

TUGAS AKHIR

**PERUBAHAN NILAI CBR TANAH LEMPUNG YANG
DISTABILISASI DENGAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH*
(FABA)**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

**Muamar Khadafi
NIM : 30202000118**

**Khavids Afrianda
NIM : 30202000267**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

PERUBAHAN NILAI CBR TANAH LEMPUNG YANG DISTABILISASI
DENGAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* (FABA)



Muamar Khadafi
NIM : 30202000118



Khavids Afrianda
NIM : 30202000267

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Agustus 2024

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Dr. Abdul Rochim, ST., MT.**
NIDN: 0608067601
2. **Lisa Fitriyana, ST., M.Eng**
NIDN: 0631128901
3. **Prof. Ir. H. Praktikso, M.ST., Ph.D**
NIDN: 0627115501

Three handwritten signatures in blue ink, corresponding to the examiners listed on the left. The first signature is for Dr. Abdul Rochim, the second for Lisa Fitriyana, and the third for Prof. Ir. H. Praktikso.

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

A handwritten signature in blue ink, belonging to Muhammad Rusli Ahyar.

Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 07 / A.2 / SA – T / III / 2024

Pada hari ini tanggal Agustus 2024 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Dr. Abdul Rochim, ST., MT
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Lisa Fitriyana, ST., M.Eng
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Muamar Khadafi
NIM : 30202000118

Khavids Afrianda
NIM : 30202000267

Judul : Perubahan Nilai CBR Tanah Lempung Yang Distabilisasi Dengan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* (FABA)

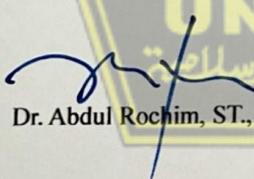
Dengan tahapan sebagai berikut :

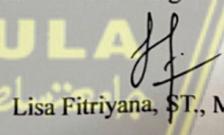
No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	07/03/2024	
2	Seminar Proposal	02/04/2024	ACC
3	Pengumpulan data	05/04/2024	
4	Analisis data	03/05/2024	
5	Penyusunan laporan	17/05/2024	
6	Selesai laporan	12/08/2024	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

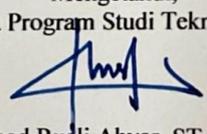
Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Pendamping


Dr. Abdul Rochim, ST., MT.


Lisa Fitriyana, ST., M.Eng

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Muamar Khadafi

NIM : 30202000118

NAMA : Khavids Afrianda

NIM : 30202000267

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

PERUBAHAN NILAI CBR TANAH LEMPUNG YANG DISTABILISASI DENGAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* (FABA)

benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Muamar Khadafi
NIM : 30202000118

NAMA : Khavids Afrianda
NIM : 30202000267

JUDUL TUGAS AKHIR : **PERUBAHAN NILAI CBR TANAH LEMPUNG
YANG DISTABILISASI DENGAN *FLY ASH*
DAN *BOTTOM ASH* (FABA)**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Yang membuat pernyataan,



Muamar Khadafi
NIM: 30202000118

Semarang, Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Khavids Afrianda
NIM : 30202000267

MOTTO

"Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik." (Q.S. Ali-Imran : 110)

"Orang yang menuntut ilmu berarti menuntut rahmat; orang yang menuntut ilmu berarti menjalankan rukun Islam dan pahala yang diberikan kepada sama dengan para nabi." (HR. Dailani dari Anas r.a.)

Barang siapa keluar untuk mencari ilmu maka dia berada di jalan Allah.
(HR. Turmudzi)

Belajarlah kamu semua, dan ajjarlah kamu semua, dan hormatilah guru-gurumu, serta berlaku baiklah terhadap orang yang ajarkanmu. (HR Tabrani)

Terkadang orang dengan masa lalu paling kelam akan menciptakan masa depan paling cerah. (Umar bin Khattab)

Bermimpilah setinggi langit. Jika engkau jatuh, engkau akan jatuh di antara bintang-bintang. (Ir. Soekarno)

Pengetahuan adalah kunci kesuksesan yang tak ternilai. (Albert Einstein)

In The World, No One Is Perfect. Even If You Keep Pursuing Perfection, You'll Never Reach It. But Along The Way, You'll Become Something Great. (Naruto Uzumaki)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Panutanku, Ayahanda Kastur, dan Pintu Surgaku, Ibunda Sumiah Tersayang. Mereka memang tidak sempat merasakan Pendidikan sampai bangku perkuliahan, namun beliau selalu memberikan dukungan do'a, moral, materil dan kasih sayang tiada tara hingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana. Semoga selalu diberkahi dan diberi kesehatan.
2. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., MT. dan Ibu Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng. yang telah meluangkan waktu, tenaga dan ilmunya untuk membimbing saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar.
3. Seluruh dosen Fakultas Teknik Sipil, terima kasih atas ilmunya yang sangat bermanfaat.
4. Mbah saya dan Keluarga Besar yang berada di Kudus yang telah memberikan dukungan, dan do'a sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Kepada Kedua adik saya, Terimakasih telah memberikan candaan, mood dalam hidup, menjadikan alasan penulis ini untuk pulang dengan keadaan bahagia.
6. Untuk Partnerku yaitu Khavids Afrianda yang sangat rajin dan semangat.
7. Kepada Bapak Tardi yang telah membantu kami selama masa penelitian dan mengolah data.
8. Kepada Teman-teman Kontrakan yang selalu membantu saya dari awal hingga akhir, semoga kita semua kelak akan menjadi orang yang sukses dapat menjadi kebanggaan keluarga dan bermanfaat bagi orang banyak.

Muamar Khadafi

NIM : 30202000118

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Keluarga saya, terutama Bapak Kukuh Zubaidi dan Ibu Miskini selaku kedua orang tua atas semua dukungan do'a, moral, materil dan kasih sayang tiada tara hingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana. Semoga selalu diberkahi dan diberikan kesehatan.
2. Untuk saudaraku, yang selalu memberikan dorongan dan motivasi hingga bisa ke tahap ini. Semoga sehat dan bahagia selalu.
3. Diri sendiri yang selalu mampu menguatkan dan menyelesaikan tanpa jeda bahwa semuanya bakalan selesai pada waktunya.
4. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., MT. dan Ibu Lisa Fitriyana, S.T., M.Eng. yang telah meluangkan waktu, tenaga dan ilmunya untuk membimbing saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar.
5. Seluruh dosen Fakultas Teknik Sipil, terima kasih atas ilmunya yang sangat bermanfaat.
6. Terima kasih untuk Partnerku yaitu Muamar Khadafi yang sangat rajin dan semangat dalam menemani menyelesaikan tugas akhir.
7. Kepada Bapak Tardi, terima kasih yang telah membantu kami selama masa penelitian dan mengolah data dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
8. Kepada Teman-teman Kontrakan Sipil House yang selalu membantu dan mendukung saya dari awal hingga akhir, rasa Syukur yang begitu besar mempunyai teman-teman seperjuangan yang selalu mendukung dalam segala kondisi baik susah maupun senang, semoga kita semua kelak akan menjadi orang yang sukses dapat menjadi kebanggaan keluarga dan bermanfaat bagi orang banyak.

Khavids Afrianda

NIM : 30202000267

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Perubahan Nilai CBR Tanah Lempung Yang Distabilisasi Dengan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* (FABA)” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M. Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M. Eng. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
6. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, 30 Juli 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	Error! Bookmark not defined.
MOTTO	1
PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Peta Lokasi Pengambilan Tanah	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Tanah	5
2.2 Klasifikasi Tanah.....	6
2.3 Tanah Lempung.....	11
2.3.1 Sifat Fisik Tanah	12

2.3.2	Tanah Dasar	12
2.4	Stabilisasi Tanah.....	13
2.4.1	Stabilisasi Mekanis	13
2.4.2	Stabilisasi Kimiawi	14
2.5	Pemadatan Tanah (Proctor Standard).....	14
2.6	California Bearing Ratio (CBR).....	16
BAB III METODE PENELITIAN		19
3.1	Studi Literatur.....	19
3.2	Teknik Pengumpulan Data	19
3.3	Bahan dan Alat Penelitian	19
3.3.1	Bahan Penelitian.....	19
3.3.2	Alat penelitian	20
3.4	Persiapan Benda Uji	21
3.5	Lokasi Penelitian	21
3.6	Prosedur Penelitian.....	21
3.7	Analisis Data	32
3.8	Bagan Penelitian.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		34
4.1	Hasil Penelitian.....	34
4.2	<i>Physical Properties</i> Tanah Asli.....	34
4.3	Analisa Stabilisasi dengan <i>Fly ash</i> dan <i>Bottom ash</i> di Laboratorium....	35
4.3.1	Grain Size.....	35
4.3.2	Atterberg Limits	43
4.3.3	Direct Shear.....	49
4.3.4	Proctor Modified	55
4.3.5	California Bearing Ratio (CBR).....	63

4.4	Akhir pembahasan	74
BAB V PENUTUP.....		76
5.1	Kesimpulan.....	76
5.2	Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA.....		77
LAMPIRAN.....		79



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta lokasi tempat pengambilan sampel tanah di Jl.PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah 55287	4
Gambar 2. 1 Grafik Plastisitas untuk Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO	8
Gambar 2. 2 Grafik Hubungan Berat Volume Kering dan Kadar Air (Das, 1995)	16
Gambar 2. 3 Grafik Pengujian CBR (Das, 1995)	17
Gambar 3. 1 <i>Fly ash</i>	20
Gambar 3. 2 <i>Bottom ash</i>	20
Gambar 3. 3 Bagan Penelitian	33
Gambar 4. 1 Grafik Gradasi Butiran	43
Gambar 4. 2 Grafik <i>Liquid Limit</i> sampel Tanah Asli	45
Gambar 4. 3 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 1	45
Gambar 4. 4 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 2	45
Gambar 4. 5 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 3	46
Gambar 4. 6 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 4	46
Gambar 4. 7 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 5	46
Gambar 4. 8 Kadar Air Optimum <i>Liquid Limit</i>	47
Gambar 4. 9 Grafik ATL Tanah Asli dan Campuran <i>fly ash</i> dan <i>bottom ash</i>	49
Gambar 4. 10 Grafik <i>Direct Shear</i> Tanah Asli.....	51
Gambar 4. 11 Grafik <i>Direct Shear</i> Tanah Campuran 1	51
Gambar 4. 12 Grafik <i>Direct Shear</i> Tanah Campuran 2.....	52
Gambar 4. 13 Grafik <i>Direct Shear</i> Tanah Campuran 3.....	52
Gambar 4. 14 Grafik <i>Direct Shear</i> Tanah Campuran 4.....	53
Gambar 4. 15 Grafik <i>Direct Shear</i> Tanah Campuran 5.....	53
Gambar 4. 16 Grafik Nilai Kohesi Tanah Asli dan Campuran <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i>	54
Gambar 4. 17 Grafik Nilai Sudut Geser Dalam Tanah Asli dan Campuran <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i>	55
Gambar 4. 18 Grafik W_{opt} yang menunjukkan sampel Tanah Asli	60
Gambar 4. 19 Grafik W_{opt} sampel Tanah Campuran 1	60
Gambar 4. 20 Grafik W_{opt} sampel Tanah Campuran 2	60

Gambar 4. 21	Grafik W_{opt} sampel Tanah Campuran 3	61
Gambar 4. 22	Grafik W_{opt} sampel Tanah Campuran 4	61
Gambar 4. 23	Grafik W_{opt} sampel Tanah Campuran 5	61
Gambar 4. 24	Grafik Proctor Modified yang menunjukkan contoh Tanah Asli yang mengandung campuran <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i>	62
Gambar 4. 25	Grafik Hasil Penetrasi Tanah Asli	67
Gambar 4. 26	Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran 1	68
Gambar 4. 27	Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran 2	69
Gambar 4. 28	Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran 3	70
Gambar 4. 29	Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran 4	71
Gambar 4. 30	Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran 5	72
Gambar 4. 31	Grafik Harga CBR 0,1” dan 0,2”	74



DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1	Daya Dukung Tanah Dihubungkan dengan Nilai CBR	1
Tabel 2. 1	Sistem Klasifikasi AASHTO	9
Tabel 2. 2	Sistem Klasifikasi USCS.....	11
Tabel 2. 3	Berat Jenis Tanah	12
Tabel 2. 4	Klasifikasi Tanah Dasar Berdasarkan Nilai CBR	18
Tabel 3. 1	Kode dan perlakuan.....	21
Tabel 3. 2	Nilai indeks plastisitas (Hardiyatmo, 2002).....	25
Tabel 4. 1	Hasil Pengujian Properties Tanah Asli.....	34
Tabel 4. 2	Hasil Pengujian Mekanis Tanah Asli	34
Tabel 4. 3	Nilai Perhitungan Hidrometer Analisis Tanah Asli.....	35
Tabel 4. 4	Nilai Perhitungan Hidrometer Analisis Tanah Campuran 1.....	36
Tabel 4. 5	Nilai Perhitungan Hidrometer Analisis Tanah Campuran 2.....	36
Tabel 4. 6	Nilai Perhitungan Hidrometer Analisis Tanah Campuran 3.....	37
Tabel 4. 7	Nilai Perhitungan Hidrometer Analisis Tanah Campuran 4.....	37
Tabel 4. 8	Nilai Perhitungan Hidrometer Analisis Tanah Campuran 5.....	38
Tabel 4. 9	Nilai Perhitungan Sieve Analisis Tanah Asli	39
Tabel 4. 10	Nilai Perhitungan Sieve Analisis Tanah Tanah Campuran 1	39
Tabel 4. 11	Nilai Perhitungan Sieve Analisis Tanah Tanah Campuran 2	40
Tabel 4. 12	Nilai Perhitungan Sieve Analisis Tanah Tanah Campuran 3	40
Tabel 4. 13	Nilai Perhitungan Sieve Analisis Tanah Tanah Campuran 4	41
Tabel 4. 14	Nilai Perhitungan Sieve Analisis Tanah Tanah Campuran 5	41
Tabel 4. 15	Hasil Grain Size.....	42
Tabel 4. 16	Nilai Perhitungan Batas Cair	44
Tabel 4. 17	Nilai perhitungan Batas Plastis.....	47
Tabel 4. 18	Hasil Indeks Plastisitas	48
Tabel 4. 19	Hasil perhitungan penembakan langsung sampel tanah asli dan campuran <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom ash</i>	50
Tabel 4. 20	Hasil Penggambaran <i>Direct Shear</i>	54
Tabel 4. 21	Hasil Pengujian <i>Proctor Modified</i>	56
Tabel 4. 22	Nilai Perhitungan <i>Proctor Modified</i> Tanah Asli	58
Tabel 4. 23	Nilai Perhitungan <i>Proctor Modified</i> campuran <i>Fly Ash</i>	59

Tabel 4. 24 Hasil <i>Proctor Modified</i> dari Tanah Asli yang terdiri dari campuran <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i>	62
Tabel 4. 25 Hasil Pengujian Tanah asli dan Campuran <i>Fly ash</i>	63
Tabel 4. 26 Hasil Penetrasi Sampel Tanah campuran <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> ...	65
Tabel 4. 27 Harga CBR Tanah Asli dan Tanah Campuran <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i>	73



PERUBAHAN NILAI CBR TANAH LEMPUNG YANG DISTABILISASI DENGAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* (FABA)

ABSTRAK

Tanah lempung lunak adalah tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (Grim, 1953). Oleh karena itu, dibutuhkan stabilisasi menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) guna meningkatkan kualitas tanah tersebut. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui jenis karakteristik dari sampel tanah asli dan tanah yang sudah dicampur dengan material tambahan yaitu *fly ash* dan *bottom ash*, serta membandingkan nilai CBR, *Proctor*, *Direct Shear*, *Atterberg Limit*.

Metode penelitian ini menggunakan sampel tanah lempung dari Jl.PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah 55287 dan dilakukan terlebih dahulu Analisa terkait sifat-sifat dasar. Setelah itu, pengujian dengan penambahan FABA pada tanah lempung tersebut diterapkan dengan variasi yang beragam yaitu 5%, 10%, 15%, 35%, 50%, 55%, 70%. Pengujian laboratorium untuk indeks properties dan indeks mekanik dilakukan pada sampel-sampel yang telah dilakukan penambahan FABA akan dilakukan pengujian ulang untuk memantau perubahan yang terjadi.

Hasil pengujian yang kami peroleh di laboratorium menunjukkan bahwa sampel tanah asli menunjukkan nilai CBR 4,60%. Dengan penambahan campuran tanah *fly ash* dan *bottom ash* dapat meningkatkan nilai CBR yang terdapat pada tanah campuran 5 dengan nilai CBR 7,51% yang termasuk dalam kategori sedang.

Kata Kunci: *Tanah Lempung, CBR, FABA*

THE CHANGE IN CBR VALUE OF CLAY STABILIZED USING FLY ASH AND BOTTOM ASH (FABA)

ABSTRACT

Soft clay is a soil that has certain mineral particles that produce plastic properties in the soil when mixed with water (Grim, 1953). Therefore, stabilization using fly ash and bottom ash (FABA) is needed to improve the quality of the soil. The purpose of this research is to determine the type of characteristics of the original soil sample and soil that has been mixed with additional materials, namely fly ash and bottom ash, and compare the CBR, Proctor, Direct Shear, Atterberg Limit values.

This research method uses clay soil samples from Jl.PLN No.18, Daleman, Loireng, Sayung Kec. Sayung, Demak Regency, Central Java 55287 and first analyzes the basic properties. After that, testing with the addition of FABA to the clay soil was applied with various variations, namely 5%, 10%, 15%, 35%, 50%, 55%, 70%. Laboratory tests for properties index and mechanical index were carried out on samples that have been added FABA will be retested to monitor the changes that occur.

The test results we obtained in the laboratory showed that the original soil sample showed a CBR value of 4.60%. The addition of fly ash and bottom ash soil mixture can increase the CBR value found in soil mixture 5 with a CBR value of 7.51% which is included in the medium category.

Keywords: Clay, CBR, FABA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah lempung lunak adalah tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (Grim, 1953). Sebagai material dasar yang memiliki fungsi yang penting sebagai dasar di mana suatu konstruksi akan dibangun, tanah yang memiliki daya dukung rendah memiliki resiko yang besar terhadap keruntuhan disebabkan kurangnya kemampuan untuk menopang beban konstruksi di atasnya. Jika pembangunan tetap dilaksanakan di tanah maka tidak heran jika biaya yang diperlukan untuk melakukan perbaikan konstruksi tersebut. Oleh karena itu, mengetahui sifat fisis dan mekanis menjadi hal yang penting diketahui dengan melakukan investigasi atau penyelidikan tanah, tujuannya agar tanah yang memiliki karakteristik dapat ditambah kekuatan serta daya dukungnya dengan melakukan stabilisasi tanah.

Karakteristik yang perlu diketahui pada tanah dasar jalan adalah nilai CBR tanah. Permasalahan yang sering dijumpai pada tanah dasar adalah terkait dengan daya dukung tanah rendah yang ditandai dengan rendahnya nilai California Bearing Ratio (CBR). Batasan nilai CBR untuk tanah dasar minimal 6%, agar lapisan perkerasan tidak mudah mengalami retak dan runtuh akibat terjadinya penurunan badan jalan (Soedarsono dikutip dari Waruwu et al., 2021). Menurut Bowles (1989), tanah dengan nilai CBR 2% – 5% diklasifikasikan sebagai tanah dengan CBR rendah, 6 – 9% sebagai tanah dengan CBR sedang, 7% – 20% sebagai tanah dengan CBR baik. Karakteristik tanah berdasarkan nilai CBR dapat dilihat melalui tabel 1.1

Tabel 1. 1 Daya Dukung Tanah Dihubungkan dengan Nilai CBR

No.	CBR (%)	Daya Dukung Tanah
1	2% – 5%	Tidak baik (rendah)
2	6 – 9%	Sedang
3	10% – 20%	Baik

Sampel tanah yang kita ambil pada Jl.PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah 55287 menghasilkan nilai CBR dibawah 6%. Oleh karena itu kita lakukan stabilisasi tanah menggunakan campuran *Fly Ash* dan *Bottom Ash*.

Stabilisasi tanah merupakan proses di mana tanah dicampur dengan jenis material lain agar tercipta sifat tanah yang baik, tujuannya yaitu agar tanah dapat menopang beban dengan lebih mudah. Jenis material yang digunakan dapat berupa suatu campuran berupa *bottom ash*, *fly ash*, gypsum, dan kapur.

Penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh dari penggunaan *fly ash* dan *bottom ash* yang digunakan sebagai stabilisator pada tanah lempung lunak. Tanah lempung sendiri memiliki daya dukung tanah yang lebih rendah dengan sifat fisis dan mekanis yang lebih baik. Menurut Das (1993), *bottom ash* adalah limbah abu yang ukurannya lebih besar dari *fly ash*, sehingga *bottom ash* jatuh pada dasar tungku pembakaran. *Bottom ash* memiliki kandungan kimia seperti Si, Al, Ti, Ca, dan Fe yang berperan dalam mengikat partikel negatif pada permukaan tanah. Penggunaan *bottom ash* dalam stabilisasi tanah dapat membentuk gumpalan-gumpalan yang mempengaruhi nilai kuat tekan campuran tanah lempung ekspansif dan *bottom ash*. Sehingga, dengan menggunakan *fly ash* serta *bottom ash* biaya yang dikeluarkan pun menjadi lebih hemat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan di atas, rumusan masalah dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Apakah tanah sampel uji termasuk jenis tanah lunak?
2. Bagaimana pengaruhnya daya dukung tanah terhadap tanah yang distabilisasi bahan tambah *fly ash* dan *bottom ash*?
3. Berapa hasil uji CBR untuk tanah asli dan tanah yang distabilisasi dengan *fly ash* dan *bottom ash*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui jenis dan karakteristik dari sampel tanah asli.
2. Mengetahui karakteristik tanah yang dicampur dengan *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) sebagai material stabilisasi tambahan.

3. Membandingkan nilai CBR, *Proctor*, *Direct Shear*, *Atterberg Limit* pada tanah asli dan CBR, *Proctor*, *Direct Shear*, *Atterberg Limit* tanah yang dicampur dengan *fly ash* dan *bottom ash*.

1.4 Batasan Masalah

Demi tercapainya efektivitas dalam penelitian, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Sampel tanah yang diteliti diambil pada Jl. PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah dengan kedalaman 1 m diatas permukaan tanah.
2. Lokasi *fly ash* dan *bottom ash* yang diambil berasal dari PLTU Tanjung Jati B di Kecamatan Kembang, Sekuping, Tubanan, Kecamatan Kembang, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah.
3. Berat jenis tanah, batas *atterberg*, *direct shear*, standar *proctor*, dan CBR adalah beberapa penelitian yang dilakukan di laboratorium.
4. Variasi campuran untuk *fly ash* dan *bottom ash* yakni 5%, 10%, 15%, 35%, 50%, 55%, 70% pada pengujian *Atterberg Limit*, *Direct Shear*, dan CBR.

1.5 Manfaat Penelitian

Keuntungan dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menyediakan informasi tentang kondisi serta karakteristik tanah yang dikaji.
2. Mengetahui daya dukung tanah yang diperlukan untuk menampung *fly ash* dan *bottom ash*.
3. Mungkin ada upaya untuk stabilisasi tanah lempung melalui penambahan *fly ash* dan *bottom ash*.

1.6 Peta Lokasi Pengambilan Tanah

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1 berikut, lokasi pengambilan sampel tanah untuk penelitian terletak di Jl. PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah 59563 yang diperoleh dari *google map*.



Gambar 1. 1 Peta lokasi tempat pengambilan sampel tanah di Jl.PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah 55287

1.7 Sistematika Penulisan

Proses penulisan Tugas Akhir ini mengikuti aturan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Latar belakang, rumusan masalah, tujuan, dan manfaat penelitian dibahas dalam bab ini. Ini juga mencakup sistematika penulisan, lokasi pengambilan sampel di tanah, dan peta lokasi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini membahas klasifikasi dan definisi tanah lempung serta sifatnya yang fisik, mekanis, dan fisik. Ini juga membahas stabilisasi tanah dengan fly ash dan bottom ash, selain membahas penelitian sebelumnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas bahan penelitian yang digunakan, lokasi penelitian, persiapan alat, dan prosedur penelitian. Selain itu, bagan alur pengujian sampel tanah disertakan.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penemuan dan hasil penelitian dibahas dalam bab ini.

BAB V PENUTUP

Daftar pustaka ini mencakup semua buku, jurnal, dan referensi yang digunakan dalam penelitian, termasuk kesimpulan dan saran penelitian dalam bagian akhir tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Tanah

Menurut ilmu Teknik Sipil, tanah merupakan himpunan mineral, bahan organik, serta endapan-endapan yang relatif lepas yang terletak di atas batuan dasar (Hardiyatmo, 2002). Tanah ini memiliki sifat antar butiran lepas, yang berarti butiran tanah akan terpisah-pisah saat dikeringkan dan hanya akan melekat dalam keadaan tertentu yang disebabkan oleh gaya tarik permukaan (Hardiyatmo, 2002).

Sementara itu menurut Das (1993) menyatakan bahwa Tanah terdiri dari agregat yang berasal dari material organik yang padat dan sudah melapuk serta tidak terikat antara satu dengan yang lain secara kimiawi. Agregat ini ditambahkan dengan gas serta zat cair untuk mengisi celah antara partikel padat (Das, 1993).

Namun, Bowles (1984) justru mengemukakan bahwa tanah merupakan campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut:

1. Berangkal atau dapat disebut *boulders*, merupakan potongan batuan berbentuk sangat besar, berkisar antara 250 mm – 300 mm. Namun, untuk fragmen batuan yang sering disebut kerakal (*cobbles*) memiliki ukuran yang berkisar antara 150 mm – 250 mm.
2. Pasir atau *sand* yang terdiri dari batuan kasar dengan ukuran berkisar dari 0,074 mm – 5 mm serta halus kurang dari 1 mm.
3. Kerikil atau *gravel* yang merupakan partikel batuan yang berukuran 5 mm – 150 mm.
4. Lanau atau *silt* sebuah partikel batuan yang memiliki ukuran berkisar antara 0,002 mm – 0,074 mm. Lanau dan lempung banyak dijumpai dalam jumlah yang besar yaitu pada deposit yang disedimentasikan pada daerah danau atau dekat dengan garis pantai pada muara sungai.
5. Lempung atau *clay* yang merupakan suatu partikel mineral yang berukuran kurang dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini yang menjadi sumber utama terjadinya kohesi pada tanah kohesif.
6. Koloid atau *colloids* adalah sebuah partikel mineral yang “diam” yang ukurannya kurang dari 0,001 mm.

Sebagai catatan, menurut Bowles (1991) dalam (Yuniati, 2010), tanah tak kohesif tidak memiliki garis batasi antara keadaan plastis dan tidak plastis, karena jenis tanah ini tidak plastis untuk semua nilai kadar air. Namun dalam beberapa kondisi tertentu, tanah tak kohesif dengan kadar air yang cukup tinggi dapat bersifat sebagai suatu cairan kental.

2.2 Klasifikasi Tanah

Pengelompokan jenis tanah berdasarkan jenis-jenis karakteristiknya merupakan pengertian dari klasifikasi tanah. Sistem klasifikasi ini menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi namun tidak ada yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai kemungkinan pemakaiannya (Das, 1995). Klasifikasi ini memiliki tujuan untuk menentukan pemakaian tanah berdasarkan kecocokan tertentu. Tidak hanya itu, klasifikasi ini penting sebagai sarana informasi untuk mengetahui keadaan tanah di suatu daerah dalam bentuk data dasar, seperti karakteristik, pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989).

Terdapat 2 (dua) sistem klasifikasi pada ilmu mekanika tanah yang biasa dikelompokkan. Sistem tersebut memperhitungkan batas-batas *Atterberg* serta distribusi dari ukuran butir, sistem tersebut ialah:

1. Sistem Klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Official* (AASHTO)

Pada tahun 1929, sistem *Public Road Administration Classification System* mulai dikembangkan. Tujuan dari dikembangkannya sistem ini yaitu untuk menilai kualitas tanah sebagai timbunan jalan, *sub-base*, serta *sub-grade*. Melalui sistem ini, tanah diklasifikasikan menjadi 7 (tujuh) kelompok utama (A-1 sampai A-7) dengan tujuan menilai tanah dalam kelompok tersebut (Das, 1995).

Untuk melakukan evaluasi pada tanah kelompoknya, digunakan Indeks Kelompok atau *Group Index* (GI). Menggunakan persamaan 2.1 ini dapat diperoleh indeks berupa,

$$GI = (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (PI - 10) \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

GI = Indeks kelompok (group index),

F = Persen butiran lolos saringan no. 200 (0,075 mm),

LL = Batas cair (Liquid limit)

PI = Indeks plastisitas.

AASHTO membuat suatu indeks kelompok (GI) didasarkan pada berapa persen tanah yang bisa lolos saringan NO. 200 serta batas dari *Atterberg*. Tujuannya, agar mendapatkan nilai kemampuan tanah dasar untuk menahan beban roda. Dengan tingginya nilai indeks kelompok (GI), menunjukkan bahwa penggunaan tanah yang lebih baik memiliki keterkaitan yang positif dengan hasilnya. Tiap kelompok tanah yang diklasifikasikan AASHTO (A-1 sampai A-7) dimulai dari A-1, A-2, dan A-3 yang merupakan tanah berbutir dengan 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah yang lolos dari ayakan No. 200. Sedangkan untuk tanah yang memiliki kadar butiran tanah lolos lebih dari 35% digolongkan sebagai kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. Sebagian besar butiran yang terdapat pada kelompok A-4 sampai A-7 merupakan butiran lanau dan lempung. Kriteria yang menjadi sistem klasifikasi AASHTO didasarkan pada hal-hal berikut:

a. Ukuran Butir

Kerikil: butiran tanah lolos ayakan diameter 75 mm (3 in) serta butiran tertahan pada ayakan No. 10 (2 mm).

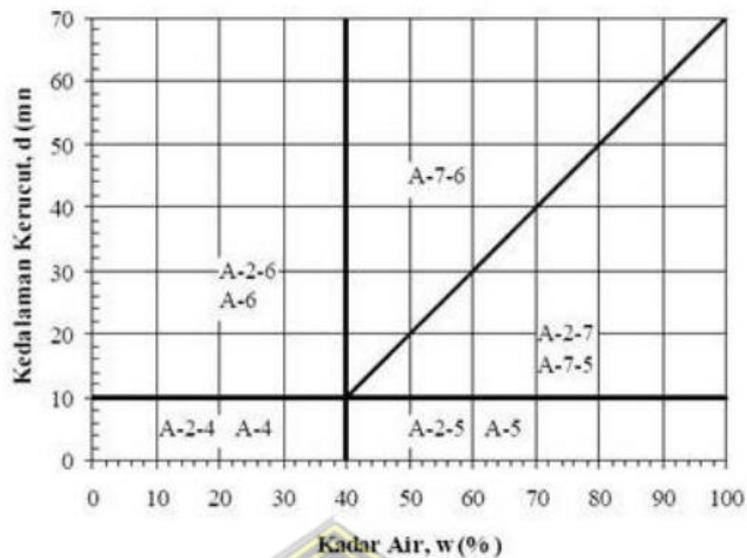
Pasir: butiran tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) serta butiran tertahan pada ayakan No. 200 (0.075 mm).

Lanau dan lempung: butiran tanah yang lolos ayakan No. 200.

b. Plastisitas

Plastisitas tanah adalah sifat yang mempengaruhi kekuatan tanah ketika terjadi perubahan kadar air tanah. Semakin besar plastisitas tanah, yaitu semakin besar rentang kadar air daerah plastis, maka tanah tersebut akan semakin berubah kekuatannya. Plastisitas juga merupakan kemampuan tanah untuk menyesuaikan bentuk pada volume konstan tanpa terjadinya retakan atau remuk.

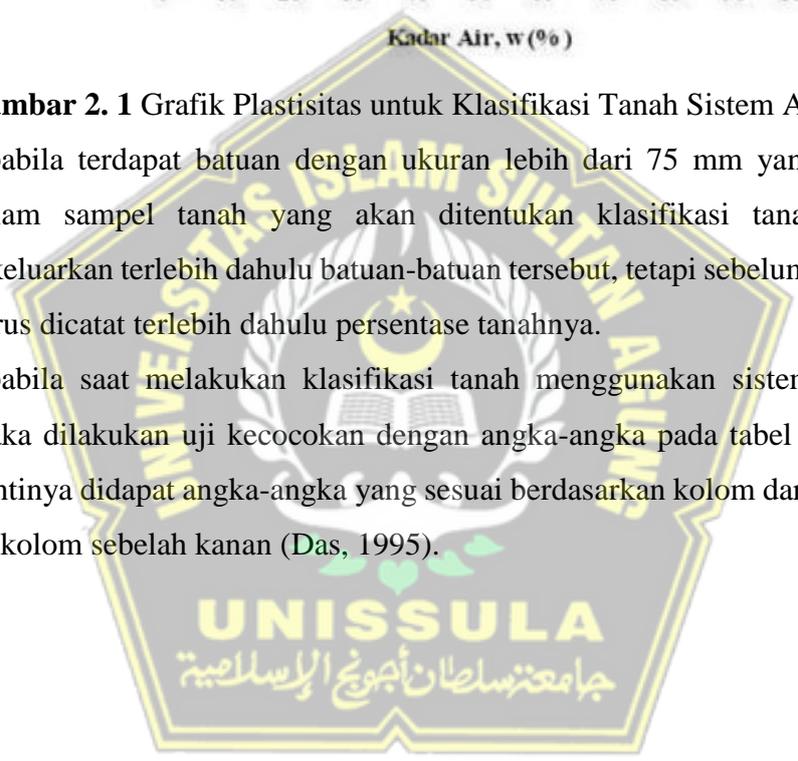
Untuk mengukur suatu nilai keplastisitan, digunakan sebuah indeks plastisitas yang merupakan suatu selisih nilai batas cair dan batas plastis suatu tanah. Apabila indeks plastis sama dengan 10 atau kurang, maka digolongkan sebagai berlanau. Sebaliknya, apabila indeks plastis yang ditunjukkan mempunyai nilai lebih dari 10 maka digolongkan sebagai berlempung.



Gambar 2. 1 Grafik Plastisitas untuk Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

- c. Apabila terdapat batuan dengan ukuran lebih dari 75 mm yang ditemukan dalam sampel tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka dikeluarkan terlebih dahulu batuan-batuan tersebut, tetapi sebelum dikeluarkan harus dicatat terlebih dahulu persentase tanahnya.

Apabila saat melakukan klasifikasi tanah menggunakan sistem AASHTO, maka dilakukan uji kecocokan dengan angka-angka pada tabel berikut yang nantinya didapat angka-angka yang sesuai berdasarkan kolom dari sebelah kiri ke kolom sebelah kanan (Das, 1995).



Tabel 2. 1 Sistem Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir						
	(35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi Kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis Ayakan (% lolos)							
No.10	Maks 50						
No.40	Maks 30	Maks 50	Min 51				
No.200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat Frasaksi yang lolos ayakan No.40							
Batas Cair (LL)				Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe Material yang paling dominan	Batu Pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir						
	(Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
Klasifikasi Kelompok	A-4		A-5	A-6	A-7		
					A-7-5	A-7-6	
Analisis Ayakan (% lolos)							
No.10							
No.40							
No.200	Min 36		Min 36	Min 36	Min 36		
Sifat Frasaksi yang lolos ayakan No. 40.							
Batas Cair (LL)	Maks 40		Min 41	Maks 40	Min 41		
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 10		Maks 10	Min 11	Min 11		
Tipe Material yang paling dominan	Tanah Berlanau			Tanah Berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa Sampai Jelek						

2. Klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS)

Sistem ini digunakan setelah United States Bureau of Reclamation atau USBR melakukan perbaikan terhadap sistem klasifikasi tanah yang diusulkan pertama kali oleh Cassagrande pada tahun 1942 (Das, 1995). Klasifikasi tanah pada sistem ini yaitu mengklasifikasikan tanah sebagai butiran kasar (kerikil atau pasir) jika kurang dari 25% lolos saringan No. 200, sedangkan jika lebih dari 25% lolos saringan No. 200 maka diklasifikasikan sebagai berbutir halus (lanau dan lempung). Garis besar dari sistem USCS ini yaitu mengklasifikasikan tanah berdasarkan 3 (tiga) kelompok besar, yaitu:

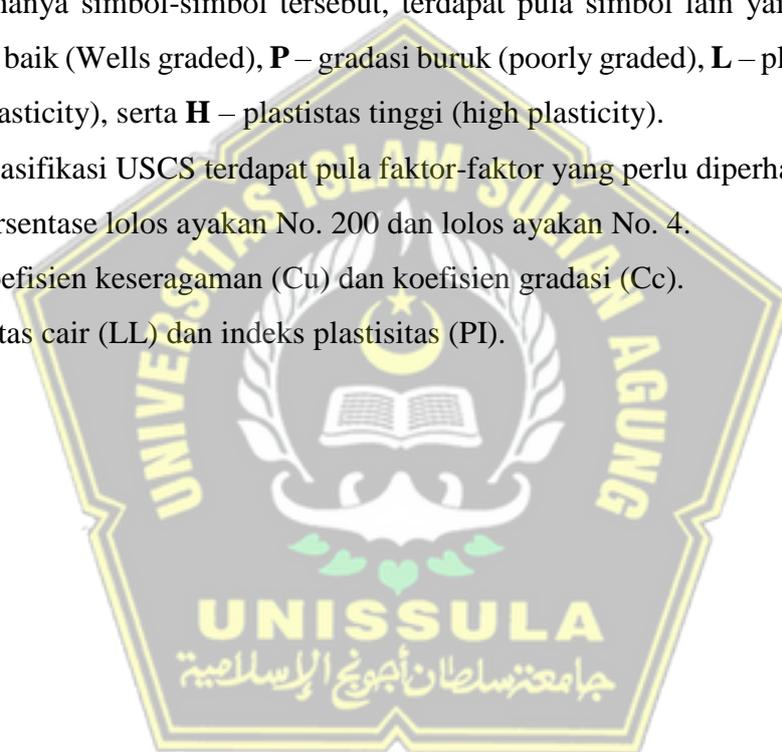
- a. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), persentase lolos saringan No. 200 kurang dari 50%, yaitu tanah berkerikil dan berpasir. Kelompok ini memakai simbol huruf **G** untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil dan huruf **S** untuk pasir (*Sand*) atau tanah berpasir.

- b. Tanah berbutir halus (fine-grained-soil) dengan persentase lolos saringan no. 200 lebih dari 50 %, ialah pada tanah berlanau dan berlempung. Kelompok ini menggunakan simbol huruf **M** untuk lanau anorganik, **C** untuk lempung anorganik, dan **O** untuk lanau organik serta lempung organik. Sementara itu, terdapat simbol **Pt** yang dipakai untuk gambut (peat), juga tanah dengan kandungan organik tinggi.
- c. Tanah organik (Gambut/Humus), melalui uji laboratorium ditentukan bahwa perbedaan batas cair tanah yang sebelum dioven dengan yang setelah dioven memiliki persentase lebih dari 25%.

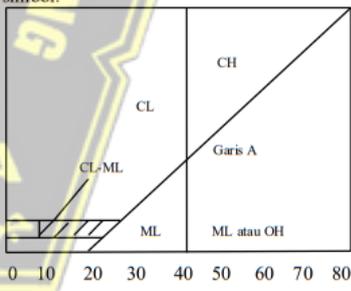
Tidak hanya simbol-simbol tersebut, terdapat pula simbol lain yaitu **W** – untuk gradasi baik (Wells graded), **P** – gradasi buruk (poorly graded), **L** – plastisitas tinggi (low plasticity), serta **H** – plastistas tinggi (high plasticity).

Pada klasifikasi USCS terdapat pula faktor-faktor yang perlu diperhatikan yaitu:

- a. Persentase lolos ayakan No. 200 dan lolos ayakan No. 4.
- b. Koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c).
- c. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI).



Tabel 2. 2 Sistem Klasifikasi USCS

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi		
Tanah berbutir kasar ≥ 50% butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil 50% ≥ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW		
		GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus			
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah arsil dari diagram plastisitas, maka dipakai double simbol	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
		Pasir ≥ 50% fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
				SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
	Pasir dengan butiran halus		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah arsil dari diagram plastisitas, maka dipakai double simbol	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200		Lanau dan lempung batas cair ≤ 50%	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsil berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. 
				CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)	
		OL		Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
		Lanau dan lempung batas cair ≥ 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis		
CH			Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)			
OH			Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		

Sumber : Hary Christady, 1996

2.3 Tanah Lempung

Tanah lempung plastis terletak dalam selang air dengan kadar air sedang hingga luas dan terdiri dari agregat partikel pembusukan kimiawi dari bagian-

bagian batuan yang berukuran mikroskopik dan submikroskopik. Ketika kering, sulit membersihkannya dengan tangan kosong. Tambahan pula, permeabilitas lempung sangat rendah (Terzaghi & Peck, 1987). Pengaruh air pada tanah lempung mengakibatkan tanah dapat mengembang dan menyusut dengan cepat; itu keras saat kering dan lunak saat basah.

2.3.1 Sifat Fisik Tanah

Dalam pemeriksaan granuler, sifat tanah bisa jadi mempengaruhi dalam pemeriksaan granuler yang relevan; tetapi, identifikasi dapat juga dilakukan dengan mengamati sifat dan permukaannya. Mayoritas tanah terdapat 2 (dua) atau 3 (tiga) bagian: butiran tanah dan pori-pori udara. Sedangkan pada tanah jenuh terdapat 2 (dua) bagian: butiran padat atau butiran, pori-pori udara, dan air pori. Sementara pada tanah tidak jenuh terdapat 3 (tiga) bagian: butiran padat atau butiran, pori-pori udara, dan air pori. Pada Tabel 2.3 di bawah ini ditampilkan nilai berat jenis untuk beragam jenis tanah.

Tabel 2. 3 Berat Jenis Tanah

Macam Tanah Berat Jenis (Gs)	Macam Tanah Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,62 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Anorganik	2,62 – 2,68
Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,8

(Hardiyatmo, 2002)

2.3.2 Tanah Dasar

Lapisan paling dasar atau biasa disebut sebagai tanah dasar dapat berupa tanah urugan iatu tanah asli yang dipadatkan dari tempat lain, atau bahkan tanah yang dilakukan stabilisasi dengan zat lain seperti semen dan kapur. Untuk mendukung adanya pembangunan perkerasan jalan di atas tanah, lapis perkerasan dipadatkan kemudia ditempatkan di atas tanah dasar dengan mengambilnya dari tempat lain. Keawetan serta kekuatan konstruksi disebabkan pula oleh sifat dan daya dukung tanah dasar tersebut.

Masalah yang sering dijumpai pada tanah dasar antara lain sebagai berikut.

1. Perubahan bentuk permanen terjadi pada jenis tanah tertentu.
2. Perubahan jumlah air serta adanya udara bisa mempengaruhi sifat tanah tertentu.
3. Sulitnya melakukan identifikasi pada daerah dengan bermacam-macam jenis tanah, karakteristik dan kedudukannya, serta kondenskuensi penggunaan akibat daya dukung tanah yang tidak merata.

Tanah dasar dengan daya dukung yang lemah dapat mengakibatkan tanah tersebut mudah retak dan rusak. Untuk melakukan konstruksi sipil, diperlukan tanah yang baik agar ekonomis dan memenuhi kriteria dari pembangunan di atas tanah itu sendiri. Dengan memperhatikan hal-hal tersebut, dilakukannya stabilisasi menjadi pokok penting untuk memperbaiki tanah yang dapat dilakukan dengan mekanis ataupun kimiawi. Sementara itu, pada proyek perkerasan jalan dengan luasan yang besar, pemeriksaan tanah dilakukan dengan metode *California Bearing Ratio* (CBR) dengan spesifikasi yang diatur oleh Bina Marga seminimal mungkin yaitu 6%. Tidak hanya itu, faktor berupa jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, dan kondisi drainase juga termasuk kedalam faktor-faktor ini.

2.4 Stabilisasi Tanah

Proses mengubah atau meningkatkan sifat teknis tanah dengan mencampur bahan atau material tertentu. Stabilisasi tanah adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan tanah untuk memenuhi persyaratan teknis (Hardiyatmo, 2002). Stabilisasi tanah dilakukan dengan tujuan untuk melakukan peningkatan terhadap sifat teknis tanah dengan meningkatkan kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan operasi, potensi pertumbuhan, serta sensitifitas terhadap fluktuasi kadar air. Proses ini dapat dilakukan dengan melakukan penggabungan tanah dengan tanah urugan atau bahan tambahan yang diproduksi oleh pabrik. Stabilisasi yang paling umum dilakukan yaitu stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi.

2.4.1 Stabilisasi Mekanis

Proses mencampurkan dua jenis tanah dengan karakteristik gradasi yang berbeda guna mendapatkan karakteristik bahan yang memenuhi syarat kekuatan yang

dibutuhkan dikenal sebagai stabilisasi mekanis. Proses ini dapat dicapai dengan menggali tanah dengan karakteristik yang kurang baik lalu menggantinya dengan tanah dengan karakteristik lebih baik.

Menurut Lambe (1962) melalui Hardiyatmo, 2022 menyatakan bahwa stabilisasi mekanis merupakan suatu proses yang menyangkut dua cara perubahan sifat – sifat tanah:

1. Penyusunan kembali partikel – partikel tanah melalui pencampuran beberapa lapisan tanah, pembentukan kembali tanah yang telah terganggu, serta pemadatan.
2. Penambahan atau penyingkiran partikel-partikel tanah, mengubah sifat fisik tanah dengan mencampurkan dan memisahkan fraksi tanah tertentu, tetapi metode ini dibandingkan dengan metode stabilisasi lain memiliki tingkat yang sangat rendah.

2.4.2 Stabilisasi Kimiawi

Proses stabilisasi secara kimiawi dilakukan dengan menambahkan material yang bersifat kimiawi dengan tujuan yaitu mengubah sifat tanah yang tidak baik. Material kimiawi ini didapat dari bahan hasil olahan pabrik yang tujuannya untuk meningkatkan sifat teknis tanah seperti kemudahan, kekuatan, tekstur, dan plastisitas. Material yang biasa digunakan untuk melakukan stabilisasi ini yaitu antara lain semen portland, kapur, aspal (bitumen), serta abu batubara. Karakteristik yang cocok untuk menggunakan metode ini yaitu pada tanah dengan butiran yang halus.

2.5 Pemadatan Tanah (Proctor Standard)

Untuk memperbaiki keadaan tanah di lapangan, juga sebagai cara untuk menampung bangunan atau membuat elevasi tanah, dilakukan pemadatan tanah atau *proctor* standard. Proses ini dilakukan dengan cara mekanis yaitu dengan mengurangi jumlah volume udara dan air. Jumlah berikut diperlukan untuk pemadatan tanah:

1. Meningkatkan nilai geser tanah secara substansial.
2. Menurunkan sifat fleksibilitas (kompresibilitas)
3. Menurunkan karakteristik permeabilitas

4. Menurunkan volume yang berubah sebagai akibat dari perubahan kadar air dan faktor lain ketika kadar air ditambahkan ke pemadatan, partikel tanah melunak dan menjadi lebih padat.

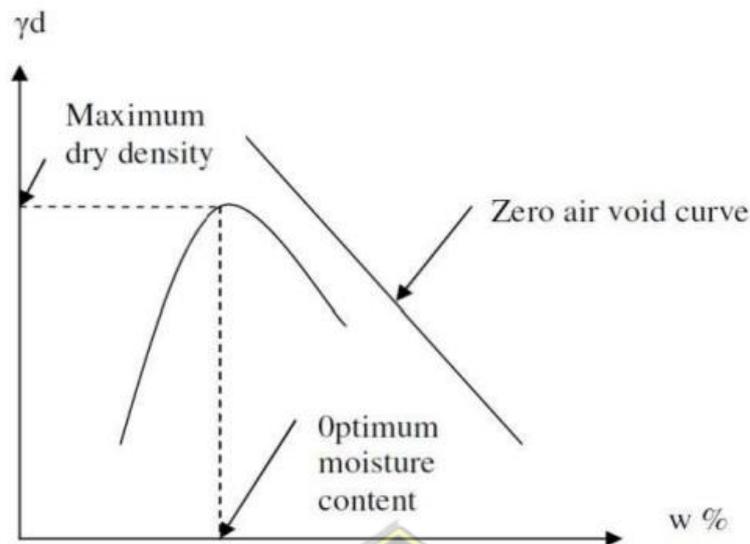
Sifat fisik dalam tanah bergantung besar pada kadar air di dalamnya, jika kadar air yang terkandung di dalam tanah sedikit maka tanah akan menjadi keras, tetapi sebaliknya, jika kadar air di dalam tanah cenderung besar, maka tanah akan menjadi lunak atau cair. Proses pemadatan ini akan dilaksanakan jikalau kadar air pada tanah lebih tinggi daripada nilai idealnya.

Uji pemadatan tanah atau Standar Metode Laboratorium Proctor, diperlukan guna menentukan kadar air ideal yang terkandung di dalam tanah. Pada jenis tanah tertentu akan mencapai kepadatan kering dan padat tertinggi. Redfield Proctor mengemukakan bahwa teori pemadatan didasari pada 4 (empat) faktor yaitu, usaha atau energi pemadatan, jenis tanah (kohesif atau non-kohesif, ukuran partikel, dll.), kadar air pada tanah, dan berat isi kering tanah. Terdapat upaya yang dapat dilakukan untuk memadatkan tanah menggunakan alat pemadatan umum. Persamaan 2.2 berikut menunjukkan hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (ω).

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+\omega} \dots\dots\dots (2.2)$$

Standar pada uji Proctor dilakukan dengan cetakan silinder berdiameter 101,6 mm dengan volume 943,3 cm³, lalu ditumbuk sebanyak 25 tumbukan per lapisan tanah.

Setelah tes tersebut dilakukan, hasil yang didapat akan menampilkan sebuah kurva yang berhubungan dengan nilai kadar air ideal (w_{opt}) untuk berat volume kering atau kepadatan tertinggi. Jika kadar air pada tanah sebagian besar rendah, maka tanah memiliki sifat fisik yang cenderung kaku dan sulit untuk dipadatkan, sementara itu jikalau kadar air meningkat, maka kondisi fisik tanah akan menjadi lebih lunak dan berat volume air berkurang. Saat proses pemadatan dilakukan, udara yang terperangkap di dalam tanah akan dikeluarkan, sehingga proses ini akan mengakibatkan tanah menjadi jenuh dan berat volume kering meningkat. Namun, keadaan ini sebenarnya sulit untuk dicapai. Contoh grafik hasil uji proctor standar ditunjukkan pada gambar berikut.



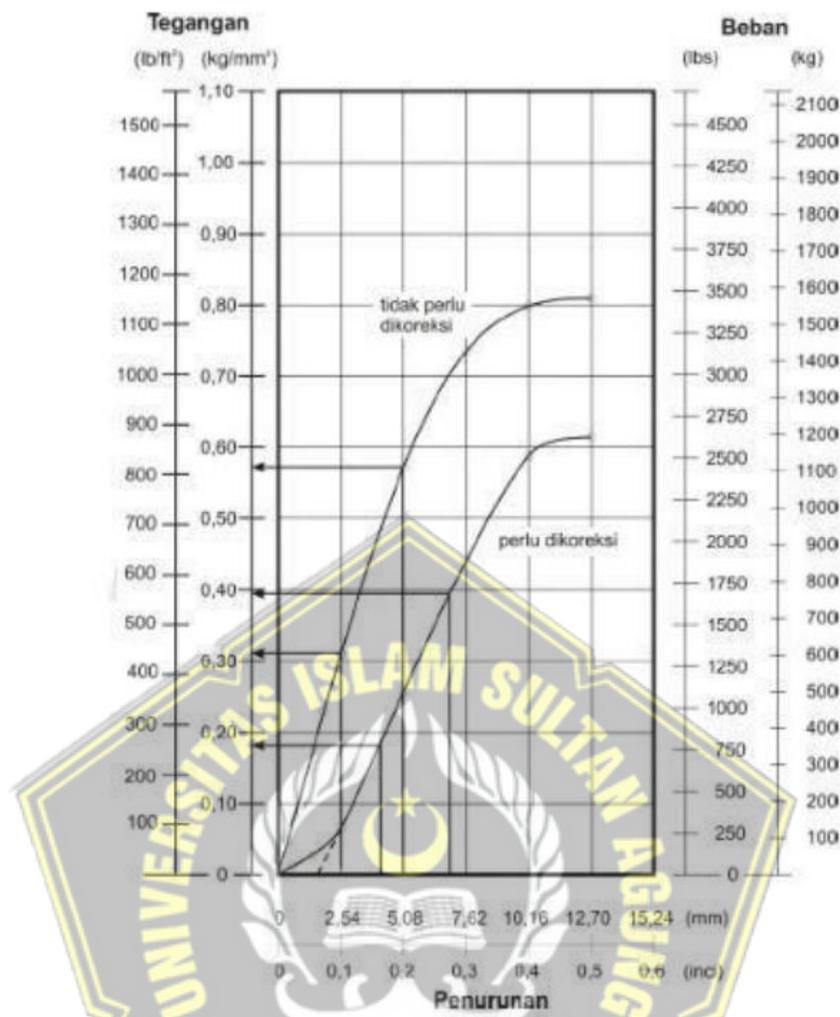
Gambar 2. 2 Grafik Hubungan Berat Volume Kering dan Kadar Air (Das, 1995)

2.6 California Bearing Ratio (CBR)

Pengujian terhadap daya dukung tanah atau biasa disebut *California Bearing Ratio* (CBR) dilakukan dengan tujuan yaitu mengetahui nilai daya dukung tanah (CBR) pada tingkat kepadatan dan kondisi air tertentu. Hasil dari pengujian ini yaitu berupa nilai CBR yang akan ditunjukkan oleh harga CBR, dengan melakukan proses ini maka akan didapat kapasitas tanah untuk mengatasi tekanan struktur.

Pengujian CBR ini sendiri dilakukn dengan menyaring sampel tanah menggunakan saringan No. 4 yang kemudian dimasukkan ke dalam mold silinder dengan diameter 152 mm, kemudian setelah dimasukkan lalu dilakukan proses pemadatan sebanyak 56 kali dengan penumbuk standar. Setelah proses tersebut dilakukan, benda uji kemudian diletakkan di atas mesin penetrasi dengan keping pemberat di atasnya setidaknya 4,5 kg. Sebelum itu, arloji yang menunjukkan penetrasi dan beban harus diatur terlebih dahulu sehingga menunjukkan angka 0 (nol). Penetrasi ini diukur dengan tekanan antara 0,025 inci (0,64 mm) dan 0,5 inci (12,7 mm), sehingga penetrasi mendekati kecepatan 1,27 mm/menit.

Pada uji penetrasi ini, uji ini menggunakan objek ke dalam benda yang akan dijadikan benda uji untuk mengetahui tingkat kekuatan tanah dasarnya. Setelah dilakukan pengujian, hasil yang diperoleh akan menampilkan kurva beban yang pada awalnya akan berebentuk cekung karena permukaan yang tidak rata saat benda uji dipadatkan atau karena faktor lain. Dalam kondisi ini, titik 0 (nol) harus dilakukan koreksi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2. 3 Grafik Pengujian CBR (Das, 1995)

Harga CBR didapatkan dengan membagi standar CBR pada penetrasi 0,1” atau sekitar 2,54 mm dengan beban standar yaitu 70,31 kg/cm² atau sekitar 1000 psi, sedangkan pada penetrasi 0,2” atau 5,08 mm dengan beban standar yaitu 105,47 kg/cm² atau sekitar 1500 psi. Kemudian, harga yang telah didapat dikalikan dengan 100%, seperti yang ditunjukkan dalam Persamaan 2.3 dan Persamaan 2.4:

1. CBR dengan beban normal 70,31 kg/cm² atau 1000 psi pada penetrasi 0,1” atau 2,54 mm.

$$CBR_{0,1''} = \frac{P_1}{3+1000} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

2. CBR pada penetrasi 0,2” atau 5,08 mm dengan beban standar 105,47 kg/cm² atau 1500 psi.

$$CBR_{0,2''} = \frac{P_1}{3+1500} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

Nilai CBR dapat dihitung dengan menggunakan penetrasi 0,1" atau 2,54 mm dengan beban standar 70,31 kg/cm² atau 1000 psi. Namun, terdapat sebuah kondisi di mana pengujian harus dilakukan pengulangan jika nilai CBR yang didapat pada penetrasi 0,1" atau 2,54 mm lebih kecil dari penetrasi 0,2" atau 5,08 mm; dalam kasus ini, nilai CBR terbesar yang digunakan adalah penetrasi 0,2" atau 5,08 mm. Tabel 2.4 di bawah ini menunjukkan klasifikasi tanah dasar berdasarkan nilai CBR.

Tabel 2. 4 Klasifikasi Tanah Dasar Berdasarkan Nilai CBR

Nilai CBR	Kategori	Penggunaan	Klasifikasi	
			USCS	AASHTO
0 – 3	Sangat Buruk	<i>Subgrade</i>	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 – 7	Buruk sampai Sedang	<i>Subgrade</i>	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 – 20	Sedang	<i>Subgrade</i>	OL, CL, ML	A2, A4, A5, A7
20 – 50	Baik	<i>Base, Subgrade</i>	<i>Gravel</i>	A1, A2-5, A2-6
> 50	Sangat Baik	<i>Base</i>	<i>Gravel</i>	A1, A2, A3

(Das, 1995)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Studi Literatur

Laboratorium Mekanika Tanah di Fakultas Teknik Universitas Sultan Agung Semarang melakukan penelitian eksperimental tentang karakteristik fisik dan mekanik. Proktor melakukan pemeriksaan terhadap batas konsistensi tanah untuk karakteristik fisik dan CBR (*California Bearing Ratio*). Kadar air ideal (OMC) digunakan pada tanah asli untuk membuat benda uji CBR. Sebelum penelitian dimulai, Ada beberapa tindakan yang perlu dilakukan. untuk meyakinkan hasilnya. Membaca literatur, melakukan survei tentang lokasi pengambilan sampel, menyiapkan alat pengujian, menyiapkan benda uji, dan melakukan tes di laboratorium adalah semua bagian dari ini. Terakhir, tetapi sama pentingnya, adalah melakukan analisis data.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, teknik pengambilan data yang dipakai yaitu data sekunder dan data primer. Data sekunder di dapatkan melalui studi literatur untuk menyelidiki hubungan antara teori yang relevan (variabel yang akan diteliti). Sedangkan data primer dari penelitian ini diperoleh langsung dari pengujian di laboratorium.

Pengujian di laboratorium yang dilakukan yaitu kadar air (ω), berat volume (v), berat jenis (γ_m), batas Atterberg, klasifikasi tanah, *Direct Shear*, dan *California Bearing Ratio* (CBR) yang diuji pada sampel campuran FABA dan tanah lempung dengan variasi 5%, 10%, 15%, 35%, 50%, 55%, 70%.

3.3 Bahan dan Alat Penelitian

3.3.1 Bahan Penelitian

Dalam pengujian Ini adalah bahan yang dibutuhkan yakni tanah lempung, air, *fly ash*, dan *bottom ash*

1. *Fly Ash*

Sisa batu bara yang berasal dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang terbang disebut *fly ash*.



Gambar 3. 1 *Fly ash*

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

2. *Bottom ash*

Bahan yang dibuang berasal dari pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang berukuran lebih besar dan mengendap dibawah dikenal sebagai ash bawah. Dalam penelitian ini menggunakan *bottom ash* yang sudah lolos saringan no.4



Gambar 3. 2 *Bottom ash*

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

3.3.2 Alat penelitian

Metode yang digunakan untuk studi ini adalah:

1. *Proctor hammer*
2. *CBR (California Bearing Ratio)*
3. *Direct shear*
4. Saringan
5. Cawan Timbangan berat

6. Oven
7. Gelas ukur

3.4 Persiapan Benda Uji

Untuk setiap pengujian, bahan uji dikombinasikan saat benda uji dilakukan pengujian pada tanah campuran. Untuk pengujian CBR, campuran tanah, *fly ash* dan *bottom ash* dicampur dengan air sampai tingkat air yang ideal untuk tanah asli. Untuk campuran *bottom ash* dan *fly ash*, ditambahkan 5%, 10%, 15%, 35%, 50%, 55%, 70% dari berat kering tanah masing-masing.

Untuk memudahkan penamaan dan perawatan sampel yang digunakan dalam penelitian. Selanjutnya, setiap sampel uji diberi kode dan perlakuan, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Kode dan perlakuan

KODE	PERLAKUAN
S0	Tanah asli 100%
S1	Tanah 50% + BA 15% + FA 35%
S2	Tanah 35% + BA 10% + FA 55%
S3	Tanah 20% + BA 10% + FA 70%
S4	Tanah 25% + BA 5% + FA 70%
S5	Tanah 50% + FA 50%

3.5 Lokasi Penelitian

Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang memiliki Laboratorium Mekanika Tanah untuk melakukan pengujian.

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Berat Jenis Tanah (SNI 03-1964:2008)

Specific gravity (Gs) atau uji berat jenis adalah rasio antara berat air dan berat tanah tertentu pada suhu dan volume yang sama.

Alat yang digunakan :

1. Neraca analitis
2. Piknometer
3. Aquadest
4. Pemanasan Thermometer

Uji kepadatan tanah dilakukan dengan cara berikut.

1. Cari tahu berapa nilai air piknometer :
 - a. Timbang piknometer kosong, misal = 1 gr.
 - b. Piknometer diisi dengan aquades sampai penuh kemudian ditimbang, misal = b gr..
 - c. Suhu manometer diukur dengan termometer, misalnya : T1 0 °. Harga air pada piknometer = (b - c) t1; dimana t1 = dikoreksi T1
2. Mencari *specific gravity* (Gs) :
 - a. Ambil bahan yang akan diuji, lalu masukkan ke piknometer yang kering dan bersih di atas dan timbang, misalnya = c gram (massa sampel = 2025 gram).
 - b. Piknometer dan benda uji diberi aquades sampai tepat di bawah leher Piknometer, kemudian dikocok sampai gelembung didalam pikno hilang, kemudian didiamkan selama ± 24 jam.
 - c. Setelah ± 24 jam, Piknometer diisi dengan aquades sampai penuh lalu diukur beratnya, misal = d gram.
 - d. Kemudian suhu dicek menggunakan contoh termometer sifat gravitasi (Gs) dapat dilihat pada tabel pada T2 0°C koreksi suhu, misalnya = t2. ditemukan melalui persamaan :

$$G_s = \frac{c-a}{HAP-(d-c)T_2} \dots\dots\dots (3.1)$$

3.6.2 Grain Size

Grain size analysis adalah uji laboratorium umum yang dilakukan di bidang mekanika tanah. Tujuan analisis adalah untuk memperoleh distribusi ukuran partikel tanah. Analisis ini dilakukan melalui dua teknik. *Sieve Grain Size Analysis* mampu menentukan ukuran partikel mulai dari 0,075 mm hingga 100 mm. Setiap kategorisasi butiran yang lebih besar dari 100 mm akan dilakukan secara visual sedangkan partikel yang lebih kecil dari 0,075 mm dapat didistribusikan menggunakan Metode Hidrometer.

1. Hidrometer

Analisis hidrometer digunakan untuk ukuran partikel yang lebih halus dari 75 μm . Partikel-partikel ini melewati saringan terakhir (No. 200) dari Analisis Saringan. Analisis ukuran butiran hidrometer memanfaatkan perubahan kepadatan relatif campuran tanah-air saat partikel tanah tenggelam. Pengujian ini bergantung pada fakta bahwa saat tanah dituangkan ke dalam cairan, kepadatan relatif campuran tanah-air akan meningkat. Saat partikel tanah tenggelam, kepadatan berkurang hingga mencapai kepadatan awal cairan. Partikel terberat (berdiameter lebih besar) akan tenggelam terlebih dahulu.

Alat yang digunakan :

- a. Alat Hidrometer
- b. Ayakan dengan nomor 200 mm
- c. Mangkok/cawan besar
- d. Peralatan Pengaduk
- e. Wadah kaca berisi air volume 1000 ml
- f. *Stopwatch*
- g. Oven pengering

Prosedur pelaksanaan uji hidrometer seperti dibawah ini.

- a. Ambil contoh sampel tanah sekitar 200 gr, kemudian dimasukan kedalam cawan besar dan direndam dengan air selama satu hari.
- b. Ambil cawan besar tersebut lalu ditambahkan air sekitar 1000 ml dan disaring dengan saringan nomor 200 mm.
- c. Aduk dengan alat pengaduk hingga rata.
- d. Setelah itu tanah yang tertinggal di saringan ditaruh di mangkok/cawan dan dikeringkan di dalam oven.
- e. Sisa air yang lolos dari saringan ditempatkan pada wadah kaca dan diberi air sehingga volume 1000 ml.
- f. Tutup wadah kaca dengan tangan dan balikkan wadah beberapa kali.
- g. Setelah dikocok, letakkan wadah di atas meja dan mulailah mengukur waktu.
- h. Masukkan hydrometer dengan hati-hati dan lakukan pengukuran pada menit 0, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, 2, 5, 10, 45, 75, 90, dan 120.

2. *Sieve Analys*

Pengujian dilakukan dengan menggunakan seperangkat saringan dengan ukuran mata saringan yang berbeda. Setiap saringan memiliki lubang berbentuk persegi dengan ukuran tertentu. Saringan memisahkan partikel yang lebih besar dari yang lebih kecil, mendistribusikan sampel tanah dalam 2 kuantitas. Butiran dengan diameter lebih besar dari ukuran lubang ditahan oleh saringan, sedangkan butiran dengan diameter lebih kecil melewati saringan. Pengujian dilakukan dengan menempatkan serangkaian saringan dengan ukuran mata saringan yang semakin kecil di atas satu sama lain dan melewatkan sampel tanah melalui "menara" saringan yang ditumpuk. Oleh karena itu, partikel tanah didistribusikan saat ditahan oleh saringan yang berbeda. Panci juga digunakan untuk mengumpulkan partikel-partikel yang melewati saringan terakhir (No. 200). Alat yang digunakan :

- a. Cawan
- b. Saringan standar
- c. Pemisah sampel
- d. Pengocok saringan mekanis

Prosedur pelaksanaan uji *Sieve Analys* seperti dibawah ini.

- a. Ambil sisa tanah yang sudah di oven dari saat pengujian hydrometer.
- b. Catat berat cawan yang akan digunakan selama analisis.
- c. Susun saringan-saringan sesuai urutannya. Saringan nomor 4 berada diatas dan saringan nomor 200 berada dibawah.
- d. Letakkan sampel tanah ke dalam saringan paling atas dan pasang penutup di atasnya.
- e. Taruh tumpukan saringan tersebut ke dalam pengocok mekanis dan kocok selama 10 menit
- f. Keluarkan sisa tanah yang tertahan di setiap saringan lalu di taruh ke cawan dan ukur berat masing-masing sisa tanah tersebut.

3.6.3 *Atterberg Limit* (SNI 1967-2008)

Karakteristik tanah berdasarkan nilai indeks plastisitas dapat dilihat pada Tabel 1.2. Menurut Hardiyatmo (2002), indeks plastisitas tinggi dengan jenis tanah lempung

atau tanah kohesif memiliki nilai lebih besar dari 17%, sedangkan tanah yang mempunyai indeks plastisitas sedang dengan jenis tanah lempung berlanau dan masih tergolong tanah kohesif memiliki nilai nilai antara 7-17%, beserta jika memiliki indeks plastisitas lebih besar dari 7%, tanah tersebut dikategorikan dengan jenis tanah lanau atau tanah kohesif sebagian dan memiliki sifat plastisitas rendah. Sementara tanah non plastis (NP) dengan jenis tanah pasir atau tanah umum dikatakan non kohesif dan tidak memiliki indeks plastisitas.

Tabel 3. 2 Nilai indeks plastisitas (Hardiyatmo, 2002)

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesif
0	Nonplastis	Pasir	Nonkohesif
< 7	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
7 – 17	Plastisitas Sedang	Lempung Berlanau	Kohesif
> 17	Plastitas Tinggi	Lempung	Kohesif

3. Batas cair

Tujuan pemeriksaan Ini dimaksudkan untuk mengetahui kadar air tanah yang ada diantara kedua kondisi, plastis dan cair.

Alat yang digunakan :

- a. *Cassagrande*
- b. Ayakan dengan nomor 40 mm
- c. Wadah
- d. Mangkok/cawan besar
- e. Neraca analitik
- f. Pemanas
- g. *Exicator*
- h. *Aquadest*

Prosedur pelaksanaan uji batas cair seperti dibawah ini.

- g. ambil contoh sampel tanah secukupnya, kemudian dimasukan kedalamoven ± 24 jam. Kemudian, sampel tanah dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan saringan no.40 ($\varnothing 0,425$ mm).
- h. Ambil beberapa sampel, lalu campur dengan *aquadest* dalam mangkuk.

- i. Aduk dengan colet hingga rata.
- j. Setelah dicampur secara merata, masukkan sampel ke dalam nampan sampel yang telah disesuaikan dengan ketinggian tetesan ± 1 cm
- k. Sampel ditempatkan pada nampan yang diratakan, kemudian bagian tengahnya dialasi dengan collar sampai terpisah. Potongan menjadi dua.
- l. Engkol berputar pada kira-kira dua putaran tiap detik.
- m. Setelah tanah terisi sekitar 2 cm, pemutaran dihentikan.
- n. Experiment ini dilakukan empat kali dengan berbagai tingkat biota air. Duasampel sampel tanah diperkirakan mencakup panjang 2 cm atau lebih dari 25 keran.

Dalam setiap percobaan, sampel tanah yang cukup diambil untuk menentukan kadarair.

Berikut adalah cara memplot percobaan batas cair :

- a. Dari hasil di atas, kami menggambar grafik dengan sumbu x yang mewakili jumlah bentang dan sumbu y yang mewakili persentase kadar air.
- b. Keempat titik akar terhubung oleh sebuah garis lurus yang memotongsumbu vertikal pada ketukan ke-25.
- c. Perpotongan garis 25 dan garis digambar secara mendatar dan tentukanpersentase kadar air.
- d. Nilai kadar air adalah batas cair tanah.

4. Plastic limit (batas plastis)

Batas plastis tanah adalah tujuan dari pengujian ini. Batas plastis tanah ditentukanoleh kadar air minimal yang ditemukan pada sampel tanah dalam kondisi plastis. Alat yang digunakan :

- a. Ayakan nomor 40 mm
- b. Mangkok
- c. Cawan
- d. Neraca analitis

- e. Oven
- f. Exicator

Metode berikut digunakan untuk menguji batas plastis ini.

- a. Ambil contoh tanah yang cukup dan panggang selama ± 24 jam. Kemudian sampel tanah dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan no.40 ($\varnothing 0,425$ mm).
 - b. Beberapa sampel tanah diambil dan ditempatkan dalam mangkuk dan ditambahkan Aquadest, kemudian diaduk hingga rata.
 - c. Setelah campuran selesai sampel dipelintir di atas cawan kaca hingga membentuk lingkaran panjang dari ujung ke ujung dengan diameter ± 3 mm.
 - d. jika telah mencapai batas, sampel tanah diambil dan ditimbang terus menerus dari 5 gram sampai 10 gram untuk mengetahui kadar airnya.
5. Shrinkage limit (batas Susut)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mendapatkan berapa banyak susut linier tanah. Ini adalah kadar air paling rendah dalam sampel tanah ketika tanah menjadi plastis. Alat yang digunakan :

- a. Saringan nomor 40 mm
- b. Mangkok dan tutup
- c. Cawan
- d. Lempeangan kaca
- e. Neraca analitik
- f. Oven
- g. Raksa

Batas plastis ini diuji dengan metode berikut:

- a. Ambil contoh tanah secukupnya dan panggang selama ± 24 jam. Kemudian sampel tanah dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan no.40 ($\varnothing 0,425$ mm).
- b. Beberapa sampel tanah diambil dan ditempatkan dalam mangkuk dan ditambahkan Aquadest, kemudian diaduk hingga rata.
- c. Setelah sampel tercampur rata, masukkan cetakan ke dalam gelas

kimia dankocok dengan spatula.

- d. Setelah sampel dimasukkan ke dalam cawan, sampel akan dipanggang selama ± 24 jam.
- e. Setelah ± 24 jam, dilepas cawan setelah sample dikeluarkan dari oven dan diseimbangkan dengan neraca analitik,
- f. Mangkuk kecil kemudian diisi dengan air raksa hingga pinggirannya dan ditempatkan dalam mangkuk yang lebih besar.
- g. Sampel ditempatkan dalam mangkuk kecil berisi air raksa sampai merkuri menyebar dari mangkuk kecil ke mangkuk besar.
- h. Selanjutnya air raksa dituangkan ke dalam wadah yang telah ditimbang, kemudian wadah tersebut ditimbang dan air raksa dibelokkan untuk mencari volatilitasnya.

3.6.4 *Direct Shear* (SNI 3420:2016)

Uji geser langsung digunakan untuk mengukur kekuatan geser tanah secara langsung.

Alat yang digunakan :

1. *direct shear test*
2. Timbangan
3. Pisau atau alat pemotong dan cincin pencetak

Prosedur untuk melakukan uji geser langsung adalah sebagai berikut.

1. Penguji geser langsung berada di posisinya, pengatur waktu dan dial direset ke nol.
2. Template dicetak dan ditempatkan.
3. Sebuah beban vertikal yang normal diterapkan untuk mendapatkan voltase biasa (σ_n)
4. Alat putar diputar dan *stopwatch* ditekan (dihidupkan). Rotasi dilakukan secara berkala dan pada kecepatan yang sama atau dengan kecepatan konstan, yaitu setiap ± 2 detik. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan tegangan geser (σ_s).
5. Ketika situasi telah berubah, jarum disimpan ke posisi jarum tertinggi. Sekarang juga.
6. Percobaan ini dilakukan tiga kali pada sampel tanah dengan beban 8 kilogram, 16 kilogram, dan 24 kilogram, masing-masing, untuk menghasilkan tegangan

yang berbeda, seperti yang ditunjukkan pada grafik

Untuk ilustrasi, tegangan normal (σ_n) dan geser (σ_s) dapat dihitung..

1. Tegangan Normal (σ_n)

Perbedaan beban normal (P) dengan luas penampang benda uji dikenal sebagai

$$\text{Tegangan normal} \cdot (F) - \sigma_n = \frac{P}{F}$$

2. Tegangan Geser (σ_s)

Tegangan geser dihitung dengan mengalikan nomor indikasi dial dengan nomor

kalibrasi dan kemudian membagi luasnya. permukaan benda uji $(F) - \sigma_s = \frac{\text{Gaya Geser}}{F}$.

Perhitungan dan metode representasi: Gunakan rumus berikut untuk mendapatkan kohesi c dan sudut geser dalam tanah ϕ .

1. Gambar yang diperoleh dari percobaan dijelaskan dalam tempat koordinat. Tekanan yakni Tegangan Normal (σ_n) dan koordinatnya adalah tegangan geser (σ_s).
2. Menghitung koefisien (c) dengan menghitung jarak antara titik pusat dan titik potong setiap garis lurus atau grafik yang dihadapkan pada sumbu ordinat.
3. Selanjutnya, hasilnya dikalikan dengan interval yang digunakan. Kurangkan sudut geser dalam tanah (ϕ).

3.6.5 Proctor Modified (SNI 1743-2008)

Tujuan dari studi ini adalah untuk menentukan jumlah air yang diperlukan untuk memadatkan tanah (W_{opt}), berat volume basah tertinggi (d), berat volume kering tertinggi (d), dan presentase pori, yaitu ruang di dalam tanah.

Alat yang digunakan :

1. Alat proktor dan penumbuknya
2. Jangka
3. pisau perata
4. Timbangan
5. Neraca analitis
6. Cawan
7. Oven
8. Gelas ukur
9. Saringan no. 4 mm

Untuk melakukan uji proctor standart, ikuti prosedur berikut:

1. Tanah yang akan diuji dikeringkan terlebih dahulu sebelum pengujian pemantauan dilakukan.
2. Setelah alat pemantau dilepas, setiap alat ditimbang dan diukur diameter dan tingginya.
3. Saring contoh tanah kering dengan saringan nomor 4 (\varnothing 4,76 mm). Kemudian bagi tanah menjadi 5 bagian, masing-masing berat 2 kg.
4. Ambil satu bagian sampel dan campurkan dengan air sampai rata. Kemudian, bagi sampel menjadi tiga bagian yang sama.
5. Setiap elemen dimasukkan ke dalam detektor dan dipukul 25 kali. Lanjutkan pada bagian 2 dan 3.
6. Dengan menggunakan pisau perata, ring atas atau bagian atas perlahan-lahan dilepas dan diratakan di dalam tabung. Setelah itu, tanah dan probe ditimbang.
7. Ambil sedikit tanah di dalam tabung (atas dan bawah tabung) untuk mencari kadar airnya.
8. Percobaan diulangi lagi untuk contoh tanah selanjutnya dengan cara yang sama dan dengan variasi dalam jumlah air ditambahkan hingga batas tertinggi (yang akan menghasilkan berat yang paling tinggi).
9. Gs diambil dari berat jenis tanah (specific gravity).
10. Hitung kadar air (w), berat volume basah (γ_b), berat volume kering (γ_d), n , e , dan ZAV.
11. Grafik terdiri dari absis kadar air. (w) dan kordinatnya (γ_b , γ_d , ZAV).

3.6.6 California Bearing Ratio (CBR) (SNI 1744-2012)

Tujuan dari uji ini adalah untuk mengukur daya dukung tanah pondasi untuk persiapan lapis perkerasan lentur.

Alat yang digunakan:

1. Mesin CBR
2. CBR mold
3. Ring pemisah
4. Penumbuk
5. Alat pengukur pengembang
6. Keping beban lubang bulat

7. Keping beban lubang alur
8. Piston penetrasi
9. Pengukur beban dan penetrasi
10. Talam
11. Alat perata
12. Bak perendam

Proses berikut digunakan untuk melakukan uji CBR:

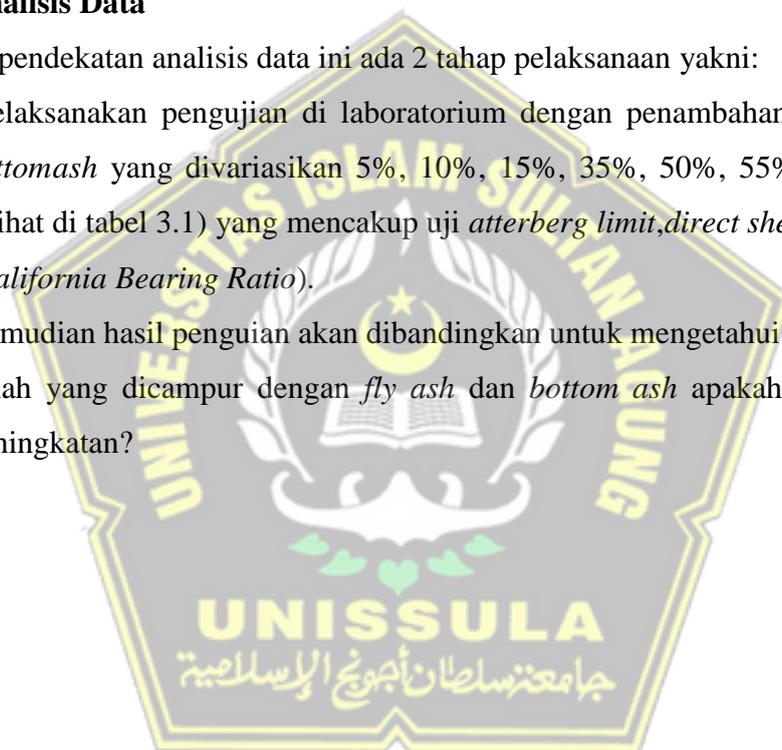
1. Keringkan tanah dengan benar jumlah sampel yang diperlukan di bawah panas matahari hingga kering.
2. Berbagi tanah menjadi lima bagian, masing-masing dengan berat kg, dan lima bagian masing-masing berbobot 3,8 kg, dan 5 bagian masing-masing berbobot 3,6 kilogram. Sebelumnya, saringan nomor 4 dengan diameter 4,76 mm digunakan untuk menyaring tanah.
3. Untuk sampel yang dicampur dengan bahan yang distabilkan, diamkan selama 24 jam setelah pencampuran menyeluruh dan tutup rapat.
4. Massa dasar dan bawah silinder keseimbangan. Ukuran tinggi dan diameter instrumen digunakan untuk menentukan volume silinder.
5. Berat alu ditimbang dan tinggi benda yang jatuh diukur.
6. Ambil masing-masing contoh tanah dan aduk dengan air yang diukur sampai rata. Campuran tersebut dibagi menjadi 5 bagian.
7. Tanah yang dihomogenkan tersebar di mana-mana di daerah tersebut. karenanya, lima buah bumi diambil dan masing-masing bagian ditumbuk secaramerata 56 kali.
8. Cincin bagian atas dilepas perlahan-lahan kemudian diratakan, setelah itu ditimbang.
9. Letakkan panci timbang di atas permukaan objek yang akan diuji. Kemudian, atur pendorong untuk menembus permukaan objek sehingga alat pengukur beban menunjukkan jumlah awal beban sebesar 45 kilogram.
10. Pengumpanan awal ini diperlukan untuk memastikan kontak sempurna antara piston dan permukaan spesimen.
11. Sesuaikan plunger penetrasi ke permukaan objek yang diuji sehingga indikator/kontrol penetrasi diatur ke-0.

12. Pembentangan dilakukan dengan memutar engkol dengan cara yang otomatis dan terus menerus dengan tingkat kecepatan 1,27 mm/menit untuk menjaga torak tetap turun. Menit 1/4, 1/2, 1, 1 1/2, 2, 3, 4, 6, dan 8 dihitung dengan arloji pembebanan.
13. Percobaan yang tidak direndam di atas dilakukan tanpa air; untuk percobaan yang direndam, perlu direndam di tanah selama empat hari sebelum melakukan ulangi CBR.
14. Setelah membaca, lepaskan item yang diuji dan lepaskan sisi tinggi dan rendah untuk memeriksa kelembapan.

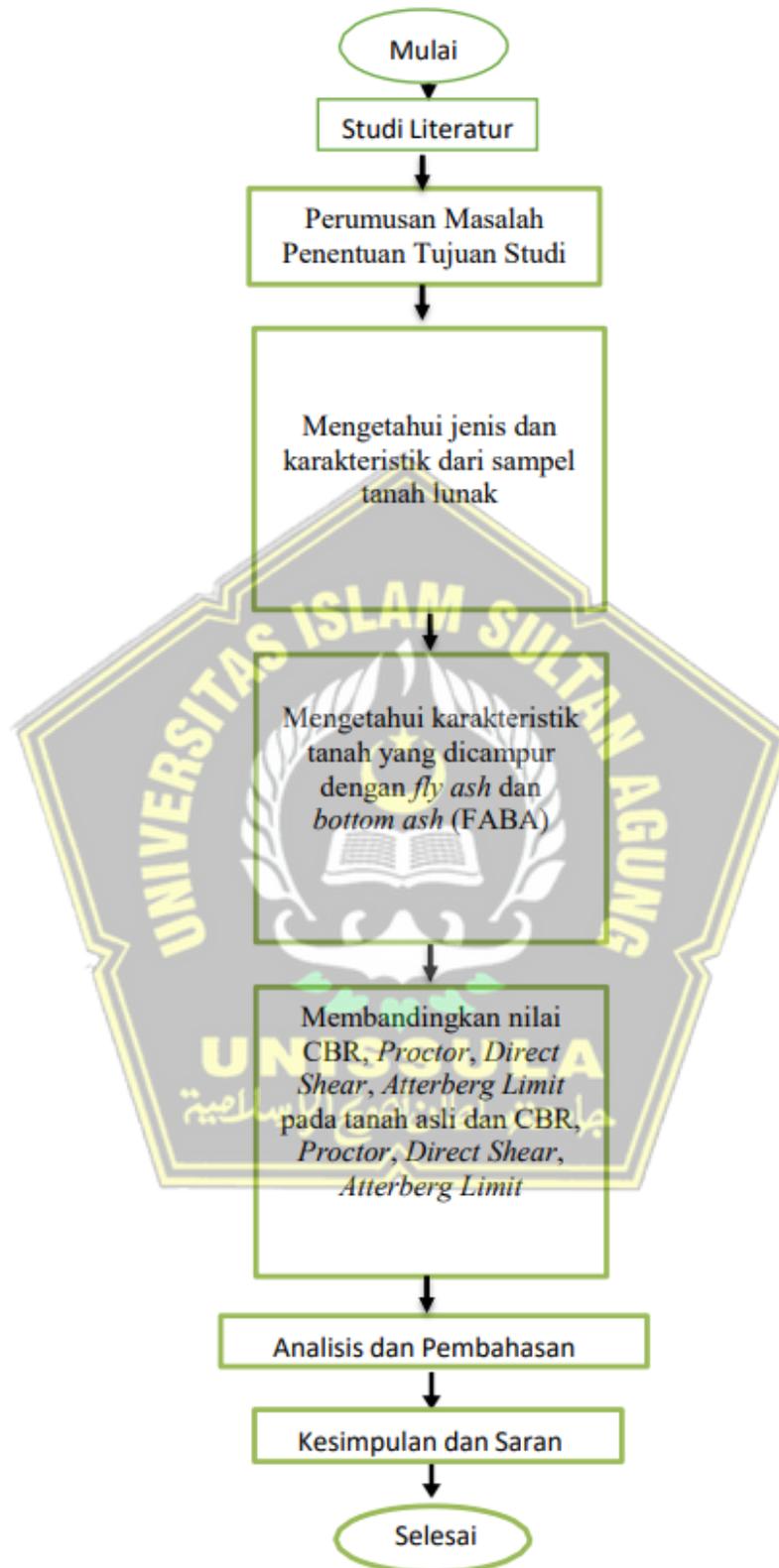
3.7 Analisis Data

Dalam pendekatan analisis data ini ada 2 tahap pelaksanaan yakni:

1. Melaksanakan pengujian di laboratorium dengan penambahan *fly ash* dan *bottom ash* yang divariasikan 5%, 10%, 15%, 35%, 50%, 55%, 70% (bisa dilihat di tabel 3.1) yang mencakup uji *atterberg limit*, *direct shear*, dan CBR (*California Bearing Ratio*).
2. Kemudian hasil pengujian akan dibandingkan untuk mengetahui daya dukung tanah yang dicampur dengan *fly ash* dan *bottom ash* apakah akan terjadi peningkatan?



3.8 Bagan Penelitian



Gambar 3. 3 Bagan Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Tugas akhir ini menganalisa tanah lempung yang distabilisasi dengan *Fly Ash* dan *Bottom Ash*. Sampel tanah lempung diambil di lokasi Jl. PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah. Metode studi yang digunakan Tugas Akhir ini eksperimen (pengujian) yang lakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik UNISSULA. Dari data tersebut dapat di analisis sifat-sifat tanah yang distabilisasi dengan penambahan *Fly Ash* dan *Bottom Ash*. Kemudian data tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh daya dukung tanah yang distabilisasi (dicampurkan) dengan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* (FABA) dengan variasi 5%, 10%, 15%, 35%, 50%, 55%, 70% (bisa dilihat di tabel 3.1).

4.2 *Physical Properties* Tanah Asli

Sebelum stabilisasi tanah dilakukan, terlebih dahulu diuji *physical properties* mekanis untuk mengetahui sifat tanah asli. Berikut adalah hasil *properties* tanah asli

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian *Properties* Tanah Asli

Sifat	Nilai	Satuan
Specific Gravity (GS)	2,160	
Batas Cair (LL)	59,39	%
Batas Plastis(PL)	30,41	%
Indeks Plastisitas (IP)	28,98	%

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Mekanis Tanah Asli

Sifat	Nilai	Satuan
Persenan Butiran Tanah Lolos Saringan No.200	86,36	%
Kadar Air Optimum (wopt)	29,20	%
Berat Volume Kering Maksimum (yd Max)	13,10	kN/m ³

Kohesi (c)	0,112	Kg/cm ²
Sudut Geser Dalam (ϕ)	18,47	($^{\circ}$)
Nilai CBR	4,59	%

Berdasarkan Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 diatas dapat dijelaskan tanah asli merupakan tanah lempung lunak, bisa dilihat dari hasil persenan butiran tanah lolos saringan No.200 sekitar 86,36%, nilai sudut geser (ϕ) 18,47 $^{\circ}$, dan nilai CBR 4,59%.

4.3 Analisa Stabilisasi dengan *Fly ash* dan *Bottom ash* di Laboratorium

Setelah didapatkan *Physical Properties*, maka tanah asli selanjutnya dilakukan stabilisasi dengan *Fly ash* dan *Bottom ash* di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik UNISSULA dengan beberapa metode berikut

4.3.1 Grain Size

a. Hidrometer Analysis

Metode ini dilakukan untuk menghitung distribusi ukuran butir tanah berdasarkan sedimentasi tanah dalam air, kadang disebut juga uji sedimentasi. Analisis hydrometer ini bertujuan untuk mengetahui pembagian ukuran butir tanah yang berbutir halus.

Tabel 4. 3 Nilai Perhitungan Hidrometer Analisis Tanah Asli

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentase Komulatif (%)	Percent Finer (%)
0	40	0	24	0,00412	0,0	0,00	85,98
1/4	39	1	23,8	0,00410	2,1	2,15	83,83
1/2	39	0	24	0,00291	0,0	2,15	83,83
1	39	0	24	0,00206	0,0	2,15	83,83
2	38	1	23,8	0,00145	2,1	4,30	81,68
5	34	4	23,2	0,00091	8,6	12,90	73,08
10	23	11	21,8	0,00062	23,6	36,54	49,44
45	9	14	21,2	0,00050	30,1	66,63	19,35
75	3	6	22,8	0,00023	12,9	79,53	6,45
90	0	3	23,4	0,00021	6,4	85,98	0,00
120	0	0	24	0,00019	0,0	85,98	0,00
		40					

Tabel 4. 4 Nilai Perhitungan Hidrometer Analisis Tanah Campuran 1

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentase Komulatif (%)	Percent Finer (%)
0	60	0	24	0,00412	0,0	0,00	76,85
1/4	58	2	23,6	0,00408	2,6	2,56	74,28
1/2	57	1	23,8	0,00290	1,3	3,84	73,00
1	55	2	23,6	0,00204	2,6	6,40	70,44
2	51	4	23,2	0,00143	5,1	11,53	65,32
5	38	13	21,4	0,00087	16,6	28,18	48,67
10	17	21	19,8	0,00059	26,9	55,07	21,77
45	0	17	20,6	0,00049	21,8	76,85	0,00
75	0	0	24	0,00024	0,0	76,85	0,00
90	0	0	24	0,00022	0,0	76,85	0,00
120	0	0	24	0,00019	0,0	76,85	0,00
		60					

Tabel 4. 5 Nilai Perhitungan Hidrometer Analisis Tanah Campuran 2

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentase Komulatif (%)	Percent Finer (%)
0	10	0	24	0,00412	0,0	0,00	69,78
¼	8	2	23,6	0,00408	14,0	13,96	55,82
½	7	1	23,8	0,00290	7,0	20,93	48,84
1	6	1	23,8	0,00205	7,0	27,91	41,87
2	6	0	24	0,00146	0,0	27,91	41,87
5	2	4	23,2	0,00091	27,9	55,82	13,96
10	1	1	23,8	0,00065	7,0	62,80	6,98
45	0	1	23,8	0,00053	7,0	69,78	0,00
75	0	0	24	0,00024	0,0	69,78	0,00

90	0	0	24	0,00022	0,0	69,78	0,00
120	0	0	24	0,00019	0,0	69,78	0,00
		10					

Tabel 4. 6 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Campuran 3

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentase Komulatif (%)	Percent Finer (%)
0	40	0	24	0,00412	0,0	0,00	75,32
1/4	36	4	23,2	0,00405	7,5	7,53	67,79
1/2	35	1	23,8	0,00290	1,9	9,41	65,90
1	32	3	23,4	0,00203	5,6	15,06	60,25
2	27	5	23	0,00143	9,4	24,48	50,84
5	8	19	20,2	0,00084	35,8	60,25	15,06
10	1	7	22,6	0,00063	13,2	73,43	1,88
45	0	1	23,8	0,00053	1,9	75,32	0,00
75	0	0	24	0,00024	0,0	75,32	0,00
90	0	0	24	0,00022	0,0	75,32	0,00
120	0	0	24	0,00019	0,0	75,32	0,00
		40					

Tabel 4. 7 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Campuran 4

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentase Komulatif (%)	Percent Finer (%)
0	14	0	24	0,00412	0,0	0,00	73,72
1/4	13	1	23,8	0,00410	5,3	5,27	68,45
1/2	13	0	24	0,00291	0,0	5,27	68,45
1	12	1	23,8	0,00205	5,3	10,53	63,19
2	11	1	23,8	0,00145	5,3	15,80	57,92
5	0	11	21,8	0,00088	57,9	73,72	0,00
10	0	0	24	0,00065	0,0	73,72	0,00
45	0	0	24	0,00053	0,0	73,72	0,00
75	0	0	24	0,00024	0,0	73,72	0,00

90	0	0	24	0,00022	0,0	73,72	0,00
120	0	0	24	0,00019	0,0	73,72	0,00
		14					

Tabel 4. 8 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Campuran 5

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentase Komulatif (%)	Percent Finer (%)
0	30	0	24	0,00412	0,0	0,00	63,65
1/4	28	2	23,6	0,00408	4,2	4,24	59,41
1/2	26	2	23,6	0,00289	4,2	8,49	55,16
1	20	6	22,8	0,00201	12,7	21,22	42,43
2	12	8	22,4	0,00141	17,0	38,19	25,46
5	0	12	21,6	0,00087	25,5	63,65	0,00
10	0	0	24	0,00065	0,0	63,65	0,00
45	0	0	24	0,00053	0,0	63,65	0,00
75	0	0	24	0,00024	0,0	63,65	0,00
90	0	0	24	0,00022	0,0	63,65	0,00
120	0	0	24	0,00019	0,0	63,65	0,00
		30					

b. Sieve Analysis

Pembagian ukuran butir dilaksanakan dengan analisa saringan/analisa hidrometer. Persen berat dari berbagai ukuran butir yang melebihi 74 mikron dilakukan dengan saringan, dengan satu set alat saringan standar yang digerakan secara horisontal maupun vertikal dalam alat penggoyang saringan.

Tabel 4. 9 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Asli

Diameter saringan	No. Cawan	Brt. Cawan (gr)	Brt.Sampel+cwn yg tertinggal dlm saringan (gr)	Brt.Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Presentase sampel yg tertinggal (%)	Kumulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	1	4,26	4,50	0,24	0,12	0,12	100,00
2,000	2	4,12	6,37	2,25	1,13	1,25	98,76
0,850	3	4,36	7,76	3,40	1,70	2,95	97,06
0,425	4	4,08	9,15	5,07	2,54	5,48	94,52
0,250	5	4,39	8,82	4,43	2,22	7,70	92,31
0,180	6	4,23	6,95	2,72	1,36	9,06	90,95
0,150	7	4,28	6,40	2,12	1,06	10,12	89,89
0,075	8	4,03	11,08	7,05	3,53	13,64	86,36
0,000	9	4,18	4,94	0,76	0,38	14,02	85,98
				28,04	14,02		

Tabel 4. 10 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Tanah Campuran 1

Diameter saringan	No. Cawan	Brt. Cawan (gr)	Brt.Sampel+cwn yg tertinggal dlm saringan (gr)	Brt.Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Presentase sampel yg tertinggal (%)	Kumulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	1	4,15	4,15	0,00	0,00	0,00	100,00
2,000	2	3,99	16,70	12,71	6,36	6,36	93,65
0,850	3	4,40	11,50	7,10	3,55	9,91	90,10
0,425	4	4,10	11,82	7,72	3,86	13,77	86,24
0,250	5	4,08	9,06	4,98	2,49	16,26	83,75
0,180	6	4,32	10,27	5,95	2,98	19,23	80,77
0,150	7	4,38	6,05	1,67	0,84	20,07	79,94
0,075	8	4,04	10,14	6,10	3,05	23,12	76,89

0,000	9	4,12	4,20	0,08	0,04	23,16	76,85
				46,31	23,16		

Tabel 4. 11 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Tanah Campuran 2

Diameter saringan	No. Cawan	Brt. Cawan (gr)	Brt.Sampel+cwn yg tertinggal dlm saringan (gr)	Brt.Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Presentase sampel yg tertinggal (%)	Kumulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	1	4,05	4,05	0,00	0,00	0,00	100,00
2,000	2	4,14	11,19	7,05	3,52	3,52	96,48
0,850	3	4,30	11,66	7,36	3,68	7,20	92,80
0,425	4	4,30	14,70	10,40	5,20	12,40	87,60
0,250	5	4,15	16,83	12,68	6,34	18,74	81,26
0,180	6	4,29	11,54	7,25	3,63	22,37	77,63
0,150	7	4,35	7,43	3,08	1,54	23,91	76,09
0,075	8	4,04	10,57	6,53	3,27	27,17	72,83
0,000	9	4,10	10,20	6,10	3,05	30,22	69,78
				60,45	30,22		

Tabel 4. 12 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Tanah Campuran 3

Diameter saringan	No. Cawan	Brt. Cawan (gr)	Brt.Sampel+cwn yg tertinggal dlm saringan (gr)	Brt.Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Presentase sampel yg tertinggal (%)	Kumulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	1	4,39	4,39	0,00	0,00	0,00	100,00
2,000	2	4,13	6,78	2,65	1,33	1,33	98,68
0,850	3	4,42	7,93	3,51	1,76	3,08	96,92
0,425	4	4,64	9,55	4,91	2,45	5,53	94,47
0,250	5	4,43	9,68	5,25	2,63	8,16	91,84
0,180	6	4,16	8,54	4,38	2,19	10,35	89,65

0,150	7	4,29	7,42	3,13	1,57	11,91	88,09
0,075	8	4,23	17,91	13,68	6,84	18,75	81,25
0,000	9	4,16	16,02	11,86	5,93	24,68	75,32
				49,37	24,68		

Tabel 4. 13 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Tanah Campuran 4

Diameter saringan	No. Cawan	Brt. Cawan (gr)	Brt.Sampel+cwn yg tertinggal dlm saringan (gr)	Brt.Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Presentase sampel yg tertinggal (%)	Kumulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	1	4,15	4,23	0,08	0,04	0,04	100,00
2,000	2	4,32	12,80	8,48	4,24	4,28	95,72
0,850	3	4,14	9,26	5,12	2,56	6,84	93,16
0,425	4	4,19	10,06	5,87	2,94	9,78	90,23
0,250	5	4,37	13,90	9,53	4,77	14,54	85,46
0,180	6	4,13	12,91	8,78	4,39	18,93	81,07
0,150	7	4,40	6,88	2,48	1,24	20,17	79,83
0,075	8	4,49	13,31	8,82	4,41	24,58	75,42
0,000	9	4,09	7,49	3,40	1,70	26,28	73,72
				52,56	26,28		

Tabel 4. 14 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Tanah Campuran 5

Diameter saringan	No. Cawan	Brt. Cawan (gr)	Brt.Sampel+cwn yg tertinggal dlm saringan (gr)	Brt.Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Presentase sampel yg tertinggal (%)	Kumulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	1	4,15	4,15	0,00	0,00	0,00	100,00
2,000	2	4,32	8,38	4,06	2,03	2,03	97,97
0,850	3	4,14	7,25	3,11	1,56	3,59	96,42
0,425	4	4,19	12,62	8,43	4,22	7,80	92,20

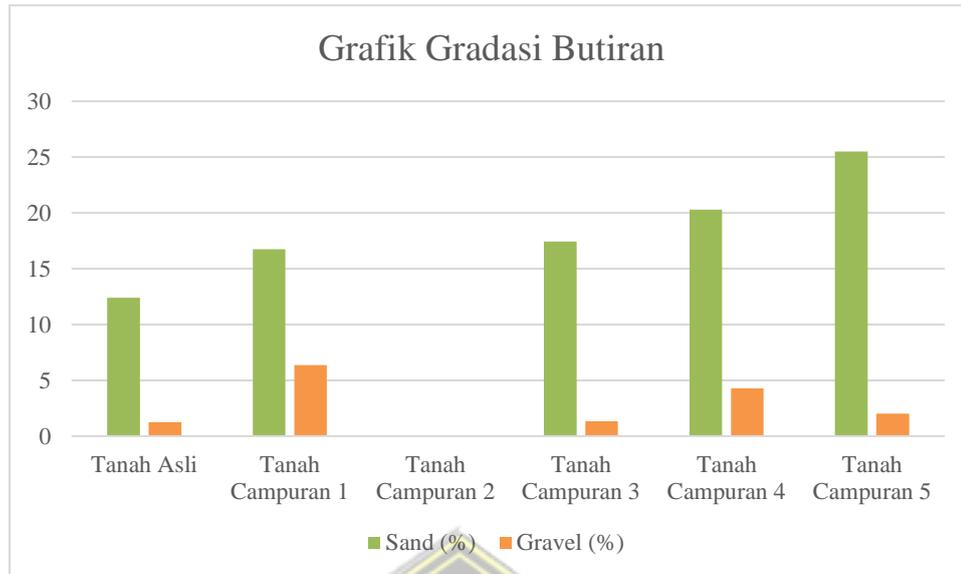
0,250	5	4,37	15,30	10,93	5,47	13,27	86,74
0,180	6	4,13	12,65	8,52	4,26	17,53	82,48
0,150	7	4,40	8,91	4,51	2,26	19,78	80,22
0,075	8	4,49	20,00	15,51	7,76	27,54	72,47
0,000	9	4,09	21,72	17,63	8,82	36,35	63,65
				72,70	36,35		

Setelah diketahui hasil dari hydrometer analysis dan sieve analysis secara keseluruhan maka di dapatkan hasil pembagian ukuran butir tanah.

Tabel 4. 15 Hasil Grain Size

No	Sampel	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Gravel (%)
1	Tanah Asli	83,83	2,53	12,40	1,25
2	Tanah Campuran 1	70,44	6,44	16,76	6,36
3	Tanah Campuran 2	41,87	30,96	23,65	3,52
4	Tanah Campuran 3	60,25	20,99	17,43	1,33
5	Tanah Campuran 4	63,19	12,23	20,30	4,28
6	Tanah Campuran 5	42,43	30,03	25,51	2,03

Dari tabel tersebut dapat diperoleh grafik gradasi butiran seperti pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Grafik Gradasi Butiran

Menurut grafik gradasi butiran, seperti yang ditunjukkan pada Gambar.4.1 Tanah Asli memiliki persenan clay paling banyak, yang berarti termasuk ke tanah lempung.

4.3.2 Atterberg Limits

a. Batas Cair

Kadar air dalam tanah diukur melalui pengujian batas Atterberg, yang merupakan batas antara keadaan cair dan plastis.

Analisis hasil perhitungan data *liquid limit*

$$w = \frac{b-c}{c-a} \times 100\%$$

$$w = \frac{38,69-25,12}{25,12-4,37} \times 100\%$$

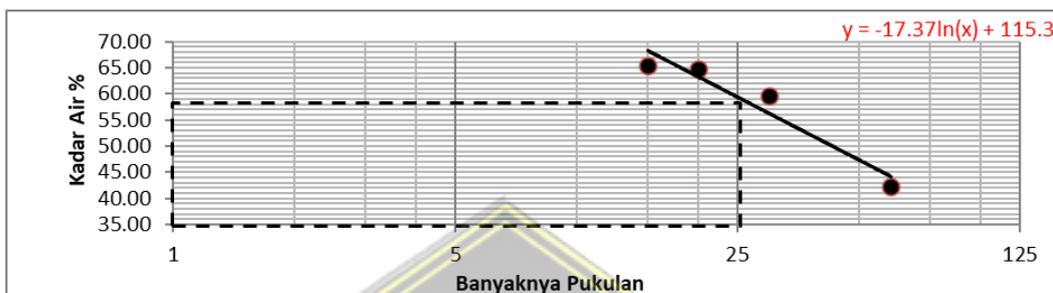
$$w = 22,27\%$$

Tabel 4. 16 Nilai Perhitungan Batas Cair

Sampel	Jumlah Ketukan	No. Cawan	Berat Cawan (gr) (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (gr) (b)	Berat Cawan + Tanah Kering (gr) (c)	w (%)	LL (%)
Tanah Asli 100%	15	1	4,37	38,69	25,12	65,40	59,39
	20	2	6,15	32,06	21,88	64,76	
	30	3	4,22	38,60	25,76	59,61	
	60	4	4,23	28,36	21,20	42,19	
Tanah Campuran 1	12	1	4,44	33,31	24,69	41,58	39,47
	14	2	4,35	40,89	30,29	40,86	
	27	3	4,20	48,65	35,93	40,09	
	40	4	4,17	39,60	29,92	37,59	
Tanah Campuran 2	8	1	4,15	41,95	32,08	35,34	30,31
	11	2	4,08	47,85	36,59	34,64	
	25	3	4,35	43,35	34,03	31,40	
	35	4	4,40	40,58	32,72	27,75	
Tanah Campuran 3	15	1	4,12	35,53	29,81	22,27	21,41
	23	2	4,33	31,55	26,77	21,30	
	30	3	4,06	29,93	25,41	21,17	
	45	4	4,15	31,23	26,59	20,68	
Tanah Campuran 4	19	1	4,38	23,75	20,04	23,69	20,58
	22	2	4,06	29,96	25,50	20,80	
	31	3	4,45	28,63	24,91	18,18	
	40	4	4,10	26,92	23,55	17,33	
Tanah Campuran	14	1	4,40	33,55	27,50	26,19	22,78
	20	2	4,28	27,58	23,17	23,35	

5	32	3	4,12	28,78	24,50	21,00
	45	4	4,32	31,51	26,90	20,42

Berdasarkan hasil perhitungan batas air pada Tabel 4.16, maka dapat diperoleh grafik *liquid limit* untuk sampel tanah asli di Jl. PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah seperti Gambar 4.2



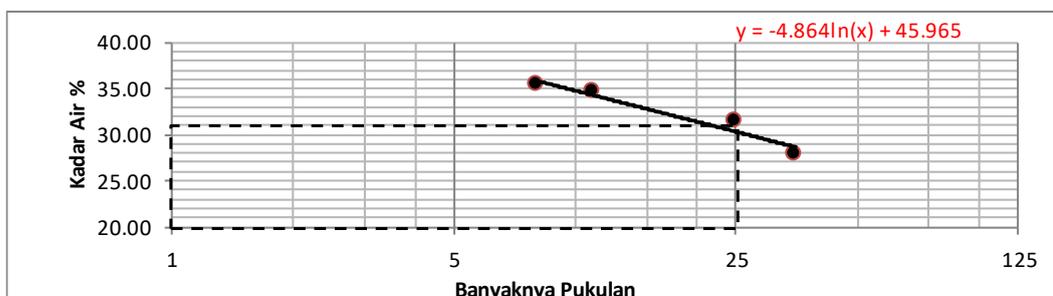
Gambar 4. 2 Grafik *Liquid Limit* sampel Tanah Asli

Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafik di Gambar 4.2 adalah sebesar 59,39%.



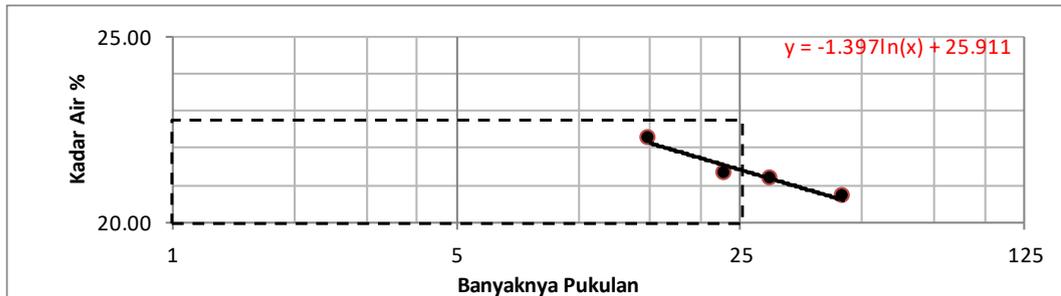
Gambar 4. 3 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 1

Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafik di Gambar 4.3. adalah sebesar 39,47%.



Gambar 4. 4 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 2

Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafik di Gambar 4.4. adalah sebesar 30,31%.



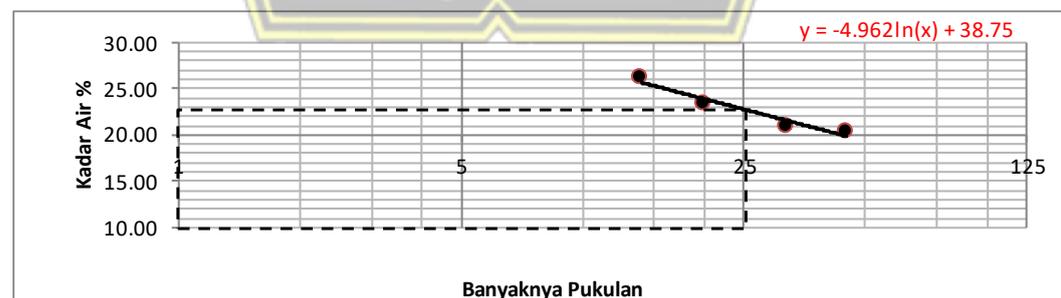
Gambar 4. 5 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 3

Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafik di Gambar 4.5 adalah sebesar 21,41%.



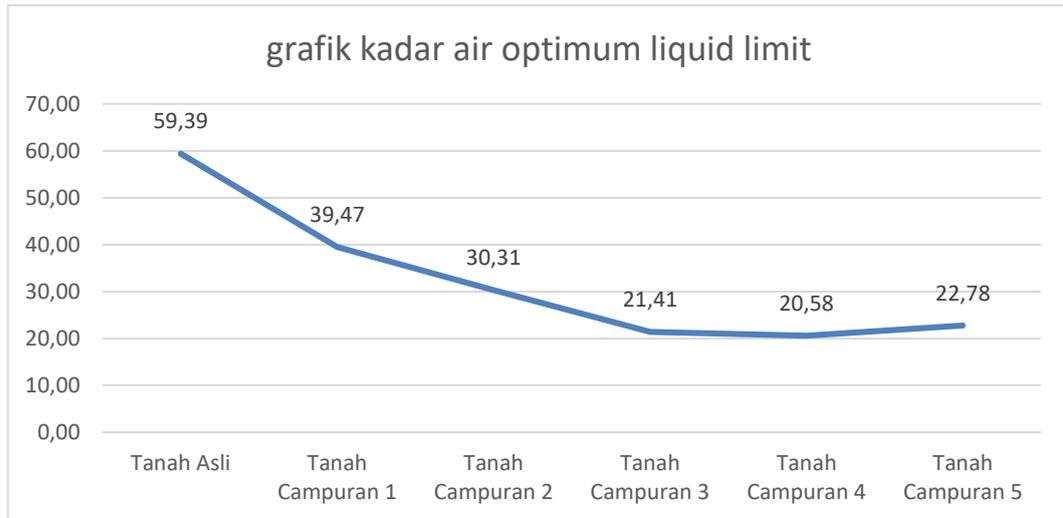
Gambar 4. 6 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 4

Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafik di Gambar 4.6 adalah sebesar 20,58%.



Gambar 4. 7 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 5

Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafik di Gambar 4.7 adalah sebesar 22,78%.



Gambar 4. 8 Kadar Air Optimum *Liquid Limit*

Menurut grafik kadar air optimum, seperti yang ditunjukkan pada Gambar.4.8, karena campuran *fly ash* lebih tinggi dari *bottom ash*, batas cairan semakin kecil.

b. Batas Plastis

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui kondisi tanah selamakadar air rendah.

Analisis hasil eksperimen data batas plastis

$$w = \frac{b-c}{c-a} \times 100\%$$

$$w = \frac{9,20-8,02}{8,02-4,14} \times 100\%$$

$$w = 30,42\%$$

Tabel 4. 17 Nilai perhitungan Batas Plastis

Sampel	No.Cawan	Berat Cawan (gr) (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (gr) (b)	Berat Cawan + Tanah kering (gr) (c)	W (%)	PL(%)
Tanah Asli	5	4,14	9,20	8,02	30,42	30,41
Tanah	5	4,18	13,54	11,55	27,00	27,00

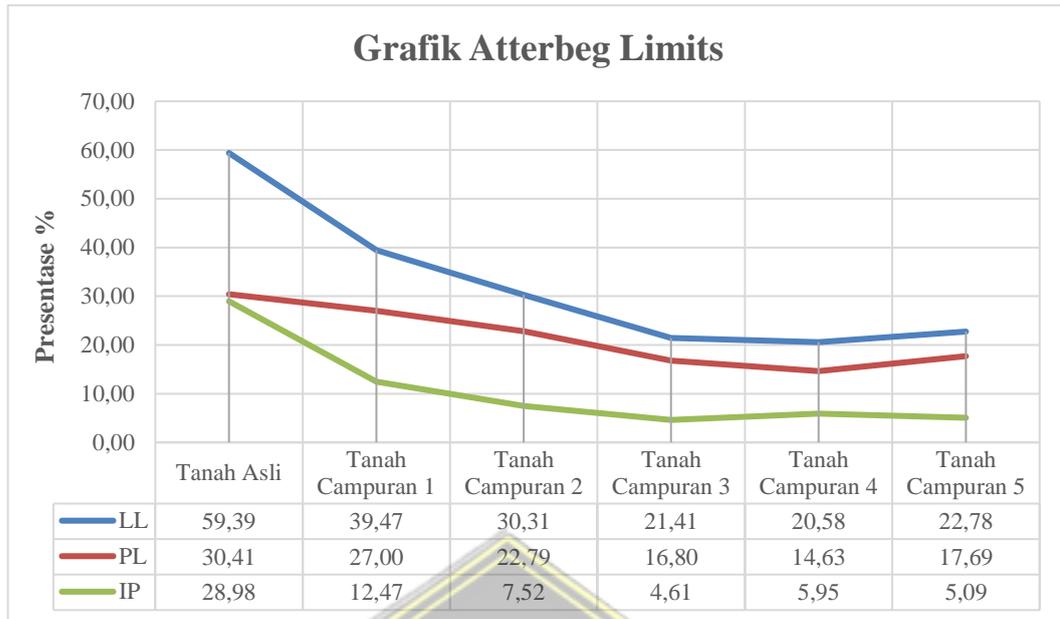
Campuran 1						
Tanah Campuran 2	5	4,38	12,03	10,61	22,79	22,79
Tanah Campuran 3	5	4,34	16,02	14,34	16,80	16,80
Tanah Campuran 4	5	4,13	15,49	14,04	14,63	14,63
Tanah Campuran 5	5	4,12	15,03	13,39	17,69	17,69

Setelah diketahui batas cair dan batas plastisnya hasil perhitungan secara keseluruhan dapat dihitung nilai (*IP*) dan didapat hasil perhitungan seperti pada Tabel 4. 17.

$$\begin{aligned}
 IP &= LL - PL \\
 &= 66,93 - 33,91 \\
 &= 33,02\%
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 18 Hasil Indeks Plastisitas

Sampel	LL %	PL %	IP %
Tanah Asli	59,39	30,41	28,98
Tanah Campuran 1	39,47	27,00	12,47
Tanah Campuran 2	30,31	22,79	7,52
Tanah Campuran 3	21,41	16,80	4,61
Tanah Campuran 4	20,58	14,63	5,95
Tanah Campuran 5	22,78	17,69	5,09



Gambar 4. 9 Grafik ATL Tanah Asli dan Campuran *fly ash* dan *bottom ash*

Pada Gambar 4.9 terlihat bahwa tanah yang distabilisasi menggunakan *fly ash* dan *bottom ash* menunjukkan bahwa nilai IP tanah, semakin banyak diberikan campuran, nilai IP semakin menurun karena akibat dari peningkatan sifat tanah, yang berarti bahwa daya dukung tanah meningkat.

4.3.3 Direct Shear

Untuk menentukan kohesi tanah dan sudut geser sampel, uji geser langsung dilakukan Hasil dari pengujian, berikut datanya

Diameter ring = 6,3 cm

Berat ring = 0,0274 kg

Kalibrasi Proving Ring = 0,376 kg/div

Koreksi Beban: 1 kg = 1,003kg

2 kg = 2,006 kg

4 kg = 4,123 kg

Kemudian dianalisis menggunakan perhitungan seperti berikut :Contoh perhitungan adalah berikut:

1. Tegangan Normal (σ_n)

$$\sigma_n = \frac{p}{F} \rightarrow F = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$F = \frac{1}{4} \times \pi \times 6,3^2$$

$$= 31,156 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_n = \frac{\text{Berat Beban} + \text{Berat Ring}}{\text{Luas Penampang}}$$

$$= \frac{1,003 + 0,0274}{31,156}$$

$$= 0,032 \text{ kg/cm}^2$$

2. Tegangan Geser (σ_s)

$$\sigma_s = \frac{\text{Gaya Geser}}{F}$$

$$= \frac{29 \times 0,376}{31,06}$$

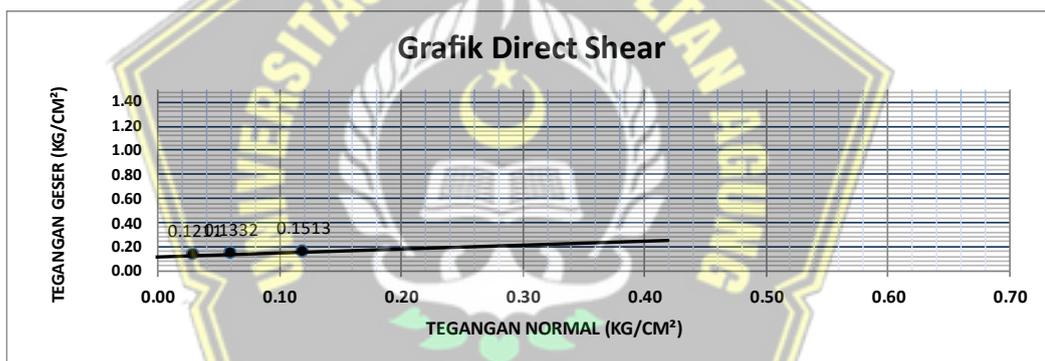
$$= 0,3511 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Tabel 4. 19 Hasil perhitungan penembakan langsung sampel tanah asli dan campuran *Fly Ash* dan *Bottom ash*

Sampel	Percobaan	Beban (kg/cm ³)	Koreksi Beban (kg/cm ³)	Pembacaan Dial	Tegangan Normal (σ_n)	Tegangan Geser (σ_s)
Tanah Asli	1	1	1,003	10	0,029	0,121
	2	2	2,006	11	0,060	0,133
	3	4	4,123	12,5	0,119	0,151
Tanah Campuran 1	1	1	1,003	12	0,028	0,145
	2	2	2,006	14	0,057	0,169
	3	4	4,123	16	0,114	0,193
Tanah Campuran 2	1	1	1,003	13	0,030	0,157
	2	2	2,006	15,5	0,061	0,187
	3	4	4,123	17	0,123	0,205
Tanah Campuran	1	1	1,003	6	0,028	0,072
	2	2	2,006	7	0,058	0,084

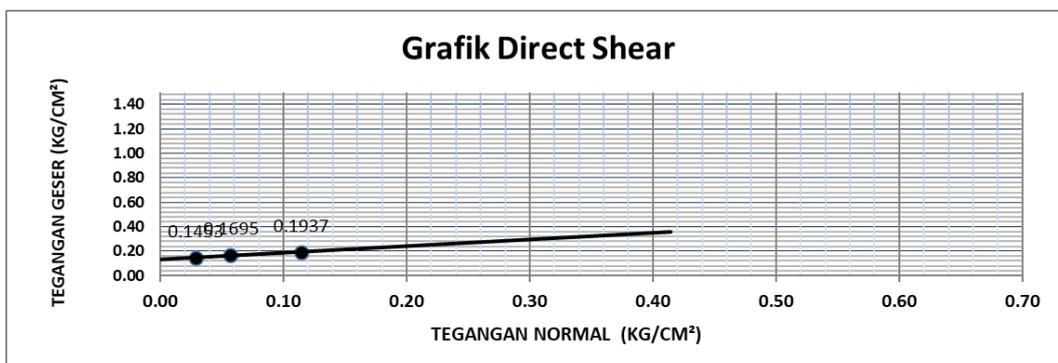
3	3	4	4,123	9	0,115	0,109
Tanah	1	1	1,003	9,5	0,026	0,115
	2	2	2,006	11	0,054	0,133
Campuran	4	3	4,123	12,5	0,108	0,151
	3	4	4,123	12,5	0,108	0,151
Tanah	1	1	1,003	8,5	0,025	0,102
Campuran	2	2	2,006	9	0,051	0,109
	5	3	4,123	11	0,102	0,133

Nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) sesuai, karena ada garis yang menghubungkan tiga titik pada grafik, sehingga dapat digunakan untuk membuat grafik perbandingan antara tegangan normal dan tegangan geser dengan kondisi tanah uji. Gambar 4.10 menunjukkan diagram gaya geser langsung dari sampel tanah asli



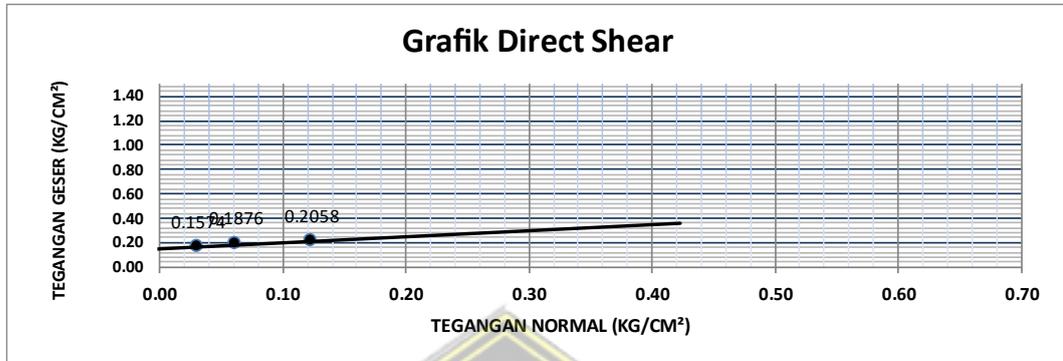
Gambar 4. 10 Grafik *Direct Shear* Tanah Asli

Berdasarkan Gambar 4.10 grafik *Direct Shear* Tanah Asli tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,121; 0,133; 0,151 dan nilai tegangan normal 0,029; 0,060; 0,119.



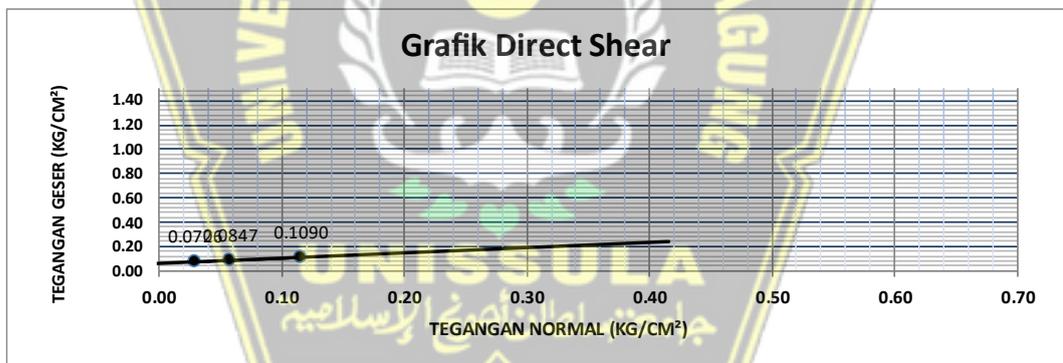
Gambar 4. 11 Grafik *Direct Shear* Tanah Campuran 1

Berdasarkan Gambar 4.11 grafik *Direct Shear* Tanah Campuran 1 tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,145; 0,169; 0,193 dan nilai tegangan normal 0,028; 0,057; 0,114.



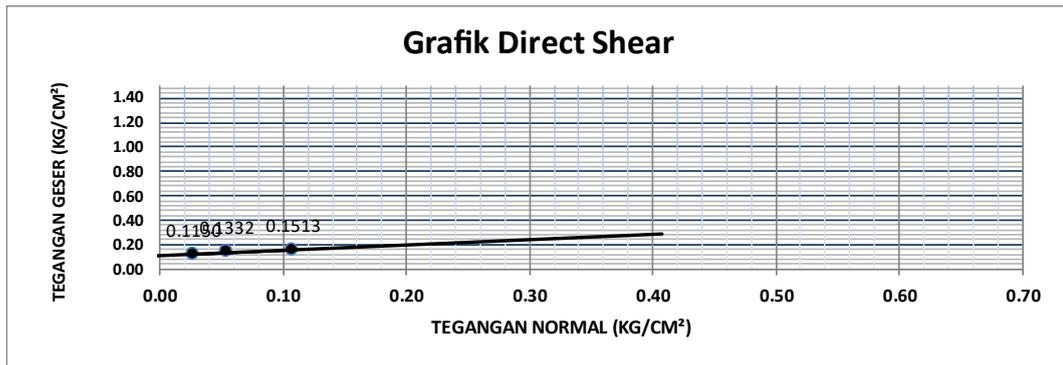
Gambar 4. 12 Grafik *Direct Shear* Tanah Campuran 2

Berdasarkan Gambar 4.12 Grafik *Direct Shear* Tanah Campuran 2 diperoleh nilai Tegangan Geser 0,157; 0,187; 0,205 dan nilai Tegangan normal 0,030; 0,061, 0,123.



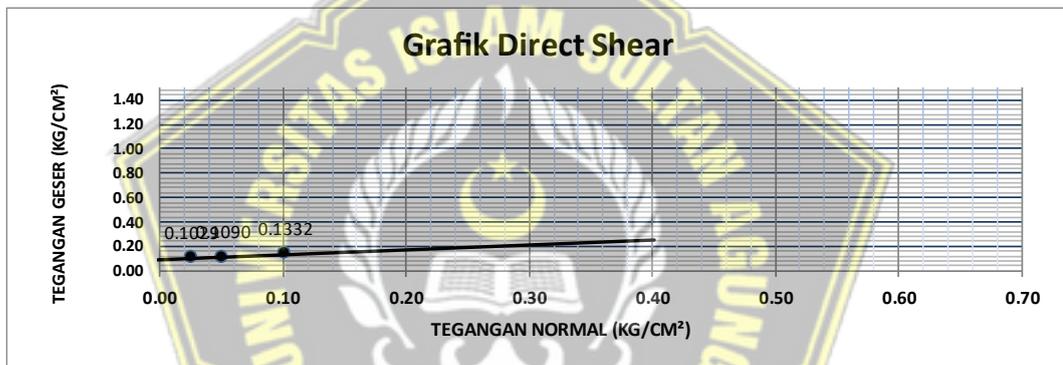
Gambar 4. 13 Grafik *Direct Shear* Tanah Campuran 3

Berdasarkan Gambar 4.13 Grafik *Direct Shear* Tanah Campuran 3 tersebutdiperoleh nilai Tegangan Geser 0,072; 0,847; 0,109 dan nilai Tegangan normal 0,028; 0,058; 0,115.



Gambar 4. 14 Grafik *Direct Shear* Tanah Campuran 4

Berdasarkan Gambar 4.14 Grafik *Direct Shear* Tanah Campuran 4 tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,115; 0,133; 0,151 dan nilai Tegangan normal 0,026; 0,054; 0,108.



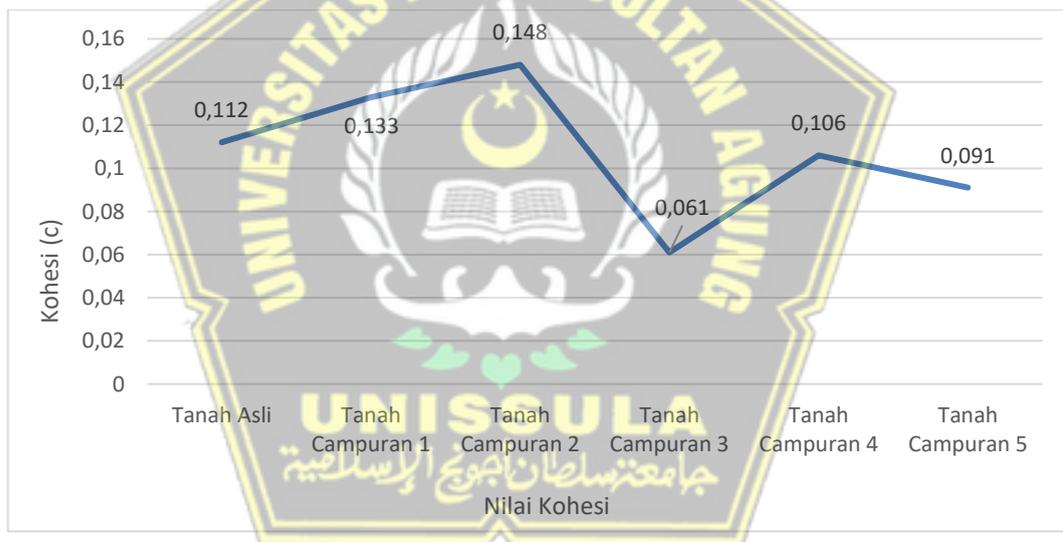
Gambar 4. 15 Grafik *Direct Shear* Tanah Campuran 5

Berdasarkan Gambar 4.15 Grafik *Direct Shear* Tanah Campuran 5 tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,102; 0,109; 0,133 dan nilai Tegangan normal 0,025; 0,051; 0,102.

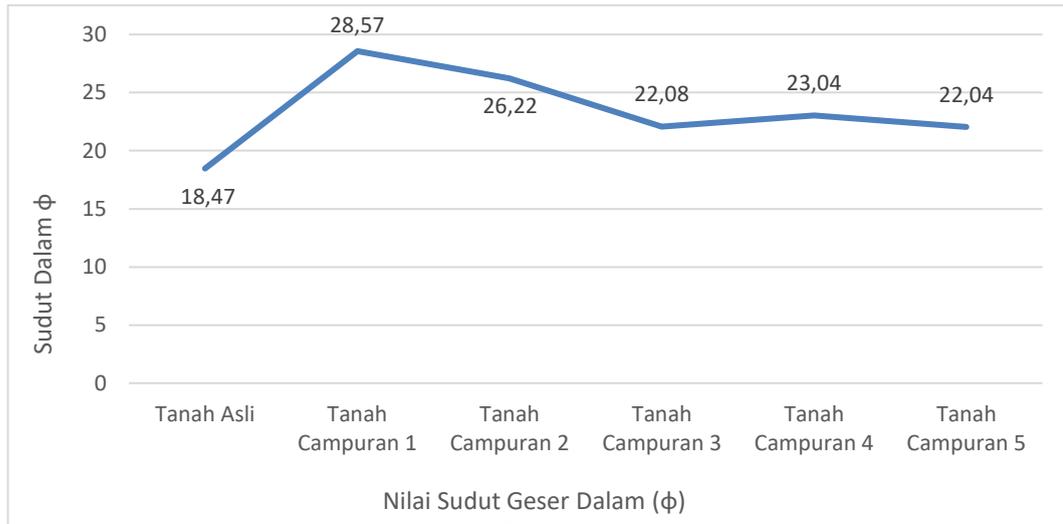
Tabel 4. 20 Hasil Penggambaran *Direct Shear*

No	Sampel	Kohesi (c) (Kg/cm ²)	Sudut Geser Dalam (ϕ)(^o)
1	Tanah Asli	0,112	18,47
2	Tanah Campuran 1	0,133	28,57
3	Tanah Campuran 2	0,148	26,22
4	Tanah Campuran 3	0,061	22,08
5	Tanah Campuran 4	0,106	23,04
6	Tanah Campuran 5	0,091	22,04

Dari Tabel 4. 20 hasil penggambaran *Direct Shear* tersebut diperoleh grafik nilai kohesi (c) dari tiap sampel seperti pada Gambar 4.16



Gambar 4. 16 Grafik Nilai Kohesi Tanah Asli dan Campuran *Fly Ash* dan *Bottom Ash*



Gambar 4. 17 Grafik Nilai Sudut Geser Dalam Tanah Asli dan Campuran *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

Berdasarkan Gambar 4. 16 dan 4. 17 diatas dapat diartikan maka semakin tinggi nilai kohesi dan sudut geser maka semakin baik daya dukung tanahnya. Nilai kohesi tanah yang tinggi ditemukan berdasarkan hasil uji *Direct shear* di presentase (Tanah Campuran 2) yakni $0,148 \text{ kg/cm}^2$. Namun, pada sudut geser nilai yang paling tinggi yakni pada presentase (Tanah Campuran 1) yakni 28,570%.

4.3.4 Proctor Modified

Percobaan Proctor Modified ini menggunakan tingkat air yang berbeda untuk setiap sampel untuk menentukan kadar air tanah ideal (W_{opt}), berat volume basah ideal (γ_{opt}), berat volume kering ideal ($\gamma_{d_{opt}}$), dan persentase pori/pori pada tanah sampel. Tabel 4.20 menampilkan data yang diperoleh dari hasil uji laboratorium.

Tabel 4. 21 Hasil Pengujian *Proctor Modified*

Sampel	Nomor Percobaan	Volume Air (cc)	Berat Alat + Tanah (gr)	No. Cawan	Berat Cawan (gr) (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (gr) (b)	Berat cawan + tanah Kering (gr) (c)
Tanah Asli	I	0	6472	1	4,37	37,94	32,73
	II	250	6607	2	4,46	42,60	35,69
	III	350	6890	3	4,20	52,11	40,58
	IV	500	6700	4	4,20	62,98	47,78
	V	650	6652	5	4,31	45,72	33,20
Tanah Campuran 1	I	200	6850	6	4,33	38,51	32,65
	II	300	6920	7	4,46	42,60	34,50
	III	500	7101	8	4,49	61,77	48,11
	IV	600	6810	9	4,43	66,99	50,20
	V	700	6700	10	4,60	49,94	37,39
Tanah Campuran 2	I	200	7528	11	4,09	23,15	20,67
	II	300	7649	12	4,52	21,50	18,95
	III	400	7736	13	4,05	35,04	29,31
	IV	500	7638	14	3,95	35,65	28,85
	V	700	7542	15	4,27	44,83	34,28
Tanah Campuran 3	I	250	6983	16	4,12	24,77	22,10
	II	350	7152	17	4,21	36,54	30,97
	III	450	7065	18	4,37	46,63	38,33
	IV	550	6999	19	4,10	43,78	35,25
	V	700	6780	20	4,27	44,83	34,28

Tanah Campuran 4	I	250	7583	21	4,48	22,06	19,83
	II	350	7721	22	4,23	23,13	20,10
	III	450	7705	23	4,44	34,22	28,82
	IV	550	7555	24	4,27	37,35	30,22
	V	700	7420	25	4,27	44,83	34,28
Tanah Campuran 5	I	200	6095	26	4,25	24,12	21,68
	II	300	6095	27	4,18	24,68	21,56
	III	400	6095	28	4,33	34,17	28,76
	IV	500	6095	29	4,24	38,51	30,94
	V	600	6095	30	4,30	40,33	31,66

Data alat :

Berat alat = 5254 gram

Tinggi alat = 11,5 cm

Diameter alat = 10 cm

Analisis data tersebut kemudian dihitung seperti berikut :

1. Volume alat

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot t \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (10)^2 \times 11,50 \\
 &= 902,75 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

2. Berat tanah basah

$$\begin{aligned}
 &= (\text{Berat Proctor} + \text{Tanah}) - \text{Berat Proctor}(\text{alas} + 1) \\
 &= 6472 - 5254 \\
 &= 1218 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

3. Berat Volume Tanah Basah (γ_b)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Berat Tanah Basah}}{\text{Volume Cetakan}} \\
 &= \frac{1218}{902,75}
 \end{aligned}$$

$$= 1,35 \text{ gr/cm}^3$$

4. Kadar Air (w) —

$$= \frac{b-c}{c-a} \times 100\%$$

Dimana: a = Nilai Berat Cawan (gram)

b = Nilai Berat Cawan + Tanah Basah (gram)

c = Nilai Berat Cawan + Tanah Kering (gram)

$$= \frac{37,94-32,73}{32,73-4,37} \times 100\%$$

$$= 18,37\%$$

5. Berat volume tanah kering (γ_k)

$$= \frac{\gamma_b}{1+w}$$

$$= \frac{1,35}{1 + 0,1837}$$

$$= 1,14 \text{ gr/cm}^3$$

6. Zero air void (ZAV)

$$= \frac{G_s \times \gamma_w}{1+(G_s+w)}$$

$$= \frac{2,319 \times 1}{1+(2,319+0,1837)}$$

$$= 1,63 \text{ gr/cm}^3$$

Tabel 4. 22 menunjukkan hasil perhitungan secara keseluruhan untuk Tanah Asli, sedangkan Tabel 4.23 menunjukkan hasil perhitungan secara keseluruhan untuk Tanah Campuran *Fly Ash* dan *Bottom ash*

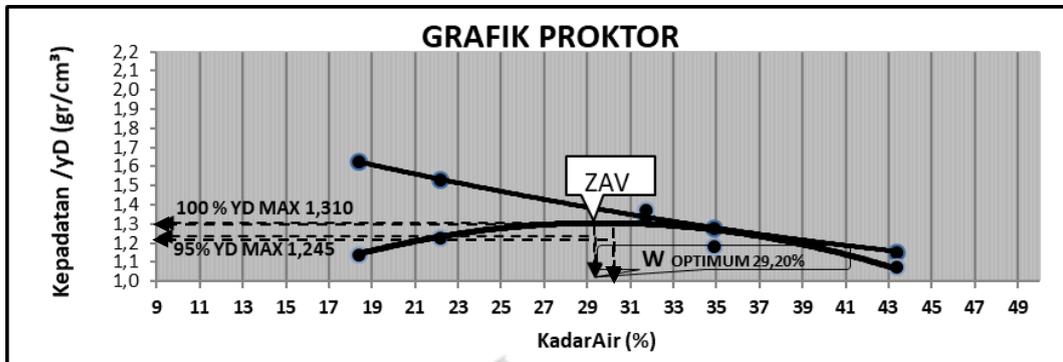
Tabel 4. 22 Nilai Perhitungan *Proctor Modified* Tanah Asli

Sampel	No. Percobaan	w (%)	GS (gr/cm ³)	γ_b (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	ZAV
Tanah Asli	I	18,73	2,319	1,35	1,14	1,63
	II	22,13	2,319	1,50	1,23	1,53
	III	31,69	2,319	1,81	1,38	1,34
	IV	34,88	2,319	1,60	1,19	1,28
	V	43,34	2,319	1,55	1,08	1,16

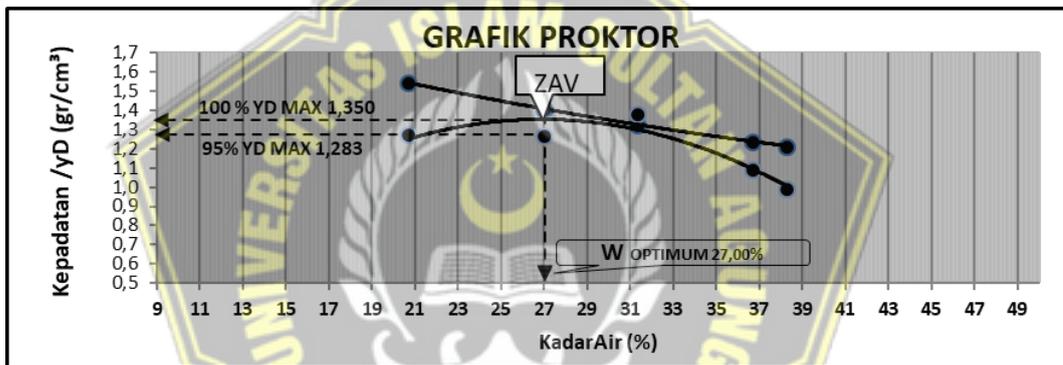
Tabel 4. 23 Nilai Perhitungan *Proctor Modified* campuran *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

Sampel	No. Percobaan	w (%)	GS (gr/cm ³)	γ _b (gr/cm ³)	γ _d (gr/cm ³)	ZAV
Tanah Campuran 1	I	20,69	2,269	1,54	1,27	1,54
	II	26,96	2,269	1,61	1,27	1,41
	III	31,32	2,269	1,81	1,38	1,33
	IV	36,68	2,269	1,49	1,09	1,24
	V	38,27	2,269	1,37	0,99	1,21
Tanah Campuran 2	I	14,96	2,245	1,53	1,33	1,68
	II	17,67	2,245	1,66	1,41	1,61
	III	22,68	2,245	1,76	1,43	1,49
	IV	27,31	2,245	1,65	1,29	1,39
	V	35,15	2,245	1,54	1,14	1,25
Tanah Campuran 3	I	14,85	2,227	1,63	1,42	1,67
	II	20,81	2,227	1,82	1,50	1,52
	III	24,44	2,227	1,72	1,38	1,44
	IV	27,38	2,227	1,65	1,29	1,38
	V	35,15	2,227	1,41	1,04	1,25
Tanah Campuran 4	I	14,53	2,033	1,55	1,36	1,57
	II	19,09	2,033	1,71	1,43	1,46
	III	22,15	2,033	1,69	1,38	1,40
	IV	27,48	2,033	1,52	1,19	1,30
	V	35,15	2,033	1,37	1,02	1,19
Tanah Campuran 5	I	14,00	2,254	1,58	1,38	1,71
	II	17,95	2,254	1,66	1,40	1,60
	III	22,14	2,254	1,77	1,45	1,50

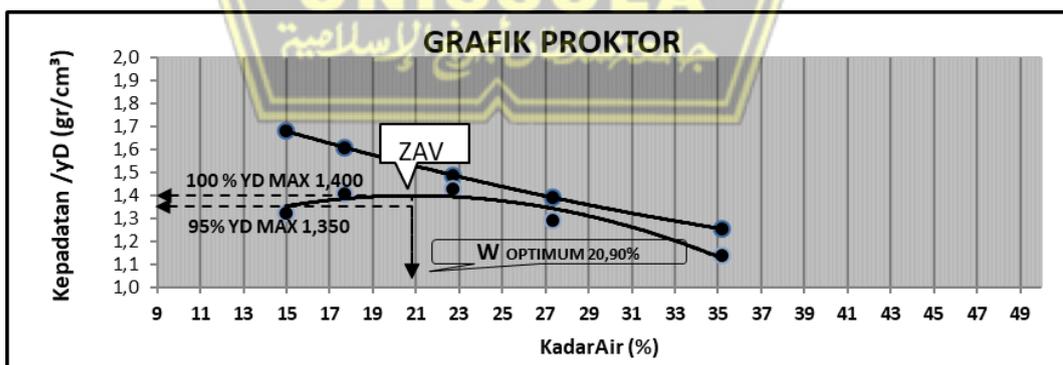
IV	28,35	2,254	1,74	1,36	1,38
V	31,69	2,254	1,66	1,26	1,31



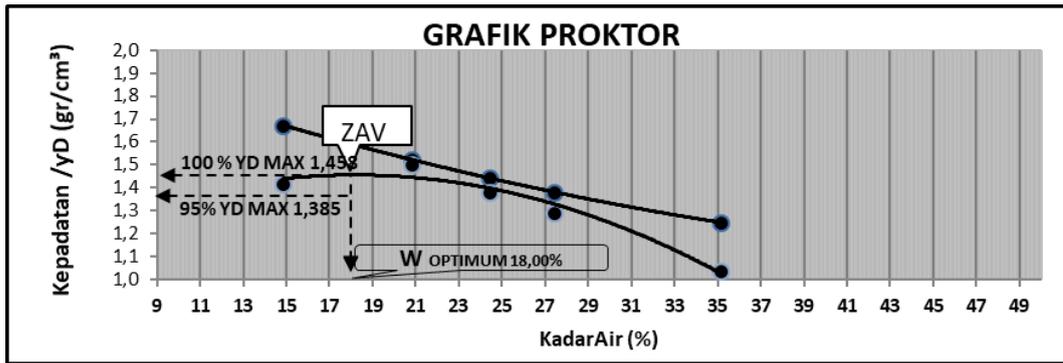
Gambar 4. 18 Grafik W_{opt} yang menunjukkan sampel Tanah Asli



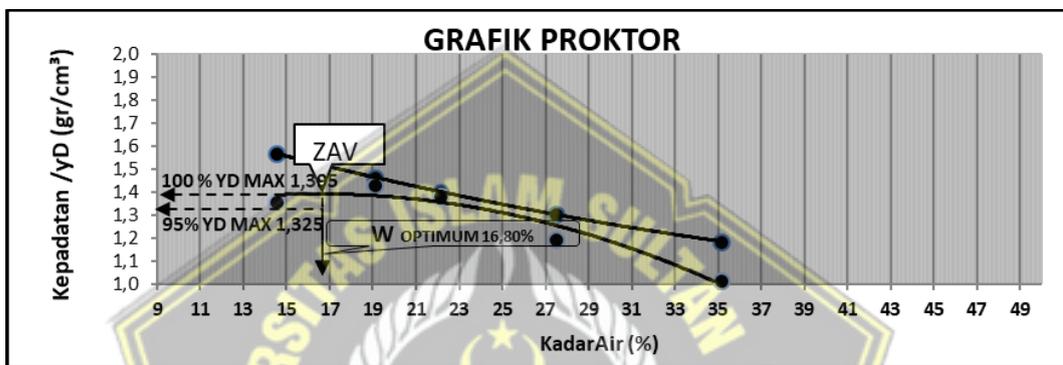
Gambar 4. 19 Grafik W_{opt} sampel Tanah Campuran 1



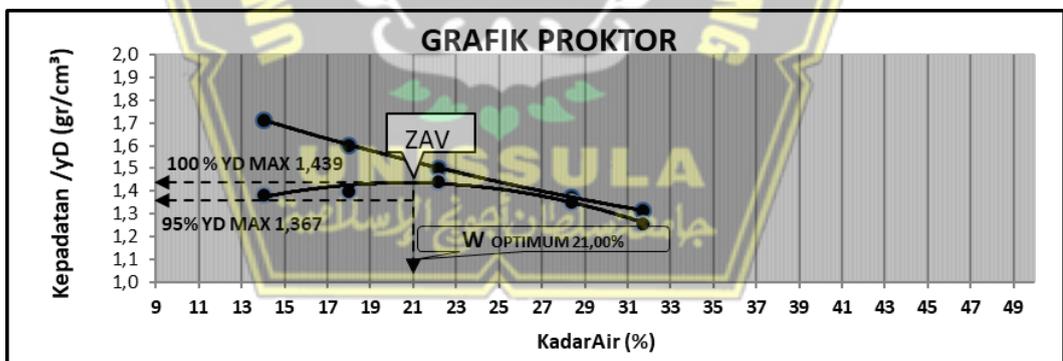
Gambar 4. 20 Grafik W_{opt} sampel Tanah Campuran 2



Gambar 4. 21 Grafik W_{opt} sampel Tanah Campuran 3



Gambar 4. 22 Grafik W_{opt} sampel Tanah Campuran 4

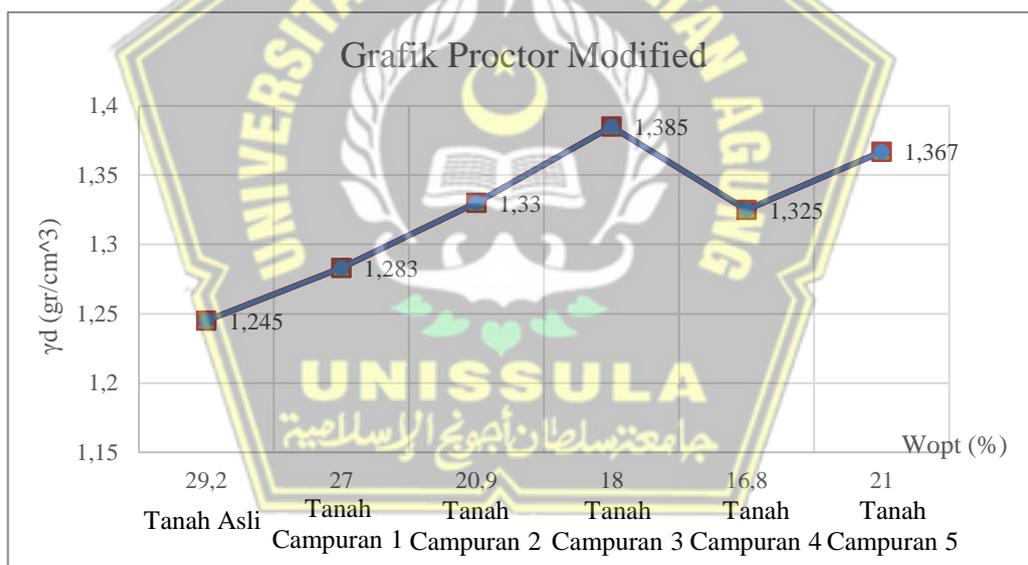


Gambar 4. 23 Grafik W_{opt} sampel Tanah Campuran 5

Tabel 4. 24 Hasil *Proctor Modified* dari Tanah Asli yang terdiri dari campuran *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

No	Sampel	W _{opt} (%)	γ _a (gr/cm ³)
1	Tanah Asli	29,20	1,245
2	Tanah Campuran 1	27,00	1,283
3	Tanah Campuran 2	20,90	1,330
4	Tanah Campuran 3	18,00	1,385
5	Tanah Campuran 4	16,80	1,325
6	Tanah Campuran 5	21,00	1,367

Dari tabel tersebut dapat diperoleh grafik kadar air optimum (W_{opt}) seperti pada Gambar 4.24



Gambar 4. 24 Grafik Proctor Modified yang menunjukkan contoh Tanah Asli yang mengandung campuran *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

Berdasarkan dari gambar 4.24 di atas, dapat dilihat bahwa kecenderungan (*trens*) grafik *proctor modified* semakin banyak diberikan campuran *Fly ash* dan *Bottom ash* semakin kecil (w_{opt}) dan semakin besar γ_d (gr/cm³), ini berarti karakter daya dukung tanah semakin meningkat (karakter tanah semakin baik). Wopt tanah paling rendah diketahui pada campuran 4 yakni 16,80%.

4.3.5 California Bearing Ratio (CBR)

California Bearing Ratio (CBR) digunakan untuk menghitung nilai daya dukung tanah dengan kerapatan tertinggi. Tabel 4.25 dan 4.26 menunjukkan data hasil pengujian CBR, yang menggunakan kadar air yang paling ideal yang dihasilkan dari Uji *Proctor Modified*.

Tabel 4. 25 Hasil Pengujian Tanah asli dan Campuran *Fly ash* dan *Bottom Ash* 56 × tumbukan

Sampel	No	Berat Alat + Tanah (gr)	Berat Cawan (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (b)	Berat Cawan + Tanah Kering (c)
Tanah Asli	1	11161	4,00	42,15	30,43
Tanah Campuran 1	2	11250	4,11	44,91	32,10
Tanah Campuran 2	3	11057	4,41	32,75	24,60
Tanah Campuran 3	4	10910	4,13	35,13	25,90
Tanah Campuran 4	5	11065	4,44	32,13	23,70
Tanah Campuran 5	6	11090	5,97	34,51	26,3

Data alat

Berat tabung = 7167 gram

Tinggi tabung = 11,50 cm

Diameter tabung = 15 cm

Analisis hasil perhitungan pengujian CBR :

Untuk sampel tanah asli tumbukan, digunakan contoh perhitungan 56x.

1. Volume alat (V) $= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot t$
 $= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 11,50$
 $= 2031,1875 \text{ cm}^3$
2. Berat tanah basah = (berat alat + tanah) – berat alat (alas + 1)
 $= 11074 - 7167$
 $= 3907 \text{ gr}$
3. Berat volume tanah basah (γ_b)

$$= \frac{\text{Berat Tanah Basah}}{\text{Volume Alat}}$$

$$= \frac{3907}{2031,1875}$$

$$= 1.92 \text{ gr/cm}^3$$
4. Kadar air (W) $= \frac{b-c}{c-a} \times 100\%$
 Dimana: a = Nilai Berat Cawan (gram)
 b = Nilai Berat Cawan + Tanah Basah (gram)
 c = Nilai Berat Cawan + Tanah Kering (gram)

$$= \frac{42,15-30,43}{30,43-4,00} \times 100\%$$

$$= 44,34\%$$
5. Berat jenis tanah kering (γ_k)

$$= \frac{\gamma_b}{1+w}$$

$$= \frac{1,923}{1+0,4434}$$

$$= 1,36 \text{ gr/cm}^3$$

Data penetrasi dari setiap sampel juga diperoleh dari pengujian CBR di laboratorium, seperti yang ditunjukkan dalam table 4.26.

Menghitung pengurangan beban:

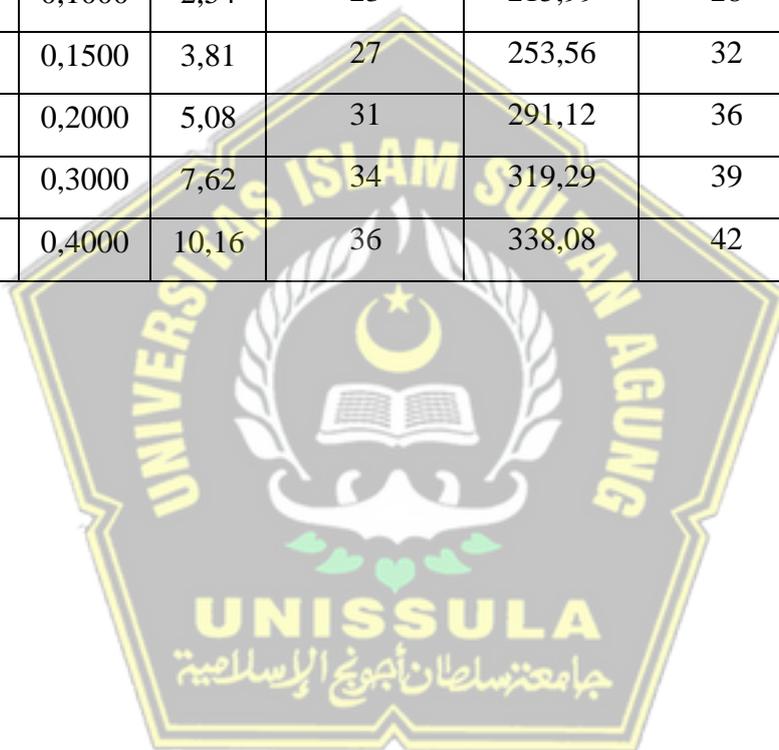
Koreksi beban = Kalibrasi Alat + Pembacaan Arloji CBR
 $= 9,391 \times 8$
 $= 75,13 \text{ lbs}$

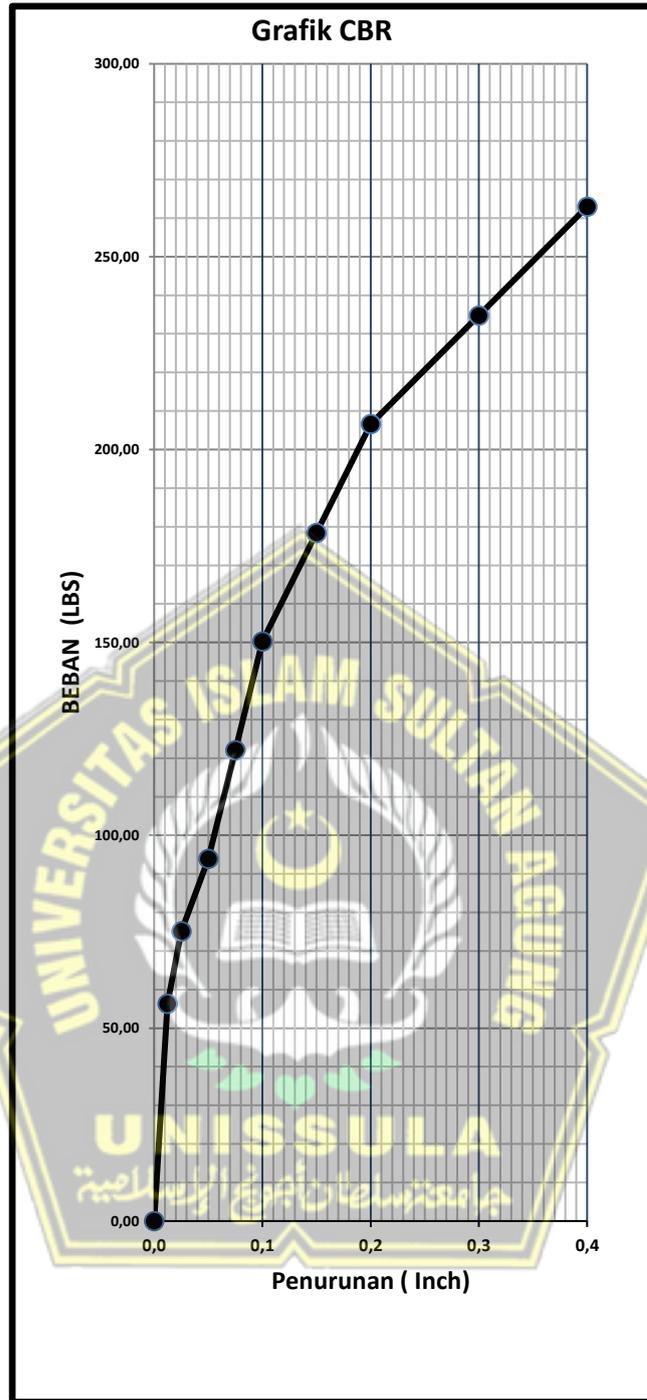
Tabel 4. 26 Hasil Penetrasi Sampel Tanah campuran *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

Kalibrasi : 9,391

t (menit)	Penurunan		Jumlah tumbukan			
	(inch)	(mm)	Tanah Asli		Tanah Campuran 1	
			Arloji Bawah	Koreksi	Arloji Bawah	Koreksi
1/4	0,0125	0,32	6	56,35	4	37,56
1/2	0,0250	0,64	8	75,13	6	56,35
1	0,0500	1,27	10	93,91	10	93,91
1,5	0,0750	1,91	13	122,08	14	131,47
2	0,1000	2,54	16	150,26	19	178,43
3	0,1500	3,81	19	178,43	22	206,60
4	0,2000	5,08	22	206,60	25	234,78
6	0,3000	7,62	25	234,78	28	262,95
8	0,4000	10,16	28	262,95	31	291,12
t (menit)	Penurunan		Jumlah tumbukan			
	(inch)	(mm)	Tanah Campuran 2		Tanah Campuran 3	
			Arloji Bawah	Koreksi	Arloji Bawah	Koreksi
1/4	0,0125	0,32	4	37,56	6	56,35
1/2	0,0250	0,64	8	75,13	11	103,30
1	0,0500	1,27	12	112,69	15	140,87
1,5	0,0750	1,91	19	178,43	19	178,43
2	0,1000	2,54	23	215,99	23	215,99
3	0,1500	3,81	26	244,17	27	253,56
4	0,2000	5,08	30	282,73	32	300,51
6	0,3000	7,62	33	309,90	35	328,69
8	0,4000	10,16	35	328,69	37	347,47

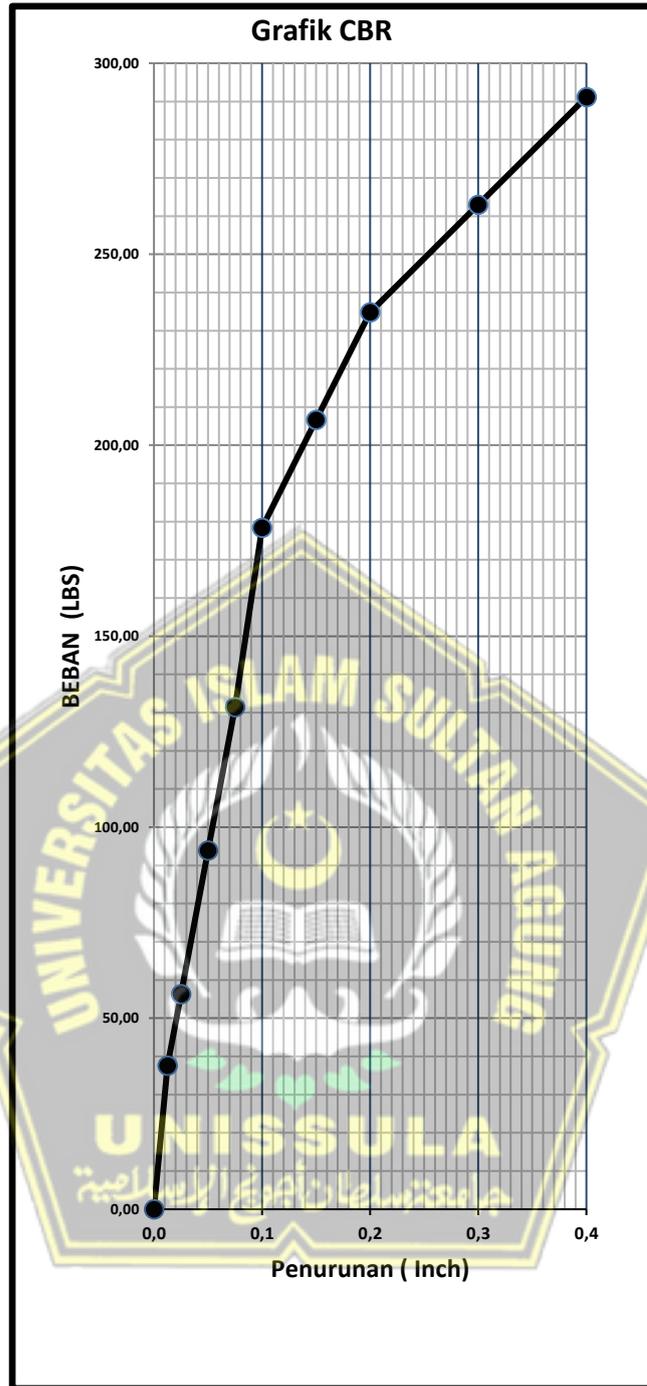
t (menit)	Penurunan		Jumlah tumbukan			
	(inch)	(mm)	Tanah Campuran 4		Tanah Campuran 5	
			Arloji Bawah	Koreksi	Arloji Bawah	Koreksi
1/4	0,0125	0,32	5	46,96	10	93,91
1/2	0,0250	0,64	11	103,30	14	131,47
1	0,0500	1,27	15	140,87	18	169,04
1,5	0,0750	1,91	19	178,43	23	215,99
2	0,1000	2,54	23	215,99	28	262,95
3	0,1500	3,81	27	253,56	32	300,51
4	0,2000	5,08	31	291,12	36	338,08
6	0,3000	7,62	34	319,29	39	366,25
8	0,4000	10,16	36	338,08	42	394,42





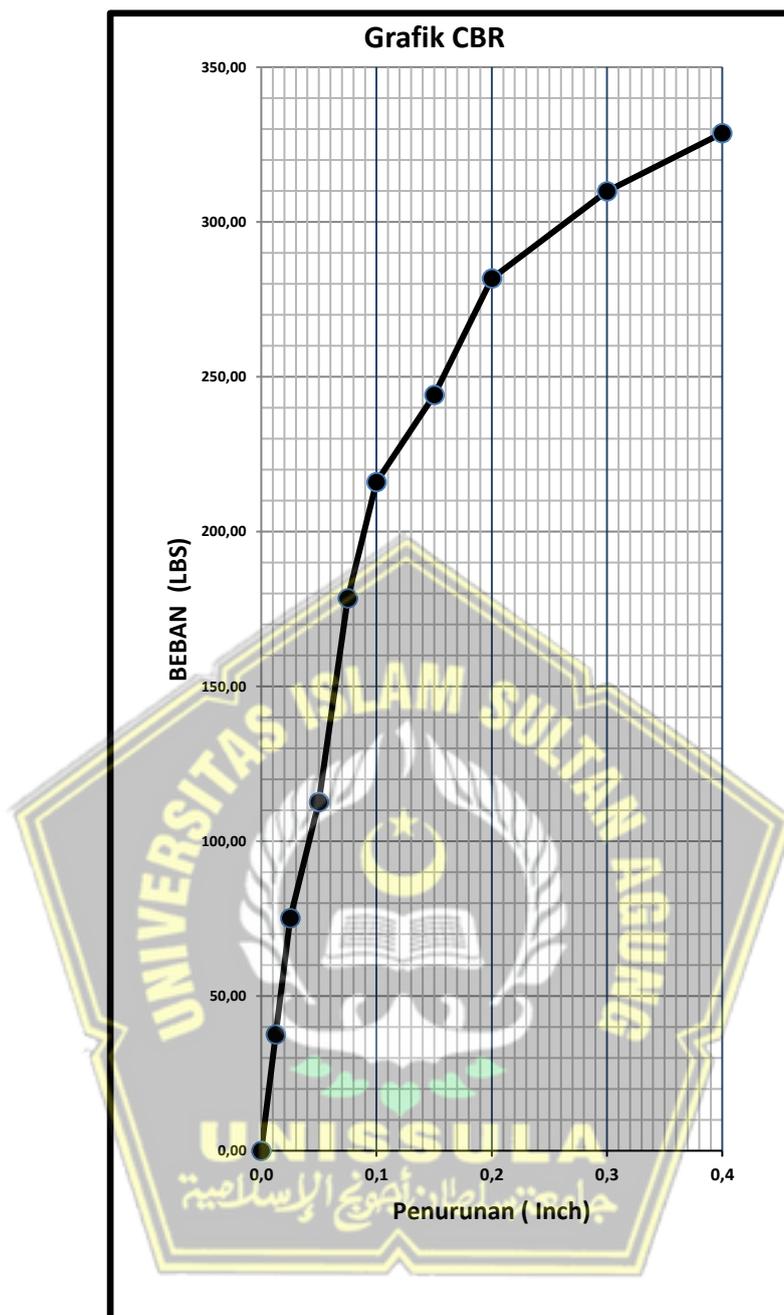
Gambar 4. 25 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Asli

Hasil pembacaan 0,1 inci sebesar 150,26 lbs dan 0,2 inci sebesar 206,60 lbs ditunjukkan padagrafik di atas.



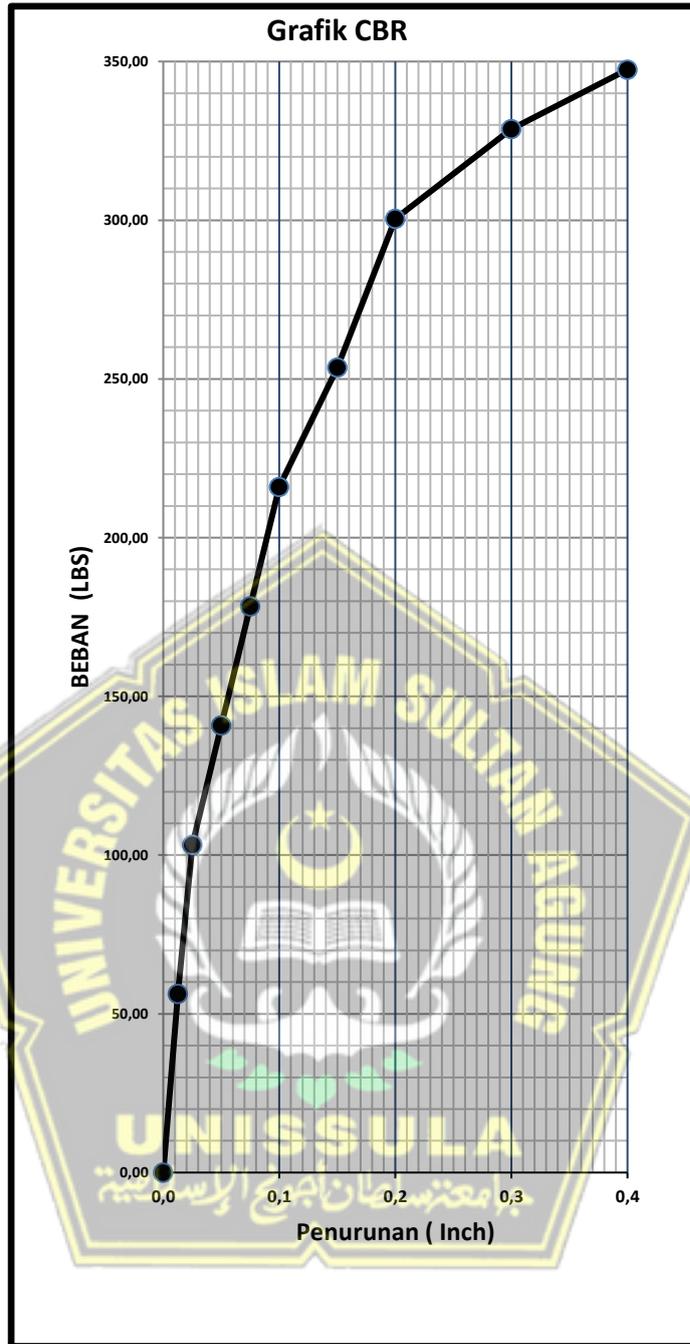
Gambar 4. 26 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran 1

Hasil pembacaan dial 0,1 inci sebesar 178,43 lbs dan 0,2 inci sebesar 234,78 lbs ditunjukkan pada grafik di atas.



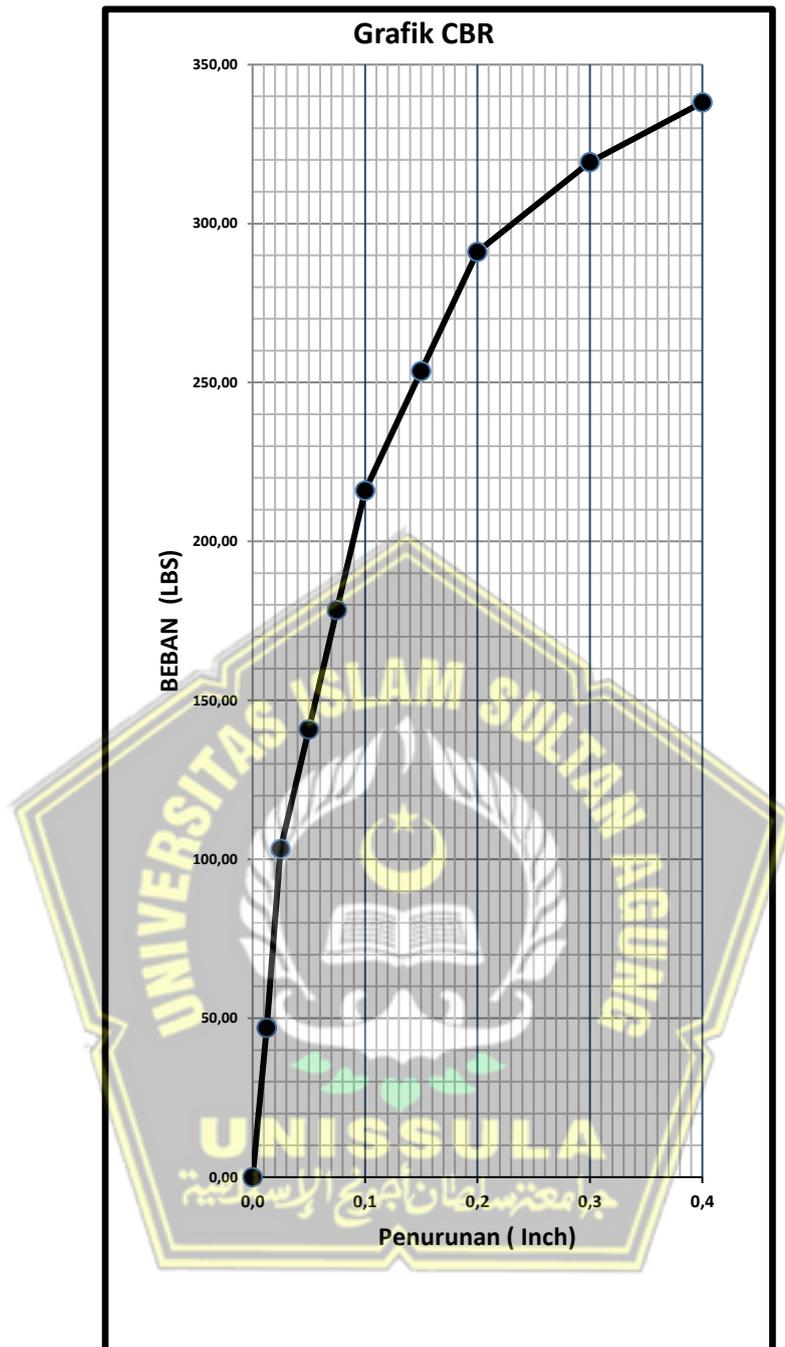
Gambar 4. 27 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran 2

Hasil pembacaan dial 0,1 inci sebesar 215,99 lbs dan 0,2 inci sebesar 281,73 lbs ditunjukkan pada grafik di atas.



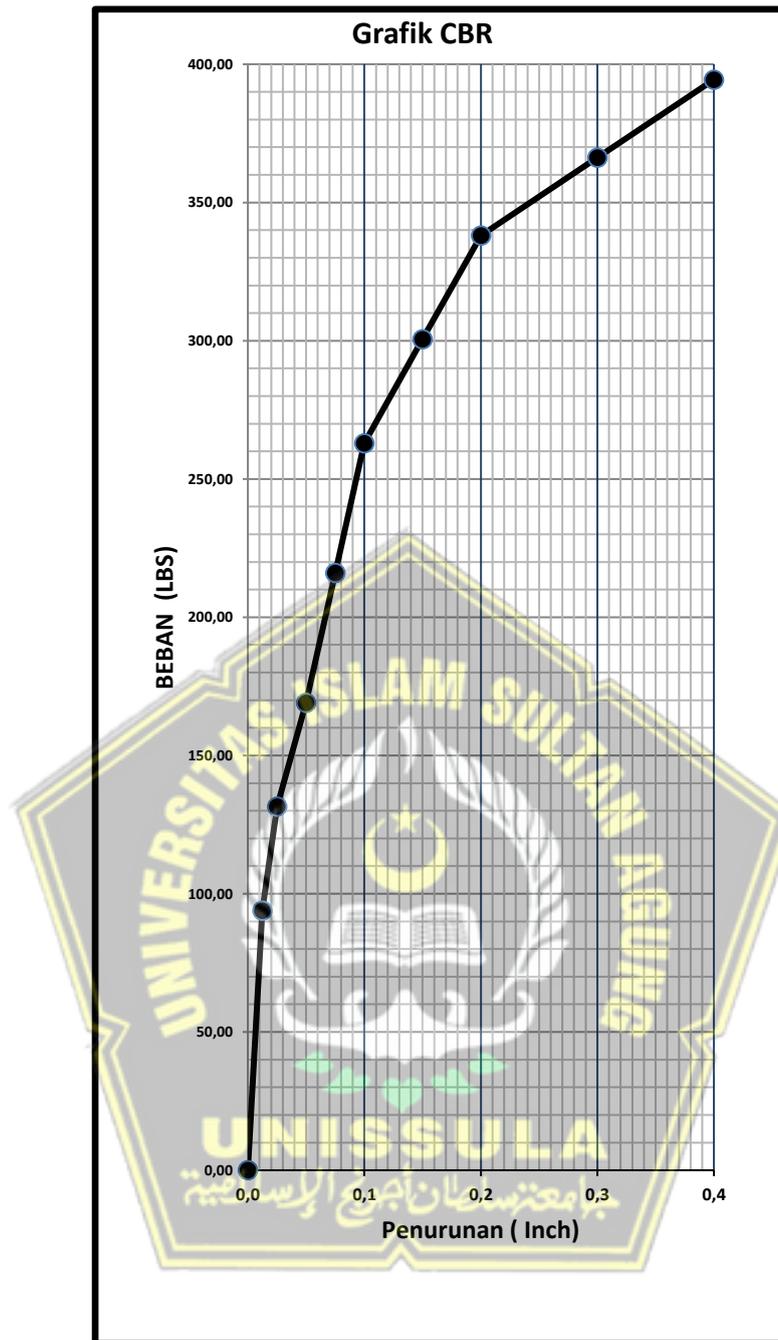
Gambar 4. 28 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran 3

Hasil pembacaan dial dial 0,1 inci sebesar 215,99 lbs dan 0,2 inci sebesar 300,51 lbs ditunjukkan pada grafik di atas.



Gambar 4. 29 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran 4

Hasil pembacaan dial 0,1 inci sebesar 215,99 lbs dan 0,2 inci sebesar 291,12 lbs ditunjukkan pada grafik di atas.



Gambar 4. 30 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran 5

Hasil pembacaannya adalah 0,1 inci sebesar 262,95 lbs dan 0,2 inci sebesar 338,08 lbs, seperti yang ditunjukkan pada grafik di atas.

Menurut data yang dikumpulkan dari penetrasi tanah asli dan kombinasi *fly ash*, *bottom ash* 5%, 10%, 15%, 35%, 50%, 55%, 70%, Dengan melakukan perhitungan, harga CBR setiap sampel dapat dihitung.

Perhitungan yang dibuat untuk sampel tanah awal dapat ditemukan di sini :

1. Menghitung Penetrasi 0,1” (0,254)

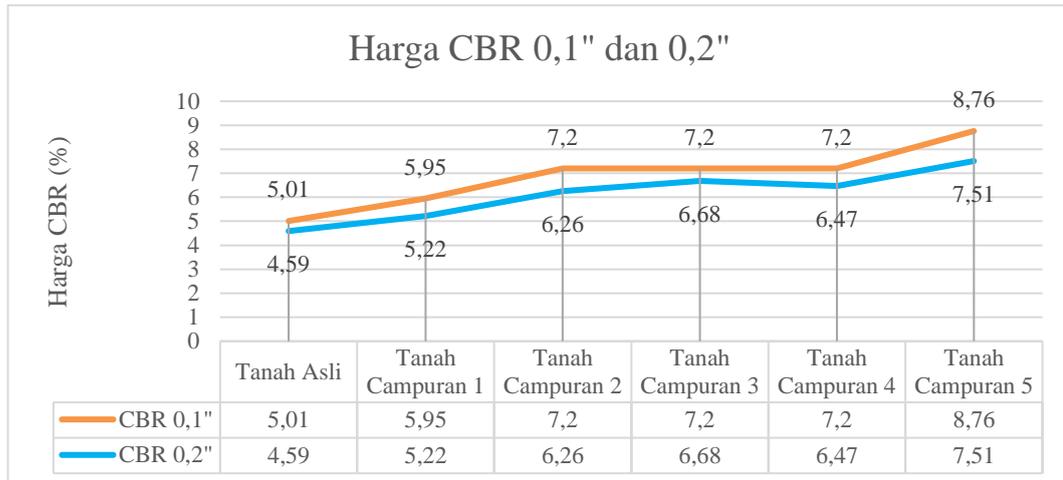
$$\begin{aligned} \text{CBR}(\%) &= \frac{P_1}{3 \times 1000} \times 100\% \\ &= \frac{150,26}{3 \times 1000} \times 100\% \\ &= 5,01 \end{aligned}$$

2. Menghitung Penetrasi 0,2” (0,508)

$$\begin{aligned} \text{CBR}(\%) &= \frac{P_2}{3 \times 1000} \times 100\% \\ &= \frac{206,60}{3 \times 1000} \times 100\% \\ &= 4,59 \end{aligned}$$

Tabel 4. 27 Harga CBR Tanah Asli dan Tanah Campuran *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

Jenis Sampel	Beban Bawah Koreksi		Harga CBR	
	0,1”	0,2”	0,1”	0,2”
Tanah Asli	150,26	206,60	5,01	4,59
Tanah Campuran 1	178,43	234,78	5,95	5,22
Tanah Campuran 2	215,99	281,73	7,20	6,26
Tanah Campuran 3	215,99	300,51	7,20	6,68
Tanah Campuran 4	215,99	291,12	7,20	6,47
Tanah Campuran 5	262,95	338,08	8,76	7,51



Gambar 4. 31 Grafik Harga CBR 0,1" dan 0,2"

Berdasarkan Gambar 4.31, terlihat bahwa menambahkan *Bottom Ash* dan *Fly Ash* maka semakin meningkat nilai CBR tanah tersebut yang berarti itu daya dukung tanah semakin meningkat. Nilai CBR paling tinggi didapatkan di Tanah Campuran 5 yakni CBR 7,51% termasuk kategori sedang.

4.4 Akhir pembahasan

1. *Atterberg Limit*

Berdasarkan hasil Uji *Atterberg limit* dapat diketahui bahwa semakin kecil nilai (IP) maka semakin meningkat daya dukung tanah tersebut. Pengujian kali ini menunjukkan presentase nilai optimum 4,61% adalah yang paling sedikit presentasinya.

2. *Direct Shear*

Nilai kohesi tanah yang tinggi ditemukan pada berdasarkan hasil uji *Direct shear* di presentase (Tanah Campuran 2) yakni 0,148kg/cm². Namun, pada sudut geser, nilai yang paling tinggi yakni pada presentasi (Tanah Campuran 1) yakni 28,57%, semakin tinggi nilai kohesi dan sudut geser maka semakin baik daya dukung tanahnya.

3. *Proctor Modified*

Dapat dilihat bahwa pada pengujian *Proctor Modified* jika nilai kadar air semakin menurun maka kondisi daya dukung tanahnya tinggi. Pengujian kali ini menunjukkan presentase nilai optimum 16,80% adalah yang paling sedikit presentasinya.

4. CBR

Dengan menambah *Fly ash* dan *Bottom ash* maka semakin meningkat nilai CBR dan menunjukkan daya dukung tanah semakin baik, harga CBR maksimal campuran (Tanah Campuran 5) dapat meningkat CBR 7,51%, yang masuk dalam kategori sedang.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Setelah diuji di laboratorium, sampel tanah asli yang diambil dari Jl. PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah 59563, adalah jenis tanah lempung lunak, hal ini terlihat dari hasil uji properties tanah seperti pada hasil uji *direct shear* dimana nilai sudut geser dalam $18,47^{\circ}$, hasil uji CBR tanah asli 4,59 %, nilai (GS) 2,160, nilai indeks plastisitas (IP) 28,98%, dan kadar air optimum (wopt) 29,20%.
2. Hasil pengujian di laboratorium memberikan hasil yang berbeda untuk setiap sampel tanah asli campuran *fly ash* dan *bottom ash*. Bisa dilihat dari nilai CBR tanah asli 4,59% yang termasuk dalam kategori tanah buruk sampai sedang (3% - 7%) dan saat ditambahkan *fly ash* dan *bottom ash* nilai maksimal CBR mencapai 7,51% yang termasuk dalam kategori tanah sedang (7% - 20%). Kesimpulannya adalah dengan menambahkan *fly ash* dan *bottom ash* dapat meningkatkan daya dukung tanah.
3. Hasil dari pengujian CBR, *Proctor*, *Direct Shear*, *Atterberg Limit* di laboratorium menunjukkan bahwa tanah asli dengan penambahan campuran tanah *fly ash* dan *bottom ash* dapat meningkatkan nilai CBR, *Proctor*, *Direct Shear*, *Atterberg Limit*. Nilai CBR Tanah Asli dengan harga CBR 4,59% dan Nilai CBR maksimal terdapat pada tanah campuran 5 dengan harga CBR 7,51% yang termasuk dalam kategori sedang.

5.2 Saran

1. Untuk pengembangan penelitian berikutnya, disarankan menggunakan bahan stabilisasi lain seperti semen, kapur, dll dengan variasi kadar campuran yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, A., Yuliet, R., & Fernandez, F. L. (2012). Pengaruh penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung daerah lambung bukit terhadap nilai CBR tanah. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 8(1), 29-44.
- Bowles, J. . (1989). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Erlangga.
- Bowles, J. E. (1984). *Physical and Geotechnical Properties of Soil: Second Edition*.
- Budiman, N. A. (2013). Pengaruh penambahan abu ampas tebu terhadap sifat fisik dan sifat mekanik tanah lempung ekspansif. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 17(1), 84-96.
- Chairullah, B. (2011). Stabilisasi tanah lempung lunak untuk material tanah dasar sub grade dan sub base jalan raya. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 61-70.
- Darmadi, M. F. S., & Mujahidin, P. R. (2024). *ANALISIS CBR TANAH LEMPUNG DENGAN PENAMBAHAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH (FABA)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Das, B. M. (1993). "Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis." *Institut Teknologi 10 Nopember*, 239.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Penerbit Erlangga, 1–300.
- Hamzah, T. (2021). *ANALISIS PERBANDINGAN STABILITAS TANAH LEMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN TAMBAHAN FLY ASH DAN BOTTOM ASH (FABA) DARI LIMBAH BATU BARA* (Doctoral dissertation, Universitas Putra Indonesia YPTK).
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I Jilid III*. Gadjah Mada University Press, 1.
- Hardiyatmo, H. C. (2022). *STABILISASI TANAH UNTUK PERKERASAN JALAN*. Gajah Mada University Press.
- Hutama Putra, M. D., Zaika, Y., & Rachmansyah, A. (2017). *Pengaruh Perbaikan Tanah Lempung Ekspansif Dengan Metode Deep Soil Mixing Pada Berbagai Kadar Air Lapangan Tanah Asli Terhadap Nilai Cbr Dan Pengembangan* (Doctoral dissertation, Brawijaya University).
- Indriyati, T. S., Malik, A., & Alwinda, Y. (2019). Kajian pengaruh pemanfaatan limbah FABA (Fly Ash dan Bottom Ash) pada konstruksi lapisan base

- perkerasan jalan. *Jurnal Teknik*, 13(2), 112-119.
- Juansyah, Y. (2016). Analisa Karakteristik Tanah Timbunan Ditinjau dari Hubungan Gradasi Butiran Tanah dengan Nilai CBR Rendaman dan Tanpa Rendaman. *Rekayasa: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 20(1), 13-22.
- Kusuma, H., Alkas, M. J., & Sutanto, H. (2022). ANALISIS NILAI CBR CAMPURAN FABA DAN SEMEN SEBAGAI MATERIAL TIMBUNAN PILIHAN. *Teknologi Sipil: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 6(1), 1-10.
- Mak'sudah, A. N., Saputro, Y. A., & Rochmanto, D. (2022). Optimalisasi Campuran Fly Ash, Bottom Ash, dan Semen Untuk Lapis Pondasi (Improving Subgrade). *Jurnal Civil Engineering Study*, 2(01), 1-6.
- Mina, E., & Kusuma, R. I. (2016). Pengaruh fly ash terhadap nilai CBR dan sifat-sifat propertis tanah studi kasus: Jalan Raya Bojonegara KM 19 Serang Banten. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 5(2).
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1987). *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*. Penerbit Erlangga, 2, 1-373.
- Walewangko, B. Y., Sompie, O. B., & Sumampouw, J. E. (2020). Pengaruh penambahan fly ash dan tras pada tanah lempung terhadap NILAI CBR. *Jurnal Sipil Statik*, 8(1).
- Waruwu, A., Zega, O., Rano, D., Panjaitan, B. M. T., & Harefa, S. (2021). Kajian Nilai California Bearing Ratio (CBR) Pada Tanah lempung Lunak Dengan Variasi Tebal Stabilisasi Menggunakan Abu Vulkanik. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 17(2), 116. <https://doi.org/10.25077/jrs.17.2.116-130.2021>
- Yuniati, T. (2010). *Perubahan Kandungan Air Terhadap Nilai Pengembangan Pada Tanah Dasar Jalan Penawangan-Purwodadi*. 1-76.