sebagai pondasi berbentuk lingkaran dengan $B = 49.63$

mm. Nilai S_q menjadi $1 + 0.1 K_p$. Nilai $\phi > 0$ maka suku kedua dan ketiga pada persamaan 2.14 memiliki nilai yang tergantung pada D . D dianalogikan menjadi beban besi pada pengujian CBR, dimana beban besi sebesar 67 N menghasilkan nilai tegangan sebesar 4.14 kPa. Maka dapat diketahui nilai D dengan persamaan berikut:

$$D = 4.14 \text{ kPa} / \gamma_t \quad (2. 24)$$

$$q_{ult} = 4.14 N_q (1+0.1K_p)(1 + 0.48 (K_p)^{0.5}) + 0.024815 \\ \times \gamma_t \times N_\gamma (1+0.1 K_p)(1+0.48(K_p)^{0.5}) \quad (2. 25)$$

$$CBR = (q_{ult} \times 100) / 6895 \quad (\text{Satuan kPa}) \quad (2. 26)$$

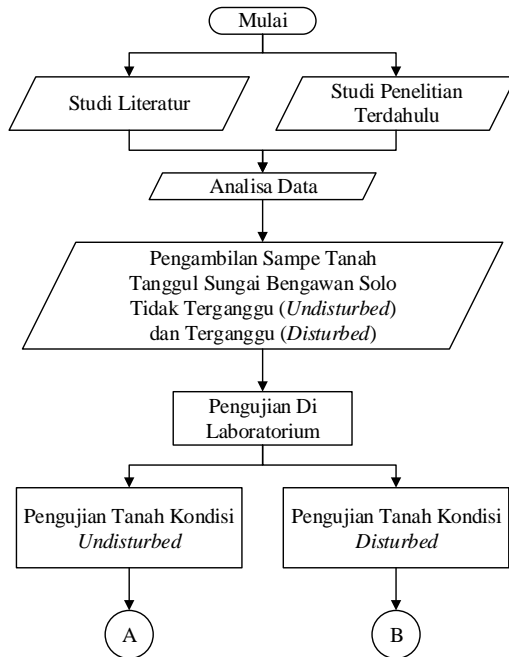
$$CBR = (q_{ult} \times 100) / 1000 \quad (\text{Satuan psi}) \quad (2. 27)$$

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

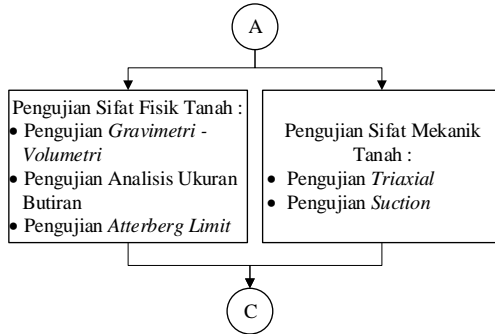
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bagan Alir Penelitian

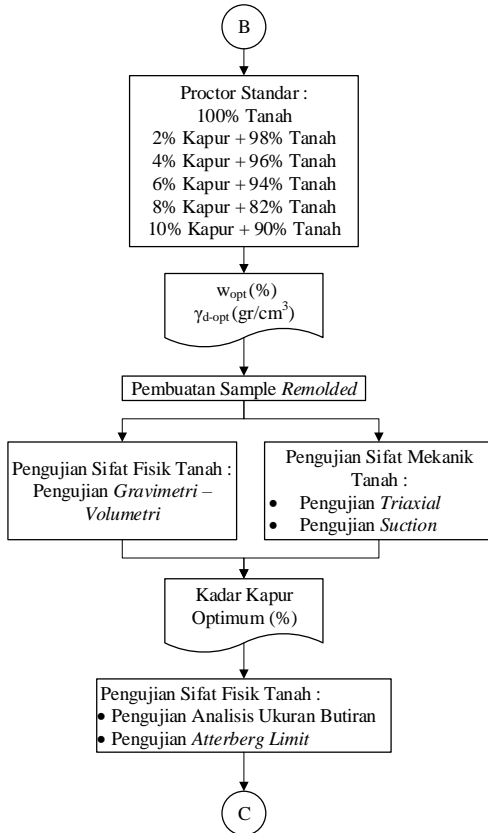
Penelitian ini menggunakan benda uji tanah terganggu sekitar Sungai Bengawan Solo di Desa Kanor, Kabupaten Bojonegoro dan dilakukan pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil – ITS. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan kimia terhadap proses pengeringan dan pembasahan yang akan memengaruhi karakteristik fisik dan mekanik serta aplikasi di lapangan yaitu dalam hal nilai *shear strength* untuk lapisan *subgrade* jalan inspeksi. Sesuai bagan alir penelitian berikut.



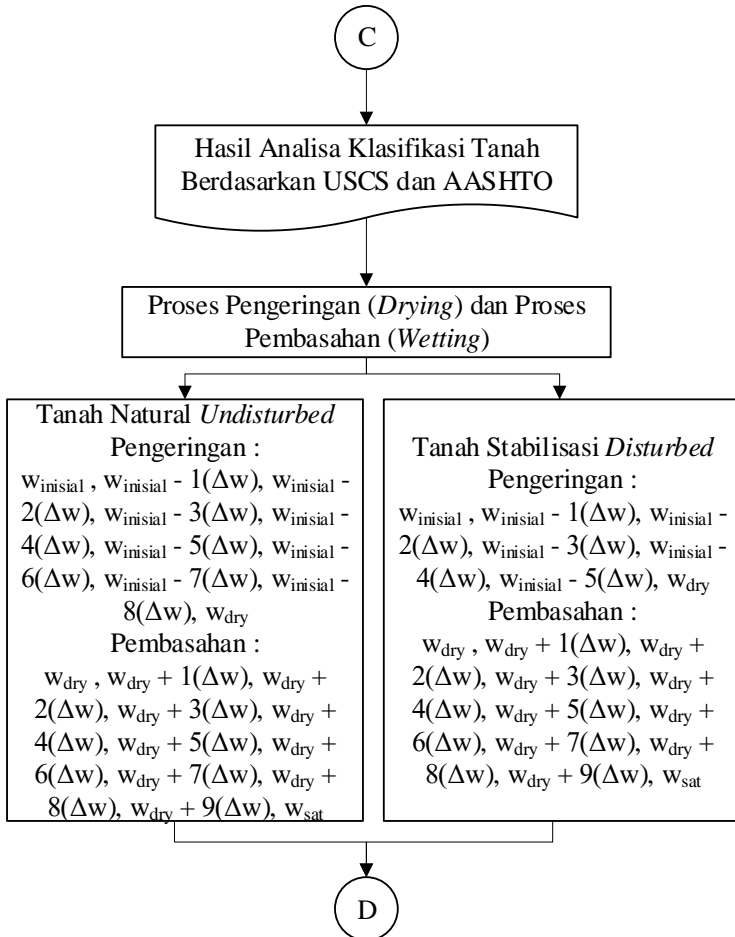
Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian



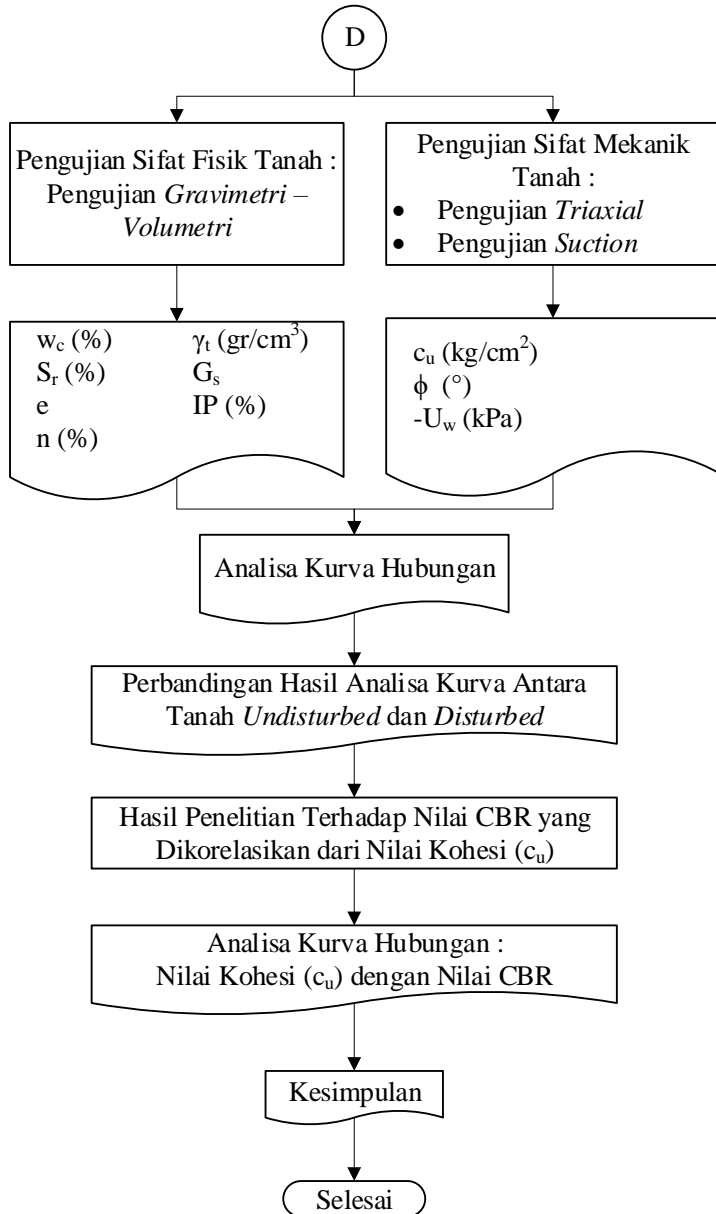
Gambar 3. 2 Bagan Alir Penelitian (Lanjutan)



Gambar 3. 3 Bagan Alir Penelitian (Lanjutan)



Gambar 3. 4 Bagan Alir Penelitian (Lanjutan)



Gambar 3.5 Bagan Alir Penelitian (Lanjutan)

3.2 Uraian Tahapan Penelitian

3.2.1 Studi Literatur

Proses tahapan awal penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data-data yang diperlukan untuk mengerjakan tugas akhir. Data-data tersebut berupa data penunjang yaitu studi literatur dan studi penelitian sebelumnya serta data primer yang berupa data tanah dari lokasi penelitian dan data bahan stabilisator.

3.2.2 Pengambilan Benda Uji

Benda uji diambil dari lokasi penelitian yaitu di Desa Kanor, Kabupaten Bojonegoro. Benda uji adalah tanah lempung terganggu (*disturbed*) yang kemudian akan dibentuk ulang (*remoulding*) di laboratorium. Kemudian penelitian dilakukan dengan menambahkan bahan-bahan stabilisator pada tanah, yaitu berupa kapur serta mencari komposisi campuran optimum dengan waktu pemeraman 7 hari yang selanjutnya akan dilakukan proses pembasahan dan pengeringan.

3.2.3 Pengujian di Laboratorium

Pengujian di laboratorium dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik tanah sebelum dilakukan stabilisasi dan setelah dilakukan stabilisasi. Terdapat 3 pengkondisian benda uji yang akan diuji yaitu sebagai berikut,

1. Tanah inisial (*undisturbed*)

Tanah natural *undisturbed* diuji sifat-sifat fisiknya yang terdiri dari pengujian gravimetri-volumetri, analisis ukuran butiran (ayakan dan hidrometer), dan *atterberg limit*. Untuk pengujian sifat-sifat mekaniknya terdiri dari pengujian triaksial jenis *unconsolidated undrained* dan pengujian *suction*. Setelah dilakukan pengujian tersebut, dilanjutkan pada proses pembasahan dan pengeringan.

2. Tanah stabilisasi (*disturbed*) dengan bahan stabilisator

Tanah kondisi *disturbed* yang tidak dicampurkan bahan stabilisasi, dilakukan pengujian standar proktor.

Dengan kadar 5 kadar campuran yang telah ditentukan yaitu (a) 2% kapur + 98% tanah, (b) 4% kapur + 96% tanah, (c) 6% kapur + 94% tanah, (d) 8% kapur + 92% tanah, (e) 10% kapur + 90% tanah, dilakukan pengujian standar proktor.

3.2.4 Pembuatan Benda Uji

Dari hasil pengujian standar proktor untuk kondisi tanah *undisturbed* sebelum dan sesudah ditambahkan bahan stabilisasi, akan dibuat ulang benda uji yang sesuai dengan kepadatan dan kadar air yang telah didapatkan.

Kemudian untuk masing-masing kondisi akan dilakukan pengujian sifat fisik dan mekaniknya yang terdiri dari pengujian gravimetri – volumetric, triaksial jenis *unconsolidated undrained*, dan *suction*. Kemudian dapat dibandingkan sifat fisik dan mekanik benda uji *remolded* sebelum dan setelah diberikan bahan tambah stabilisasi.

3.2.5 Penentuan Kadar Optimum Campuran

Setelah membandingkan sifat fisik dan mekanik tanah sebelum dan sesudah diberi bahan tambah stabilisasi, maka dapat ditentukan aspek peningkatan sifat fisik dan mekanik. Hal tersebut yang akan menjadi dasar dalam pemilihan kadar campuran optimum yang selanjutnya akan dilakukan pengujian analisa ukuran butiran dan *atterberg limit* serta dilanjutkan untuk proses pembasahan dan pengeringan.

3.2.6 Proses Pembasahan dan Pengeringan

Benda uji yang akan diuji pada proses pengeringan (*drying*) – pembasahan (*wetting*) adalah komposisi optimum dari tanah yang ditambahkan dengan bahan stabilisator dan tanah natural *undisturbed*. Pengujian ini dilakukan secara bertahap berdasarkan presentase pengurangan dan penambahan kadar air pada proses pengeringan dan pembasahan. Pengkondisian pengurangan dan penambahan air ditentukan dari fungsi selisih antara kadar air jenuh (ω_{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 ditulis $\omega_{sat} - \omega_{dry100\%}$.

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

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

1. Tanah Inisial (*Undisturbed*)



Gambar 3. 6 Skema proses pengeringan dan pembasahan berulang pada tanah natural.

(Sumber : Data Primer)

Untuk pengukuran tegangan air pori negatif, kertas tipe Whatman no.42 diletakkan pada setiap

benda uji baik untuk uji elemen bender dan UCS dengan penambahan 1 cm tanah pada setiap benda uji.

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. Sehingga total hari untuk mendapatkan nilai kadar air pada saat *drying* 100% adalah 14 hari.

2. Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)



Gambar 3. 7 Skema proses pengeringan dan pembasahan berulang pada tanah remolded campuran kapur. (Sumber : Data Primer)

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

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. Sehingga total hari untuk mendapatkan nilai kadar air pada saat *drying* 100% adalah 14 hari.

3.2.7 Perhitungan Korelasi *Shear-Strength* Tanah dan CBR untuk Jalan Inspeksi

Dari hasil pengujian, dilakukan perhitungan kekuatan geser tanah, khususnya tanah dasar, akibat adanya variasi kadar air yang akan berakibat pada kekuatan struktur, khususnya jalan inspeksi, yang

kemudian hasil tersebut akan dikorelasikan dengan harga CBR dan dibandingkan apakah dengan adanya perubahan kadar air dan perbaikan tanah dasar, nilai CBR masih memenuhi standar perencanaan atau tidak. Terdapat 2 kondisi dalam meninjau besarnya CBR yaitu,

1. Tanah Inisial (*Undisturbed*) dan Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)

Korelasi *shear-strength* dan CBR yang akan dianalisa adalah pada saat kondisi inisial tanah *undisturbed*, tanah *remolded* tanpa campuran bahan stabilisasi, dan masing-masing tanah *remolded* campuran bahan stabilisasi dengan kadar kapur 2%, 4%, 6%, 8%, dan 8%. Kemudian dibandingkan hasilnya.

2. Akibat Pengaruh Pembasahan dan Pengerinan pada Tanah Inisial (*Undisturbed*) dan Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)

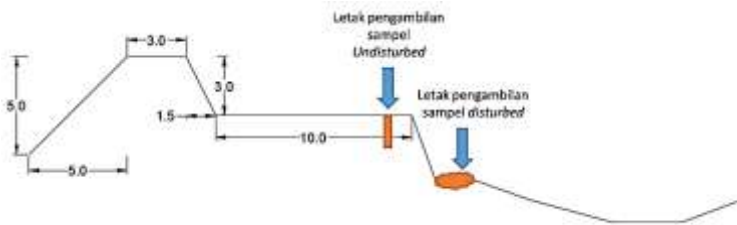
Korelasi *shear-strength* dan CBR akibat adanya pengaruh pembasahan dan pengerinan yang akan dianalisa adalah tanah inisial *undisturbed* dan tanah *undisturbed remolded* dengan kadar kapur 6%. Kemudian dengan kedua kondisi benda uji tersebut, dibandingkan hasilnya.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV SIFAT FISIK DAN MEKANIK TANAH NATURAL (UNDISTURBED)

4.1 Pengambilan Benda Uji *Undisturbed*

Benda uji diambil di Desa Kanor, Kabupaten Bojonegoro, tepatnya di sekitar tanggul Sungai Bengawan Solo. Contoh tanah tidak terganggu diambil di permukaan yaitu pada kedalaman -0,5 dengan menggunakan tabung Shelby yang kemudian dipukul dengan menggunakan palu. Posisi dalam pengambilan tanah *undisturbed* dapat dilihat pada **Gambar 4.1**. Agar kadar air dalam tanah tetap terjaga, pada bagian atas dan bawah tabung Shelby ditutup dengan lilin.



Gambar 4. 1 Sketsa Lokasi Pengambilan Contoh Tanah.
(Sumber : Data Primer)



Gambar 4. 2 Jalan Inspeksi yang Ditinjau.
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.3 Pengambilan Tanah *Undisturbed* dengan menggunakan tabung *Shelby*.
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

4.2 Pembuatan Benda Uji *Undisturbed*.

Pembuatan benda uji *undisturbed* menggunakan alat sebagai berikut,



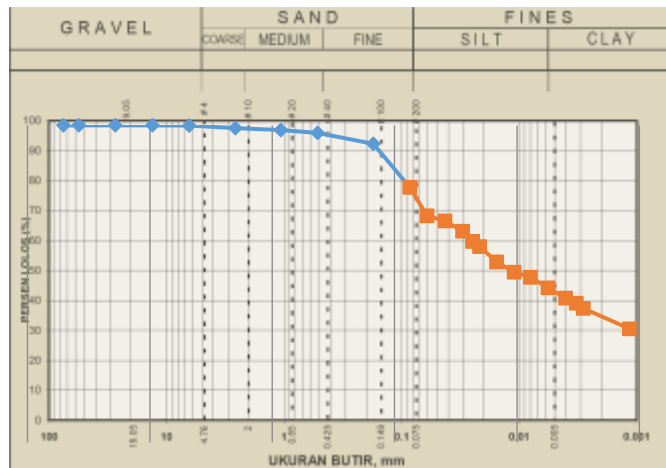
Gambar 4. 4 Pembuatan Benda Uji *Undisturbed*
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

4.3 Sifat Fisik Tanah Inisial *Undisturbed*.

Dalam pengujian sifat fisik tanah natural *undisturbed* dilakukan pengujian analisa ukuran butiran, pengujian *atterberg-limit*, dan pengujian gravimetri-volumetri.

4.3.1 Analisa Saringan dan Hidrometer.

Berikut adalah hasil pengujian analisa ukuran butiran tanah natural *undisturbed*.



Gambar 4. 5 Grafik Hasil Analisa Ayakan dan Hidrometer.

(Sumber : Data Primer)

Dari Gambar 5.26 di atas dapat diketahui masing-masing fraksi tanah. Untuk fraksi *gravel* 0,023%; *sand* 19,553%; *silt* 53,630%; dan *clay* 26,817%. Kemudian dari masing-masing fraksi tersebut dapat ditentukan klasifikasi tanahnya sebagai berikut,

Tabel 4. 1 Rekapitulasi Hasil Analisa Ayakan dan Hidrometer

Pengujian	Hasil
Analisa Ayakan dan Hidrometer	
Fraksi Kerikil	0,023%
Fraksi Pasir	19,553%
Fraksi Lanau	53,630%
Fraksi Lempung	26,817%
D ₆₀	0,0205 mm

(Sumber : Data Primer)

Tabel 4. 2 Rekapitulasi Hasil Analisa Ayakan dan Hidrometer.
(Lanjutan)

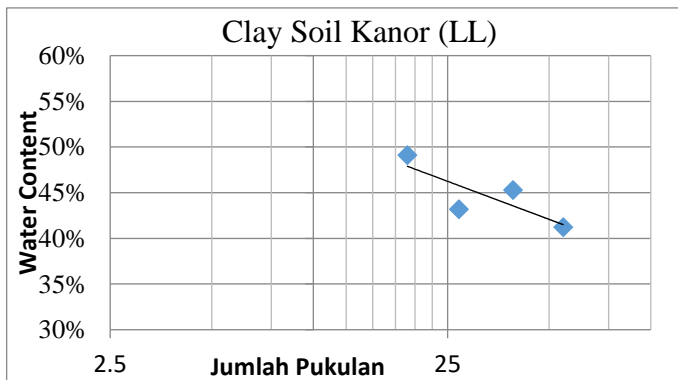
Pengujian	Hasil
Analisa Ayakan dan Hidrometer	
D ₃₀	0,0010 mm
D ₁₀	0,0010 mm
Cu	20,5
Cc	0,049
Klasifikasi Tanah	
USCS	CL
AASHTO	A-7-6

(Sumber : Data Primer)

Dari **Tabel 4.1** dan **Tabel 4.2** dapat disimpulkan bahwa tanah natural (*Undisturbed*) berdasarkan klasifikasi tanah menurut USCS adalah CL (*Lean clay*); menurut AASHTO adalah A-7-6.

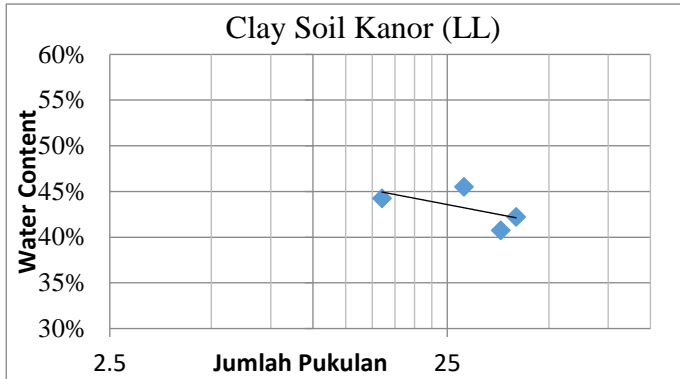
4.3.2 Pengujian Atterberg Limit

Berikut adalah hasil pengujian *atterberg-limit* untuk tanah natural *undisturbed*.



Gambar 4. 6 Hasil Pengujian *Liquid Limit* (1).

(Sumber : Data Primer)



Gambar 4. 7 Hasil Pengujian *Liquid Limit* (2).
(Sumber : Data Primer)

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian *Atterberg Limit*

Pengujian	Pengujian	Hasil	Rata-
<i>Atterberg Limit</i>			
<i>Liquid Limit</i>	1	45,8%	44,90%
	2	44%	
<i>Plastic Limit</i>	1	22,90%	23,43%
	2	23,97%	
<i>Index Plasticity</i>	1	21,10%	21,47%
	2	21,83%	

(Sumber : Data Primer)

Sehingga, dari pengujian analisa hidrometer dan *atterberg limit* dapat diketahui apakah tanah memungkinkan mengalami *swelling*,

$$\begin{aligned}
 A &= (PI / \% \text{ lempung} - 5) \\
 &= 21,47 / (26,81 - 5) \\
 &= 0,984 \text{ (potensi kembang susut rendah)}
 \end{aligned}$$

Menurut Burnister (1949), jenis tanah menurut nilai indeks plastisitasnya adalah lempung *high plasticity* ($PI = 20\% - 40\%$).

4.3.3 Pengujian Gravimetri- Volumetri

Berikut adalah hasil pengujian gravimetri-volumetri tanah natural *undisturbed*.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Gravimetri-Volumetri Tanah Natural *Undisturbed*.

Parameter	Kondisi Natural
γ_t (t/m^3)	1.732
γ_d (t/m^3)	1.284
W_c	34.94%
S_r	90.73%
n	49.43%
e	0.977
G_s	2.539
$G_{skoreksi}$	2.535

(Sumber : Data Primer)

Berdasarkan buku Braja M.Das, dengan nilai e didapatkan sebesar 0,977 ($e = 0,9 - 1,4$) dan γ_d sebesar $1.284 t/m^3 \approx 12.84 kN/m^3$ ($\gamma_d = 11,5 - 14,5 kN/m^3$), tanah termasuk kedalam kategori *soft clay* atau lempung lunak. Berdasarkan buku Joseph E. Bowles, dengan nilai *specific gravity* (G_s) sebesar 2,535 ($G_s = 2,68 - 2,75$) tanah termasuk kedalam kategori lempung anorganik.

4.4 Sifat Mekanik Tanah Natural *Undisturbed*.

Pengujian sifat mekanik tanah natural *undisturbed* yang dilakukan adalah pengujian suction dan pengujian triaxial.

4.4.1 Pengujian Suction

Sebelum dilakukan pengujian suction, dilakukan pengujian kesetimbangan kertas filter *Whatman* No. 42. Berikut adalah pengujian kesetimbangan kertas filter *Whatman* No. 42

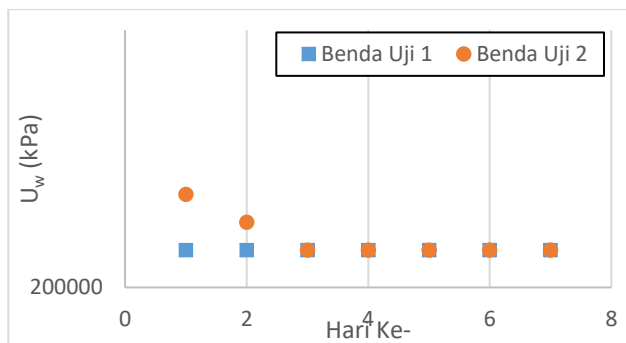
a. Kesetimbangan Kertas Filter

Untuk melihat kesetimbangan kertas filter, maka dilakukan pengujian *suction* dan dilakukan penimbangan kertas filter selama 7 hari. Ketelitian timbangan yang digunakan adalah 0,001 gram. Pengkondisian benda uji untuk pengujian *suction* dapat dilihat pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4.8 Pengkondisian Benda Uji Suction

Setelah dilakukan penimbangan selama 7 hari. Kemudian diamati pada hari beberapa kertas filter tidak mengalami perubahan berat. Hal tersebut ditunjukkan dalam **Gambar 4.9** berikut,



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Jumlah Hari dengan Tegangan Air Pori Negatif Pada Tanah Inisial *Undisturbed*.
(Sumber : Data Primer)

Dari grafik di atas, dapat diperkirakan bahwa kertas filter mengalami kesetimbangan pada hari ketiga.

b. Pengujian *Suction*.

Ketelitian timbangan yang digunakan adalah 0,001 gram. Penimbangan dilakukan pada hari kesetimbangan yaitu hari ketiga pengujian.

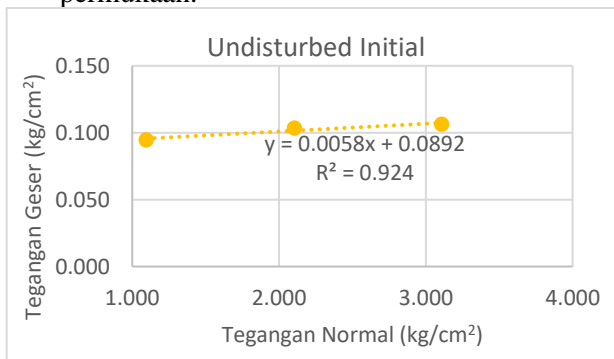
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian *Suction*

No	Benda	W_f (%)	$h_{rata-rata}$	$-U_w$
Inisial	1	65,71	0,319	0,209
	2	62,86		

(Sumber : Data Primer)

4.4.2 Pengujian Triaxial

Pengujian triaxial ini dilakukan dengan metode UU (*Uncosolidated Undrained*). Hal ini dipilih metode ini dikarenakan benda uji tersebut merupakan tanah berbutir halus dan letak pengambilannya di permukaan.



Gambar 4. 10 Garis Keruntuhan Hasil Pengujian *Undrained Unconsolidated* Triaksial

(Sumber : Data Primer)

Sehingga dari grafik di atas, didapatkan nilai kohesi *undrained* (C_u) sebesar 1,339 Ton/m² dan sudut geser (ϕ) sebesar 0,332°.

4.5 Rekapitulasi Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Natural (*Undisturbed*)

Dari hasil pengujian sifat fisik dan mekanik, dapat direkap dengan hasil sebagai berikut.

4.5.1 Rekapitulasi Sifat Fisik Mekanik Tanah Natural (*Undisturbed*)

Sifat fisik tanah natural (*undisturbed*) dapat disajikan dalam **Tabel 4.6** sebagai berikut,

Tabel 4. 6 Rekapitulasi Sifat Fisik Tanah Natural (*Undisturbed*)

Pengujian	Hasil
Analisa Ayakan dan Hidrometer	
Fraksi Kerikil	0,023%
Fraksi Pasir	19,553%
Fraksi Lanau	53,630%
Fraksi Lempung	26,817%
Klasifikasi Tanah	
USCS	CL
AASHTO	A-7-6
Atterberg Limit	
<i>Liquid Limit</i>	44,90%
<i>Plastic Limit</i>	23,43%
<i>Plasticity Index</i>	21,47%
Gravimetri - Volumetri	
γ_t (t/m ³)	1.732
γ_d (t/m ³)	1.284
W_c	34.94%
S_r	90.73%
n	49.43%
e	0.977
G_s	2.539
$G_{skoreksi}$	2.535
γ_t (t/m ³)	1.732
γ_d (t/m ³)	1.284

(Sumber : Data Primer)

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa, pada tanah inisial (*undisturbed*) klasifikasi tanah menurut USCS adalah CL (*Lean clay*); menurut AASHTO adalah A-7-6 (*Clayey Soil*). Menurut nilai indeks plastisitasnya adalah lempung *high plasticity* ($PI = 20\% - 40\%$). Berdasarkan buku Braja M.Das, dengan nilai e didapatkan sebesar 0,977 ($e = 0,9 - 1,4$) dan γ_d sebesar $1.284 \text{ t/m}^3 \approx 12.84 \text{ kN/m}^3$ ($\gamma_d = 11,5 - 14,5 \text{ kN/m}^3$), tanah termasuk kedalam kategori *soft clay* atau lempung lunak. Berdasarkan buku Joseph E. Bowles, dengan nilai *specific gravity* (G_s) sebesar 2,535 ($G_s = 2,68 - 2,75$) tanah termasuk kedalam kategori lempung anorganik.

4.5.2 Rekapitulasi Sifat Mekanik Tanah Natural (*Undisturbed*).

Sifat mekanik tanah natural (*undisturbed*) dapat disajikan dalam **Tabel 4.7** sebagai berikut,

Tabel 4. 7 Rekapitulasi Sifat Mekanik Tanah Natural (*Undisturbed*).

Parameter	Hasil
c_u (Ton/m ²)	1,339
ϕ (°)	0,332
$-U_w$ (T/m ²)	65,896

(Sumber : Data Primer)

Berdasarkan tabel, dapat disimpulkan bahwa tanah inisial (*undisturbed*) termasuk ke dalam tanah lempung.

BAB V

SIFAT FISIK DAN MEKANIK TANAH STABILISASI (*DISTURBED*)

5.1 Pengambilan Benda Uji *Disturbed*.

Contoh tanah terganggu diambil dengan menggunakan cangkul kemudian tanah dimasukkan ke dalam karung.



Gambar 5. 1 Mencangkul Sampel Tanah Terganggu.
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



Gambar 5. 2 Sampel Tanah Terganggu Dimasukkan ke dalam Karung.

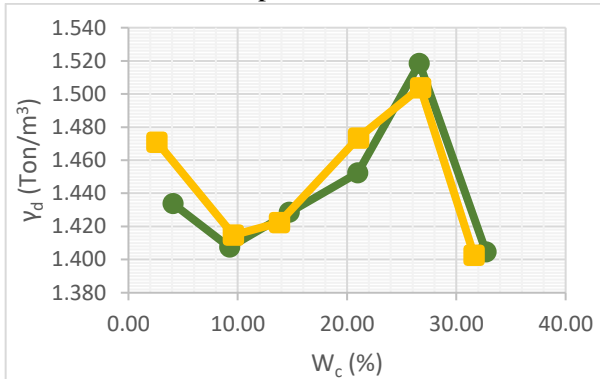
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

5.2 Pengujian Proktor Standar

Sebelum melakukan pengujian sifat fisik dan mekanik tanah *disturbed* maka dilakukan pengujian proktor standar untuk mengetahui berat volume kering dan kadar air

optimum pada kondisi tanah *disturbed* sebelum dan sesudah diberi bahan tambah stabilisasi yaitu kapur.

a. Kondisi Inisial Tanpa Bahan Stabilisasi



Gambar 5.3 Hubungan γ_{dry} dan W_c untuk Tanah Tanpa Bahan Stabilisasi.

(Sumber : Data Primer)

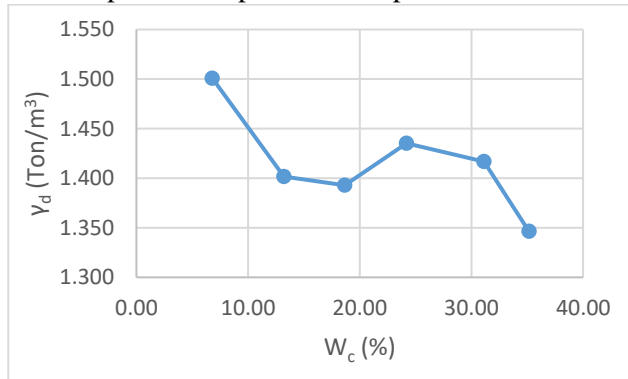
Dari **Gambar 5.3** dapat dilihat bahwa nilai γ_{dmax} dan $W_{coptimum}$ untuk masing-masing pengujian berturut-turut, untuk pengujian pertama 1,518 Ton/m³ dan 26,62%; untuk pengujian kedua 1,504 Ton/m³ dan 26,72%.

Dari pengujian proktor standar kondisi tanah tanpa ditambah bahan stabilisasi dapat dilihat bahwa walaupun dilakukan dengan jumlah penambahan air yang sama, nilai γ_d dan W_c tidak sama. Hal ini disebabkan oleh perbedaan kadar air inisial masing-masing pengujian.

Grafik yang dihasilkan oleh pengujian proktor standar dapat dilihat bahwa tanah yang diuji mengalami kenaikan γ_d di awal kemudian turun kembali dan berangsur mengalami kenaikan hingga mencapai kadar air optimum. Hal tersebut disebabkan oleh adanya fraksi pasir yang terdapat pada tanah yaitu sebesar

19,553% (**Bab IV**) yang menyebabkan penurunan γ_d akibat adanya pengaruh peristiwa kapiler pada tanah. Pada kadar air yang lebih rendah, adanya tegangan tarik kapiler pada pori-pori tanah mencegah kecenderungan partikel tanah untuk bergerak dengan bebas agar menjadi lebih padat. Kemudian tegangan kapiler tersebut akan berkurang dengan bertambahnya kadar air sehingga partikel-partikel menjadi lebih mudah bergerak dan menjadi lebih padat.

b. Komposisi Campuran 2% Kapur dan 98% Tanah



Gambar 5. 4 Grafik Hubungan γ_{dry} dan W_c untuk Campuran 2% Kapur + 98% Tanah.

(Sumber : Data Primer)

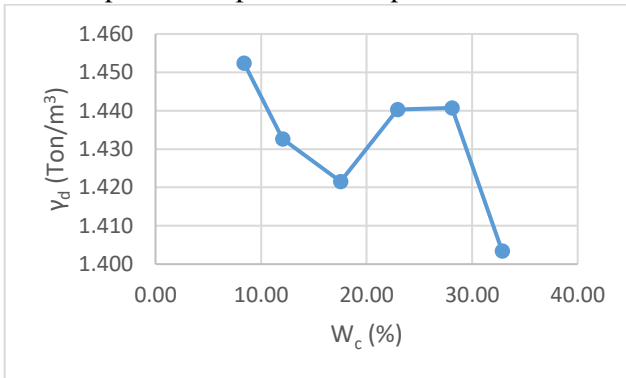
Pada **Gambar 5.4** komposisi campuran 2% Kapur dan 98% Tanah didapatkan berat volume kering = 1,435 Ton/m³ dan kadar air optimum = 24,20%.

Dari pengujian proktor standar tanah *disturbed* ditambahkan kapur 2% dapat dilihat bahwa kadar air optimum (W_{optimum}) berkurang daripada kondisi inisial tanpa ditambahkan bahan stabilisasi, yang awalnya 26,67% menjadi 24,20%. Hal ini disebabkan terjadinya proses sementasi antar butiran tanah sehingga terbentuk

gumpalan partikel yang lebih besar (butiran lebih bersifat seperti material *granular*) yang akan menurunkan kadar air dan muatan permukaan yang lebih kecil.

Sedangkan nilai γ_{doptimum} mengalami penurunan dari kondisi inisial tanpa bahan tambah stabilisasi, yang awalnya 1,51 Ton/m³ menjadi 1,435 Ton/m³. Padahal menurut teori yang sudah dijelaskan (**Bab II**) dengan ditambahkan material *granular* akan meningkatkan nilai γ_d . Hasil ini memungkinkan terjadi karena belum selesainya proses sementasi antara butiran tanah.

b. Komposisi Campuran 4% Kapur dan 96% Tanah



Gambar 5.5 Hubungan γ_{dry} dan W_c untuk Campuran 4% Kapur + 96% Tanah.

(Sumber : Data Primer)

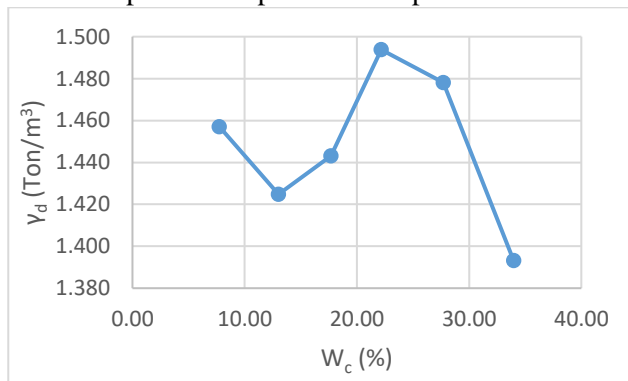
Pada **Gambar 5.5** komposisi campuran 4% Kapur dan 96% Tanah didapatkan berat volume kering = 1,441 Ton/m³ dan kadar air optimum = 28,07 %.

Dari pengujian proktor standar tanah *disturbed* ditambahkan kapur 4% dapat dilihat bahwa kadar air kapur optimum (W_{coptimum}) bertambah daripada kadar kapur 2%, yang awalnya 24,20% menjadi 28,07%. Hal ini tidak sesuai dengan yang sudah ada di teori (**BAB II**).

Hal ini terjadi karena perbedaan kadar air inisial dari tanah yang akan diuji lebih tinggi daripada kondisi kadar campuran 2%. Sehingga meningkatkan nilai kadar air optimum saat kadar campuran 4%.

Sedangkan nilai γ_{doptimum} mengalami kenaikan dari kondisi kadar campuran 2%, yang awalnya 1,435 Ton/m³ menjadi 1,441 Ton/m³. Hal ini disebabkan oleh proses sementasi antar butiran tanah yang akhirnya membentuk *water-insoluble gel* sehingga terbentuk gumpalan partikel yang lebih besar dan meningkatkan nilai berat-volume kering.

c. Komposisi Campuran 6% Kapur dan 94% Tanah



Gambar 5. 6 Hubungan γ_{dry} dan W_c untuk Campuran 6% Kapur + 94% Tanah.

(Sumber : Data Primer)

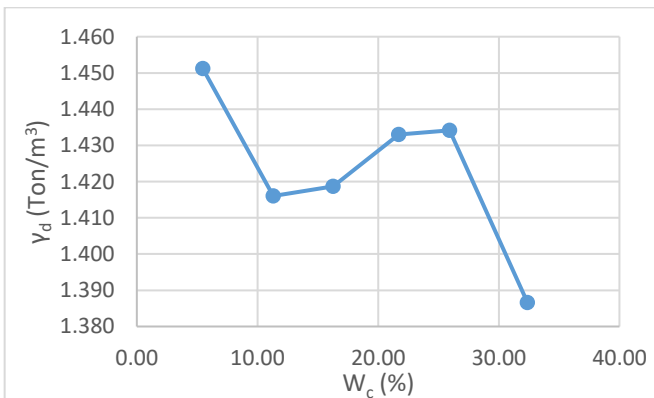
Pada **Gambar 5.6** komposisi campuran 6% Kapur dan 94% Tanah didapatkan berat volume kering = 1,494 Ton/m³ dan kadar air optimum = 22,17%.

Dari pengujian proktor standar tanah *disturbed* ditambahkan kapur 6% dapat dilihat bahwa kadar air optimum (W_{optimum}) berkurang daripada kadar kapur 4%, yang awalnya 28,07% menjadi 22,17%. Hal ini

disebabkan terjadinya proses sementasi antar butiran tanah sehingga terbentuk gumpalan partikel yang lebih besar (butiran lebih bersifat seperti material *granular*) yang akan menurunkan kadar air dan muatan permukaan yang lebih kecil.

Sedangkan nilai γ_{doptimum} mengalami kenaikan dari kondisi kadar campuran 4%, yang awalnya 1,441 Ton/m³ menjadi 1,494 Ton/m³. Hal ini disebabkan oleh proses sementasi antar butiran tanah yang akhirnya membentuk *water-insoluble gel* sehingga terbentuk gumpalan partikel yang lebih besar dan meningkatkan nilai berat-volume kering.

d. Komposisi Campuran 8% Kapur dan 92% Tanah



Gambar 5.7 Hubungan γ_{dry} dan W_c untuk Campuran 8% Kapur + 92% Tanah.

(Sumber : Data Primer)

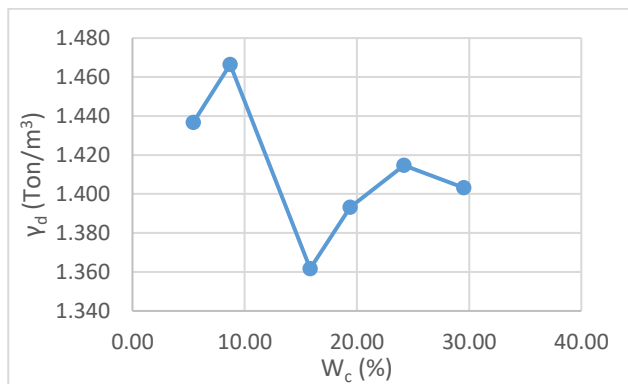
Pada **Gambar 5.7** komposisi campuran 8% kapur dan 92% tanah didapatkan berat volume kering = 1,434 Ton/m³ dan kadar air optimum = 25,92 %.

Dari pengujian proktor standar tanah *disturbed* ditambahkan kapur 8% dapat dilihat bahwa kadar air optimum (W_{optimum}) bertambah daripada kadar kapur

6%, yang awalnya 22,17% menjadi 25,92%. Hal ini disebabkan kadar air optimum yang ditambahkan terlalu banyak yang menyebabkan proses sementasi lama sehingga kadar air cenderung untuk meningkat.

Sedangkan nilai γ_{doptimum} mengalami penurunan dari kondisi kadar campuran 6%, yang awalnya 1,494 Ton/m^3 menjadi 1,434 Ton/m^3 . Hal ini disebabkan air yang ditambahkan terlalu banyak akan tetapi kapur terlalu sedikit sehingga proses sementasi memerlukan waktu yang lama dan tanah tidak mampu mencapai kekuatannya.

e. Komposisi Campuran 10% Kapur dan 90% Tanah



Gambar 5.8 Hubungan γ_{dry} dan W_c untuk Campuran 10% Kapur + 90% Tanah.

(Sumber : Data Primer)

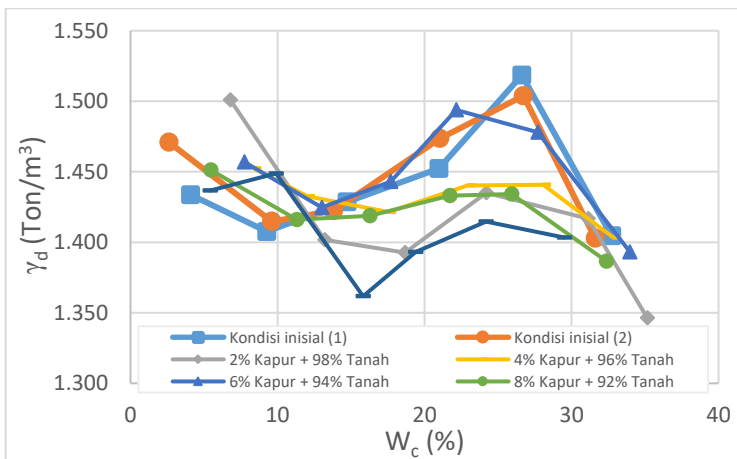
Pada **Gambar 5.8** komposisi campuran 10% kapur dan 90% tanah didapatkan berat volume kering = 1,415 Ton/m^3 dan kadar air optimum = 24,19 %.

Dari pengujian proktor standar tanah *disturbed* ditambahkan kapur 10% dapat dilihat bahwa kadar air kapur 10% dapat dilihat bahwa kadar air optimum (W_{coptimum}) berkurang daripada kadar kapur 8%, yang awalnya 25,92% menjadi 24,19%. Hal ini

disebabkan kadar air optimum yang ditambahkan terlalu sedikit yang menyebabkan tidak terbentuknya *water-insoluble gel*.

Sedangkan nilai γ_{doptimum} mengalami penurunan dari kondisi kadar campuran 8%, yang awalnya 1,434 Ton/m³ menjadi 1,415 Ton/m³. Hal ini disebabkan air yang ditambahkan terlalu banyak akan tetapi kapur terlalu sedikit sehingga proses sementasi memerlukan waktu yang lama dan tanah tidak mampu mencapai kekuatannya.

Dari hasil pengujian proktor standar masing-masing campuran, dapat dibuat kurva gabungan hubungan antara $\gamma_{\text{d-max}}$ dan $W_{\text{c-opt}}$ (OMC).



Gambar 5.9 Hubungan γ_{dry} dan W_{c} untuk Masing-Masing Kondisi.

(Sumber : Data Primer)

Pada **Gambar 5.9** dapat dilihat bentuk pada tiap campuran memiliki satu setengah puncak, hal ini dikarenakan adanya fraksi pasir pada benda uji. Dari kedua puncak tersebut maka diambil hasil yang puncaknya telah mengalami kenaikan dan penurunan. Hal tersebut terdapat pada puncak kedua.

Dari **Gambar 5.9** dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya kadar kapur hingga 4%, berat volume kering mengalami penurunan dari kondisi inisial, namun pada campuran 6% kapur + 94% tanah berat volume kering benda uji mengalami peningkatan dan selanjutnya pada campuran 8% dan 10% kapur mengalami penurunan kembali berat volume keringnya.

5.3 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan tanah stabilisasi (*disturbed*) berdasarkan pada nilai γ_{d-max} dan W_{c-opt} (Kadar Air Optimum) hasil pengujian proktor standar untuk masing-masing kondisi.

Sebelumnya dilakukan pengujian kadar air tanah yang akan digunakan sebagai campuran tanah stabilisasi (*disturbed*).

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Nilai γ_{d-max} dan W_{c-opt}

Kondisi	γ_{d-max} (kg/cm ³)	W_{c-opt} (%)
Tanpa Bahan Stabilisasi	1,510	26,67
2% Kapur + 98% Tanah	1,435	24,20
4% Kapur + 96% Tanah	1,441	28,07
6% Kapur + 94% Tanah	1,494	22,17
8% Kapur + 92% Tanah	1,434	25,92
10% Kapur + 90% Tanah	1,415	24,19

(Sumber : Data Primer)

Dari masing-masing campuran, dibuat benda uji sesuai dengan kebutuhan pengujian. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian gravimetri-volumetri, *suction*, dan triaksial. Dari hasil pengujian tersebut, dapat ditentukan kadar optimum campuran dengan membandingkan dengan kondisi inisial tanpa bahan stabilisasi dan melihat aspek peningkatan sifat fisik dan mekanik yang selanjutnya digunakan untuk proses pembasahan dan pengeringan.

Tabel 5. 2 Campuran Benda Uji Stabilisasi Berdasarkan Hasil Pengujian Proktor Standar

prosen tase kapur	γ_d -max (gr/cm ³)	w_c -opt (%)	W_s (gram)			Air (ml)
			W_s (total)	Kapur	Tanah	
2%	1,435	24,197	122,12	2,44	119,67	29,55
4%	1,441	28,072	122,59	4,90	117,69	34,41
6%	1,494	22,169	127,11	7,63	119,48	28,18
8%	1,434	25,920	122,03	9,76	112,26	31,63
10%	1,415	24,188	120,38	12,04	108,34	29,12

(Sumber : Data Primer)

Untuk benda uji triaksial, dengan tinggi benda uji 8 cm dan diameter 3,68 cm; benda uji dibuat dengan ditumbuk sebanyak 5 lapis. Sedangkan untuk benda uji *suction* dan gravimetri-volumetri dengan tinggi 3 cm dan diameter 3,68 cm, ditumbuk sebanyak 3 lapis.



Gambar 5. 10 Pembuatan Benda Uji

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

5.4 Masa Reaktif Tanah dan Kapur

Dari hasil pengujian gravimetri didapatkan nilai G_s sebesar 3,198 yang mana lebih besar daripada nilai G_s tanah kondisi inisial. Sehingga dengan ditambahkan kapur, diharapkan akan meningkatkan nilai γ_d .

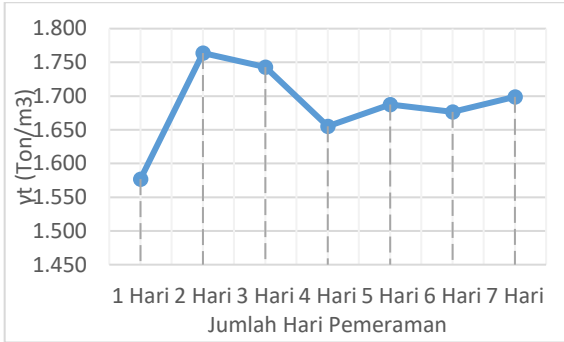
Hal ini perlu dilakukan untuk menentukan pada hari keberapa perubahan sifat fisik maupun mekanik mencapai keadaan konstan sehingga dapat diketahui bahwa proses sementasi antar butiran telah tercapai. Identifikasi dilakukan dengan pengujian karakteristik fisik dan mekanik selama 7 hari. Hasil yang didapatkan untuk sifat fisik dari jumlah hari pemeraman dapat dilihat pada **Tabel 5.3**.

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Parameter Fisik Tanah Stabilisasi (*Disturbed*) dengan Variasi Hari Pemeraman.

Parameter	Kadar Campuran Kapur + Tanah						
	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari	5 Hari	6 Hari	7 Hari
γ_t (ton/m ³)	1,577	1,764	1,743	1,655	1,688	1,677	1,699
γ_d (ton/m ³)	1,435	1,421	1,410	1,360	1,374	1,365	1,388
W_c	23,45%	24,15%	23,60%	21,67%	22,86%	22,86%	22,44%
S_r	56,21%	73,12%	68,93%	63,45%	68,32%	66,69%	64,22%
n	53,40%	46,89%	48,43%	46,89%	45,99%	46,82%	48,48%
e	1,150	0,884	0,943	0,890	0,852	0,881	0,941
G_s	2,744	2,676	2,737	2,564	2,544	2,567	2,694
$G_{skoreksi}$	2,740	2,672	2,733	2,561	2,540	2,564	2,689

(Sumber : Data Primer)

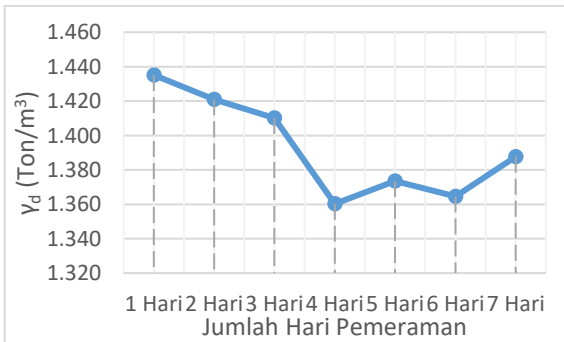
Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa sifat fisik dari benda uji campuran mengalami fluktuasi terhadap jumlah hari pemeraman. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat melalui grafik di bawah,



Gambar 5. 11 Pengaruh Kapur dengan Jumlah Hari Pemeraman terhadap Berat-Volume Tanah (γ_t).

(Sumber : Data Primer)

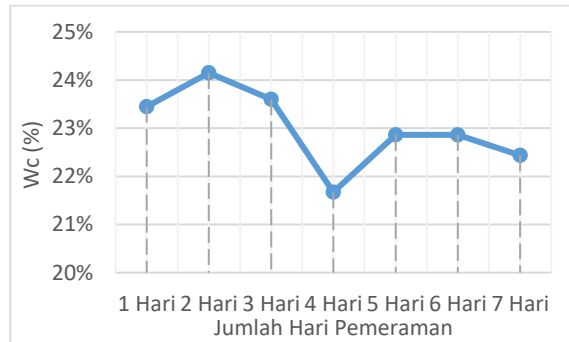
Pada **Gambar 5.11** dapat dilihat bahwa berat volume tanah mengalami peningkatan sampai hari kedua. Kemudian pada hari selanjutnya berat volume tanah berkurang akan tetapi tidak banyak bahkan cenderung konstan. Hal ini disebabkan proses terbentuknya *water-insoluble gel* telah tercapai pada hari kedua sehingga kekuatan tanah sudah mencapai optimum.



Gambar 5. 12 Pengaruh Kapur dengan Jumlah Hari Pemeraman terhadap Berat-Volume Kering (γ_d).

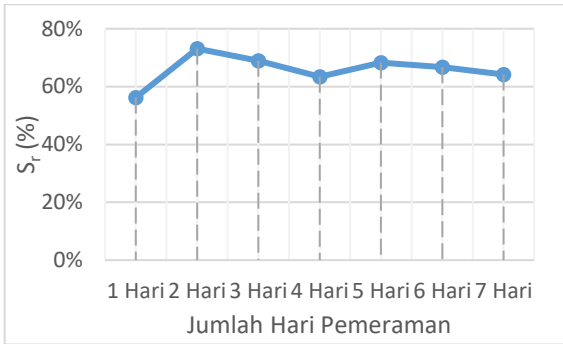
(Sumber : Data Primer)

Pada **Gambar 5.12** dapat dilihat bahwa berat volume kering tanah mengalami penurunan setiap hari pemeramannya. Hal ini disebabkan proses terbentuknya *water-insoluble gel* telah tercapai pada hari pertama sehingga kekuatan tanah sudah mencapai optimum.



Gambar 5. 13 Pengaruh Kapur dengan Jumlah Hari Pemeraman terhadap Kadar Air (W_c).
(Sumber : Data Primer)

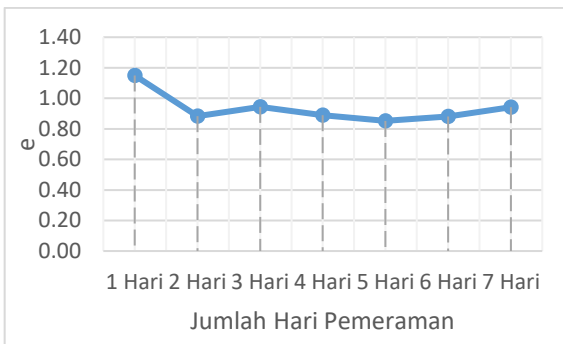
Pada **Gambar 5.13** dapat dilihat bahwa kadar air mengalami peningkatan sampai hari kedua. Kemudian pada hari selanjutnya kadar air berkurang. Hal ini memungkinkan karena air mengalami penguapan pada saat pemeraman akibat reaksi antara kapur aktif dan tanah yang menghasilkan energi panas.



Gambar 5. 14 Pengaruh Kapur dengan Jumlah Hari Pemeraman terhadap Derajat Kejenuhan (S_r).

(Sumber : Data Primer)

Pada **Gambar 5.14** dapat dilihat bahwa pada hari kedua pemeranan, derajat kejenuhan benda uji mengalami peningkatan sedangkan pada hari berikutnya mengalami penurunan secara tidak signifikan bahkan cenderung konstan. Hal ini disebabkan proses terbentuknya *water-insoluble gel* telah tercapai pada hari kedua sehingga kekuatan tanah sudah mencapai optimum.



Gambar 5. 15 Pengaruh Kapur dengan Jumlah Hari Pemeraman terhadap Angka Pori (e).

(Sumber : Data Primer)

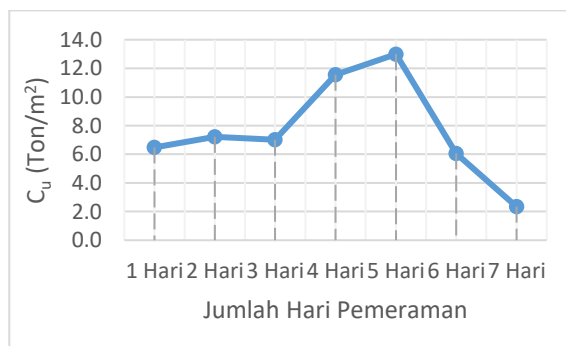
Pada **Gambar 5.15** angka pori pada benda uji mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu pemeraman. Hal ini disebabkan proses terbentuknya *water-insoluble gel* telah tercapai pada hari kedua sehingga kekuatan tanah sudah mencapai optimum.

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Parameter Mekanik Tanah Stabilisasi (*Disturbed*) dengan Variasi Hari Pengujian

Parameter	Kadar Campuran Kapur + Tanah						
	1 Hari	2 Hari	3 Hari	4 Hari	5 Hari	6 Hari	7 Hari
C_u (Ton/m ²)	6,48	7,21	7,01	11,56	12,99	6,053	2,34
ϕ (°)	24,995	23,903	25,206	19,870	16,610	24,598	28,249

(Sumber : Data Primer)

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa sifat mekanik dari benda uji campuran mengalami fluktuasi terhadap jumlah hari pemeraman. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat melalui grafik di bawah,

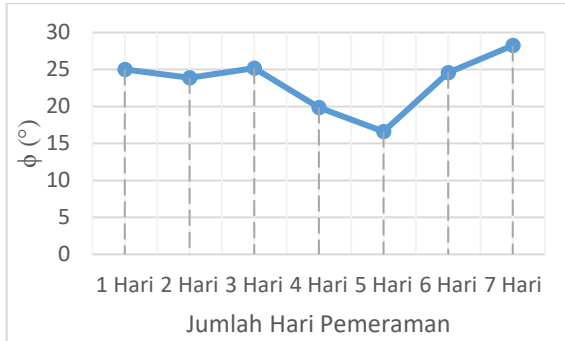


Gambar 5. 16 Pengaruh Kapur dengan Jumlah Hari Pemeraman terhadap Kohesi *Undrained* (C_u).

(Sumber : Data Primer)

Pada **Gambar 5.16** nilai kohesi *undrained* pada benda uji mengalami peningkatan sampai hari kelima kemudian

mengalami penurunan yang signifikan di hari berikutnya. Hal ini disebabkan proses terbentuknya *water-insoluble gel* telah tercapai pada hari kelima sehingga kekuatan tanah sudah mencapai optimum.



Gambar 5. 17 Pengaruh Kapur dengan Jumlah Hari Pemeraman terhadap Sudut Geser (ϕ).
(Sumber : Data Primer)

Pada **Gambar 5.17** nilai sudut geser pada benda uji mengalami penurunan sampai hari kelima kemudian mengalami peningkatan yang signifikan di hari berikutnya. Hal ini disebabkan proses terbentuknya *water-insoluble gel* telah tercapai pada hari kelima sehingga kekuatan tanah sudah mencapai optimum. Dengan bertambahnya nilai kohesi *undrained* maka nilai sudut geser akan semakin berkurang.

Maka secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa, proses sementasi butiran tanah (terbentuknya *water-insoluble gel*) tercapai kurang lebih 2 sampai 5 hari. Untuk lebih jelasnya dapat dilakukan uji mikroskopis.

5.5 Sifat Fisik Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)

Dalam pengujian sifat fisik tanah *undisturbed remolded* dilakukan pengujian gravimetri dan volumetric pada

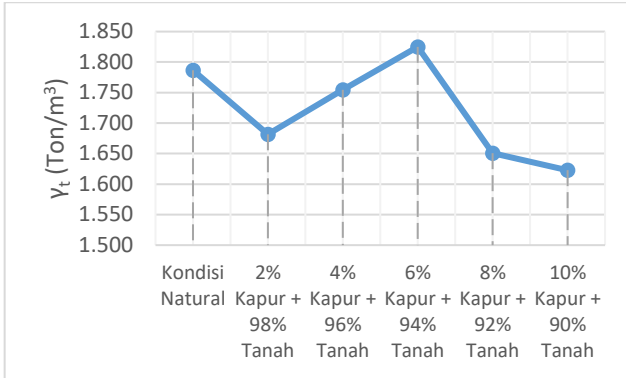
masing-masing kondisi kemudian dibuat grafik hubungannya untuk setiap parameter.

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Parameter Fisik Tanah Stabilisasi (*Disturbed*).

Parameter	Kondisi Inisial	Kadar Campuran				
		2% Kapur + 98% Tanah	4% Kapur + 96% Tanah	6% Kapur + 94% Tanah	8% Kapur + 92% Tanah	10% Kapur + 90% Tanah
γ_t (Ton/m ³)	1,787	1,682	1,755	1,825	1,650	1,623
γ_d (Ton/m ³)	1,319	1,435	1,441	1,494	1,434	1,415
W_c	35,51%	21,81%	28,65%	22,17%	25,34%	22,59%
S_r	91,63%	63,57%	77,91%	63,68%	67,17%	59,48%
n	51,09%	47,47%	49,96%	48,69%	49,69%	50,44%
e	1,051	0,905	1,011	0,950	0,988	1,020
G_s	2,696	2,628	2,728	2,625	2,617	2,670
$G_{skoreksi}$	2,694	2,623	2,724	2,619	2,611	2,666

(Sumber : Data Primer)

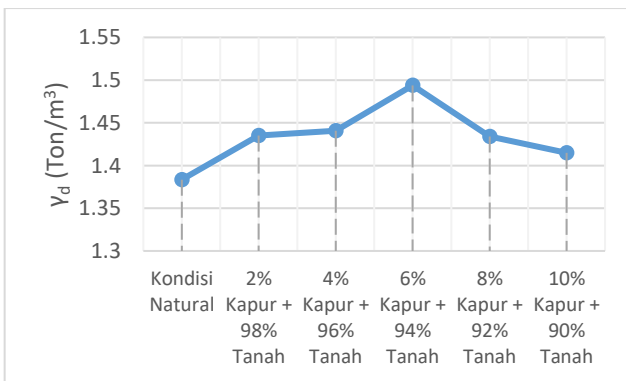
Dari **Tabel 5.5** dapat dilihat bahwa sifat fisik tanah mengalami peningkatan pada berat-volume tanah dan berat-volume kering, mengalami penurunan pada kadar air. Hal ini sesuai dengan persamaan $\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + W_c}$, bahwa berat-volume kering berbanding lurus dengan berat-volume tanah dan berbanding terbalik dengan kadar air. Hal ini disebabkan karena penambahan kapur dapat meningkatkan kekuatan tanah dengan adanya proses sementasi antar butiran. Untuk lebih jelasnya dapat dijelaskan melalui grafik berikut,



Gambar 5. 18 Hubungan Kondisi Benda Uji *Remolded* dengan Berat-Volume Basah (γ_t).

(Sumber : Data Primer)

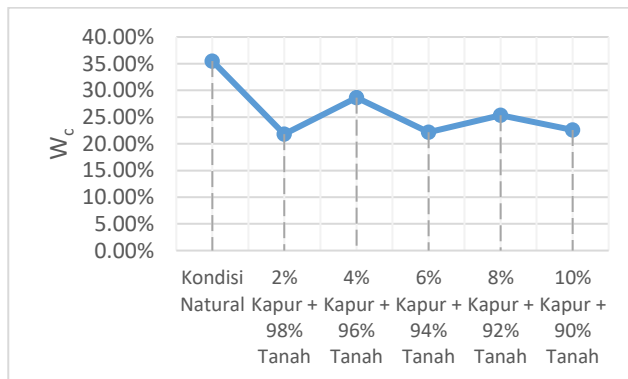
Pada **Gambar 5.18** dapat dilihat bahwa berat volume-tanah bernilai maksimum pada saat kadar kapur 6%. Hal ini disebabkan jumlah air dan kapur yang ditambahkan ke tanah sudah optimum untuk membantu proses terbentuknya *water-insoluble gel* yang akan meningkatkan kekuatan tanah.



Gambar 5. 19 Hubungan Kondisi Benda Uji *Remolded* dengan Berat-Volume Kering.

(Sumber : Data Primer)

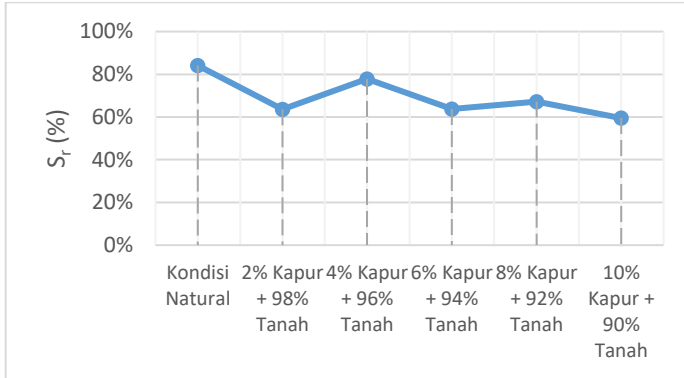
Pada **Gambar 5.19** dapat dilihat bahwa berat-volume kering bernilai maksimum pada saat kadar kapur 6%. Hal ini disebabkan terjadinya proses sementasi antar butiran tanah sehingga terbentuk gumpalan partikel yang lebih besar (butiran lebih bersifat seperti material *granular*) yang akan menurunkan kadar air dan muatan permukaan yang lebih kecil.



Gambar 5. 20 Hubungan Kondisi Benda Uji *Remolded* dengan Kadar Air.

(Sumber : Data Primer)

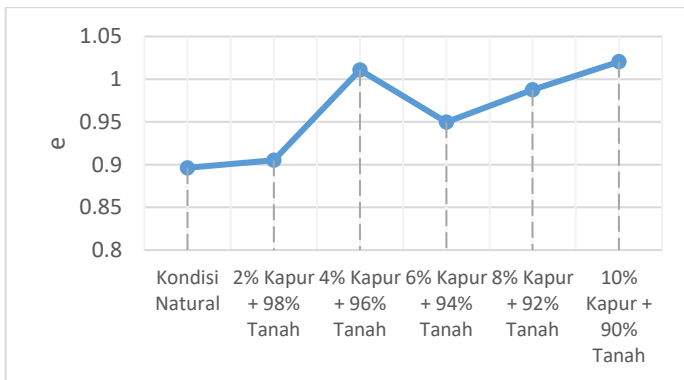
Pada **Gambar 5.20** dapat dilihat bahwa kadar air bernilai minimum pada saat kadar kapur 6%. Hal ini disebabkan terjadinya proses sementasi antar butiran tanah sehingga terbentuk gumpalan partikel yang lebih besar (butiran lebih bersifat seperti material *granular*) yang akan menurunkan kadar air dan akibatnya akan menurunkan plastisitas tanah.



Gambar 5. 21 Hubungan Kondisi Benda Uji *Remolded* dengan Derajat Kejenuhan (S_r).

(Sumber : Data Primer)

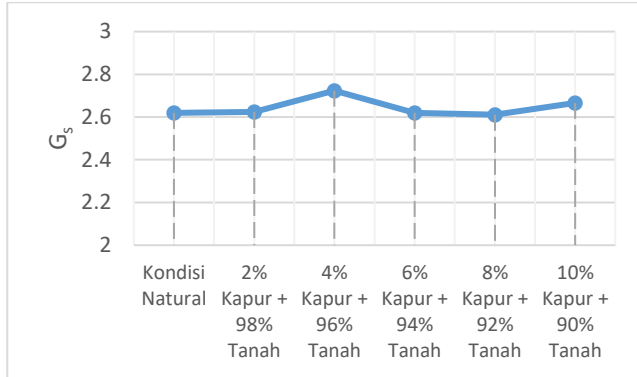
Pada **Gambar 5.21** dapat dilihat bahwa derajat kejenuhan bernilai minimum pada saat kadar kapur 6%. Hal ini disebabkan jika volume air yang ditambahkan terlalu banyak terjadinya proses sementasi antar butiran tanah akan semakin lama dan tanah tidak akan mencapai kekuatannya. Sehingga dalam kadar campuran, harusnya dipilih berdasarkan kadar air paling minimum.



Gambar 5. 22 Hubungan Kondisi Benda Uji *Remolded* dengan Angka Pori (e).

(Sumber : Data Primer)

Pada **Gambar 5.22** dapat dilihat bahwa nilai angka pori tidak berubah secara signifikan terhadap kadar bahan tambah stabilisasi.



Gambar 5.23 Hubungan Kondisi Benda Uji *Remolded* dengan *Specific Gravity* (G_s).

(Sumber : Data Primer)

Pada **Gambar 5.23** dapat dilihat bahwa nilai *specific gravity* tidak berubah secara signifikan terhadap kadar bahan tambah stabilisasi.

5.6 Sifat Mekanik Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)

5.6.1 Pengujian *Suction*

Ketelitian timbangan yang digunakan adalah 0,001 gram. Penimbangan dilakukan setelah hari ketiga pengujian.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian *Suction* dengan Kertas Whatman No.42

Kadar Kapur	No. Benda Uji	W_f	$W_{frata-rata}$ (%)	h (log kPa)	$-U_w$ (Ton/m ²)
2%	1	19,29%	22,143	3,533	340,856
	2	25,00%			

(Sumber : Data Primer)

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian *Suction* dengan Kertas Whatman No.42 (Lanjutan).

Kadar Kapur	No. Benda Uji	W_f	$W_{frata-rata}$ (%)	h (log kPa)	$-U_w$ (Ton/m ²)
4%	1	65,00%	42,857	1,833	6,814
	2	42,86%			
6%	1	22,86%	18,571	3,778	600,186
	2	14,29%			
8%	1	24,29%	24,286	3,385	242,741
	2	24,29%			
10%	1	25,00%	21,429	3,582	381,693
	2	17,86%			

(Sumber : Data Primer)

Berdasarkan **Tabel 5.6** dan **Tabel 5.7** dapat disimpulkan bahwa dari pengujian *suction* yang mengalami peningkatan tegangan air pori negatif yang cukup signifikan adalah di kadar kapur 6%. Hal ini disebabkan tegangan air pori masih bernilai positif (kertas filter Whatman No.42 masih dalam keadaan menyerap) yang artinya tanah masih memiliki cukup air untuk melakukan proses sementasi. Maka akan menghasilkan kekuatan tanah yang lebih besar.

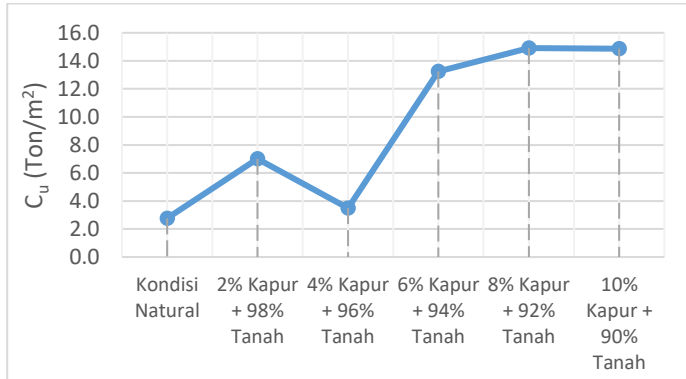
5.6.2 Pengujian Triaksial

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Hasil Pengujian Triaksial Tanah Stabilisasi (*Disturbed*).

Parameter	Kondisi Inisial	Kadar Campuran				
		2% Kapur + 98% Tanah	4% Kapur + 96% Tanah	6% Kapur + 94% Tanah	8% Kapur + 92% Tanah	10% Kapur + 90% Tanah
C_u (Ton/m ²)	2,770	7,010	3,501	13,235	14,912	14,875
ϕ (°)	1,455	25,206	23,62	24,094	14,402	22,802

(Sumber : Data Primer)

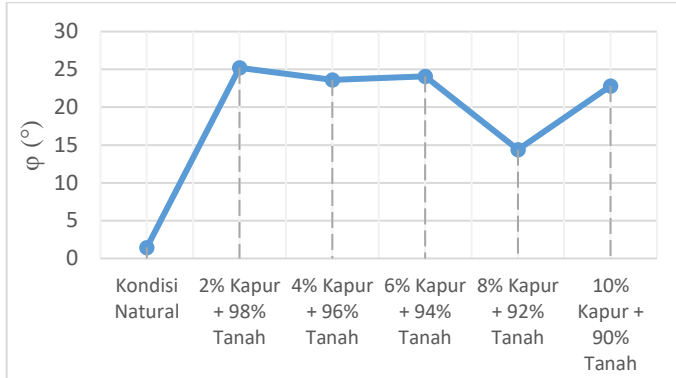
Berdasarkan **Tabel 5.7** dapat disimpulkan bahwa nilai kohesi *undrained* dan sudut geser dalam mengalami fluktuasi bergantung pada kadar bahan stabilisasi yang ditambahkan. Lebih jelasnya lagi dijelaskan grafik di bawah,



Gambar 5. 24 Hubungan Kondisi Benda Uji *Remolded* dengan Kohesi *Undrained* (C_u).

(Sumber : Data Primer)

Berdasarkan **Gambar 5.24** nilai kohesi *undrained* bernilai optimum saat kadar bahan stabilisasi 6% - 10%. Meningkatnya nilai kohesi *undrained* dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu ukuran butiran (dengan ditambahkannya kapur akan memperbesar ukuran butiran), nilai angka pori (semakin kecil angka pori maka semakin kokoh tanah), dan kadar air (jika terlalu banyak air tetapi sedikit kapur maka proses sementasi akan berlangsung lama, akan tetapi apabila air terlalu sedikit maka proses sementasi tidak akan terjadi).



Gambar 5. 25 Hubungan *Kondisi Benda Uji Remolded* dengan Sudut Geser (ϕ).

(Sumber : Data Primer)

Berdasarkan **Gambar 5.25** nilai sudut geser bernilai minimum saat kadar bahan stabilisasi 6% - 10%. Turunnya nilai sudut geser ,sebagai kebalikan dari naiknya kohesi undrained, dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu ukuran butiran (dengan ditambahkannya kapur akan memperbesar ukuran butiran), nilai angka pori (semakin kecil angka pori maka semakin kokoh tanah), dan kadar air (jika terlalu banyak air tetapi sedikit kapur maka proses sementasi akan berlangsung lama, akan tetapi apabila air terlalu sedikit maka proses sementasi tidak akan terjadi).

5.7 Penentuan Kadar Optimum Campuran Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)

Dari hasil pengujian sifat fisik dan mekanik tanah pada tanah *disturbed* sebelum dan sesudah diberikan bahan tambah stabilisasi, maka dibuat aspek peningkatannya pada **Lampiran 1 halaman** .

Berdasarkan **Lampiran 1 halaman** dapat disimpulkan bahwa sifat fisik yang mengalami peningkatan yang cukup signifikan adalah di kadar kapur 6%. Hal ini disebabkan karena angka pori yang

dihasilkan tidak terlalu besar, kadar air minimum, berat-volume tanah dan berat-volume kering paling optimum. Maka akan menghasilkan kekuatan tanah yang lebih besar.

Untuk aspek peningkatan sifat mekanik tanah setelah tanah stabilisasi (*disturbed*) diberi kapur terdapat pada **Lampiran 2 halaman** .

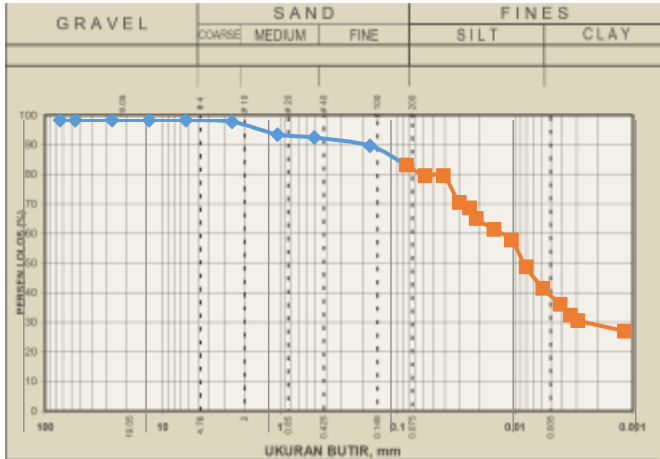
Berdasarkan **Lampiran 2 halaman** dapat disimpulkan bahwa sifat mekanik yang mengalami peningkatan yang cukup signifikan adalah di kadar kapur 6% - 10%. Hal ini disebabkan karena angka pori yang dihasilkan tidak terlalu besar dan butiran yang lebih seragam akibat adanya proses sementasi antar butiran. Maka akan menghasilkan kekuatan tanah yang lebih besar.

Maka keseluruhan dapat disimpulkan bahwa pengujian sifat fisik dan mekanik tanah untuk masing-masing campuran, dengan kadar kapur 6% akan meningkatkan kekuatan tanah, yaitu untuk nilai sudut geser, kohesi *undrained*, dan berat-volume tanah. Hal tersebut menjadi pertimbangan karena hasil perubahan parameter fisik dan mekanik akan dikorelasikan dengan nilai CBR.

5.8 Penentuan Properties Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)

Analisa klasifikasi tanah stabilisasi (*disturbed*) dengan kadar kapur 6% didasarkan dari 4 pengujian, yaitu pengujian analisa ukuran butiran yang terdiri dari ayakan dan hidrometer, *atterberg limit*, gravimetri-volumetri, dan triaksial.

5.8.1 Analisa Ukuran Butiran



Gambar 5. 26 Grafik Analisa Ayakan dan Hidrometer.

(Sumber : Data Primer)

Dari Gambar 5.26 di atas dapat diketahui masing-masing fraksi tanah. Untuk fraksi *gravel* 0,00%; *coarse sand* 0,551%; *medium sand* 5,029%; *fine sand* 8,796%; *silt* 39,009%; dan *clay* 46,615%. Kemudian dari masing-masing fraksi tersebut dapat ditentukan klasifikasi tanah nya sebagai berikut,

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Hasil Analisa Ayakan dan Hidrometer.

Pengujian	Hasil
Analisa Ayakan dan Hidrometer	
Fraksi Kerikil	0,00%
Fraksi Pasir	14,376%
Fraksi Lanau	39,009%
Fraksi Lempung	46,615%
D ₆₀	0,0130 mm
D ₃₀	0,0022 mm
D ₁₀	0,0010 mm

(Sumber : Data Primer)

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Hasil Analisa Ayakan dan Hidrometer.

Pengujian	Hasil
Analisa Ayakan dan Hidrometer	
Cu	13
Cc	0,372
Klasifikasi Tanah	
USCS	CL
AASHTO	A-4 (<i>Silty Soils</i>)

(Sumber : Data Primer)

Dari **Tabel 5.9** dan **Tabel 5.10** dapat disimpulkan bahwa dengan kadar campuran 6% kapur dan 94% tanah dapat mengurangi fraksi lempung dan klasifikasi tanah menurut USCS adalah CL (*Lean clay*); menurut AASHTO adalah A-4 (*Silty Soil*). Hal tersebut dikarenakan kapur menyebabkan terjadinya proses sementasi antar butiran sehingga membentuk gumpalan partikel yang lebih besar. Untuk tabel perbandingan antara propertis tanah natural (*undisturbed*) dan tanah stabilisasi (*disturbed*) ada di **Lampiran 3 halaman .**

5.8.2 Atterberg Limit

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Pengujian Atterberg Limit.

Pengujian	Pengujian Ke-	Hasil	Rata-Rata
<i>Atterberg Limit</i>			
<i>Liquid Limit</i>	1	37,97%	39,44%
	2	40,92%	
<i>Plastic Limit</i>	1	29,68%	30,03%
	2	30,38%	
<i>Index Plasticity</i>	1	8,29%	9,41%
	2	10,54%	

(Sumber : Data Primer)

Sehingga, dari pengujian analisa hidrometer dan *atterberg limit* dapat diketahui apakah tanah memungkinkan mengalami *swelling*,

$$\begin{aligned} A &= (\text{PI} / \% \text{ lempung} - 5) \\ &= 9,41 / (79,44 - 5) \\ &= 0,126 \text{ (potensi kembang susut rendah)} \end{aligned}$$

Menurut Burnister (1949), jenis tanah menurut nilai indeks plastisitasnya adalah lempung *low plasticity* ($\text{PI} = 5\% - 10\%$). Hal tersebut dikarenakan kapur menyebabkan terjadinya proses sementasi antar butiran sehingga membentuk gumpalan partikel yang lebih besar yang berakibat menurunkan plastisitas tanah.

5.8.3 Pengujian Gravimetri-Volumetri

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Pengujian Gravimetri Volumetri.

Parameter	Hasil
γ_t (Ton/m ³)	1,755
γ_d (Ton/m ³)	1,494
W_c	28,65%
S_r	77,91%
n	49,96%
e	1,011
G_s	2,728
$G_{skoreksi}$	2,724

(Sumber : Data Primer)

Dari sifat fisik yang telah disajikan oleh **Tabel 5.12** dapat diklasifikasikan jenis tanahnya. Berdasarkan buku Braja M.Das, dengan nilai e didapatkan sebesar 1,011 ($e = 0,9 - 1,4$) dan γ_d sebesar 14,94 kN/m³ ($\gamma_d = 11,5 - 14,5$ kN/m³), tanah termasuk kedalam kategori *soft clay* atau lempung lunak.

Berdasarkan buku Joseph E. Bowles, dengan nilai *specific gravity* (G_s) sebesar 2,724 ($G_s = 2,68 -$

2,75) tanah termasuk kedalam kategori lempung anorganik.

1. Pengujian Triaksial

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Triaksial

Parameter	Hasil
c_u (Ton/m ²)	13,235
ϕ (°)	24,094

(Sumber : Data Primer)

Dari tabel diatas, maka tanah stabilisasi (*disturbed*) dapat diklasifikasikan sebagai tanah lempung.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB VI PENGARUH PROSES PEMBASAHAN DAN PENGERINGAN

Setelah dilakukan proses pembasahan dan pengeringan untuk kondisi tanah natural (*undisturbed*) (sebelum distabilisasi) dan tanah stabilisasi (*disturbed*), maka akan terdapat perubahan pada karakteristik fisik dan mekaniknya. Dalam sub bab ini akan menjelaskan perubahan karakteristik fisik dan mekanik akibat proses pengeringan-pembasahan dengan membandingkannya terhadap kondisi inisial masing-masing.

Tanah natural (*undisturbed*) setelah mengalami pengeringan-pembasahan dibandingkan dengan kondisi inisial nya sendiri, sedangkan tanah stabilisasi (*disturbed*) yang ditambahkan kapur setelah mengalami pengeringan-pembasahan dibandingkan dengan kondisi inisial nya sendiri.

6.1 Pengaruh Proses Pengeringan dan Pembasahan Tanah Inisial (*Undisturbed*)

Sifat fisik dan mekanik tanah natural (*undisturbed*) yang mengalami pengaruh pengeringan dan pembasahan tentunya mengalami perubahan di tiap-tiap parameternya. Dalam sub bab ini akan membahas pengaruh proses pengeringan dan pembasahan tanah natural (*undisturbed*).

6.1.1 Penentuan Penambahan dan Pengurangan Air

Untuk mengetahui jumlah penambahan dan pengurangan air, maka perlu diketahui terlebih dahulu berapa W_{sat} dan W_{dry} .

W_{sat} dapat dihitung dengan persamaan,

$$S_r \times e = W_{sat} \times G_s$$

Dimana, $S_r = 100\%$

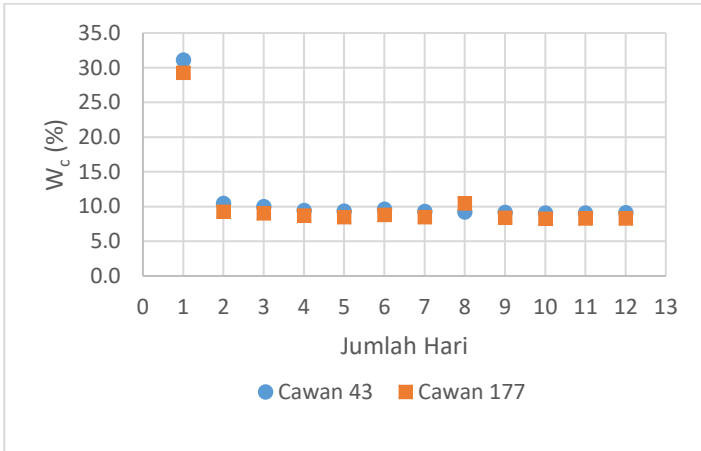
$$e = 0,896 \quad (\text{dari hasil pengujian **Bab IV**})$$

$$G_s = 2,619 \quad (\text{dari hasil pengujian **Bab IV**})$$

$$W_{sat} = 0,896 \times 100\% / 2,619$$

$$W_{sat} = 34,23\%$$

Sedangkan W_{dry} didapatkan dari benda uji yang diangin-anginkan selama 7 hari dan di oven dengan suhu 30°C selama 7 hari. Kemudian diamati perubahan kadar air paling ekstrim dari grafik hubungan kadar air dengan jumlah hari penimbangan,



Gambar 6. 1 Hubungan Kadar Air Tanah Natural dengan Jumlah Hari Penimbangan.

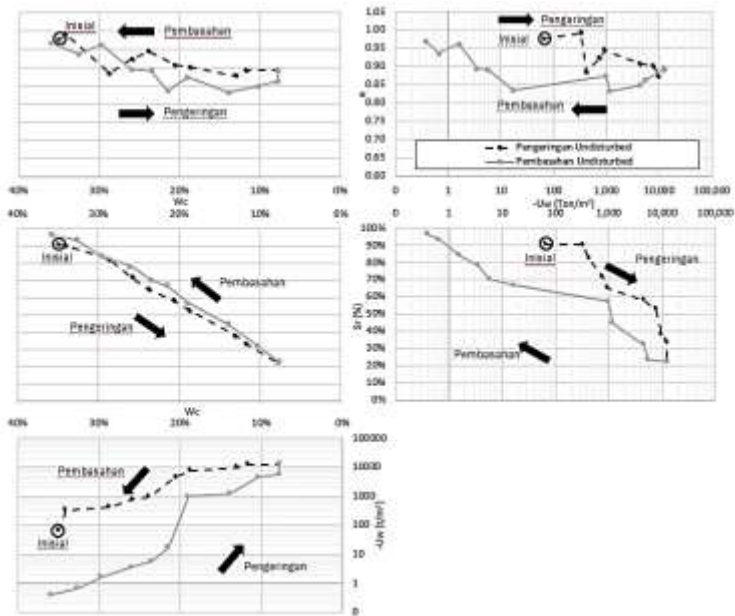
(Sumber : Data Primer)

Dari grafik tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa W_{dry} adalah sebesar 8,67%.

Untuk satu kali proses pembasahan atau pengeringan terdiri dari sepuluh titik, maka besarnya ΔW_c adalah

$$\begin{aligned}
 \Delta W_c &= W_{sat} - W_{dry} / 10 \\
 &= 34,23\% - 8,67\% / 10 \\
 &= 2,56\%
 \end{aligned}$$

6.1.2 Sifat Fisik Tanah Natural (*Undisturbed*)

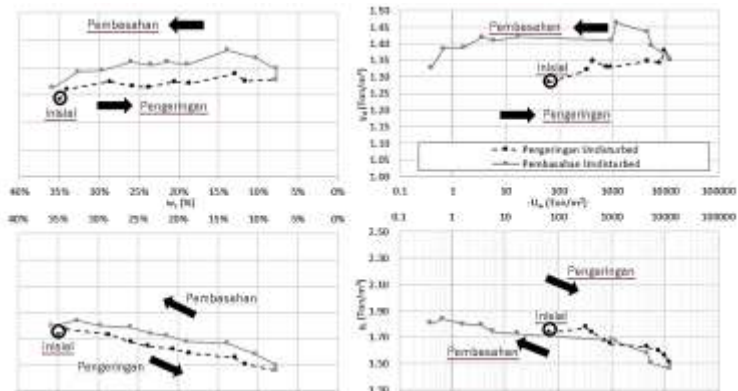


Gambar 6. 2 Hubungan Kadar Air, Tegangan Air Pori Negatif, Derajat Kejenuhan, dan Angka Pori pada Tanah Natural (*Undisturbed*) Akibat Pengerinan-Pembasahan

(Sumber : Data Primer)

Berdasarkan diagram komposisi tanah pada **Bab II (Gambar 2.6 (b))**, Gambar 6.2 dapat disimpulkan bahwa akibat proses pembasahan dan pengeringan dengan rentang kadar air (w_c) untuk tanah Natural *Undisturbed* yaitu 7.73% - 35.83%, angka pori tanah tidak mengalami perubahan yang besar yaitu didapatkan rentang angka pori untuk tanah natural *undisturbed* 0.937 - 0.966. Hal ini dapat dikatakan bahwa angka pori tanah tidak mengalami perubahan. Angka pori tidak mengalami perubahan dikarenakan volume pori (V_v) tidak mengalami perubahan

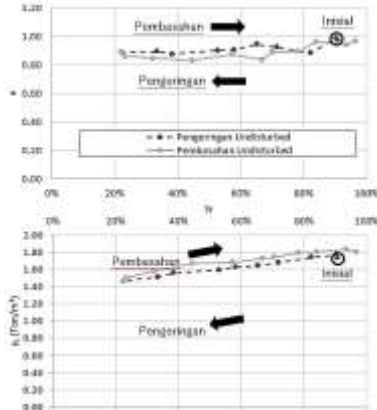
walaupun volume air (V_w) bertambah dan berkurang, karena tanah tidak memiliki potensi kembang susut. Sedangkan volume butiran (V_s) tidak berubah, maka dari persamaan $e = \frac{V_v}{V_s}$ didapatkan nilai angka pori tidak mengalami perubahan. Sedangkan nilai derajat kejenuhan (S_r) mengalami perubahan seiring berubahnya kadar air dalam tanah. Hal ini dikarenakan bertambahnya kadar air (w_c) akan menambah volume air (V_w) sedangkan volume pori (V_v) tidak mengalami perubahan maka dari persamaan $S_r = \frac{V_w}{V_v}$, nilai S_r mengalami kenaikan saat kadar air bertambah dan sebaliknya yaitu didapatkan rentang untuk tanah natural *undisturbed* 93.35% - 96.55%. Bertambahnya air akan mengecilkan volume udara (V_a) pada tanah sehingga tegangan air pori negative ($-U_w$) mengecil dan sebaliknya yaitu didapatkan rentang untuk tanah *undisturbed* 0.667 - 0.397 ton/m².



Gambar 6. 3 Hubungan Kadar Air, Tegangan Air Pori Negatif, Berat-Volume Tanah, dan Berat-Volume Kering pada Tanah Natural (Undisturbed) Akibat Pengeriangan-Pembasahan.

(Sumber : Data Primer)

Berdasarkan diagram komposisi tanah pada **Bab II (Gambar 2.6 (b))**, Gambar 6.3 dapat diketahui bahwa akibat proses pembasahan dan pengeringan dengan rentang kadar air (w_c) untuk tanah Natural *Undisturbed* yaitu 7.73% - 35.83%, berat volume kering (γ_d) tidak mengalami perubahan yang besar yaitu dengan rentang γ_d untuk tanah natural *undisturbed* 1.385 – 1.326 ton/m³. Hal ini dikarenakan berat butiran (W_s) tetap dan volume (V) tetap. Maka dari persamaan $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$, berat volume kering tidak mengalami perubahan dikarenakan perubahan kadar air. Hal ini bisa dikatakan berat volume kering tanah tidak mengalami perubahan dikarenakan perubahan kadar air. Sedangkan berat volume tanah mengalami penurunan seiring berkurangnya kadar air tanah dan mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar air tanah dimana didapatkan rentang γ_t untuk tanah natural *undisturbed* 1.836 – 1.801 ton/m³. Hal ini bisa buktikan bahwa : $\gamma_t = \frac{W}{V}$, dimana volume total (V) benda uji tidak mengalami perubahan dikarenakan benda uji tidak memiliki potensi kembang susut. Sedangkan berat total (W) benda uji mengalami kenaikan dikarenakan berat air seiring bertambahnya air. Hal ini mengakibatkan berat volume tanah (γ_t) membesar dengan bertambahnya kadar air dalam tanah.



Gambar 6. 4 Hubungan Angka Pori dan Berat-Volume Tanah terhadap Derajat Kejenuhan pada Tanah Natural (*Undisturbed*) Akibat Pengerinan-Pembasahan. (Sumber : Data Primer)

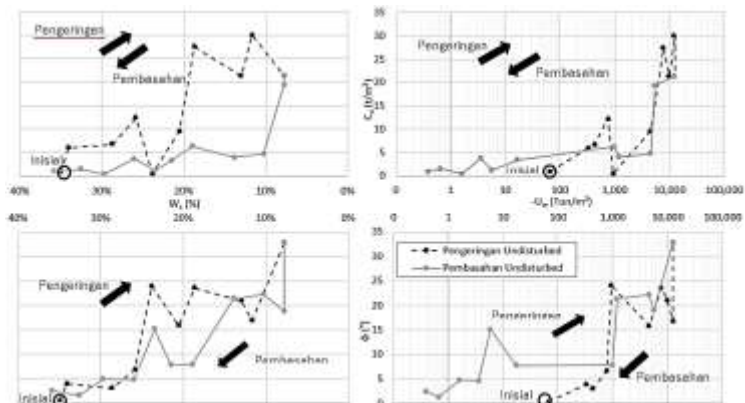
Berdasarkan diagram komposisi tanah pada **Bab II** (**Gambar 2.6 (b)**), Gambar 6.4 dapat diketahui bahwa akibat adanya pengerinan-pembasahan dengan rentang derajat kejenuhan (S_r) untuk tanah Natural *Undisturbed* yaitu 22.31% - 96.55%, Angka pori tanah mengalami perubahan yang tidak besar yaitu dengan rentang 0.937 – 0.966. Perubahan yang tidak besar maka dapat dikatakan angka pori tidak mengalami perubahan. Maka dari persamaan, $e = \frac{V_v}{V_s}$, dimana volume pori (V_v) tidak mengalami perubahan sedangkan volume butirannya (V_s) tidak berubah. Hal ini disebabkan tanah tidak memiliki potensi kembang susut. Sedangkan nilai derajat kejenuhan (S_r) dengan rentang untuk tanah natural *undisturbed* 93.35% - 96.55% tersebut bertambah besar dengan semakin besarnya berat volume tanah (γ_t) akibat bertambahnya kadar air yaitu didapatkan rentang 1.836 – 1.801 ton/m³. Perubahan parameter fisik dari kondisi inisial dapat dirangkum pada tabel 6.1 di bawah ini

Tabel 6. 1 Perubahan Sifat Fisik Akibat Proses Pembasahan Dan Pengeringan Pada Tanah Natural (*Undisturbed*).

Parameter	Tanah Inisial (<i>Undisturbed</i>)					
	Kondisi Inisial	Akibat D-W		Presentase		Presentase Rata-Rata
		$W_c \text{ dry} + 9\Delta W_c$	W_{sat}	$W_c \text{ dry} + 9\Delta W_c$	W_{sat}	
γ_t (T/m^3)	1.732	1.836	1.801	5.99%	3.96%	4.98%
γ_d (T/m^3)	1.284	1.385	1.326	7.86%	3.33%	5.59%
W_c	0.349	0.326	0.358	-6.69%	2.56%	-2.07%
S_r	0.907	0.934	0.966	2.89%	6.42%	4.66%
n	0.494	0.484	0.491	-2.17%	-0.60%	-1.38%
e	0.977	0.937	0.966	-4.15%	-1.17%	-2.66%
G_s	2.539	2.682	2.607	5.64%	2.71%	4.17%
G_{skoreksi}	2.535	2.679	2.604	5.68%	2.73%	4.20%

(Sumber : Data Primer)

6.1.3 Sifat Mekanik Tanah Inisial (*Undisturbed*)



Gambar 6. 5 Hubungan Kadar Air, Tegangan Air Pori Negatif, terhadap Kohesi dan Sudut Geser pada Tanah Natural (*Undisturbed*) Akibat Pengeringan-Pembasahan.

(Sumber : Data Primer)

Berdasarkan diagram komposisi tanah pada **Bab II (Gambar 2.6 (b))**, maka dapat dianalisis gambar 6.5 dapat diketahui bahwa akibat proses pembasahan dan pengeringan dengan rentang kadar air (w_c) untuk tanah Natural *Undisturbed* yaitu 7.73% - 35.83%, nilai kohesi (C_u), sudut geser (ϕ) serta tegangan air pori negatif ($-U_w$) tanah serta mengalami perubahan. Semakin banyak kadar air dan meningkatnya derajat kejenuhan (S_r) maka nilai kohesi (C_u), sudut geser (ϕ) serta tegangan air pori negatif ($-U_w$) tanah menurun. Hal ini dikarenakan air yang mengisi pori (V_v), akan memperkecil ukuran pori dan menurunkan kekuatan tanah dalam hal ini adalah nilai C_u dan sudut geser (ϕ). Didapatkan rentang dari kohesi (C_u) adalah 1.520 - 0.983 ton/m²; rentang sudut geser (ϕ) didapatkan 1.318° - 2.300°; rentang tegangan air pori negatif ($-U_w$) didapatkan 0.667 – 0.397 ton/m². Sedangkan tegangan pori negatif membesar dikarenakan pori udara membesar disaat kadar air berkurang maka daya hisap tanah tersebut terhadap air membesar dan sebaliknya. Nilai kohesi undrained (C_u) akan membesar karena penambahan kadar air. Hal ini disebabkan pori diisi dengan air sehingga berat total bertambah dan berat-volume tanah (γ_t) meningkat yang diikuti dengan bertambahnya nilai kohesi undrained (C_u). Perubahan sifat mekanik tanah natural (*undisturbed*) akibat proses pengeringan dan pembasahan dirangkum dalam tabel 6.2 sebagai berikut

Tabel 6. 2 Perubahan Sifat Mekanik Akibat Proses Pembasahan Dan Pengeringan Pada Tanah Natural (*Undisturbed*).

Parameter	Tanah Inisial (<i>Undisturbed</i>)					
	Kondisi Inisial	Akibat D-W		Presentase		Presentase Rata-Rata
		$W_{c \text{ dry } +}$ $9\Delta W_c$	W_{sat}	$W_{c \text{ dry } +}$ $9\Delta W_c$	W_{sat}	
$-U_w$	65.896	0.667	0.397	-98.99%	-99.40%	-99.19%
ϕ	0.332	1.318	2.399	296.49%	622.00%	459.24%
c_u (ton/m ²)	0.892	1.520	0.983	70.40%	10.20%	40.30%

(Sumber : Data Primer)

6.2 Pengaruh Proses Pengeringan dan Pembasahan Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)

Sifat fisik dan mekanik tanah yang telah distabilisasi yang mengalami pengaruh pengeringan dan pembasahan tentunya mengalami perubahan di tiap-tiap parameternya. Dalam sub bab ini akan membahas pengaruh proses pengeringan dan pembasahan tanah yang telah distabilisasi.

6.2.1 Penentuan Penambahan dan Pengurangan Air

Untuk mengetahui jumlah penambahan dan pengurangan air, maka perlu diketahui terlebih dahulu berapa W_{sat} dan W_{dry} . W_{sat} dapat dihitung dengan persamaan,

$$S_r \times e = W_{sat} \times G_s$$

Dimana, $S_r = 100\%$

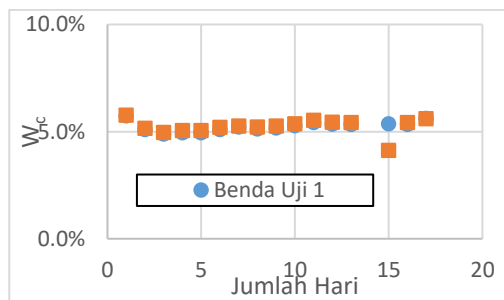
$e = 0,950$ (dari hasil pengujian **Bab V**)

$G_s = 2,619$ (dari hasil pengujian **Bab V**)

$W_{sat} = 0,950 \times 100\% / 2,619$

$W_{sat} = 36,26\%$

Sedangkan W_{dry} didapatkan dari benda uji yang diangin-anginkan selama 7 hari dan di oven dengan suhu 30°C selama 7 hari. Kemudian diamati perubahan kadar air paling ekstrim dari grafik hubungan kadar air dengan jumlah hari penimbangan,



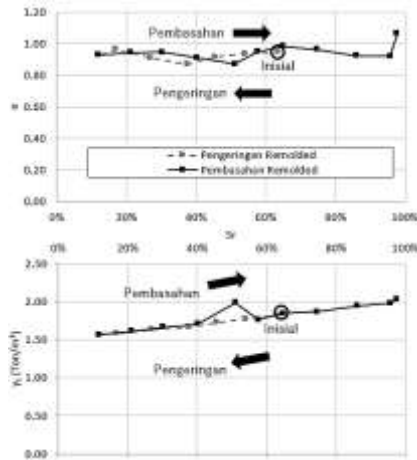
Gambar 6.6 Hubungan Kadar Air Tanah Stabilisasi (*Disturbed*) dengan Jumlah Hari Penimbangan. (Sumber : Data Primer)

Dari grafik tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa W_{dry} adalah sebesar 4,12%.

Untuk satu kali proses pembasahan atau pengeringan terdiri dari sepuluh titik, maka besarnya ΔW_c adalah

$$\begin{aligned}\Delta W_c &= W_{sat} - W_{dry} / 10 \\ &= 36,26\% - 4,12\% / 10 \\ &= 3,21\end{aligned}$$

6.2.2 Sifat Fisik Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)

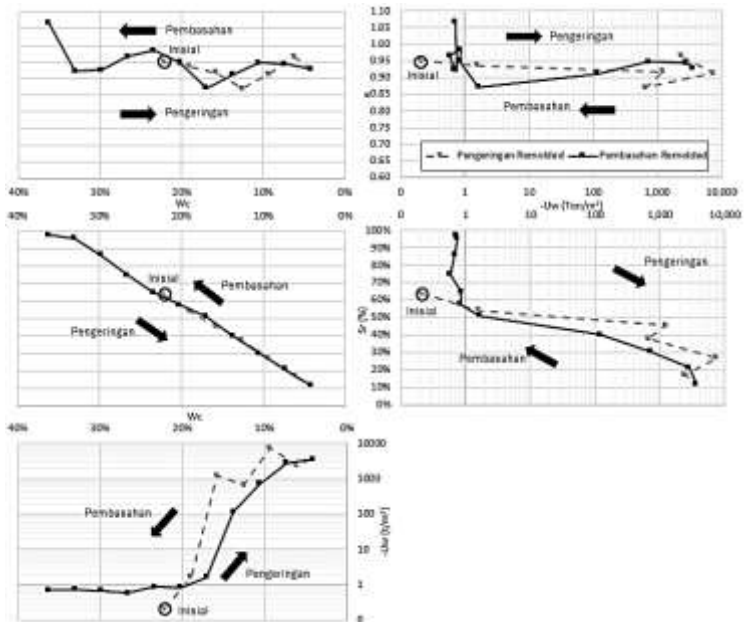


Gambar 6. 7 Hubungan Angka Pori dan Berat-Volume Tanah terhadap Derajat Kejenuhan pada Tanah Stabilisasi (*Disturbed*) Akibat Pengeringan-Pembasahan.

(Sumber : Data Primer)

Berdasarkan diagram komposisi tanah pada **Bab II** (**Gambar 2.6 (b)**), Gambar 6.7 dapat diketahui bahwa akibat adanya pengeringan-pembasahan dengan rentang derajat kejenuhan (S_r) untuk tanah Stabilisasi *Disturbed* yaitu 11.85% - 97.63%, Angka pori tanah mengalami perubahan yang tidak besar yaitu dengan rentang untuk tanah stabilisasi *disturbed* 0,948 – 0,984. Perubahan yang tidak besar maka dapat dikatakan angka pori tidak

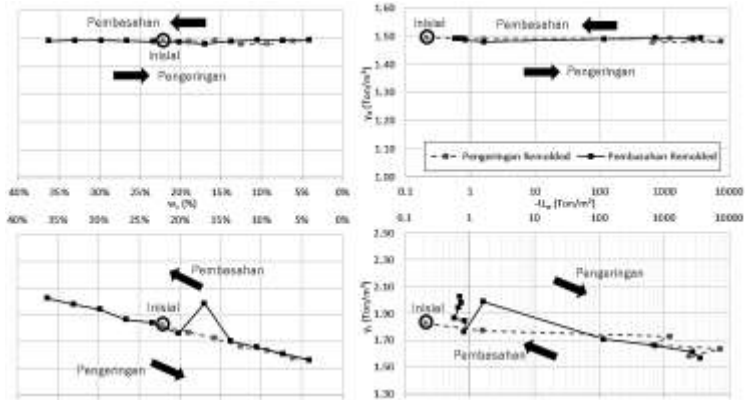
mengalami perubahan. Maka dari persamaan, $e = \frac{V_v}{V_s}$, dimana volume pori (V_v) tidak mengalami perubahan sedangkan volume butirannya (V_s) tidak berubah. Hal ini disebabkan tanah tidak memiliki potensi kembang susut. Sedangkan nilai derajat kejenuhan (S_r) dengan rentang untuk tanah stabilisasi *disturbed* 57.71% - 64.87% tersebut bertambah besar dengan semakin besarnya berat volume tanah (γ_t) akibat bertambahnya kadar air yaitu didapatkan rentang untuk dan tanah stabilisasi *disturbed* 1.762 – 1.843 ton/m³.



Gambar 6. 8 Hubungan Kadar Air, Tegangan Air Pori Negatif, Derajat Kejenuhan, dan Angka Pori pada Tanah Stabilisasi (*Disturbed*) Akibat Pengeringan-Pembasahan.

(Sumber : Data Primer)

Berdasarkan diagram komposisi tanah pada **Bab II (Gambar 2.6 (b))**, Gambar 6.8 dapat disimpulkan bahwa akibat proses pembasahan dan pengeringan dengan rentang kadar air (w_c) untuk tanah Stabilisasi *Disturbed* yaitu 4.12% - 36.26%, angka pori tanah tidak mengalami perubahan yang besar yaitu didapatkan rentang angka pori 0,948 – 0,984. Hal ini dapat dikatakan bahwa angka pori tanah tidak mengalami perubahan. Angka pori tidak mengalami perubahan dikarenakan volume pori (V_v) tidak mengalami perubahan walaupun volume air (V_w) bertambah dan berkurang, karena tanah tidak memiliki potensi kembang susut. Sedangkan volume butiran (V_s) tidak berubah, maka dari persamaan $e = \frac{V_v}{V_s}$ didapatkan nilai angka pori tidak mengalami perubahan. Sedangkan nilai derajat kejenuhan (S_r) mengalami perubahan seiring berubahnya kadar air dalam tanah. Hal ini dikarenakan bertambahnya kadar air (w_c) akan menambah volume air (V_w) sedangkan volume pori (V_v) tidak mengalami perubahan maka dari persamaan $S_r = \frac{V_w}{V_v}$, nilai S_r mengalami kenaikan saat kadar air bertambah dan sebaliknya yaitu didapatkan rentang untuk tanah stabilisasi *disturbed* 57.71% - 64.87%. Bertambahnya air akan mengecilkan volume udara (V_a) pada tanah sehingga tegangan air pori negative ($-U_w$) mengecil dan sebaliknya yaitu didapatkan rentang untuk tanah stabilisasi *disturbed* 0.838 – 0.853 ton/m².



Gambar 6. 9 Hubungan Kadar Air, Tegangan Air Pori Negatif, Berat-Volume Tanah, Berat-Volume Kering, dan Angka Pori pada Tanah Stabilisasi (*Disturbed*) Akibat Pengerangan-Pembasahan.

(Sumber : Data Primer)

Berdasarkan diagram komposisi tanah pada **Bab II (Gambar 2.6 (b))**, Gambar 6.9 dapat diketahui bahwa akibat proses pembasahan dan pengeringan dengan rentang kadar air (w_c) untuk tanah Stabilisasi *Disturbed* yaitu 4.12% - 36.26%, berat volume kering (γ_d) tidak mengalami perubahan yang besar yaitu dengan rentang γ_d untuk tanah stabilisasi *disturbed* 1.485 – 1.488 ton/m³. Hal ini dikarenakan berat butiran (W_s) tetap dan volume (V) tetap. Maka dari persamaan $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$, berat volume kering tidak mengalami perubahan dikarenakan perubahan kadar air. Hal ini bisa dikatakan berat volume kering tanah tidak mengalami perubahan dikarenakan perubahan kadar air. Sedangkan berat volume tanah mengalami penurunan seiring berkurangnya kadar air tanah dan mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar air tanah dimana didapatkan rentang γ_t untuk tanah stabilisasi *disturbed* 1.762 – 1.843 ton/m³. Hal ini bisa

buktikan bahwa : $\gamma_t = \frac{W}{V}$, dimana volume total (V) benda uji tidak mengalami perubahan dikarenakan benda uji tidak memiliki potensi kembang susut. Sedangkan berat total (W) benda uji mengalami kenaikan dikarenakan berat air seiring bertambahnya air. Hal ini mengakibatkan berat volume tanah (γ_t) membesar dengan bertambahnya kadar air dalam tanah.

Perubahan parameter fisik dari kondisi inisial dapat dirangkum pada tabel 6.3 di bawah ini,

Tabel 6. 3 Perubahan sifat fisik akibat proses pembasahan dan pengeringan pada tanah stabilisasi (*disturbed*).

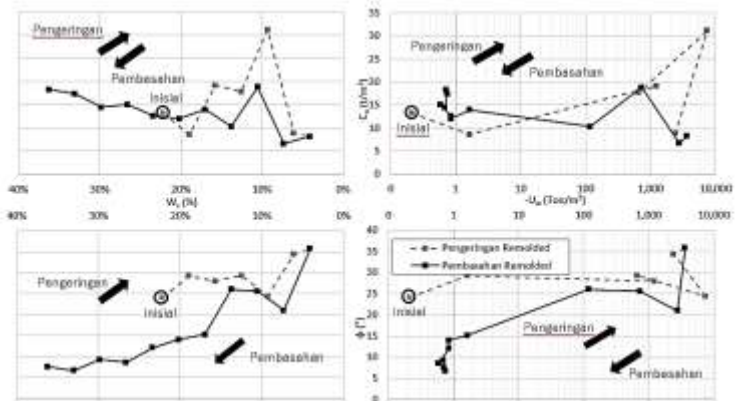
Parameter	Tanah Stabilisasi (<i>Disturbed</i>)					
	Kondisi Inisial	Akibat D-W		Presentase Terhadap		Presentase Rata-Rata
		W _c dry + 5ΔW _c	W _c dry + 6ΔW _c	W _c dry + 5ΔW _c	W _c dry + 6ΔW _c	
γ _t (Ton/m ³)	1,825	1,762	1,843	-3,47%	0,98%	-1,24%
γ _d (Ton/m ³)	1,494	1,485	1,488	-0,59%	-0,39%	-0,49%
W _c	22,17%	20,19%	23,40%	-8,93%	5,56%	-1,69%
S _r	63,68%	57,71%	64,87%	-9,37%	1,86%	-3,75%
n	48,69%	48,66%	49,60%	-0,06%	1,87%	0,90%
e	0,950	0,948	0,984	-0,15%	3,61%	1,73%
G _s	2,625	2,709	2,727	3,18%	3,89%	3,53%
G _{skoreksi}	2,619	2,707	2,726	3,35%	4,07%	3,71%

(Sumber : Data Primer)

Sehingga dapat disimpulkan bahwa parameter-parameter yang mengalami perubahan yang signifikan karena bertambah dan berkurangnya air adalah kadar air (W_c), berat-volume tanah (γ_t), dan derajat kejenuhan (S_r).

6.2.3 Sifat Mekanik Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)

Parameter sifat mekanik tanah berubah akibat proses pengeringan-pembasahan disajikan pada grafik di bawah ini,



Gambar 6. 10 Hubungan Derajat Kejenuhan, Tegangan Air Pori Negatif, Berat-Volume Tanah, dan Kohesi *Undrained* pada Tanah Stabilisasi (*Disturbed*) Akibat Pengeringsan-Pembasahan

(Sumber : Data Primer)

Berdasarkan diagram komposisi tanah pada **Bab II (Gambar 2.6 (b))**, Gambar 6.10 dapat diketahui bahwa akibat proses pembasahan dan pengeringan dengan rentang kadar air (w_c) untuk tanah Stabilisasi *Disturbed* yaitu 4.12% - 36.26%, nilai kohesi (C_u), sudut geser (ϕ) serta tegangan air pori negatif ($-U_w$) tanah serta mengalami perubahan. Semakin banyak kadar air dan meningkatnya derajat kejenuhan (S_r) maka nilai kohesi (C_u), sudut geser (ϕ) serta tegangan air pori negatif ($-U_w$) tanah menurun. Hal ini dikarenakan air yang mengisi pori (V_v), akan memperkecil ukuran pori dan menurunkan kekuatan tanah dalam hal ini adalah nilai C_u dan sudut geser (ϕ). Didapatkan rentang dari kohesi (C_u) untuk tanah stabilisasi *disturbed* adalah 12.023 – 12.595 ton/m²; rentang sudut geser (ϕ) untuk tanah stabilisasi *disturbed* didapatkan 14.036° - 12.057°; rentang tegangan air pori

negatif ($-U_w$) untuk tanah stabilisasi *disturbed* didapatkan 0.838 – 0.853 ton/m². Sedangkan tegangan pori negatif membesar dikarenakan pori udara membesar disaat kadar air berkurang maka daya hisap tanah tersebut terhadap air membesar dan sebaliknya. Nilai kohesi undrained (C_u) akan membesar karena penambahan kadar air. Hal ini disebabkan pori diisi dengan air sehingga berat total bertambah dan berat-volume tanah (γ_t) meningkat yang diikuti dengan bertambahnya nilai kohesi undrained (C_u).

Peningkatan dan penurunan sifat mekanik tanah sesudah distabilisasi dapat dirangkum dalam tabel 6.4 sebagai berikut,

Tabel 6. 4 Perubahan sifat mekanik akibat proses pembasahan dan pengeringan pada tanah stabilisasi (*disturbed*).

Parameter	Tanah Stabilisasi (<i>Disturbed</i>)					
	Kondisi Inisial	Akibat D-W		Presentase Terhadap		Presentase Rata-Rata
		$W_{c \text{ dry}} + 5\Delta W_c$	$W_{c \text{ dry}} + 6\Delta W_c$	$W_{c \text{ dry}} + 5\Delta W_c$	$W_{c \text{ dry}} + 6\Delta W_c$	
C_u	13,235	12,023	12,595	-9,16%	-4,84%	-7,00%
ϕ (°)	24,094	14,036	12,057	-41,74%	-49,96%	-45,85%
$-U_w$	0,209	0,838	0,853	301,69%	308,89%	305,29%

(Sumber : Data Primer)

Sehingga dapat disimpulkan bahwa parameter-parameter yang berubah karena bertambah dan berkurangnya air tegangan air pori ($-U_w$), kohesi *undrained* (C_u), dan sudut geser (ϕ).

6.3 Rekapitulasi Sifat Fisik dan Mekanik Akibat Pengaruh Pengeringan dan Pembasahan pada Tanah Inisial (*Undisturbed*) dan Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)

Setelah terjadinya perubahan pada sifat fisik dan mekanik dengan kondisi tanah sebelum dan sesudah distabilisasi, maka perlu diketahui berapa kenaikannya.

6.3.1 Sifat Fisik Tanah Natural (*Undisturbed*) dan Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)

Aspek peningkatan dan penurunan sifat fisik akibat proses pembasahan dan pengeringan tanah natural (*undisturbed*) dan tanah stabilisasi (*disturbed*) dapat dilihat dari prosentasenya terhadap masing-masing kondisi inisialnya. Hal tersebut disajikan pada tabel 6.5 berikut,

Tabel 6. 5 Presentase Perubahan Sifat Fisik Akibat Proses Pengeringan dan Pembasahan terhadap Kondisi Inisial.

Parameter	Presentase Perubahan Nilai Pada (%)	
	Tanah Natural (<i>Undisturbed</i>)	Tanah Stabilisasi (<i>Disturbed</i>)
γ_t (Ton/m ³)	4,98%	-1,24%
γ_d (Ton/m ³)	5,59%	-0,49%
W_c	-2,07%	-1,69%
S_r	4,66%	-3,75%
n	-1,38%	0,90%
e	-2,66%	1,73%
G_s	4,17%	3,53%
$G_{skoreksi}$	4,20%	3,71%

(Sumber : Data Primer)

Dari **Tabel 6.5** dapat dilihat bahwa, berat-volume tanah pada masing-masing benda uji

mengalami peningkatan akibat proses pembasahan dan pengeringan.

6.3.2 Sifat Mekanik Tanah Natural (*Undisturbed*) dan Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)

Aspek peningkatan dan penurunan sifat mekanik akibat proses pembasahan dan pengeringan tanah natural (*undisturbed*) dan tanah stabilisasi (*disturbed*) dapat dilihat dari prosentasenya terhadap kondisi inisialnya. Hal tersebut disajikan pada tabel berikut,

Tabel 6. 6 Presentase Perubahan Sifat Mekanik Akibat Proses Pengeringan dan Pembasahan terhadap Kondisi Inisial.

Parameter	Presentase Perubahan Nilai Pada (%)	
	Tanah Natural (<i>Undisturbed</i>)	Tanah Stabilisasi (<i>Disturbed</i>)
c_u (T/m ²)	-6,53%	-7,00%
ϕ	459,24%	-45,85%
$-U_w$ (T/m ²)	-99,19%	305,29%

(Sumber : Data Primer)

Dari **Tabel 6.6** di atas dapat dilihat bahwa tanah natural *undisturbed* mengalami penurunan nilai kohesi *undrained* dan meningkatkan nilai sudut geser dalam. Hal ini terjadi karena ukuran butiran yang tidak seragam dan angka pori yang tinggi jika terkena pengaruh naik-turunnya kadar air akan mengubah kekuatan tanahnya.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa parameter-parameter yang berubah karena bertambah dan berkurangnya air adalah kadar air (W_c), tegangan air pori ($-U_w$), berat-volume tanah (γ_t), derajat kejenuhan (S_r), kohesi

undrained (C_u), dan sudut geser (ϕ). Besarnya perubahan tersebut disajikan dalam tabel 6.7 berikut,

Tabel 6. 7 Perubahan Sifat Fisik dan Mekanik Akibat Proses Pengeringan dan Pembasahan terhadap Kondisi Inisial.

Parameter	Presentase Perubahan Nilai Pada (%)	
	Tanah Natural (<i>Undisturbed</i>)	Tanah Stabilisasi (<i>Disturbed</i>)
γ_t	4,98%	-1,24%
W_c	-2,07%	-1,69%
S_r	4,66%	-3,75%
c_u	-6,53%	-7,00%
ϕ (°)	459,24%	-45,85%
$-U_w$	-99,19%	305,29%

(Sumber : Data Primer)

Sudut geser dalam mengalami penurunan saat distabilisasi akibat pengaruh adanya penambahan kapur, yaitu terbentuknya *water-insoluble* gel yang akan membuat butiran memiliki ukuran yang lebih besar dan seragam, sehingga akan meningkatkan nilai kohesi *undrained* akan tetapi menurunkan nilai sudut geser.

Perubahan parameter fisik dan mekanik mengalami kenaikan apabila tanah distabilisasi secara mekanis (dipadatkan) dan kimiawi (diberi kapur) apabila dibandingkan dengan kondisi tanah natural *undisturbed* yang telah mengalami proses pengeringan dan pembasahan.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB VII

KORELASI *SHEAR-STRENGTH* TERHADAP NILAI CBR

Setelah melakukan pengujian karakteristik fisik dan mekanik pada kondisi inisial (sebelum proses pembasahan – pengeringan), baik untuk tanah natural maupun yang sudah distabilisasi, dilakukan analisa nilai CBR yang dalam hal ini perhitungan CBR laboratorium rendaman berdasarkan perhitungan *shear strength*. Perhitungan nilai CBR diambil dari jurnal dengan judul “*Correlation Of CBR with Shear Strength Parameters*” oleh Garry H. Greogory, Ph.D., P.E. dan Stephen A. Cross, Ph.D., P.E. Hal ini didasarkan pada jenis tanah yang diuji sama yaitu berupa tanah lempung dan jenis pengujian yang digunakan sama yaitu *Triaxial* dengan metode UU.

7.1. Korelasi *Shear-Strength* terhadap Nilai CBR Tanah Natural *Undisturbed*

Data-data parameter fisik dan mekanik didapatkan dari **Bab IV** sebagai berikut :

Tabel 7. 1 Hasil Pengujian Parameter Fisik dan Mekanik Tanah Natural *Undisturbed*

Parameter Fisik		
γ_t (Ton/m ³)	=	1,732
γ_d (Ton/m ³)	=	1,284
W_c	=	34,94%
S_r	=	90,73%
n	=	49,43%
e	=	0,977
G_s	=	2,539
$G_{skoreksi}$	=	2,535
Parameter Mekanik		
C_u (Ton/cm ²)	=	8,9
ϕ_u (°)	=	0,332

(Sumber : Data Primer)

Dihitung terlebih dahulu nilai *shear strength* dengan menggunakan persamaan 2.14, dikarenakan hasil menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki nilai C_u dan ϕ maka suku-suku pada persamaan 2.14 memiliki nilai.

$$\begin{aligned} K_p &= \tan^2 (45 + \frac{1}{2} \phi) \\ &= \tan^2 (45 + \frac{1}{2} \cdot (0.332)) \\ &= 1.012 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_q &= e^{\pi \tan \phi} K_p \\ &= e^{\pi \tan (0.332)} 1.012 \\ &= 1.030 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_c &= (N_q - 1) \cot \phi \\ &= (1.030 - 1) \cot (0.332) \\ &= 5.219 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_\gamma &= (N_q - 1) \tan (1,4\phi) \\ &= (1.030 - 1) \tan (1.4 (0.332)) \\ &= 0.000245797 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_c &= 1 + 0,2 K_p (B/L) \\ &= 1 + 0.2 (1.012) (1) \\ &= 1.202 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_q &= S_\gamma = 1 + 0,1 K_p (B/L) \\ &= 1 + 0.1 (1.012) (1) \\ &= 1.101 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_c &= 1 + 0,2 (K_p)^{0,5} (D/B) \\ &= 1 + 0.2 (1.012)^{0,5} (4.14 \text{ kPa} / \gamma t / 0.04963 \text{ m}) \\ &= 1.969 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_q &= d_\gamma = 1 + 0,1 (K_p)^{0,5} (D/B) \\ &= 1 + 0.1 (1.012)^{0,5} (4.14 \text{ kPa} / \gamma t / 0.04963 \text{ m}) \\ &= 1.484 \end{aligned}$$

$$Q_{ult} = c N_c s_c d_c + q' N_q S_q d_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma$$

$$\begin{aligned}
 &= 13.390 \text{ kN/m}^2 \cdot 5.219 \cdot 1.202 \cdot 1.969 + 4.14 \\
 &\quad \text{kN/m}^2 \cdot 1.030 \cdot 1.101 \cdot 1.484 + 0.5 \cdot 17.323 \\
 &\quad \text{kN/m}^3 \cdot 0.04963 \text{ m} \cdot 0.000245797 \cdot 1.101 \cdot \\
 &\quad 1.484 \\
 &= 172.387 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CBR} &= (q_{ult} \times 100) / 6895 \\
 &= (172.387 \text{ kN/m}^2 \times 100) / 6895 \\
 &= 2.5 \%
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan korelasi *shear-strength* dan CBR rendaman. Dapat disimpulkan bahwa tanah dasar dalam kondisi natural tidak mampu untuk menahan beban yang akan diterima apabila tanah dasar dijadikan jalan inspeksi (CBR yang dihitung kurang dari yang disyaratkan yaitu < 6%-10%). Sehingga perlu dilakukan perbaikan tanah dasar.

7.2. Korelasi *Shear-Strength* Terhadap Nilai CBR Tanah *Disturbed* Distabilisasi

Data-data parameter fisik dan mekanik didapatkan dari **Bab IV** sebagai berikut,

Tabel 7. 2 Hasil Pengujian Parameter Fisik dan Mekanik Tanah yang Distabilisasi

2% Kapur + 98% Tanah			4% Kapur + 96% Tanah		
Parameter Fisik			Parameter Fisik		
γ_t (Ton/m ³)	=	1,682	γ_t (Ton/m ³)	=	1,755
γ_d (Ton/m ³)	=	1,435	γ_d (Ton/m ³)	=	1,441
W_c	=	21,81%	W_c	=	28,65%
S_r	=	63,57%	S_r	=	77,91%
n	=	47,47%	n	=	49,69%
e	=	0,905	e	=	1,011
G_s	=	2,628	G_s	=	2,728
$G_{skoreksi}$	=	2,623	$G_{skoreksi}$	=	2,724

(Sumber : Data Primer)

Tabel 7. 3 Hasil Pengujian Parameter Fisik dan Mekanik Tanah yang Distabilisasi. (Lanjutan)

2% Kapur + 98% Tanah			4% Kapur + 96% Tanah		
Parameter Mekanik			Parameter Mekanik		
C_u (Ton/m ²)	=	7,01	C_u (Ton/m ²)	=	3,5
ϕ (°)	=	25,206	ϕ (°)	=	23,65

(Sumber : Data Primer)

Tabel 7. 4 Hasil Pengujian Parameter Fisik dan Mekanik Tanah yang Distabilisasi (Lanjutan).

6% Kapur + 94% Tanah			8% Kapur + 92% Tanah		
Parameter Fisik			Parameter Fisik		
γ_t (Ton/m ³)	=	1,657	γ_t (Ton/m ³)	=	1,650
γ_d (Ton/m ³)	=	1,494	γ_d (Ton/m ³)	=	1,434
W_c	=	23,01%	W_c	=	25,34%
S_r	=	63,68%	S_r	=	67,17%
n	=	48,69%	n	=	49,69%
e	=	0,950	e	=	0,988
G_s	=	2,625	G_s	=	2,617
$G_{skoreksi}$	=	2,619	$G_{skoreksi}$	=	2,611
Parameter Mekanik			Parameter Mekanik		
C_u (Ton/m ²)	=	12,34	C_u (Ton/m ²)	=	14,912
ϕ (°)	=	24,094	ϕ (°)	=	14,402

(Sumber : Data Primer)

Tabel 7. 5 Hasil Pengujian Parameter Fisik dan Mekanik Tanah yang Distabilisasi (Lanjutan).

10% Kapur + 90% Tanah			Tanpa Bahan Stabilisasi		
Parameter Fisik			Parameter Fisik		
γ_t (Ton/m ³)	=	1,623	γ_t (Ton/m ³)	=	1,787
γ_d (Ton/m ³)	=	1,415	γ_d (Ton/m ³)	=	1,319
W_c	=	22,59%	W_c	=	35,51%
S_r	=	59,48%	S_r	=	91,63%

(Sumber : Data Primer)

Tabel 7. 6 Hasil Pengujian Parameter Fisik dan Mekanik Tanah yang Distabilisasi (Lanjutan).

10% Kapur + 90% Tanah			Tanpa Bahan Stabilisasi		
Parameter Fisik			Parameter Fisik		
n	=	50,44%	n	=	51,09%
e	=	1,020	e	=	1,051
G _s	=	2,670	G _s	=	2,696
G _{skoreksi}	=	2,666	G _{skoreksi}	=	2,694
Parameter Mekanik			Parameter		
C _u (Ton/m ²)	=	14,88	C _u (Ton/m ²)	=	2,770
φ (°)	=	22,802	φ (°)	=	1,455

(Sumber : Data Primer)

Sebagai contoh perhitungan, dihitung terlebih dahulu nilai *shear strength* dengan kadar campuran 2% kapur + 98% tanah menggunakan persamaan 2.14,

$$\begin{aligned}
 K_p &= \tan^2 (45 + \frac{1}{2} \phi) \\
 &= \tan^2 (45 + \frac{1}{2} \cdot (25,206)) \\
 &= 2.484
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_q &= e^{\pi \tan \phi} K_p \\
 &= e^{\pi \tan (25,206)} 2.484 \\
 &= 10.897
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_c &= (N_q - 1) \cot \phi \\
 &= (10.897 - 1) \cot (25,206) \\
 &= 21.025
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_\gamma &= (N_q - 1) \tan (1,4\phi) \\
 &= (10.897 - 1) \tan (1.4 (25,206)) \\
 &= 7.004327295
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_c &= 1 + 0,2 K_p (B/L) \\
 &= 1 + 0.2 (2.484) (1) \\
 &= 1.497
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_q &= S_\gamma = 1 + 0,1 K_p (B/L) \\
 &= 1 + 0.1 (2.484) (1) \\
 &= 1.248
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_c &= 1 + 0,2 (K_p)^{0,5} (D/B) \\
 &= 1 + 0.2 (2.484)^{0,5} (4.14 \text{ kPa} / \gamma t / 0.04963 \text{ m}) \\
 &= 2.563
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_q &= d_\gamma = 1 + 0,1 (K_p)^{0,5} (D/B) \\
 &= 1 + 0.1 (2.484)^{0,5} (4.14 \text{ kPa} / \gamma t / 0.04963 \text{ m}) \\
 &= 1.782
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= c N_c s_c d_c + q' N_q S_q d_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma \\
 &= 9.830 \text{ kN/m}^2 \cdot 21.025 \cdot 1.497 \cdot 2.563 + 4.14 \\
 &\text{kN/m}^2 \cdot 10.897 \cdot 1.248 \cdot 1.782 + 0.5 \cdot 18.009 \\
 &\text{kN/m}^3 \cdot 0.04963 \text{ m} \cdot 7.004327295 \cdot 1.248 \cdot \\
 &1.782 \\
 &= 5761.201 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CBR} &= (q_{ult} \times 100) / 6895 \\
 &= (5761.201 \text{ kN/m}^2 \times 100) / 6895 \\
 &= 83,556 \%
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa nilai CBR tanah dasar meningkat apabila tanah dipadatkan dan diberi bahan stabilisasi. Kemudian untuk kondisi yang lainnya, hasil korelasi nilai CBR dapat ditentukan sebagai berikut.

Tabel 7. 7 Hasil Perhitungan Nilai CBR Rendaman untuk Masing-Masing kondisi dan Aspek Peningkatannya terhadap Kondisi Inisial.

Kondisi	q_{ult} (kN/m ²)	CBR (%)	Perubahan Nilai CBR (%)
Tanah natural <i>undisturbed</i>	172,387	2,500	
100% Tanah	360,549	5,229	109,151

(Sumber : Data Primer)

Tabel 7. 8 Hasil Perhitungan Nilai CBR Rendaman untuk Masing-Masing kondisi dan Aspek Peningkatannya terhadap Kondisi Inisial. (Lanjutan)

Kondisi	q_{ult} (kN/m ²)	CBR (%)	Perubahan Nilai CBR (%)
2% Kapur + 98% Tanah	5761,201	83,556	1497,896
4% Kapur + 96% Tanah	2459,154	35,666	582,058
6% Kapur + 94% Tanah	9247,704	134,122	2464,894
8% Kapur + 92% Tanah	4885,266	70,852	1254,951
10% Kapur + 90% Tanah	9887,049	143,394	2642,219

(Sumber : Data Primer)

Dari **Tabel 7.7** dan **Tabel 7.8** dapat disimpulkan bahwa, tanah dasar yang tidak diperbaiki memiliki nilai CBR paling rendah dan tidak memenuhi ketentuan yang disyaratkan (minimal CBR 6% - 10%). Sedangkan apabila tanah dasar dilakukan stabilisasi secara mekanis, nilai CBR akan meningkat sebesar 109,151% dari kondisi natural sehingga memenuhi CBR yang disyaratkan. Dan apabila tanah dasar dilakukan stabilisasi mekanis dan kimiawi, maka nilai CBR akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya bahan stabilisasi yaitu kapur.

7.3 Korelasi *Shear-Strength* terhadap Nilai CBR Akibat Proses Pengeringan dan Pembasahan

Setelah adanya perubahan kadar air dalam tanah dasar sebagai akibat adanya perubahan musim (pengeringan dan pembasahan) maka akan terjadi perubahan nilai CBR. Dalam hal ini, nilai CBR yang akan dijadikan patokan apakah perlu adanya perbaikan tanah dasar atau tidak adalah kondisi tanah terendam air (CBR rendaman atau CBR *soaked*) untuk kondisi tanah natural *undisturbed* (sebelum distabilisasi) dan tanah stabilisasi.

7.3.1 Tanah Natural *Undisturbed*

Berikut data hasil pengujian *Gravimetri-Volumetri* dan *Triaxial*

Tabel 7. 9 Hasil Pengujian Gravimetri-Volumetri dan Triaxial Tanah Tak Terganggu pada saat w_{sat} .

Parameter Fisik		
γ_t (T/m ³)	=	1.80
γ_d (T/m ³)	=	1.33
W_c	=	0.36
S_r	=	0.97
n	=	0.49
e	=	0.97
G_s	=	2.607
$G_{skoreksi}$	=	2.604
Parameter Mekanik		
C_u (T/m ²)	=	9,8
ϕ (°)	=	2.399

(Sumber : Data Primer)

Dihitung terlebih dahulu nilai *shear-strength* dengan menggunakan persamaan 2.14, dikarenakan hasil menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki nilai C_u dan ϕ maka suku-suku pada persamaan 2.14 memiliki nilai.

$$\begin{aligned} K_p &= \tan^2 (45 + \frac{1}{2} \phi) \\ &= \tan^2 (45 + \frac{1}{2} \cdot (2.399)) \\ &= 1.087 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_q &= e^{\pi \tan \phi} K_p \\ &= e^{\pi \tan (0.332)} 1.012 \\ &= 1.240 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_c &= (N_q - 1) \cot \phi \\ &= (1.240 - 1) \cot (2.399) \\ &= 5.737 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_\gamma &= (N_q - 1) \tan (1,4\phi) \\
 &= (1.240 - 1) \tan (1.4 (2.399)) \\
 &= 0.01410792
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_c &= 1 + 0,2 K_p (B/L) \\
 &= 1 + 0.2 (1.087) (1) \\
 &= 1.217
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_q &= S_\gamma = 1 + 0,1 K_p (B/L) \\
 &= 1 + 0.1 (1.087) (1) \\
 &= 1.109
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_c &= 1 + 0,2 (K_p)^{0,5} (D/B) \\
 &= 1 + 0.2 (1.087)^{0,5} (4.14 \text{ kPa} / \gamma t / 0.04963 \text{ m}) \\
 &= 1.966
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_q &= d_\gamma = 1 + 0,1 (K_p)^{0,5} (D/B) \\
 &= 1 + 0.1 (1.087)^{0,5} (4.14 \text{ kPa} / \gamma t / 0.04963 \text{ m}) \\
 &= 1.483
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= c N_c s_c d_c + q' N_q S_q d_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma \\
 &= 9.830 \text{ kN/m}^2 \times 5,737 \times 1.217 \times 1.966 + 4.14 \\
 &\quad \text{kN/m}^2 \times 1.240 \times 1.109 \times 1.483 + 0,5 \times \\
 &\quad 18.009 \text{ kN/m}^3 \times 0.04963 \text{ m} \times 0.01410792 \times \\
 &\quad 1.109 \times 1.483 \\
 &= 143.432 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CBR} &= (q_{ult} \times 100) / 6895 \\
 &= (143.432 \text{ kN/m}^2 \times 100) / 6895 \\
 &= 2.08 \%
 \end{aligned}$$

Tabel 7. 10 Hasil Korelasi Perhitungan CBR pada Tanah Natural *Undisturbed* yang Telah Mengalami Proses Pengerinan dan Pembasahan.

Kondisi	q_{ult} (kN/m ²)	CBR (%)
Inisial	117.166	1.699
Akibat Pengerinan- Pembasahan	201.165	2.918
	143.432	2.080

(Sumber : Data Primer)

Dari perhitungan CBR rendaman di atas untuk kondisi tanah natural *undisturbed* yang mengalami proses pembasahan dan pengerinan dapat disimpulkan bahwa tanah dasar tidak mampu untuk menopang beban yang akan diterima, nilai CBR yang didapatkan kurang dari CBR yang disyaratkan yaitu sebesar 2,918% - 2,08% < 6% - 10%. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan tanah dasar agar nilai CBR meningkat.

7.3.2 Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)

Berikut data hasil pengujian *Gravimetri-Volumetri* dan *Triaxial*

Tabel 7. 11 Hasil Pengujian Gravimetri-Volumetri dan Triaxial Tanah yang Distabilisasi pada saat w_{sat}

Parameter Fisik		
γ_t (t/m ³)	=	2.024
γ_d (t/m ³)	=	1.388
W_c	=	36.26%
S_r	=	102.09%
n	=	49.31%
e	=	0.973

(Sumber : Data Primer)

Tabel 7. 12 Hasil Pengujian Gravimetri-Volumetri dan Triaxial Tanah yang Distabilisasi pada saat w_{sat} . (Lanjutan).

Parameter Fisik		
G_s	=	2.739
$G_{skoreksi}$	=	2.737
Parameter Mekanik		
C_u (kg/cm ²)	=	1.827
ϕ_u (°)	=	7.565

(Sumber : Data Primer)

Dihitung terlebih dahulu nilai *shear strength* dengan menggunakan persamaan 2.14, dikarenakan hasil menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki nilai C_u dan ϕ maka suku-suku pada persamaan 2.14 memiliki nilai.

$$\begin{aligned} K_p &= \tan^2 (45 + \frac{1}{2} \phi) \\ &= \tan^2 (45 + \frac{1}{2} \cdot (7.565)) \\ &= 1.303 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_q &= e^{\pi \tan \phi} K_p \\ &= e^{\pi \tan (0.332)} 1.012 \\ &= 1.978 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_c &= (N_q - 1) \cot \phi \\ &= (1.978 - 1) \cot (7.565) \\ &= 7.364 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_\gamma &= (N_q - 1) \tan (1,4\phi) \\ &= (1.978 - 1) \tan (1.4 (7.565)) \\ &= 0.183 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_c &= 1 + 0,2 K_p (B/L) \\ &= 1 + 0.2 (1.303) (1) \\ &= 1.261 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_q &= S_\gamma = 1 + 0,1 K_p (B/L) \\ &= 1 + 0.1 (1.303) (1) \end{aligned}$$

$$= 1.130$$

$$\begin{aligned} d_c &= 1 + 0,2 (K_p)^{0,5} (D/B) \\ &= 1 + 0.2 (1.303)^{0,5} (4.14 \text{ kPa} / \gamma t / 0.04963 \text{ m}) \\ &= 1.941 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_q &= d_\gamma = 1 + 0,1 (K_p)^{0,5} (D/B) \\ &= 1 + 0.1 (1.303)^{0,5} (4.14 \text{ kPa} / \gamma t / 0.04963 \text{ m}) \\ &= 1.470 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= c N_c s_c d_c + q' N_q S_q d_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma \\ &= 183 \text{ kN/m}^2 \times 7.364 \times 1.261 \times 1.941 + 4.14 \\ &\text{ kN/m}^2 \times 1.978 \times 1.130 \times 1.470 + 0.5 \times 20.243 \\ &\text{ kN/m}^3 \times 0.04963 \text{ m} \times 0.183 \times 1.130 \times 1.470 \\ &= 3305.401 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CBR} &= (q_{ult} \times 100) / 6895 \\ &= (3305.401 \text{ kN/m}^2 \times 100) / 6895 \\ &= 47.94 \% \end{aligned}$$

Tabel 7. 13 Hasil Korelasi CBR Terhadap *Shear Strength* Pada Tanah Stabilisasi (*Disturbed*) Akibat Pengaruh Proses Pengeringan dan Pembasahan.

Kondisi	q_{ult} (kN/m^2)	CBR (%)
Inisial	9247.704	134.1219
Akibat Pengeringan- Pembasahan	3700.491	53.66919
	3268.179	47.39926

(Sumber : Data Primer)

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa, tanah dasar hasil stabilisasi yang terkena pengaruh pengeringan dan pembasahan nilai CBR nya masih memenuhi untuk syarat minimum nilai CBR yaitu sebesar 6% - 10%. Walaupun nilai CBR saat tanah terendam air mengalami penurunan sebesar 64,257% dari kondisi awal setelah stabilisasi, tetapi

nilai CBR yang didapatkan masih memenuhi persyaratan.

Dan jika dibandingkan dengan kondisi asli (*undisturbed*) tanah yang terkena pengaruh pengeringan dan pembasahan, tanah yang distabilisasi memiliki nilai CBR lebih besar.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB VIII

KESIMPULAN

8.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada kondisi inisial (*undisturbed*), klasifikasi tanah berdasarkan USCS adalah CL (*Lean Clay*) dan menurut AASHTO adalah A-7-6 (*Clayey Soils*) dengan nilai LL, PL, dan IP berturut-turut 44,9%; 23,43% ; 21,47% dan setelah tanah distabilisasi dengan kapur memiliki klasifikasi tanah berdasarkan USCS adalah dan menurut AASHTO adalah dengan nilai LL, PL, dan IP berturut-turut 39,44%; 30,03%; 9,41%. Dengan penambahan kapur akan menurunkan indeks plastisitas.
2. Berdasarkan pengujian proktor standar dan meninjau sifat fisik dan mekanik kadar optimum campuran berasal dari kadar kapur 6%.
3. Terjadinya proses pengeringan-pembasahan mengakibatkan perubahan pada nilai kadar air (W_c), derajat kejenuhan (S_r), berat volume tanah (γ_t), kohesi *undrained* (C_u) sudut geser dalam (ϕ), dan tegangan air pori negatif ($-U_w$) dari kondisi inisial masing-masing.
4. Jika dibandingkan dengan kondisi asli (*undisturbed*) tanah yang terkena pengaruh pengeringan dan pembasahan, tanah yang distabilisasi memiliki nilai CBR lebih besar. Akibat proses pengeringan dan pembasahan mengakibatkan nilai CBR menurun dari kondisi Inisial. Hal ini terjadi pada tanah *Undisturbed* maupun *Disturbed* yang distabilisasi.

8.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui sifat mekanik maksimum sehingga dapat ditentukan dengan pasti kadar kapur optimum yang harus ditambahkan, karena berdasarkan bab V sifat mekanik mengalami peningkatan pada kadar kapur 6% - 10%.

2. Dalam melakukan pengujian *suction*, tempat untuk menyimpan benda uji diusahakan yang kedap udara. Tidak dianjurkan menggunakan desikator.
3. Perlu dilakukan pengujian secara mikroskopis bahwa proses sementasi antar butiran tanah karena penambahan kapur telah tercapai, khususnya untuk sifat mekanik.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D698-12e2, **Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³))**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, www.astm.org.
- ASTM D2850-15, **Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org.
- ASTM D5298-16, **Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org.
- ASTM D2487-17, **Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org.
- Bergado, D.T., **“Soft Ground Improvement : In Lowland and Other Environment”**, ASCE Press
- Bowles, Joseph.E., 1982, **Analisis dan Desain Pondasi (Edisi Empat Jilid 1)**, Erlangga, Jakarta.
- Das, M. Braja, 1985, **Mekanika Tanah 1 (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)**, Erlangga, Jakarta.
- Das, M. Braja, 1985, **Mekanika Tanah 2 (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)**, Erlangga, Jakarta.
- Das, M. Braja, 1990, **“Principles of Foundation Engineering, Second Edition”**, Brooks Cole.
- Gregory, Garry H., 2007, **Correlation of CBR with Shear-Strength Parameters**, Associate Professor School of Civil and Environmental Engineering, Austin, Texas.
- Ingles, O.G., and Metacalf J.B., 1972, **“Soil Stabilization Principles and Practice”**, Butterworths, Sydney-Melbourne-Brisbane

- Jones, N., 1999, "Mass Stabilization (In Swedish)", **Licentiate thesis, Department of Soil Mechanics Lund Institute of Technology, Lund University, Lund.**
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017, *Manual Perkerasan Jalan No.04/SE/Db/2017*, Jakarta
- Komornik, A., and David, D., 1969, "Predication of Swelling Pressure of Clay", **ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division**, vol. 95, no. SM 1, January, pp.209-22.
- Lumikis, Breyndah Kezia, S. Monintja, S. Balamba, A. N. Sarajar, 2013, **Korelasi antara Tegangan Geser dan Nilai CBR pada Tanah Lempung Ekspansif dengan Bahan Campuran Semen**, Jurnal Sipil Statik, Vol.6, Mei 2013 (400-407) ISSN: 2337-6732
- Nurdin, Sukiman, **Pengaruh Siklus Pengeringan dan Pembasahan terhadap Kuat Geser dan Volume Tanah**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu.
- Soemitro et al., 2014, **Pengaruh Siklus Pengeringan dan Pembasahan Terhadap Sifat Fisik, Mekanik dan Dinamik pada Tanah Tanggul Sungai Bengawan Solo Cross Section 0±500 Desa Semambung Bojonegoro yang Distabilisasi dengan Kapur, Fly Ash, dan Mikro Biobakteri**, Jurnal Teknik POMITS : Surabaya
- Mochtar, Noor Endah, 2012, **Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah (RC09-1402)**, Itspress : Surabaya.

Lampiran 1 merujuk ke BAB V halaman 108

Tabel 1 Rekapitulasi Sifat Fisik Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)

Parameter	Kondisi Inisial	Kadar Campuran									
		2% Kapur + 98% Tanah		4% Kapur + 96% Tanah		6% Kapur + 94% Tanah		8% Kapur + 92% Tanah		10% Kapur + 90% Tanah	
		Hasil	Presentase	Hasil	Presentase	Hasil	Presentase	Hasil	Presentase	Hasil	Presentase
γ_t (Ton/m ³)	1,787	1,682	-6,23%	1,755	-1,82%	1,825	2,10%	1,650	-8,25%	1,623	-10,10%
γ_d (Ton/m ³)	1,319	1,435	8,13%	1,441	8,48%	1,494	11,73%	1,434	8,06%	1,415	6,80%
W _c	35,51%	21,81%	-62,83%	28,65%	-23,92%	22,17%	-60,16%	25,34%	-40,10%	22,59%	-57,21%
S _r	91,63%	63,57%	-44,15%	77,91%	-17,61%	63,68%	-43,89%	67,17%	-36,42%	59,48%	-54,04%
n	51,09%	47,47%	-7,64%	49,96%	-2,26%	48,69%	-4,94%	49,69%	-2,82%	50,44%	-1,28%
e	1,051	0,905	-16,07%	1,011	-3,95%	0,950	-10,62%	0,988	-6,36%	1,020	-2,95%
G _s	2,696	2,628	-2,59%	2,728	1,17%	2,625	-2,70%	2,617	-3,02%	2,670	-0,99%
G _{skoreksi}	2,694	2,623	-2,69%	2,724	1,09%	2,619	-2,85%	2,611	-3,17%	2,666	-1,06%

Lampiran 2 merujuk ke BAB V halaman 108

Tabel 2 Rekapitulasi Sifat Mekanik Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)

Parameter	Kondisi Inisial	Kadar Campuran									
		2% Kapur + 98% Tanah		4% Kapur + 96% Tanah		6% Kapur + 94% Tanah		8% Kapur + 92% Tanah		10% Kapur + 90% Tanah	
		Hasil	Presentase	Hasil	Presentase	Hasil	Presentase	Hasil	Presentase	Hasil	Presentase
C _u (Ton/m ²)	2,77	7,010	60,49%	3,501	20,88%	13,235	79,07%	14,912	81,42%	14,875	-0,99%
ϕ (°)	1,455	25,206	94,23%	23,620	93,84%	24,094	93,96%	14,402	89,90%	22,802	-1,06%

Lampiran 3 merujuk ke BAB V halaman 108

Tabel 3 Rekapitulasi Propertis Tanah Natural (*Undisturbed*) dan Tanah Stabilisasi (*Disturbed*)

Pengujian	Tanah Natural	Tanah Stabilisasi
Analisa Ayakan dan Hidrometer		
Fraksi Kerikil	0,023%	0,00%
Fraksi Pasir	19,553%	14,376%
Fraksi Lanau	53,630%	39,009%
Fraksi Lempung	26,817%	46,615%
Klasifikasi Tanah		
USCS	CL	CL
AASHTO	A-7-6	A-4
Atterberg <i>Limit</i>		
<i>Liquid Limit</i>	44,90%	39,44%
<i>Plastic Limit</i>	23,43%	30,03%
<i>Plasticity Index</i>	21,47%	9,41%
Gravimetri - Volumetri		
γ_t (t/m ³)	1,732	1,755
γ_d (t/m ³)	1,284	1,494
W_c	34,94%	28,65%
S_r	90,73%	77,91%
n	49,43%	49,96%
e	0,977	1,011
G_s	2,539	2,728
$G_{skoreksi}$	2,535	2,724
Sifat Mekanik		
c_u (Ton/m ²)	1,339	13,235
ϕ (°)	0,332	24,094
$-U_w$ (T/m ²)	65,896	600,186

Lampiran 4

Tabel 4 Rekapitulasi Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Natural (*Undisturbed*) Akibat Proses Pengeringan-Pembasahan

Parameter	W_c inisial	W_c inisial - ΔW_c	W_c inisial - $\Delta 2W_c$	W_c inisial - $\Delta 3W_c$	W_c inisial - $\Delta 4W_c$	W_c inisial - $\Delta 5W_c$	W_c inisial - $\Delta 6W_c$	W_c inisial - $\Delta 7W_c$	W_c inisial - $\Delta 8W_c$	$W_{dry\ 100\%}$	W_c dry + ΔW_c	W_c dry + $2\Delta W_c$	W_c dry + $3\Delta W_c$	W_c dry + $4\Delta W_c$	W_c dry + $5\Delta W_c$	W_c dry + $6\Delta W_c$	W_c dry + $7\Delta W_c$	W_c dry + $8\Delta W_c$	W_c dry + $9\Delta W_c$	W_{sat}
γ_t (Ton/m ³)	1,732	1,771	1,734	1,674	1,645	1,624	1,592	1,557	1,508	1,460	1,501	1,581	1,666	1,678	1,724	1,739	1,789	1,799	1,836	1,801
γ_d (Ton/m ³)	1,284	1,321	1,348	1,330	1,329	1,348	1,342	1,378	1,351	1,355	1,393	1,434	1,463	1,411	1,420	1,409	1,420	1,387	1,385	1,326
W_c	34,94%	34,06%	28,67%	25,84%	23,80%	20,51%	18,66%	12,96%	11,65%	7,76%	7,73%	10,28%	13,85%	18,93%	21,44%	23,44%	26,00%	29,71%	32,60%	35,83%
S_r	90,73%	90,36%	82,28%	71,65%	65,17%	58,11%	52,84%	38,27%	33,33%	22,31%	23,25%	32,14%	44,57%	57,23%	66,85%	70,39%	78,19%	84,04%	93,35%	96,55%
n	49,43%	49,79%	46,96%	47,99%	48,54%	47,55%	47,39%	46,69%	47,20%	47,15%	46,29%	45,89%	45,46%	46,63%	45,53%	47,07%	47,24%	49,03%	48,36%	49,13%
e	0,977	0,992	0,885	0,923	0,944	0,907	0,901	0,876	0,894	0,892	0,862	0,849	0,834	0,874	0,836	0,892	0,895	0,962	0,937	0,966
G_s	2,539	2,631	2,541	2,557	2,582	2,569	2,551	2,585	2,558	2,565	2,594	2,650	2,683	2,644	2,607	2,661	2,691	2,721	2,682	2,607
$G_{skoreksi}$	2,535	2,626	2,537	2,554	2,579	2,567	2,546	2,580	2,553	2,561	2,591	2,647	2,682	2,641	2,605	2,658	2,688	2,718	2,679	2,604
ϕ (°)	0,332	3,833	2,891	6,673	24,018	15,870	23,620	21,027	16,836	32,871	18,881	22,225	21,390	7,795	7,728	15,110	4,637	4,750	1,318	2,399
c_u (Ton/m ²)	1,339	6,029	6,704	12,290	0,483	9,579	27,455	21,302	30,028	21,307	19,379	4,747	4,004	6,264	3,405	1,186	3,729	0,453	1,520	0,983
$-U_w$ (T/m ²)	65,896	328,829	428,084	762,581	937,417	4563,370	7727,512	9843,348	12428,276	12428,276	5499,459	4563,370	1196,316	980,780	17,101	5,781	3,565	1,603	0,667	0,397

Lampiran 5

Tabel 5 Rekapitulasi Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Stabilisasi (*Disturbed*) Akibat Proses Pengeringan-Pembasahan

Parameter	W_c inisial	W_c inisial - ΔW_c	W_c inisial - $\Delta 2W_c$	W_c inisial - $\Delta 3W_c$	W_c inisial - $\Delta 4W_c$	W_c inisial - $\Delta 5W_c$	$W_{dry 100\%}$	W_c dry + ΔW_c	W_c dry + $2\Delta W_c$	W_c dry + $3\Delta W_c$	W_c dry + $4\Delta W_c$	W_c dry + $5\Delta W_c$	W_c dry + $6\Delta W_c$	W_c dry + $7\Delta W_c$	W_c dry + $8\Delta W_c$	W_c dry + $9\Delta W_c$	W_{sat}
γ_t (Ton/m ³)	1,825	1,771	1,726	1,665	1,635	1,581	1,563	1,612	1,661	1,707	1,778	1,762	1,843	1,864	1,941	1,979	2,024
γ_d (Ton/m ³)	1,494	1,489	1,492	1,480	1,481	1,488	1,493	1,492	1,493	1,489	1,479	1,485	1,488	1,490	1,491	1,492	1,490
W_c	22,17%	18,95%	15,74%	12,53%	9,31%	6,10%	4,12%	7,33%	10,55%	13,76%	16,97%	20,19%	23,40%	26,62%	29,83%	33,04%	36,26%
S_r	63,68%	54,07%	45,60%	37,67%	26,97%	17,05%	11,85%	21,16%	30,28%	40,20%	51,05%	57,71%	64,87%	74,65%	86,12%	95,74%	97,63%
n	48,69%	48,35%	47,86%	46,52%	47,71%	49,07%	48,16%	48,56%	48,61%	47,69%	46,58%	48,66%	49,60%	49,10%	48,05%	47,99%	51,57%
e	0,950	0,936	0,918	0,870	0,913	0,964	0,929	0,945	0,947	0,912	0,872	0,948	0,984	0,965	0,925	0,923	1,066
G_s	2,625	2,671	2,659	2,609	2,642	2,694	2,673	2,723	2,716	2,664	2,623	2,709	2,727	2,706	2,671	2,673	2,867
$G_{skoreksi}$	2,619	2,668	2,657	2,608	2,639	2,692	2,671	2,723	2,730	2,662	2,621	2,707	2,726	2,704	2,668	2,671	2,864
c_u (T/m ²)	13,235	8,583	19,163	17,775	31,098	8,932	8,199	6,668	18,786	10,319	13,953	12,023	12,595	15,042	14,434	17,349	18,270
ϕ	24,094	29,240	27,973	29,332	24,437	34,345	35,769	21,007	25,641	26,054	15,206	14,036	12,057	8,598	9,235	6,656	7,565
$-U_w$ (T/m ²)	0,209	1,620	1220,370	656,004	7392,047	2409,293	3608,060	2772,661	725,516	117,099	1,645	0,838	0,853	0,585	0,682	0,743	0,708

**BERITA ACARA PENYELENGGARAAN UJIAN
SEMINAR DAN LISAN
TUGAS AKHIR**

Pada hari ini Selasa tanggal 2 Juli 2019 jam 08:00 WIB telah diselenggarakan UJIAN SEMINAR DAN LISAN TUGAS AKHIR Program Sarjana (S1) Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS bagi mahasiswa:

NRP	Nama	Judul Tugas Akhir
03111745000001 03111745000017	Isabella Ruth Nailus Saadah	Pengaruh Proses Pembasahan-Pengeringan Terhadap Karakteristik Fisik dan Mekanik Tanah Lempung Natural dan yang Distabilisasi Untuk Subgrade Jalan Inspeksi (Lokasi Studi : Desa Kanor Kabupaten Bojonegoro)

1. Dengan perbaikan/penyempurnaan yang harus dilakukan adalah :

- 1) Penyitiran gambar / tabel.
- 2) Beri alasan dan harus terkait urut.
- 3) Beri tabel perbandingan resume semua variasi pengujian.
- 4) Beri alasan CBR soaked.
- 5) Jelaskan flowchart penjelasan pengujian
- 6) Alasan kadar optimum yang dipilih kurang jelas.
- 7) Pemilahan topik yang dibahas kurang jelas. (pergerakan bab.)
- 8) Bab. IV (Hasil & analisa) => insial
- 9) Bab V (— II —) => yang distabilisasi
- 10) Bab VI (— II —) => pengaruh d-w < ^{maka (blm distabilisasi)} _{sdh distabilisasi}

2. Rentang nilai dari hasil diskusi Tim Penguji Tugas Akhir adalah : A / AB / B / BC / C / D / E

3. Dengan hasil ujian (wajib dibacakan oleh Ketua Sidang di depan Peserta Ujian dan Penguji) :

- Lulus Tanpa Perbaikan Mengulang Ujian Seminar dan Lisan
- Lulus Dengan Perbaikan Mengulang Ujian Lisan

Tim Penguji (Anggota)	Tanda Tangan
Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng (Pembimbing 1)	
Dr. Trihanyndio Rendy Satrya, ST, MT (Pembimbing 2)	
Prof. Ir. Noor Endah, MSc. PhD	
Dr. Yudhi Lastiasih, ST, MT	
Putu Tantri Kumala Sari, ST, MT	

Surabaya, 2 Juli 2019

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. techn. Umboro Lasminto, ST, MSc
NIP 19721202 199802 1 001

Ketua Sidang

(.....) Nama terang

SEMINAR & LISAN TUGAS AKHIR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK - ITS

Nama Mahasiswa : Isabella & Nailus
NRP : 05111745000001 80311174500007

Saran/Masukan :

- 1) Masukkan analisa pengantar kapur.
- 2) Jurnal POMITS tidak dipublikasikan.

Surabaya,


(.....)



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

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



Form AK/TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI SOEMITRO, M. Eng. Dr. TRIHANYNDIO RENDY SATRYA, ST., MT.
NAMA MAHASISWA	:
NRP	:
JUDUL TUGAS AKHIR	:
TANGGAL PROPOSAL	: 7 Januari 2019
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
	1/3 '19	<ul style="list-style-type: none"> - Presentasi untuk menunjukkan bagaimana kondisi di lapangan. - Hasil pengujian atterberg limit untuk kondisi instal. (dilakukan 2 kali pengujian). - Hasil analisa ayakan dan hidrometer untuk kondisi instal 	<ul style="list-style-type: none"> - Membuat sket lokasi pengambilan sampel dan juga disertai geometri jalan inspeksi yang ditinjau. - Semua hasil grafik, jangan menggunakan yang smooth. - Melakukan pengujian standar proktor untuk kondisi instal 	
	8/3 '19	<ul style="list-style-type: none"> - Gambar detail lokasi pengambilan sampel dan geometri tanggul serta jalan inspeksi. - Revisi grafik dan hasil pengujian analisa ayakan dan hidrometer - Hasil pengujian standar proktor untuk kondisi instal sebanyak 2 kali pengujian 	<ul style="list-style-type: none"> - Grafik hasil standar proktor jangan dibuat smooth. Biarakan membentuk pola. 	
	15/3 '19	<ul style="list-style-type: none"> - Pengujian gravimetri dan volumetri contoh tanah tidak terganggu pada kondisi instal - Perbaiki grafik hasil standar proktor tanah instal 	<ul style="list-style-type: none"> - Pengujian proktor untuk campuran, menggunakan hasil γ_d dan W_p volgraf. - Kapur aktif → diambil sedikit kemudian diuji kadar airnya. - Mencoba pengujian standar proktor untuk campuran dengan perlakuan, diperam terlebih dahulu selama 1 minggu baru diuji dan diperam 1-2 	



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

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



Form AK/TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI SOEMITRO, M. Eng. Dr. TRIHANYNDIO RENDY SATRYA, ST., MT.
NAMA MAHASISWA	:
NRP	:
JUDUL TUGAS AKHIR	:
TANGGAL PROPOSAL	: 7 Januari 2019
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
		<ul style="list-style-type: none"> dengan penambahan air 200 ml dan 300 ml - Hasil pengujian parameter fisik campuran yang diperam sampai 7 hari (per hari dilakukan pengujian) - Hasil pengujian parameter fisik dan mekanik masing-masing kadar campuran. 	<ul style="list-style-type: none"> kondisi natural dan campuran - Memperbaiki hasil γ_d dari pengujian gravimetri-volumetri, jangan menggunakan persamaan korelasi. 	<i>Ju</i>
	24/5 '19	<ul style="list-style-type: none"> - Proses pembasahan dan pengeringan untuk satu siklus. - Rekapitulasi hasil pengujian parameter fisik & mekanik campuran untuk menentukan kadar optimum campuran. - Grafik hubungan parameter fisik dan mekanik terhadap kondisi inisial dan campuran. - Hasil pengujian gravimetri untuk kapur aktif. - Mengumpulkan draft tugas akhir 	<ul style="list-style-type: none"> - Untuk proses pembasahan, tanah yang sudah ditetesi air dibiarkan 2 hari terlebih dahulu baru dilakukan pengujian - Grafik hubungan angka pori dan G_s terhadap kadar campuran perlu diperbaiki lagi. - Mengulang pengujian gravimetri untuk kapur aktif karena G_s kapur aktif > G_s tanah. 	<i>Ju</i>



PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)
 Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111



Form AK/TA-04
rev01

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284

NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI SOEMITRO, M. Eng. Dr. TRIHANYNDIO RENDY SATRYA, ST., MT.
NAMA MAHASISWA	:
NRP	:
JUDUL TUGAS AKHIR	:
TANGGAL PROPOSAL	: 7 Januari 2019
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
	10/5 '19	<ul style="list-style-type: none"> - Hasil pengujian suction selama 7 hari, masing-masing untuk tanah natural dan campuran. - Hasil pengujian kesetimbangan kertas filter selama 7 hari, masing-masing untuk tanah natural dan campuran. - Hasil pengujian standart proktor untuk tanah natural dan campuran 	<ul style="list-style-type: none"> - Mengulang pengujian proktor untuk kadar kapur 2% dengan masing-masing jumlah penambahan air 200 mL dan 300 mL - Mengecek ulang waktu kesetimbangan kertas filter - Melakukan proses pembasahan dan pengeringan untuk satu siklus. - Melakukan pengujian karakteristik fisik dan mekanik campuran selama 7 hari, untuk dilihat bagaimana polanya. - Mencoba pengujian suction lagi, benda uji jangan dimasukkan dalam desikator karena desikator sebagai penyeimbang kadar air. 	
	17/5 '19	<ul style="list-style-type: none"> - Hasil pengujian parameter fisik dan mekanik untuk mengetahui kadar optimum campuran yang akan digunakan untuk proses pembasahan pengeringan. - Hasil pengujian suction selama 7 hari, masing-masing untuk tanah natural dan campuran. - Hasil pengulangan uji standar proktor untuk kadar kapur 2% 	<ul style="list-style-type: none"> - suction tinggi → air sedikit (pengujian diulang kembali dengan tanah basa, benda uji dimasukkan ke dalam wadah kaca) - Pengujian gravimetri untuk kapur aktif. - Ditambahkan grafik untuk masing-masing parameter fisik dan mekanik terhadap 	



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

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



Form AK/TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir. RIA ASIH ARYANI SOEMITRO, M.Eng. Dr. TRIHANYNDIO RENDY SATRYA, ST., MT.
NAMA MAHASISWA	:
NRP	:
JUDUL TUGAS AKHIR	:
TANGGAL PROPOSAL	: 7 Januari 2019
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
	19/1/19 /4	<ul style="list-style-type: none"> - Hasil pengujian triaksial untuk tanah kondisi natural variasi σ_3 1 kg/cm²; 2 kg/cm²; 3 kg/cm² - Hasil perhitungan komposisi campuran untuk benda uji remolded. - Hasil pengujian karakteristik fisik serta penurunan/kenaikan untuk reaksi sesat kapur + air + tanah. - Hasil pengujian suction yang ditimbang selama 24 jam untuk kondisi tanah natural dan campuran 	<ul style="list-style-type: none"> - Pengujian suction untuk mengetahui kesetimbangan ketas suction. - Melakukan pengujian triaksial untuk benda uji remolded masing-masing kadar campuran 	
	26/1/19 /4	<ul style="list-style-type: none"> - Hasil pengujian triaksial untuk benda uji remolded masing-masing kadar campuran. - Perbaiki hasil pengujian suction dengan menggunakan persamaan sesuai ASTM. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pengujian ulang triaksial untuk kadar kapur 4% dengan $\sigma_3 = 2$ kg/cm² - Menastikan kadar optimum campuran. 	



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

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 601111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



Form AK/TA-04
rev01

NAMA PEMBIMBING	: Dr. Ir. RIA ASIH ARTANI SOEMITRO, M.Eng. Dr. TRIHANYNDIO RENDY SATRYA, ST., MT.
NAMA MAHASISWA	:
NRP	:
JUDUL TUGAS AKHIR	:
TANGGAL PROPOSAL	: 7 Januari 2019
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
	9/4 '19	<ul style="list-style-type: none"> - Hasil pengujian standart proktor untuk kadar kapur 6% dan 8% yang diperam selama 1 minggu. - Hasil pengujian standart proktor untuk kadar kapur 2% dan 4% yang diperam 1-2 jam 	<p>jam kemudian baru diuji.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mencari Wdry dan Wsat tanah kondisi natural untuk mengetahui penambahan/pengurangan kadar air pada proses pembasahan dan pengeringan. - Pengukuran kadar air tanah setiap pencampuran. - Penambahan kadar kapur pada campuran adalah dari berat kering tanah. - Melakukan pengujian karakteristik fisik dan mekanik untuk reaksi sesoiat kapur + air + tanah. 	
	12/4 '19	<ul style="list-style-type: none"> - Hasil pengujian standart proktor untuk kadar campuran 2%; 4%; 6%; 8%; dan 10% yang diperam 1-2 jam - Pengujian triaksial untuk tanah kondisi natural dengan variasi σ_3 1 kg/cm²; 2 kg/cm²; 3 kg/cm² - Grafik hubungan antara kadar air dan jumlah hari untuk mencari Wdry 	<ul style="list-style-type: none"> - Untuk tanah tidak terganggu, selai dilakukan pengujian kadar air. - Mengulang pengujian triaksial untuk σ_3 1 kg/cm² dan 2 kg/cm² - Diusahakan 3 sampel triaksial seragam supaya grafiknya dapat dibuat. - Mencoba membuat benda uji remolded dan σ_{dmax} dan W_{opt} hasil standart proktor 	



Isabella Ruth,

Penulis dilahirkan di Malang 30 Juni 1995, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Immaculata (Kecamatan-Kab. Malang), SDN 07 Kecamatan (Kab. Malang), SMP Negeri 04 Kecamatan (Kab. Malang), SMA Negeri 01 Kecamatan (Kab. Malang). Setelah lulus dari SMA Negeri 01 Kecamatan tahun 2013, Penulis mengikuti ujian masuk Diploma Politeknik Negeri Malang dan diterima di Jurusan Diploma III Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 1331310122. Penulis pernah aktif dalam beberapa kegiatan seminar dan pelatihan yang diselenggarakan oleh kampus Politeknik Negeri Malang. Selain itu penulis juga aktif dalam berbagai kepanitiaan beberapa kegiatan yang ada selama menjadi mahasiswa. Kemudian setelah lulus dari Diploma III Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang, penulis mengikuti ujian masuk Program S1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS dan diterima di Program S1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2017 dan terdaftar dengan NRP 03111745000001. Di jurusan Teknik Sipil ini penulis mengambil bidang studi Geoteknik. Untuk pertanyaan mengenai tugas akhir, penulis bisa dihubungi lewat email : Isabella.ruth95@gmail.com.

Nailus Sa'adah,



Penulis dilahirkan di Lamongan, pada tanggal 2 Desember 1995, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara ini menempuh pendidikan formal di MI Ma'arif NU Sunan Drajat Lamongan, SMP Negeri 1 Lamongan, SMA Negeri 2 Lamongan, setelah lulus melanjutkan pendidikan di Program Studi Diploma III Teknik Infrastruktur Sipil ITS dengan

mengambil konsentrasi studi di bangunan gedung pada tahun 2014 dan lulus pada tahun 2017. Kemudian setelah lulus dari Diploma III Teknik Infrastruktur Sipil ITS, penulis melanjutkan studi pada program S1 Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS pada tahun 2017 dan terdaftar dengan NRP 03111745000017. Untuk pertanyaan mengenai tugas akhir, penulis bisa dihubungi lewat email : nailuss@ymail.com.