

**TUGAS AKHIR**

**PENAMBAHAN FLY ASH UNTUK MENINGKATKAN CBR  
TANAH LEMPUNG LUNAK**

**Diajukan untuk Memenuhi Peryaratan dalam Menyelesaikan  
Program Sarjana Program studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh,

**Faris Ustanto**  
**30202100086**

**Samsul Ma'arif**  
**30202100194**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
2025**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENAMBAHAN FLY ASH UNTUK MENINGKATKAN CBR TANAH LEMPUNG LUNAK



**Faris Ustanto**

NIM : 30202100086



**Samsul Ma'arif**

NIM : 30202100194

Telah disetujui dan disahkan di Semarang,

Februari 2025

Tim Penguji

1. **Dr. Abdul Rochim, ST., MT.**

NIDN : 0608067601

2. **Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.**

NIDN : 0631128901

Tanda Tangan

Two handwritten signatures in blue ink. The first signature is above a dotted line, and the second signature is below another dotted line.

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil



**Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.**

NIDN : 0625059102

## **BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR**

No: 65 / A.2 / SA – T / X / 2024

Pada hari ini tanggal 22 Oktober 2024 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama:

Nama : Dr. Abdul Rochim, ST., MT.  
Jabatan Akademik : Lektor Kepala  
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

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

Faris Ustanto  
NIM : 30202100086

Samsul Ma'arif  
NIM : 30202100194

Judul : PENAMBAHAN FLY ASH UNTUK MENINGKATKAN CBR TANAH LEMPUNG LUNAK

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	22/10/2024	
2	Seminar Proposal	17/12/2024	ACC
3	Pengumpulan data	06/01/2025	
4	Analisis data	12/01/2025	
5	Penyusunan laporan	15/01/2025	
6	Selesai laporan	15/02/2025	ACC

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

Dosen Pembimbing Utama



Dr. Abdul Rochim, ST., MT.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Faris Ustanto

NIM : 30202100086

NAMA : Samsul Ma'arif

NIM : 30202100194

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

### **PENAMBAHAN FLY ASH UNTUK MENINGKATKAN CBR TANAH LEMPUNG LUNAK**

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.

Semarang, 07 Februari 2025

Yang membuat pernyataan 1

Faris Ustanto

NIM : 30202100086



Yang membuat pernyataan 2

Samsul Ma'arif

NIM : 30202100194

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Faris Ustanto  
NIM : 30202100086  
NAMA : Samsul Ma'arif  
NIM : 30202100194  
JUDUL TUGAS AKHIR : PENAMBAHAN FLY ASH UNTUK  
MENINGKATKAN CBR TANAH LEMPUNG  
LUNAK

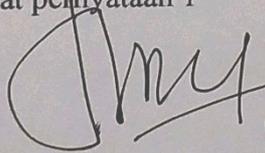
Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah 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.

Semarang, 07 Februari 2025

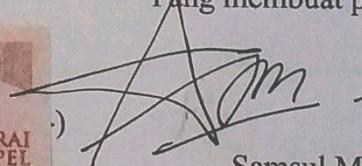
Yang membuat pernyataan 1



Faris Ustanto

NIM : 30202100086

Yang membuat pernyataan 2



Samsul Ma'arif

NIM : 30202100194



## MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ ۗ  
وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ ۚ مِنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia (selama) kamu menyuruh (berbuat) yang makruf, mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Seandainya Ahlulkitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman dan kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik.”

(Q.S Ali Imran : 110)

لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا ۗ

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”

(Q.S Al Baqarah : 286)

وَمَنْ جَاهَدْ فَإِنَّمَا يُجَاهِدُ لِنَفْسِهِ ۗ إِنَّ اللَّهَ لَغَنِيٌّ عَنِ الْعَالَمِينَ

“Barang siapa yang bersungguh – sungguh, sesungguhnya kesungguhan tersebut untuk kebaikan dirinya sendiri.”

(Q.S Al Ankabut : 6)

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۗ

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”

(Q.S Al Insyirah : 5)

## PERSEMBAHAN

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, Tuhan pemilik jiwa dan alam semesta yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, sahabatnya dan juga para pengikutnya. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Karmain dan Ibu saya Sri Wati, atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT. yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Seluruh dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terima kasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
4. Keluarga saya, Kakak saya Vina Istiana, serta keponakan saya Rafizky, Kaivan yang telah mensupport saya.
5. Sahabat sekaligus partner laporan tugas akhir saya Samsul Ma'arif, terima kasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Bapak Sutardi dan Satria Hanung P, yang telah membantu kami selama masa penelitian dan mengolah data.
7. Sahabat – sahabat saya, To padang, Lucky Kantong, Cendol, Adhi, Bodrex, Saprol, Desta, Feny Teman-Teman The Shunshin, Kontrakan Mendo, Teman – teman EB, Teman -Teman KKN, serta semua Teman – teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2021, terima kasih atas semua bantuan, perhatian, dan semangatnya.

Faris Ustanto

NIM : 30202100086

## PERSEMBAHAN

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, Tuhan pemilik jiwa dan alam semesta yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, sahabatnya dan juga para pengikutnya. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Hartono dan Ibu saya Ngatmirah, atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT. yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Seluruh dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terima kasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
4. Keluarga saya, Kakak saya Sakdullah yang telah mensupport saya.
5. Sahabat sekaligus partner laporan tugas akhir saya Faris Ustanto, terima kasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Bapak Sutardi dan Satria Hanung P, yang telah membantu kami selama masa penelitian dan mengolah data.
7. Sahabat – sahabat saya, Fadli Ulil Absor sahabat dari kecil, Teman – teman Kober, Teman – teman Engineering Mbois Real, Teman – teman Kicau Mania, serta semua Teman – teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2021, terima kasih atas semua bantuan, perhatian, dan semangatnya.
8. Kepada Real Madrid selaku klub sepak bola favorit saya. Terima kasih telah mengajarkan penulis tentang arti Perjuangan untuk mencapai suatu tujuan, dan mengajarkan penulis untuk menghargai sebuah proses "HALA MADRID".

Samsul Ma'arif

NIM : 30202100194

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia –Nya Laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik tentang “PENAMBAHAN FLY ASH UNTUK MENINGKATKAN CBR TANAH LEMPUNG LUNAK”, guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar – besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung penyusunan Proposal Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik serta Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan pada Kami agar bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Bapak M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Seminar Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan pada Kami agar bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan baik.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya, semoga Proposal Tugas Akhir ini bermanfaat tidak hanya bagi penulis tapi juga bagi para pembaca.

Semarang, Februari 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
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. Keaslian Kajian .....	3
1.7. Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Pengertian Tanah .....	5
2.2. Tanah Lempung .....	6
2.3. Material Penyusun Tanah.....	7
2.4. Klasifikasi Tanah.....	8
2.4.1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan sistem USCS .....	8
2.4.2. Klasifikasi Tanah AASHTO .....	11
2.5. Sifat Fisik Tanah.....	12
2.5.1. Kadar Air (w) .....	12
2.5.2. Berat Jenis Tanah (Gs) .....	12
2.5.3. Analisa Saringan .....	13
2.5.4. Batas – Batas <i>Atterberg</i> .....	14
2.5.5. <i>CBR (California Bearing Ratio)</i> .....	15
2.6. Sifat Mekanika Tanah.....	16
2.6.1. Pemadatan Tanah .....	16

2.6.2.	Kuat Geser Tanah .....	17
2.7.	<i>Fly Ash</i> .....	17
2.8.	Stabilisasi Tanah Menggunakan <i>Fly Ash</i> .....	18
2.9.	Daya Dukung Tanah .....	19
2.10.	Penelitian Sebelumnya Yang Serupa .....	20
<b>BAB III METODELOGI PENELITIAN .....</b>		<b>24</b>
3.1.	Lokasi dan Subjek Penelitian .....	24
3.2.	Desain Penelitian .....	24
3.3.	Metode Penelitian .....	25
3.4.	Alat ( <i>Instrumen</i> ) dan Bahan .....	25
3.4.1.	Menyiapkan Alat .....	25
3.4.2.	Menyiapkan Bahan .....	29
3.5.	Teknik Pengumpulan Data .....	30
3.6.	Teknik Analisis Data .....	30
3.7.	Bagan Alur .....	31
3.8.	Jadwal Penyelesaian TA .....	32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>33</b>
4.1.	Hasil Penelitian .....	33
4.2.	Sifat Fisik dan Mekanis Tanah .....	33
4.2.1.	Kadar Air .....	33
4.2.2.	Berat Jenis Tanah (Gs) .....	34
4.2.3.	Analisa Saringan .....	36
4.2.4.	<i>Atterberg Limits</i> .....	40
4.2.5.	<i>Direct Shear</i> .....	46
4.2.6.	<i>Proctor Standart</i> .....	50
4.2.7.	<i>California Bearing Ratio (CBR)</i> .....	56
4.3.	Klasifikasi Tanah .....	69
4.3.1.	Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS .....	69
4.3.2.	Klasifikasi Tanah AASTHO .....	70
4.4.	Rangkuman Hasil Pengujian .....	71
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>73</b>
5.1.	Kesimpulan .....	73

5.2. Saran .....73  
**DAFTAR PUSTAKA.....xx**



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1.</b> Simbol USCS .....	9
<b>Tabel 2.2.</b> Klasifikasi Tanah .....	10
<b>Tabel 2.3.</b> Kelompok Klasifikasi AASHTO .....	11
<b>Tabel 2.4.</b> Klasifikasi Tanah Dengan Sistem AASHTO.....	11
<b>Tabel 2.5.</b> Penelitian Sebelumnya Yang Serupa .....	20
<b>Tabel 3.1.</b> Mix Design .....	30
<b>Tabel 3.2.</b> Jadwal Penyelesaian TA .....	32
<b>Tabel 4.1.</b> Hasil Pengujian Kadar Air .....	34
<b>Tabel 4.2.</b> Data Pengujian Berat Jenis Tanah .....	35
<b>Tabel 4.3.</b> Hasil Perhitungan Berat Jenis Tanah .....	35
<b>Tabel 4.4.</b> Data Pengujian <i>Grain Size</i> .....	36
<b>Tabel 4.5.</b> Hasil Perhitungan Uji <i>Grain Size</i> .....	37
<b>Tabel 4.6.</b> Data Pengujian <i>Hidrometer</i> .....	38
<b>Tabel 4.7.</b> Hasil Perhitungan <i>Hidrometer</i> .....	39
<b>Tabel 4.8.</b> Hasil Uji Batas Cair .....	40
<b>Tabel 4.9.</b> Hasil Uji Batas Plastis .....	44
<b>Tabel 4.10.</b> Hasil <i>Indeks Plastis</i> .....	45
<b>Tabel 4.11.</b> Hasil Perhitungan <i>Direct Shear</i> .....	47
<b>Tabel 4.12.</b> Hasil Penggambaran <i>Direct Shear</i> .....	47
<b>Tabel 4.13.</b> Hasil Perhitungan <i>Proctor Standart</i> .....	50
<b>Tabel 4.14.</b> Hasil Perhitungan <i>Proctor Standart</i> .....	53
<b>Tabel 4.15.</b> Hasil Grafik <i>Proctor Standart</i> .....	56
<b>Tabel 4.16.</b> Data Pengujian CBR 10x Tumbukan.....	57
<b>Tabel 4.17.</b> Data Pengujian CBR 25x Tumbukan.....	57
<b>Tabel 4.18.</b> Data Pengujian CBR 56x Tumbukan.....	57
<b>Tabel 4.19.</b> Hasil Perhitungan CBR <i>Unsoaked</i> 10x Tumbukan .....	59
<b>Tabel 4.20.</b> Hasil Perhitungan CBR <i>Unsoaked</i> 25x Tumbukan .....	59
<b>Tabel 4.21.</b> Hasil Perhitungan CBR <i>Unsoaked</i> 56x Tumbukan .....	59
<b>Tabel 4.22.</b> Data Penetrasi 10x Tumbukan .....	60
<b>Tabel 4.23.</b> Data Penetrasi 25x Tumbukan .....	61
<b>Tabel 4.24.</b> Data Penetrasi 56x Tumbukan .....	62

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1.</b> Bagan Plastisitas .....	10
<b>Gambar 2. 2.</b> <i>Fly Ash</i> .....	18
<b>Gambar 3. 1.</b> Peta Lokasi Pengambilan Sampel Tanah .....	24
<b>Gambar 3. 2.</b> Bagan Alur penelitian.....	31
<b>Gambar 4. 1.</b> Grafik Variasi Kadar Air.....	34
<b>Gambar 4. 2.</b> Grafik Analisa Saringan.....	39
<b>Gambar 4. 3.</b> Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel Tanah Asli .....	41
<b>Gambar 4. 4.</b> Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel <i>Fly Ash</i> 5% .....	42
<b>Gambar 4. 5.</b> Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel <i>Fly Ash</i> 10% .....	42
<b>Gambar 4. 6.</b> Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel <i>Fly Ash</i> 15% .....	43
<b>Gambar 4. 7.</b> Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel <i>Fly Ash</i> 20% .....	43
<b>Gambar 4. 8.</b> Grafik <i>Liquid Limit</i> Tanah Asli dan Campuran .....	44
<b>Gambar 4. 9.</b> Grafik <i>Indeks Plastisitas</i> Tanah Asli dan Campuran.....	45
<b>Gambar 4. 10.</b> Grafik <i>Direct Shear</i> Tanah Asli.....	48
<b>Gambar 4. 11.</b> Grafik <i>Direct Shear</i> Tanah Campuran <i>Fly Ash</i> 5% .....	48
<b>Gambar 4. 12.</b> Grafik <i>Direct Shear</i> Tanah Campuran <i>Fly Ash</i> 10% .....	49
<b>Gambar 4. 13.</b> Grafik <i>Direct Shear</i> Tanah Campuran <i>Fly Ash</i> 15% .....	49
<b>Gambar 4. 14.</b> Grafik <i>Direct Shear</i> Tanah Campuran <i>Fly Ash</i> 20% .....	50
<b>Gambar 4. 15.</b> Grafik <i>Proctor Standart</i> Tanah Asli .....	54
<b>Gambar 4. 16.</b> Grafik <i>Proctor Standart</i> Campuran FA 5% .....	54
<b>Gambar 4. 17.</b> Grafik <i>Proctor Standart</i> Campuran FA 10% .....	55
<b>Gambar 4. 18.</b> Grafik <i>Proctor Standart</i> Campuran FA 15% .....	55
<b>Gambar 4. 19.</b> Grafik <i>Proctor Standart</i> Campuran FA 20% .....	55
<b>Gambar 4. 20.</b> Grafik $W_{opt}$ Sampel Tanah Asli dan Campuran <i>Fly Ash</i> ....	56
<b>Gambar 4. 21.</b> Grafik Hasil Penetrasi 10x Tumbukan.....	64
<b>Gambar 4. 22.</b> Grafik Hasil Penetrasi 25x Tumbukan.....	65
<b>Gambar 4. 23.</b> Grafik Hasil Penetrasi 56x Tumbukan.....	66
<b>Gambar 4. 24.</b> Grafik <i>Unsoaked CBR</i> Sampel 0% .....	67
<b>Gambar 4. 25.</b> Grafik <i>Unsoaked CBR</i> Sampel 5% .....	67
<b>Gambar 4. 26.</b> Grafik <i>Unsoaked CBR</i> Sampel 10% .....	68

<b>Gambar 4. 27.</b> Grafik <i>Unsoaked</i> CBR Sampel 15%.....	68
<b>Gambar 4. 28.</b> Grafik <i>Unsoaked</i> CBR Sampel 20%.....	69
<b>Gambar 4. 29.</b> Diagram Plastisitas Sistem USCS.....	69
<b>Gambar 4. 30.</b> Diagram Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO.....	70

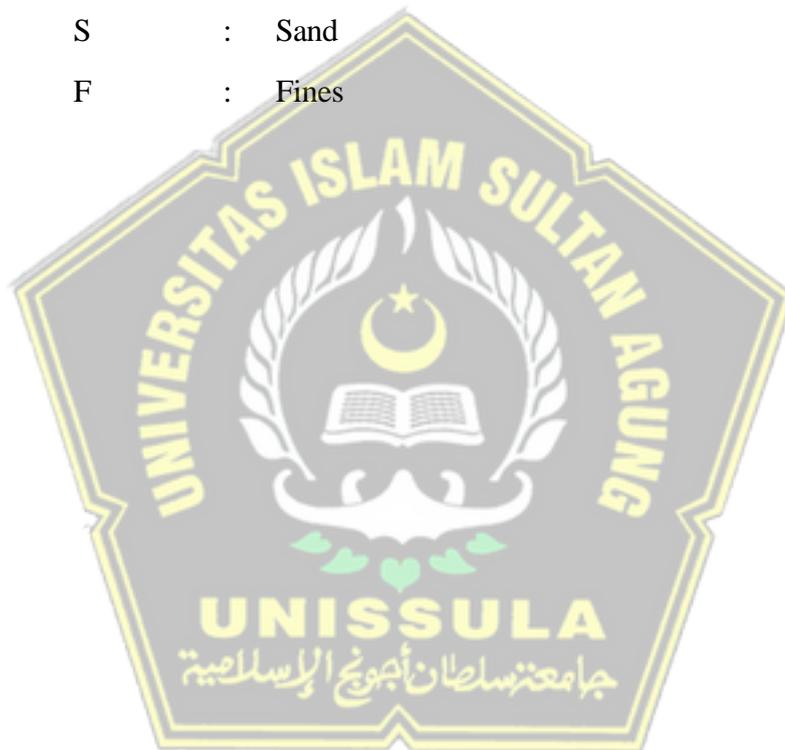


## DAFTAR LAMBANG DAN NOTASI

SiO <sub>2</sub>	[-]	Silikat
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	[-]	Aluminat
A	[m <sup>2</sup> ]	Luas
D	[m]	Diameter
c	[kg/cm <sup>2</sup> ]	Kohesi
C <sub>v</sub>	[cm <sup>2</sup> /s]	Koefisien
w	[%]	Kadar Air
G <sub>s</sub>	[-]	Harga berat jenis butiran tanah
e	[-]	Angka pori
σ <sub>n</sub>	[kg/cm <sup>2</sup> ]	Tegangan normal
σ <sub>s</sub>	[kg/cm <sup>2</sup> ]	Tegangan geser
Ø	[°]	Sudut geser
γ <sub>k</sub>	[gr/cm <sup>3</sup> ]	Gamma kering
n	[%]	Kadar pori
γ <sub>b</sub>	[gr/cm <sup>3</sup> ]	Gamma basah
γ <sub>w</sub>	[gr/cm <sup>3</sup> ]	Gamma Air
HAP	[-]	Harga air piknometer
T	[°]	Suhu
KL	[%]	Kadar lumpur
t	[s]	Waktu
GI	[-]	Indeks grup
PL	[%]	Plastic limit
LL	[%]	Liquid limit
ZAV	[-]	Zeri air void
P	[-]	Beban normal
F	[-]	Luas Penampang

## DAFTAR SINGKATAN

PLTU	:	Pembangkit Listrik Tenaga Uap
USCS	:	Unified Soil Classification System
CBR	:	California Bearing Ratio
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation
G	:	Gravel
S	:	Sand
F	:	Fines



# PENAMBAHAN *FLY ASH* UNTUK MENINGKATKAN CBR TANAH LEMPUNG LUNAK

## Abstrak

Tanah adalah komponen fundamental yang sangat berperan dalam perancangan dan pembangunan struktur, baik untuk konstruksi bangunan maupun jalan. Di Desa Trangkil, Kecamatan Gunung Pati, sering terjadi pergeseran tanah yang berdampak pada kerusakan jalan di wilayah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan abu terbang (*fly ash*) pada karakteristik tanah serta mengetahui presentase hasil pengujian CBR pada tanah asli di Desa Trangkil, Kecamatan Gunung Pati, Kabupaten Semarang, dan tanah yang sudah dikombinasikan dengan *fly ash*.

Pengujian penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Unissula dengan metode pengujian yang mencampurkan tanah dengan *fly ash* dalam berbagai persentase, yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Jenis pengujian yang dilaksanakan mencakup pengujian berat jenis, kadar air, analisis saringan, *Atterberg limit*, *Proctor standart*, serta *California Bearing Ratio* (CBR).

Merujuk pada hasil pengujian laboratorium, penambahan *fly ash* berpengaruh positif terhadap daya dukung tanah. Semakin tinggi persentase *fly ash* yang ditambahkan, semakin baik sifat mekanis tanah, yang ditunjukkan dengan peningkatan daya dukung tanah. Hasil pengujian CBR *unsoaked* pada sampel tanah asli serta tanah dengan campuran *fly ash* pada berbagai persentase (0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%) menunjukkan peningkatan nilai CBR *unsoaked* secara bertahap, yaitu 5,8%, 6,9%, 7,8%, 10,2%, dan mencapai 15,5% pada campuran *fly ash* 20%.

**Kata Kunci:** *Fly Ash*, CBR, Klasifikasi Tanah, Lempung, Daya Dukung Tanah, Stabilitas Tanah

# ***ADDITION OF FLY ASH TO INCREASE CBR OF SOFT CLAY SOIL***

## ***Abstract***

*Soil is a fundamental component that plays a very important role in the design and construction of structures, both for building and road construction. In Trangkil Village, Gunung Pati District, there are frequent landslides that have an impact on road damage in the area. This study aims to analyze the effect of the addition of fly ash (fly ash) on soil characteristics and to determine the percentage of CBR test results on native soil in Trangkil Village, Gunung Pati District, Semarang Regency, and soil that has been combined with fly ash.*

*The research test was carried out at the Unissula laboratory using a testing method that mixed soil with fly ash in various percentages, namely 0%, 5%, 10%, 15%, and 20%. The types of tests carried out include specific gravity, moisture content, sieve analysis, Atterberg limit, Proctor standard, and California Bearing Ratio (CBR).*

*Referring to the results of laboratory tests, the addition of fly ash has a positive effect on the bearing capacity of the soil. The higher the percentage of fly ash added, the better the mechanical properties of the soil, as indicated by an increase in the bearing capacity of the soil. The results of the unsoaked CBR test on samples of original soil and soil with various percentages of fly ash (0%, 5%, 10%, 15%, and 20%) shows a gradual increase in the unsoaked CBR value, namely 5.8%, 6.9%, 7.8%, 10.2%, and reaching 15.5% in a 20% fly ash mixture.*

***Keywords:*** *Fly Ash; CBR; Soil Classification; Clay, Soil Carrying Capacity; Soil Stability*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Tanah yaitu aspek krusial dalam perancangan serta pembangunan suatu struktur, baik pada konstruksi gedung maupun jalan. Dalam bidang rekayasa struktur, tanah sering kali menjadi faktor penentu yang dapat memicu permasalahan apabila memiliki sifat yang kurang stabil, seperti tingkat plastisitas yang tinggi atau potensi penyusutan yang besar. Tergantung pada tingkat dampak tanah pada rencana konstruksi, rencana konstruksi harus memperhitungkan tanah. Permasalahan umum dalam konstruksi sipil yang didirikan di atas tanah lunak di suatu area meliputi rendahnya kapasitas daya dukung serta tingkat plastisitas yang tinggi. Tanah dengan karakteristik ini sangat peka terhadap perubahan kadar air, sehingga dapat mengakibatkan ketidakstabilan pada fondasi bangunan selama proses konstruksi. Tanah yang mempunyai batas daya dukung yang layak dapat membatasi bahaya kerusakan jalan di atasnya, sehingga penting untuk memperbaiki (kekuatan) tanah yang memiliki tanah dengan batas daya dukung rendah. (Miswar et al., 2018)

Daya dukung tanah dasar yang baik akan berpengaruh intensitas waktu kekokohan suatu konstruksi. Karakter dan sifat tanah tidaklah sama pada setiap letak geografis suatu tempat. Bahkan, ada kondisi tanah dengan nilai permeabilitas rendah, plastisitas tinggi, serta penyusutan yang relatif besar, dan kapasitas geser rendah. Daya dukung yang baik diperlukan untuk meminimalisir kerusakan yang terjadi pada struktur di atasnya. (Wismantara & Budiarnaya, 2020)

Tanah dengan batas daya dukung yang rendah mempunyai sifat yang mudah mengalami pembesaran dan penyusutan dalam tingkat yang sangat tinggi. Biasanya sifat ini diklaim oleh jenis lumpur, jadi untuk jenis tanah itu sendiri, dengan asumsi bahwa pembangunan jalan didasarkan padanya, akan tetapi kerusakan atau benturan dalam pembangunan jalan. Untuk bertahan/mengembangkan tanah dengan batas daya dukung rendah, tanah dasar jenis lumpur yang memiliki batas daya dukung rendah memerlukan penanganan yang luar biasa. Perlakuan ini diharapkan dapat membangun batas dan kehandalan dari batas bantalan kotoran. Perlakuan luar biasa yang dimaksud adalah penyesuaian tanah. Penyesuaian tanah

biasanya memanfaatkan berbagai bahan campuran, seperti kapur, gipsum, biji plastik, *fly ash*. (Kusuma et al., 2018).

Tanah di Kabupaten Semarang sebagian besar berjenis lempung, termasuk di Desa Trangkil, Kecamatan Gunung Pati. Hal ini kerap menjadi salah satu faktor penyebab kerusakan jalan raya di daerah Semarang. Kerusakan yang ada termasuk jalan retak sampai lubang besar meski perbaikan jalanan telah dilakukan baru – baru ini. *Clay* mempunyai daya dukung tanah yang rendah ini perlu diberi perlakuan khusus untuk meningkatkan kapasitas kemampuan dukung tanah tersebut (Andiyarto et al., 2015). Ini mendorong kami untuk melakukan penelitian tentang efek *fly ash* yang dicampur dengan tanah di Desa Trangkil, Kec. Gunung Pati, Kab. Semarang, Jawa Tengah.

Dalam penelitian ini, *fly ash* (abu terbang batu bara) akan digunakan sebagai material campuran (*stabilisator*) dalam meningkatkan karakteristik dan karakteristik tanah pada lempung lunak. Berdasarkan penjelasan tersebut, kami akan melakukan penelitian tentang **Penambahan Fly Ash Untuk Meningkatkan CBR Tanah Lempung Lunak**.

### 1.2. Rumusan masalah

Beberapa permasalahan yang akan menjadi pokok pembahasan dalam penelitian ini, merujuk pada latar belakang yang telah dijelaskan, adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik tanah asli di desa trangkil, kec. Gunung pati, kab. Semarang Jawa Tengah?
2. Bagaimana karakteristik tanah yang di campur dengan *fly ash*?
3. Berapa nilai hasil uji CBR (*California Bearing Ratio*) tanah asli serta tanah yang telah dicampurkan dengan *fly ash*?

### 1.3. Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisa karakteristik sampel tanah asli yang dipilih dari Desa Trangkil, Kec. Gunung Pati, Kab. Semarang, Jawa Tengah.
2. Mengetahui pengaruh campuran bahan *fly ash* terhadap karakteristik tanah yang diambil.

3. Menentukan persentase hasil uji CBR pada tanah asli serta tanah yang telah dicampur dengan *fly ash*.

#### **1.4. Batasan Masalah**

Mempertimbangkan terbatasnya waktu maupun kemampuan terhadap ruang lingkup permasalahan yang begitu luas, maka diperlukan pembatasan masalah agar lebih dalam melakukan penelitian yaitu sebagaimana berikut :

1. Spesimen tanah yang dianalisis dipilih dari Desa Trangkil, Kecamatan Gunung Pati, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah.
2. Jenis *fly ash* yang digunakan yaitu tipe F.
3. Penelitian ini dilakukan di laboratorium yang mencakup pengukuran berat Jenis, kadar air, batas *Atterberg*, analisa saringan, *proctor standar*, *direct shear* dan CBR.

#### **1.5. Manfaat penelitian**

Manfaat yang didapat daripada penelitian ini yaitu:

1. Menyediakan informasi tentang kondisi dan karakteristik tanah yang diteliti.
2. Memahami seberapa signifikan dampak yang terjadi setelah penambahan *fly ash* terhadap karakteristik tanah yang sedang diteliti.
3. Bisa digunakan sebagai referensi atau bahan evaluasi bagi para pihak yang hendak melaksanakan studi lebih lanjut tentang peningkatan tingkat CBR melalui penambahan *fly ash* pada tanah lempung lunak.

#### **1.6. Keaslian Kajian**

Tulisan dalam tugas akhir ini merupakan hasil karya asli penulis. Bagian yang memuat referensi dan sumber berisi dalam bentuk teks dan referensi esai.

#### **1.7. Sistematika Penulisan**

Struktur penyusunan dalam Tugas Akhir ini disajikan sebagai berikut:

## **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menguraikan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat yang diharapkan, orisinalitas kajian, serta sistematika dalam penulisan.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi uraian tentang definisi tanah, jenis tanah lempung, komponen yang membentuk tanah, klasifikasi tanah, karakteristik fisik tanah, karakteristik mekanik tanah, *fly ash*, metode stabilisasi tanah dengan menggunakan *fly ash*, kemampuan daya dukung tanah, serta penelitian sebelumnya yang serupa.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini tersusun atas metode pengujian tanah, bahan-bahan yang dipergunakan pada penelitian, lokasi penelitian, persiapan peralatan, serta diagram implementasi penelitian.

## **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan mengenai hasil dari penelitian serta diskusi terkait hasil yang sudah diperoleh.

## **BAB V HASIL PENUTUP**

Bagian ini menyajikan hasil penelitian serta ringkasan dari proposal yang berkaitan dengan penelitian tersebut.

Pada bagian penutup tugas akhir ini, terdapat beberapa komponen yaitu daftar pustaka, hasil penelitian, dan lampiran-lampiran. Daftar pustaka mencakup berbagai referensi yang digunakan, seperti jurnal dan buku yang relevan dengan penelitian. Sementara itu, lampiran berisi analisis akhir serta data yang telah melalui proses pengolahan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Pengertian Tanah

Tanah di alam terbentuk dari campuran partikel mineral yang mungkin mengandung bahan organik maupun non-organik. Partikel-partikel ini dapat dengan enteng dibedakan satu dengan yang lain melalui cara dikocok menggunakan air. Bahan ini terbentuk dari proses pelapukan batu, baik melalui cara fisik maupun proses kimia. Karakteristik teknis dari tanah, tidak terkecuali terpengaruh oleh elemen eksternal yang menyebabkan terjadinya pengikisan pada batuan tersebut. Menurut (Leliana & Andajani, 2015), Secara konsep, tanah tersusun atas tiga unsur utama, yaitu air, udara, dan partikel padat.

Tanah dapat dijelaskan sebagai suatu material yang dibentuk oleh partikel mineral yang tidak terikat secara kimia dan juga bahan organik yang telah melalui proses pelapukan, ditambah dengan cairan serta gas yang mengisi ruangan yang terdapat antar partikel padat itu. (Isbusandi et al., 2018)

Karakteristik tanah berbeda-beda di setiap lokasi. Tidak semua jenis tanah memiliki daya dukung yang baik, karena banyak yang mengandung mineral dan bahan organik tetapi kurang kuat, sehingga tidak mampu menahan beban atau tekanan di atasnya. Kerusakan pada struktur di tanah yang ada di atas bisa disebabkan oleh kondisi tanah aslinya. Masalah yang muncul antara lain adalah penurunan, pengenduran, dan peningkatan ukuran tanah. Tanah yang sering menimbulkan kerusakan pada bangunan atas adalah jenis tanah ekspansif. (Rusdiansyah, 2018)

Stabilisasi tanah merupakan proses *mix* tanah dengan *Additional material* yang bertujuan untuk meningkatkan sifat teknisnya sehingga memenuhi standar yang telah ditentukan. Syarat/kriteria teknis yang diperlukan untuk meningkatkan efisiensi konstruksi meliputi: kemampuan dukung tanah, ketahanan geser tanah, penurunan (*settlement*), pelawanan aliran tanah, dan berbagai faktor lainnya.. (Kurniawan et al., 2016)

Bowles (1994) menyatakan bahwa tanah merupakan perpaduan berbagai partikel yang tersusun atas salah satu atau kombinasi dari beberapa jenis berikut:

1. BerangkaI (*boulders*) merupakan partikel besar dari batuan, biasanya dengan dimensi lebih dari 250 hingga 300 mm, sedangkan kerakal berukuran yang berkisar antara 150 hingga 250 mm.
2. Kerikil (*gravel*) adalah partikel batu dengan ukuran antara 5mm hingga 150 mm.
3. Pasir (*sand*) yaitu pecahan butiran batu yang memiliki ukuran antara 0,074 sampai 5 mm, dengan variasi mulai dari yang kasar dengan dimensi 3 hingga 5 mm hingga yang lebih halus dengan ukuran kurang dari 1 mm.
4. Lanau (*silt*), merupakan butiran batuan dengan ukuran sangat kecil berkisar antara 0,002 hingga 0,0074 mm.
5. Lempung (*clay*), adalah komponen utama yang memberikan sifat kohesif pada tanah, terdiri dari partikel mineral dengan ukuran kurang dari 0,002 mm.
6. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang memiliki ukuran tetap dan sangat halus, dengan diameter kurang dari 0,001 mm.

Sementara sifat fisik tanah selalu ada saat tanah kering dan basah, keduanya membentuk partikel tanah yang sama. Hal ini menyebabkan diperlukan gaya dalam memisahkan tanah saat keadaan kering, sehingga tanah tersebut dikategorikan sebagai kohesif. Menurut (Bowles 1991), partikel-partikel tanah akan terpisah setelah mengalami pengeringan, sedangkan tanah akan saling menempel saat basah karena adanya tegangan permukaan air, sehingga tanah tersebut tidak bersifat kohesif. Tanah kohesif bisa bersifat kaku atau menyerupai cairan kental, tergantung pada kadar air di dalamnya. Selain itu, tanah ini tidak memiliki perbedaan yang tegas antara kondisi plastis dan non-plastis, karena sifat plastisnya tidak selalu muncul pada setiap tingkat kelembaban.

## 2.2. Tanah Lempung

Tanah lempung tersusun atas kumpulan partikel mikroskopis dan submikroskopis yang terbentuk sebagai hasil perubahan kimiawi komponen batuan. Tanah ini menunjukkan sifat plastis pada kisaran kadar air sedang hingga tinggi. Ketika mengering, tanah liat menjadi sangat keras dan sulit dihilangkan dengan tangan. Selain itu, tanah lempung mempunyai permeabilitas yang sangat rendah. (Taffarel, Javier Yusuf ., & Herdianto, 2022).

Tanah lempung merupakan tanah yang ukurannya lebih kecil dari 0,002 mm dan mengandung partikel tertentu yang membentuk sifat plastis pada tanah jika bercampur dengan air. (Braja M. Das, 1995).

Menurut Hardiyatmo (1992), tanah lempung memiliki mineral yang bersifat ekspansif, terutama karena kandungan montmorillonitnya yang memiliki luas permukaan lebih besar dan mampu mengisap air dalam kadar yang besar dibandingkan dengan jenis tanah mineral lainnya. Tanah ini sangat sensitif terhadap air dan menunjukkan tingkat ekspansivitas yang tinggi. Potensi pengembangannya berkaitan erat dengan indeks plastisitas, sehingga tanah ini dapat diklasifikasikan berdasarkan potensi pengembangannya menggunakan indeks tersebut (Miswar et al., 2018).

Hardiyatmo, (1992) juga mengidentifikasi beberapa karakteristik tanah lempung, antara lain:

1. Ukuran butiran halus kurang dari 0,002 mm.
2. Memiliki tingkat permeabilitas yang rendah
3. Menunjukkan kohesi yang sangat tinggi.
4. Memiliki laju kenaikan kapiler sangat tinggi.
5. Persentase kadar susut yang besar.
6. Proses penurunan berlangsung secara lambat

### **2.3. Material Penyusun Tanah**

Tanah terdiri dari berbagai material dengan sifat yang beragam, baik homogen maupun heterogen. Ada empat komponen utama yang membentuk tanah, antara lain:

1. Bahan organik, yang berasal dari dekomposisi dan pelapukan sisa-sisa hewan serta tumbuhan yang telah mati dalam waktu lama atau dapat diartikan sebagai hasil penguraian material organik.
2. Partikel Mineral, yang terbentuk melalui proses erosi batuan yang telah ada sejak lama, cara batuan tersebut terurai akan mempengaruhi jenis tanah yang terbentuk serta variasi mineral yang terkandung di dalamnya, sehingga menciptakan berbagai tipe dan variasi tanah.

3. Air, keberadaan air dalam tanah sangat menentukan karakteristik fisik dari tanah tersebut, air dapat tertahan dalam tanah karena kohesi, adhesi, dan gaya gravitasi, serta jumlah air yang memenuhi pori-pori tanah dipengaruhi oleh kepadatan pada pori tanah itu sendiri. Inilah yang mengakibatkan adanya pengelompokan jenis-jenis tanah yang berbeda.
4. Udara dan air yang mengisi rongga-rongga tanah mencakup hampir setengah dari total volume tanah. Besaran ini dapat berubah-ubah sesuai dengan pengaruh iklim dan situasi cuaca.

## **2.4. Klasifikasi Tanah**

Klasifikasi tanah merupakan proses penggabungan berbagai jenis tanah dengan karakteristik yang sama ke dalam kelompok dan berdasar pada fungsinya. Sistem ini dirancang untuk menyediakan informasi tentang karakteristik fisik dan sifat tanah. Mengingat adanya perbedaan yang signifikan dalam karakteristik dan perilaku tanah, Sistem klasifikasi biasanya membagi tanah ke dalam kelompok umum berdasarkan persamaan sifat fisiknya. Selain itu, klasifikasi tanah juga berperan dalam analisis lebih mendalam mengenai kondisi tanah serta menentukan Pengujian harus mencakup sifat teknisnya, seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah dan berat satuan. (Amania, Fatma Sarie, 2022)

### **2.4.1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS (*Unified Soil Classification System*)**

USCS berdasarkan ASTM D 2487, digunakan dalam bidang teknik untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan ukuran partikel, ukuran butiran, dan tingkat plastisitasnya. Sistem ini pertama kali dikembangkan oleh Casagrande pada tahun 1942 untuk mendukung konstruksi lapangan terbang oleh Korps Zeni Angkatan Darat selama Perang Dunia II. Kemudian, pada tahun 1952, sistem ini mengalami penyempurnaan oleh Kantor Rekonstruksi Amerika Serikat. Saat ini, USCS banyak diterapkan oleh para insinyur di berbagai negara, termasuk Indonesia, yang telah mengadaptasi standar ASTM D 2487 ke dalam SNI 03-6371-2000 (Mulyono, 2022).

Sistem ini mengelompokkan tanah menjadi 2 (dua) kategori utama, yaitu:

1. Tanah berbutir-kasar (*coarse-grained-soil*)

- a. Tanah kerikil dan pasir yang mana <50% berat total sampel tanah dapat melewati saringan Nomor 200.
  - b. G untuk kerikil (*gravel*) dan S untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir adalah symbol yang dipergunakan dalam kategori ini.
2. Tanah bertekstur halus (*fine-grained soil*)
- a. Tanah di mana lebih dari setengah berat total sampel tanah dapat melewati saringan no. 200
  - b. Tanda dalam kategori ini diawali dengan huruf M untuk lanau anorganik, huruf C untuk lempung anorganik, dan O untuk lanau organik serta lempung organik. Simbol PT dipergunakan dalam mengidentifikasi lahan gambut, lempung serta jenis tanah lainnya yang memiliki kandungan bahan organik tinggi.
  - c. Simbol lain yang dipergunakan dalam klasifikasi USCS meliputi:

**Tabel 2.1.** Simbol USCS

Simbol	Deskripsi
W	<i>well graded</i> (bergradasi baik)
P	<i>poorly graded</i> (bergradasi jelek)
L	plastisitas rendah (batas cair kurang dari 50)
H	plastisitas tinggi (batas cair lebih dari 50)

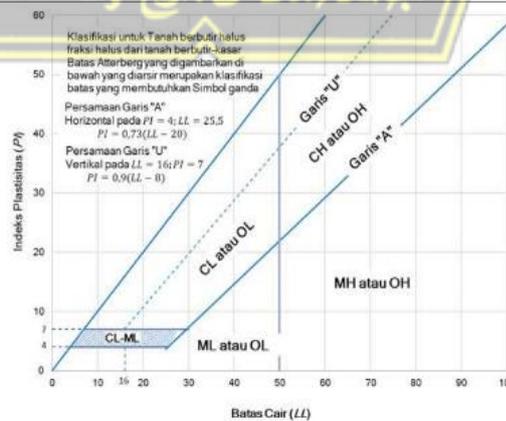
Sumber : (Das, 1995)

Tabel 2.2. Klasifikasi Tanah

Kriteria untuk menetapkan Simbol-Symbol dan Nama-nama grup menggunakan pengujian Laboratorium <sup>A</sup>				Klasifikasi Tanah		
				Simbol	Nama Grup <sup>B</sup>	
TANAH BERBUTIR KASAR	Kerikil	Kerikil bersih	$C_u \geq 4$ dan $1 \leq C_c \leq 3^C$	GW	Kerikil bergradasi baik <sup>D</sup>	
Lebih Dari 50% Material Tertahan Pada Saringan No. 200 (0,075 mm)	Lebih Dari 50% Material Tertahan Pada Saringan No. 4 (4,75 mm)	Butiran halus < 5% <sup>E</sup>	$C_u < 4$ dan/atau $1 \leq C_c \leq 3^C$	GP	Kerikil bergradasi jelek <sup>D</sup>	
		Kerikil dengan butir halus $\leq 12\%$	Butiran halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH	GM	Kerikil kelanauan ( <i>silty gravel</i> ) <sup>D,F,G</sup>	
		Kerikil dengan butir halus > 12% <sup>E</sup>	Butiran halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH	SC	Kerikil lempungan ( <i>clayey gravel</i> ) <sup>D,F,G</sup>	
	Pasir	Pasir bersih	$C_u \geq 6$ dan $1 \leq C_c \leq 3^C$	SW	Pasir bergradasi baik <sup>H</sup>	
	Lebih Dari 50% Material Lolos Pada Saringan No. 4 (4,75 mm)	Butiran halus < 5% <sup>F</sup>	$C_u < 6$ dan/atau $1 \leq C_c \leq 3^C$	SP	Pasir bergradasi jelek <sup>H</sup>	
		Pasir dengan butir halus $\leq 12\%$ <sup>F</sup>	Butiran halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH	SM	Pasir kelanauan ( <i>silty sand</i> ) <sup>F,G,H</sup>	
Kerikil dengan butir halus > 12% <sup>F</sup>		Butiran halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH	SC	Pasir lempungan ( <i>clayey sand</i> ) <sup>F,G,H</sup>		
TANAH BERBUTIR HALUS	Lempung dan Lempung Batas cair < 50	Non-Organik	$PI > 7$ , saat di Plot pada/atau di atas garis "A" <sup>J</sup>	CL	Lempung kuru <sup>K,L,M</sup>	
Lebih Dari 50% Material Lolos Pada Saringan No. 200 (0,075 mm)		Non-Organik	$PI < 4$ , saat di Plot di bawah garis "A" <sup>J</sup>	ML	Lanau <sup>K,L,M</sup>	
		Organik	$\frac{\text{Batas cair} - \text{kering}}{\text{Batas cair} - \text{Tidak kering oven}} < 0,75$	OL	Lempung organik <sup>K,L,M,N</sup> Lanau Organik <sup>K,L,M,O</sup>	
Lebih Dari 50% Material Lolos Pada Saringan No. 200 (0,075 mm)		Lempung dan Lempung Batas cair $\geq 50$	Non-Organik	$PI$ saat di Plot pada/atau di atas garis "A"	CH	Lempung gemuk <sup>K,L,M</sup>
			Non-Organik	$PI$ saat di Plot di bawah garis "A"	MH	Lanau elastis <sup>K,L,M</sup>
Lebih Dari 50% Material Lolos Pada Saringan No. 200 (0,075 mm)		Lempung dan Lempung Batas cair $\geq 50$	Organik	$\frac{\text{Batas cair} - \text{kering}}{\text{Batas cair} - \text{Tidak kering oven}} < 0,75$	OH	Lempung organik <sup>K,L,M,P</sup> Lanau organik <sup>K,L,M,O</sup>
	Organik		$\frac{\text{Batas cair} - \text{kering}}{\text{Batas cair} - \text{Tidak kering oven}} > 0,75$	PT	Gambut	
TANAH ORGANIK YANG TINGGI	Secara primer terdiri dari zat-zat organik, berwarna gelap dan berbasis organik ( <i>organic odor</i> )			PT	Gambut	

Sumber : (Das, 1995)

Sumber (ASTM D 2487)



Gambar 2.1. Bagan Plastisitas

Sumber : (Das, 1995)

### 2.4.2. Klasifikasi Tanah AASHTO (*American Association Of State Highway and Transportation Official*)

Sistem klasifikasi ini diformulasikan sejak tahun 1929. Sistem ini telah melalui banyak pembaruan, varian yang saat ini diterapkan adalah yang dikemukakan oleh *Committee on Classification of Materials for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* pada tahun 1945 (ASTM Standard No D-3282, AASHTO metode M145). Menurut (Mulyono, 2022) Sistem klasifikasi AASHTO, tanah dikelompokkan menjadi tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7.

**Tabel 2.3.** Kelompok Klasifikasi AASHTO

Kelompok	Deskripsi
A-1, A-2, dan A-3	tanah berbutir di mana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200
A-4, A-5, A-6, dan A-7	Tanah di mana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No. 200 (sebagian besar adalah lanau dan lempung)

Sumber : (Das, 1995)

**Tabel 2.4.** Klasifikasi Tanah Menggunakan Sistem AASHTO Berdasarkan AASHTO M 145 atau (ASTM D 3282)

Klasifikasi umum	Tanah berbutir atau granular ( $\leq 35\%$ total contoh uji lolos ayakan No.200 atau 0,075 mm)							Material lanau-lempung ( $> 35\%$ total contoh uji lolos ayakan No.200 (0,075 mm))			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Kelompok Klasifikasi	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Prosentase lolos ayakan No. 10 (2 mm)	Maks 50										
No. 40 (0,425 mm)	Maks 30	Maks 50	Min 51								
No. 200 (0,075 mm)	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Min.36	Min.36	Min.36	Min.36
Karakteristik yang lolos butir lolos No. 40 (0,425 mm)											
Batas cair (LL)				Maks 40	Min 41	Min 40	Min 41	Maks 40	Min 41	Min 40	Min 41
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 10	Maks 10	Maks 11	Min 11	Maks 10	Maks 10	Maks 11	Min 11
Jenis material yang dominan	Batu pecah, kerikil, dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir kelanauan atau berlempung				Tanah kelanauan		Tanah berlempung	
Indeks Group	0		0	0		Maks 4		Maks 8	Maks 12	Maks 16	Maks 20
Penilaian Sebagai tanah Dasar	Baik sekali sampai baik							Biasa sampai jelek			

Sumber: (Samtani & Nowatski, 2006)

\*Untuk A-7-5,  $PI \leq LL - 30$  dan A-7-6,  $PI > LL - 30$

Sumber : (Das, 1995)

Sistem klasifikasi AASHTO didasarkan pada kriteria berikut (Samtani & Nowatski, 2006):

1. Ukuran partikel-partikel tanah
  - a) Kerikil : Bagian yang melewati ayakan 75 mm (3 in) tertahan di ayaka No. 10. (2mm).
  - b) Pasir : Fraksi yang melewati ayakan No. 10 (2 mm) dan disimpan dalam saringan No. 200 (0,075 mm).
  - c) Lumpur dan Lanau : fraksi yang lolos ayakan no.200.
2. Plastisitas: Jika indeks plastisitas tanah yang baik yaitu  $\leq 10$ , maka tanah tersebut disebut tanah berlumpur. tanah lempung yang mempengaruhi tanah berbutir halus mempunyai indeks plastis 11 atau lebih tinggi.
3. Batu besar (*boulder*) dan kerikil (*cobbles*) yang lebih besar dari 75 mm wajib dibedakan dari sampel tanah yang akan diklasifikasikan.

## 2.5. Sifat Fisik Tanah

Sifat fisik tanah menggambarkan situasi alami tanah yang dapat dipergunakan sebagai dasar dalam mengidentifikasi berbagai jenisnya.

### 2.5.1. Kadar Air (w)

Kadar air (w) yaitu rasio antara berat air terhadap berat butiran tanah yang ditentukan dalam persentase (%) (Isbusandi et al., 2018).

Kadar air dihitung dengan rumus:

$$W = \frac{(W1 - W2) \times 100\%}{W} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

- W = kadar air (%)
- W1 = Massa air yang terkandung dalam tanah (dalam garam)
- W2 = Massa tanah kering (dalam garam)

### 2.5.2. Berat Jenis Tanah (Gs)

Berat jenis tanah merupakan analisis komparasi antara berat partikel tanah dan berat air saat volume dan suhu yang setara (Isbusandi et al., 2018).

Rumus berat jenis tanah (Gs) adalah:

$$Gs = \frac{\rho_s}{\rho_w} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

- GS = Berat Jenis Tanah (tanpa satuan, karna perbandingan massa dua jenis)
- Ps = Massa jenis partikel tanah (dalam satuan g/cm<sup>3</sup>)
- Pw = Massa jenis air pada suhu 4°C (1 g/cm<sup>3</sup>).

**2.5.3. Analisa Saringan**

Analisis saringan melibatkan penyaringan dan mengoyangkan sampel tanah melewati serangkaian saringan dengan lubang yang semakin mengecil. Sisa tanah pada setiap saringan ditimbang, lalu dihitung persentase berat kumulatifnya. Metode analisis saringan ini dipergunakan dalam mengetahui ukuran butiran yang mempunyai diameter lebih dari 0,075 mm. Dalam menentukan distribusi ukuran partikel dalam tanah, terdapat dua metode yang dapat digunakan (Miswar et al., 2018). Keduanya yaitu :

a. Analisa Ayakan (*Grain Size*)

Analisis saringan (*sieve analys*) adalah suatu percobaan yang melibatkan penyaringan sampel tanah melalui serangkaian saringan, yang lubang-lubangnya secara bertahap mengecil ke arah bawah. Metode ini biasanya diterapkan untuk memisahkan partikel atau bahan dengan ukuran diameter ≥ 0,075 mm. Proses ini dilakukan dengan menyaring tanah menggunakan serangkaian saringan bertingkat, di mana saringan dengan lubang terbesar berada di bagian atas dan ukuran lubangnya semakin kecil ke bawah. Tanah yang tertahan di setiap saringan mewakili ukuran tertentu dari sampel tanah. Pada praktiknya, metode ini hanya mengelompokkan sebagian tanah yang terjebak di antara dua ukuran saringan (Hanafiah, 2010).

Prosedur perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Berat spesimen sebelum dicuci = A gram  
 Berat spesimen setelah dicuci = B gram  
 Berat lumpur = berat spesimen yang lolos saringan no. 200  
 = A – B
2. Volume Berat tanah yang tertahan pada saringan ukuran Ø 4,76 mm hingga Ø 0,075 mm = C gram

kehilangan volume = (B – C gram)

3. Kadar Lumpur dengan  $\alpha$  = berat tanah yang tertahan pada alas saringan

4. Persentase tanah yang tertahan

$$= \frac{\text{berat sampel yang tertinggal}}{A} \times 100\%$$

5. Kumulatif persentase tanah yang tertahan

$$= \text{Jumlah} + \text{presentase tanah di atasnya}$$

6. Persentase finer (lolos) = (100% - kumulatif persentase tanah yang tertahan)

b. Analisa Hidrometer

Uji hidrometer adalah cara yang dipergunakan dalam menentukan distribusi ukuran butiran tanah dengan mengamati proses pengendapannya dalam air. Pengujian ini juga dikenal sebagai uji sedimen dan bertujuan untuk mengukur distribusi ukuran partikel pada tanah bertekstur halus.

Uji *analys hydrometer* ditentukan oleh pengendapan partikel tanah atau dengan proses pengendapan. Metode ini didasarkan pada hukum *stokes* tentang laju partikel mengendap dalam suspensi dalam larutan. Persamaan yang bisa dipergunakan sebagai berikut:

$$\text{Persentase butiran } N = \frac{\text{Setelah pembacaan}}{\text{Jumlah selisih pembacaan}} \times \text{Kadar lumpur}$$

Dengan Ketentuan:

KL = nilai kadar lumpur (berat lumpur)

D = nilai diameter, dihitung dengan rumus  $(106.10^{-7} z/t)^{1/2}$

t = waktu dalam detik

z = 24 -  $\alpha$  (0,2)

$\alpha$  = jumlah strip pada setiap pembacaan

#### 2.5.4. Batas – batas *Atterberg*

*Atterberg* salah satu metode untuk mendeskripsikan konsistensi tanah berdasarkan kadar airnya. Batas tersebut meliputi batas cair (*Liquid Limit*), batas plastis (*Plastic Limit*), dan indeks plastisitas (*Plasticity Index*) (Kusuma et al, 2018).

a. **Batas Cair (*Liquid limit* – LL)**

Batas cair (*Liquid Limit*), WL adalah kuantitas air tertentu yang mana tanah mengalami transisi dari kondisi plastis ke cair. Pada tingkat kelembapan ini,

tanah memiliki kekuatan geser paling rendah.

**b. Batas Plastis (*Plastic Limit – PL*)**

Batas plastis (*Plastic Limit*),  $w_p$  adalah kuantitas air minimum yang mana tanah tetap menunjukkan sifat plastis. Sifat plastis ini ditentukan ketika tanah yang digulung menggunakan telapak tangan di atas permukaan kaca mulai retak sesudah memperoleh diameter sekitar 1/8 inci.

**c. Indeks Plastis (*Plasticity Index – PI*)**

Indeks plastisitas menggambarkan rasio antara batas cair (LL) dan batas plastis (PL) suatu tanah, yang dinyatakan dalam rumus  $PI = LL - PL$ . Indeks ini digunakan untuk menentukan tingkat plastisitas tanah. Tanah yang mengandung banyak partikel lempung umumnya memiliki nilai PI yang tinggi, sedangkan tanah dengan PI rendah biasanya lebih didominasi oleh lanau, memiliki kadar air lebih sedikit, dan cenderung lebih kering.

**2.5.5. CBR (*California Bearing Ratio*)**

CBR adalah rasio antara beban penetrasi suatu material dan material yang standar pada kedalaman serta laju penetrasi yang setara. Pengujian CBR dilaksanakan untuk menemukan daya dukung maksimum tanah dalam kondisi padat. Tes ini bertujuan untuk menemukan nilai CBR pada tanah yang telah dimampatkan di laboratorium dengan kadar air optimum ( $w_{opt}$ ). Selain itu, pengujian ini juga digunakan dalam memahami korelasi antara kadar air dan tingkat kepadatan tanah (Yulianti et al., 2023).

Berdasarkan cara pengambilan sampel tanah, uji CBR dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Uji CBR di lokasi
2. Uji CBR dilokasi dengan rendaman
3. Uji CBR terencana, yang dilakukan pada titik tertentu atau di laboratorium, terdiri dari dua jenis:
  - CBR laboratorium dengan rendaman
  - CBR laboratorium tanpa rendaman

Nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dinyatakan dalam persentase dan digunakan untuk mengukur kekuatan tanah. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan tekanan yang dibutuhkan untuk menekan tanah menggunakan

piston berdiameter 3 inci pada kecepatan penetrasi 0,05 inci per menit dengan tekanan yang dibutuhkan untuk melewati material standar. Sebagai acuan, material batu pecah yang punya kualitas tinggi digunakan dalam pengujian dengan asumsi nilai CBR sebesar 100%.

$$\text{Nilai CBR} = (\text{Nilai Beban Uji} / \text{Nilai Beban Standar}) \times 100\%$$

Dengan kata lain, nilai CBR menunjukkan seberapa baik kualitas tanah dasar jika dikomparasikan dengan material standar. Sebagai acuan, batu pecah memiliki nilai CBR sebesar 100% dalam kemampuannya menahan beban lalu lintas (Yohanes et al., 2020).

## **2.6. Sifat Mekanika Tanah**

Sifat mekanik tanah mengacu pada karakteristik tanah saat menerima beban, yang menjadi parameter penting dalam perencanaan pondasi.

### **2.6.1. Pemadatan Tanah**

Pemadatan tanah adalah suatu tahapan meningkatkan kepadatan tanah dengan mendekatkan antara partikel-partikelnya, akibatnya volume udara di dalam tanah menjadi berkurang. Secara sederhana, pemadatan adalah proses mekanis yang bertujuan mengeluarkan udara dari rongga-rongga tanah. Di laboratorium, pengujian untuk mengontrol kualitas dilakukan dengan memadatkan sampel tanah menggunakan metode tumbukan (dinamis), alat kompresi, atau tekanan statis melalui piston dan mesin penekan.

Pemadatan bertujuan untuk meningkatkan karakteristik teknis tanah. Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari proses ini meliputi:

1. Mengurangi terjadinya *subsidence*, yaitu pergerakan vertikal yang terjadi pada komposisi tanah
2. Meningkatkan kekuatan tanah.
3. Mengoptimalkan kadar air dalam tanah.
4. Meningkatkan berat isi kering dengan metode Proctor yang mempertimbangkan angka pori.

Saat proses pemadatan tanah, air ditambahkan untuk melembabkan partikel tanah, sehingga mereka dapat bergerak lebih leluasa dan saling mendekat dengan lebih rapat. Dengan tingkat pemadatan yang relative sama, berat volume kering

tanah ( $\gamma_k$ ) akan meningkat seiring bertambahnya kadar air. Namun, setelah menyentuh titik berat volume kering maksimum ( $\gamma_k \text{ max}$ ) pada kadar air optimum ( $W_{opt}$ ), penambahan air justru menyebabkan penurunan nilai  $\gamma_k$ . Hal ini terjadi karena kelebihan air mengisi ruang pori dalam tanah yang seharusnya dapat ditempati oleh partikel padat (Yohanes et al., 2020).

### 2.6.2. Kuat Geser Tanah

Pengujian kuat geser tanah merupakan metode dalam mengukur seberapa besar kekuatan geser tanah dengan cara ril. Spesimen yang dipergunakan dalam pengujian ini biasanya berasal dari tanah yang tidak begitu mampat, seperti tanah lunak dengan kandungan lempung yang tinggi. Ketepatan hasil pengujian sangat bergantung pada perawatan sampel sebelum uji dilakukan, terutama untuk sampel yang diambil dalam kondisi asli (undisturbed). Dalam hal ini, struktur tanah serta kadar air harus tetap dipertahankan sebagaimana kondisi di lokasi aslinya (Craig, 1991).

Kekuatan geser (direct shear) tanah diukur memakai 2 parameter tanah yaitu kohesi ( $c$ ) atau gaya tarik menarik antar partikel. Parameter ini diperoleh dengan melakukan uji laboratorium. Pengujian kuat geser tanah di laboratorium dapat dilaksanakan menggunakan pelbagai peralatan uji untuk menentukan sudut geser dalam ( $\phi$ ) atau gesekan antar butiran tanah. Berdasarkan teori Mohr, penyebab keruntuhan material adalah kombinasi kritis antara tegangan normal dan tegangan geser. (Prihatin, 2014)

### 2.7. Fly Ash

Partikel halus berukuran satu partikel dari limbah pembakaran batu bara disebut fly ash) abu terbang. *Fly ash* biasanya untuk bahan tambahan (*additive*) dalam campuran beton. Ini digunakan sebagai pengganti semen dan sebagai stabilisator dalam perbaikan tanah lunak. Karena *fly ash* memiliki material-material pozzolan seperti silika ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), dan sulfat ( $\text{SO}_4$ ). Saat *fly ash* dicampur dengan tanah, kandungan kalsiumnya akan bereaksi dengan aluminium dan silikat dalam tanah. Sehingga dapat meningkatkan kandungan aluminium dan silikat tanah serta dapat meningkatkan hasil gradasi tanah yang baik. (Prayino, Husnah, 2019)



**Gambar 2.2.** *Fly Ash*

Sumber : *Google*, 2024

## **2.8. Stabilisasi Tanah Menggunakan *Fly Ash***

*Fly ash* merupakan limbah padat yang dihasilkan dari suatu proses pembakaran di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Partikel ini terbawa oleh aliran gas hasil pembakaran dan kemudian ditangkap menggunakan *elektrostatic precipitator*. Sisa hasil pembakaran ini meliputi abu dasar (*bottom ash*), terak (*slag*), dan abu terbang (*fly ash*), di mana *fly ash* merupakan residu dengan butiran berukuran relatif sangat kecil (Leliana & Andajani, 2015)

Menurut Bowles (1989), jika tanah di lokasi proyek cenderung lepas, mudah mengalami tekanan, memiliki indeks konsistensi yang tidak stabil, atau memiliki permeabilitas yang terlalu tinggi maupun terlalu rendah, serta menunjukkan karakteristik lain yang kurang mendukung, maka perlu dilakukan stabilisasi tanah untuk meningkatkan kualitasnya.

Berbagai teknik stabilisasi dapat diterapkan untuk meningkatkan kualitas tanah yang kurang menguntungkan bagi konstruksi, salah satunya dengan menambahkan senyawa kimia secara langsung ke dalam tanah. Indera K (2016) melakukan penelitian terkait stabilisasi tanah lanau organik (OL) atau lanau dengan plastisitas rendah (ML) menggunakan abu terbang sebagai material stabilisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa abu terbang (*fly ash*) bisa meningkatkan nilai batas plastisitas dan likuiditas tanah, serta berpengaruh pula terhadap nilai kuat tekan bebas. Batas plastis merupakan kadar air pada saat tanah berubah dari keadaan

plastis menjadi keadaan semi-plastis, sedangkan batas cair merupakan kadar air minimum yang menyebabkan tanah berubah dari keadaan plastis menjadi keadaan cair. (Utami et al., 2021)

## 2.9. Daya Dukung Tanah

Salah satu masalah yang kerap muncul pada tanah dasar yaitu ketidak seragaman daya dukung tanah itu sendiri, yang dapat disebabkan oleh perbedaan karakteristik tanah di lokasi yang berdekatan dan kesalahan dalam melakukan pelaksanaan yang mengakibatkan kepadatan tanah yang kurang optimal. Oleh karena itu, stabilisasi dan pemadatan tanah sangat dianjurkan untuk meningkatkan kualitas konstruksi tanah dasar. Pemadatan sendiri merupakan proses yang menggunakan tenaga dinamis untuk memperpadat tanah sekaligus mengeluarkan udara di dalamnya tanpa mengubah kadar air tanah tersebut (Wismantara & Budiarnaya, 2020).

Daya dukung tanah berperan penting dalam menentukan jenis fondasi yang akan digunakan. Untuk menilai daya dukung tanah, dapat dilakukan berbagai uji mekanis seperti uji Sondir, *Standard Penetration Test* (SPT), dan *California Bearing Ratio* (CBR). Pada tanah lempung lunak yang memiliki daya dukung cukup baik pada kedalaman lebih dari 10 meter, diperlukan fondasi dengan kedalaman yang memadai, seperti tiang pancang, *bored pile*, atau *caisson*. Kondisi ini umumnya ditemukan pada proyek pembangunan gedung bertingkat yang memiliki beban berat dan eksentrisitas besar. Sementara itu, dalam proyek pembangunan jalan, daya dukung tanah menentukan jenis material yang digunakan sebagai fondasi jalan yang berada di atas lapisan *subgrade*. Berbagai metode perhitungan daya dukung tanah lunak telah dikembangkan oleh para ahli geoteknik, di antaranya metode Sondir, SPT Mayerhoff, Chin, Janbu, dan Danish. Namun, metode yang paling umum digunakan adalah perhitungan Sondir dan SPT Mayerhoff. Dalam metode Sondir, perhitungan daya dukung ( $P_u$ ) didasarkan pada hasil uji sondir yang menghasilkan angka conus dan friksi, yang mencerminkan tahanan gesek tanah. (Wismantara & Budiarnaya, 2020)

## 2.10. Penelitian Sebelumnya Yang Serupa

**Tabel 2.5.** Penelitian Sebelumnya yang Serupa

No	Judul Penelitian		
1.	<b>Daya Dukung Permukiman dan Kesesuaian Pola Ruang Kawasan Permukiman di Kecamatan Gunung Pati Kota Semarang</b>		
	Peneliti	1	Hermawan, 2019
		2	Rudianto, 2019
	Metode	Riset ini menerapkan metode kuantitatif dengan memperoleh data dari dua sumber utama. Data sekunder diperoleh melalui studi dan analisis dokumen dari lembaga terkait, sementara data primer dikumpulkan melalui pengamatan langsung di lapangan. Untuk menganalisis data, penelitian ini menerapkan pendekatan spasial dengan bantuan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) dan Penginderaan Jauh.	
	Hasil	Hasil penelitian mengindikasikan bahwa secara keseluruhan, kemampuan daya dukung lahan untuk permukiman di Kecamatan Gunung pati termasuk cukup baik. Namun, terdapat satu kelurahan yang memiliki kondisi kurang ideal untuk permukiman. Sesuai dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Semarang tahun 2011–2031, pemanfaatan lahan di Kecamatan Gunungpati didominasi oleh kawasan budidaya, di mana sekitar 48,7% dari luasnya digunakan untuk permukiman. Meskipun demikian, pada tahun 2018, sekitar 89,91 hektar dari total kawasan permukiman di wilayah tersebut sudah tidak lagi layak untuk dikembangkan sebagai area hunian.	

2.	<b>Evaluasi Geoteknik Kelongsoran Lereng 23 Januari 2014 Diperumahan Gunung Pati Kota Semarang</b>		
	Peneliti	1	Cahyo, 2015
		2	Nugroho, 2015
		3	Widodo, 2015
Metode	<p>Penelitian ini diawali dengan survei lapangan yang mencakup pemeriksaan kondisi drainase lereng, identifikasi rekahan tanah, observasi rembesan air, serta analisis potensi arah longsoran. Selanjutnya, dilakukan survei tanah di lapangan untuk mengukur kapasitas penetrasi tanah menggunakan alat Sondir pada lima titik. Penelitian ini juga mencakup analisis stabilitas lereng guna menentukan nilai faktor keamanan (SF), lokasi bidang gelincir, serta mekanisme terjadinya longsoran.</p>		
Hasil	<p>Kelongsoran terjadi akibat beberapa faktor utama, yaitu kurang stabilnya timbunan tanah, tata guna lahan yang mengalami perubahan, dengan sistem drainase yang tidak terorganisir dengan baik, serta curah hujan yang memicu longsor. Keempat faktor ini saling berkaitan dan menunjukkan bahwa infrastruktur di Perumahan Trangkil Sejahtera, Gunungpati, Semarang, tidak dipersiapkan secara optimal untuk menghadapi risiko longsor. Berdasarkan pengamatan visual dan analisis data sondir, timbunan tanah yang terdiri dari lanau berlempung lunak di atas lereng berisiko mengalami pergerakan tanah, terutama saat kondisi jenuh air.</p>		
3.	<b>Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Campuran Semen dan <i>Fly Ash</i></b>		
	Peneliti	1	Husna, 2019
		2	Darfia, 2019

		3	Prayino, 2019
	Metode	Bahan penelitian yang digunakan berupa sampel tanah terganggu ( <i>disturbed sample</i> ) yang telah disesuaikan dan dibagi ke dalam beberapa kombinasi campuran. Selanjutnya, sampel tersebut dipadatkan menggunakan alat pengujian Proctor sebelum diuji dengan alat CBR.	
	Hasil	Penelitian ini mengungkapkan bahwa tanah lempung di Tenayan Raya memiliki tingkat plastisitas yang tinggi. Dengan menambahkan semen dan <i>fly ash</i> , nilai batas cair dan indeks plastisitas berkurang, sementara batas plastis mengalami peningkatan. Komposisi terbaik untuk meningkatkan kekuatan tanah ditemukan pada campuran 65% tanah lempung, 20% semen, dan 15% <i>fly ash</i> , yang menghasilkan nilai CBR sebesar 52,32%. Kombinasi ini memperkuat ikatan antar partikel tanah serta meningkatkan mekanisme saling mengunci antar butiran, sehingga daya dukung tanah menjadi lebih baik.	
4.	<b>Pemanfaatan <i>Fly Ash</i> Untuk Peningkatan Nilai CBR Tanah Dasar</b>		
	Peneliti	1	Apriyati, 2014
		2	Hambali, 2014
	Metode	Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di laboratorium. Tahapan penelitian mencakup pengujian tanah asli, yang terdiri dari analisis sifat fisik dan mekanik tanah, serta dilanjutkan dengan proses pembuatan sampel uji.	
	Hasil	Penelitian ini mengungkapkan bahwa penambahan <i>fly ash</i> dan durasi pemeraman berkontribusi pada peningkatan nilai CBR tanah lempung. Hasil terbaik	

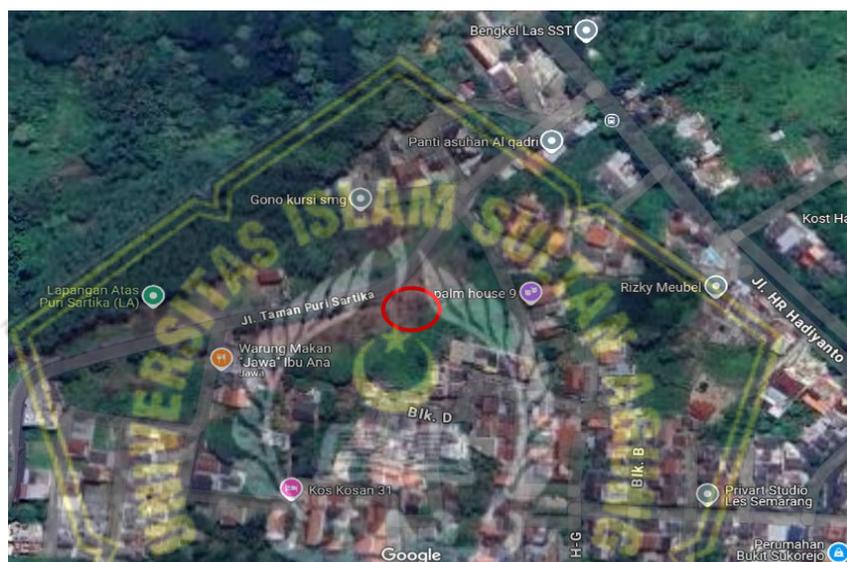
		diperoleh pada campuran dengan 16% <i>fly ash</i> setelah 28 hari pemeraman, di mana nilai CBR meningkat hingga 15,1%. Peningkatan ini setara dengan 202% dibandingkan dengan tanah A-7-6 tanpa campuran atau dalam kondisi aslinya.
5.	<b>Pengaruh Penambahan <i>Fly Ash</i> Terhadap Stabilisasi Tanah Lempung.</b>	
	Peneliti	1   Agusty an, 2021
		2   Arriski, 2021
	Metode	Pengujian laboratorium yang dilakukan meliputi uji kadar air, berat jenis, analisis saringan, batas <i>Atterberg</i> , uji geser langsung ( <i>direct shear</i> ), <i>Proctor Modified</i> , dan CBR.
Hasil	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air, berat jenis (GS), indeks plastis (IP), dan kadar air optimum pada uji <i>Proctor modified</i> mengalami penurunan secara linier pada setiap sampel. Sementara itu, hasil pengujian sudut geser dalam dan nilai CBR cenderung meningkat dengan penambahan <i>fly ash</i> . Nilai CBR tanah asli yang awalnya 11,37% meningkat menjadi 12,50% pada campuran 8%, kemudian naik menjadi 14,09% pada campuran 13%, dan mencapai 15,07% pada campuran 18%. Namun, pada campuran 23%, nilai CBR kembali menurun menjadi 13,73%. Penambahan <i>fly ash</i> sebesar 18% memberikan peningkatan yang paling signifikan.	

## BAB III

### METODELOGI PENELITIAN

#### 3.1. Lokasi dan Subjek Penelitian

Sampel tanah untuk penelitian Tugas Akhir ini diambil dari Desa Trangkil, Kec. Gunung Pati, Kab. Semarang. Lokasi pengambilan sampel tanah asli dapat dilihat pada Peta **Gambar 3.1** di bawah ini.



**Gambar 3.1.** Peta Lokasi Pengambilan Sampel Tanah di Ds. Trangkil, Kec. Gunung Pati, Kab. Semarang, Jawa Tengah.

Sumber: Google Maps, 2024

#### 3.2. Desain Penelitian

Desain penelitian disusun berdasarkan referensi dari berbagai sumber, seperti jurnal, buku panduan, diktat kuliah, pedoman peraturan, serta literatur lainnya. Sumber-sumber tersebut digunakan untuk memperoleh dasar teori dan parameter yang diperlukan dalam menganalisis suatu permasalahan serta memahami perilaku tanah terhadap konstruksi yang akan dibangun di atasnya.

### 3.3. Metode Penelitian

Metode penelitian dalam Tugas Akhir ini dilakukan melalui eksperimen di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan karakteristik tanah asli yang diperoleh dari lapangan dengan metode stabilisasi kimia menggunakan *fly ash*.

Cara percobaan yang dipakai pada eksperimen ini dengan menambahkan *fly ash* pada tanah asli untuk mengetahui nilai CBR. Sebagai kelompok kontrol yaitu tanah asli tanpa tambahan bahan. Sedangkan sebagai kelompok eksperimen yaitu tanah asli campuran *fly ash*. Dari pengamatan dan rencana pencampuran ini, di harapkan untuk mengetahui pengaruh terhadap penambahan bahan tersebut.

### 3.4. Alat (Instrumen) dan Bahan

#### 3.4.1. Menyiapkan Alat

Mengidentifikasi dan menyiapkan peralatan yang digunakan dalam proses percobaan dari awal hingga akhir. Peralatan pengujian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat uji kadar air, berat jenis tanah, analisis saringan, batas *Atterberg*, uji geser langsung (*direct shear*), *Proctor Standart*, serta *California Bearing Ratio* (CBR). Selain itu, penelitian ini juga memanfaatkan berbagai peralatan lain yang tersedia di Laboratorium Geoteknik, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang, juga digunakan sesuai dengan standar *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

- Kadar Air

Pengujian ini menentukan persentase kandungan berat air dalam tanah relatif terhadap berat tanah dalam kondisi kering, dengan hasil yang dinyatakan dalam bentuk persentase.

Alat yang dipakai:

1. Neraca
2. Cawan
3. Oven dengan suhu  $105^0 - 110^0$  C

- Berat Jenis Tanah (Gs)

Pengujian berat jenis tanah (Gs) merupakan rasio antara berat tanah dan berat

air dalam suhu khusus dan volume yang setara. Peralatan yang dipakai:

1. Piknometer
  2. anak timbangan dan *Neraca*
  3. Oven
  4. Thermometer
  5. Air destilasi (*Aquadest*)
- Analisis Saringan (*Sieve Analysis*)
    - a. Ukuran Butir (*Grain Size*)

Pengujian memiliki tujuan dalam mengelompokkan tanah dan menetapkan distribusi dimensi partikel tanah.

Peralatan yang dipergunakan dalam praktikum :

1. Saringan dengan diameter berkisar(  $\varnothing$  4,76 mm hingga  $\varnothing$  0,074 mm)
2. Mesin pengayak getar.
3. *Neraca analitis* beserta anak timbangannya
4. Oven
5. Cawan

Tahapan pelaksanaan Pengujian ukuran butir (*grain size*) antara lain adalah.

- a. Ambil sampel tanah kering dalam jumlah yang cukup (misalnya sampel tanah bor dari kedalaman 1 meter), lalu timbang dengan berat A gram
- b. Masukkan sampel ke dalam cawan besar, tambahkan air, dan rendam selama sekitar 24 jam.
- c. Cuci sampel menggunakan saringan berdiameter 0,075 mm (No. 200), lalu pisahkan bagian lumpurnya.
- d. Sampel yang telah bersih dari lumpur dikeringkan dalam oven, kemudian ditimbang dengan berat B gram.
- e. Susun saringan pada alat penggetar dengan ukuran diameter yang semakin kecil ke arah bawah.
- f. Letakkan sampel yang sudah ditimbang pada saringan teratas, lalu lakukan penggetaran selama sekitar 5 menit.
- g. Timbang setiap sampel yang tertinggal pada masing-masing saringan dan tempatkan dalam cawan.

Metode penggambaran dan perhitungan.

- 1) Berat sampel awal = A gr  
Berat sampel setelah dicuci dan dikeringkan = B gr  
Berat lumpur yang terpisah = A-B
- 2) Total berat tanah yang tertinggal pada saringan dengan ukuran Ø 4,75 mm hingga Ø 0,075 mm = C gr  
selisih berat = (B-C) gr
- 3) Kadar lumpur =  $\frac{(A-B)+\alpha}{A} \times 100\%$

Dengan  $\alpha$ : berat tanah yang tersisa pada dasar saringan.

4) Grafik bisa dibuat pada tabel, berdiameter (Ø) saringan menjadi sumbu horizontal (*absis*) dan persen lolos (*percent finer*) sebagai sumbu vertikal (*ordinat*).

- *Atterberg Limits* (Batas-batas Konsistensi)

- a. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Pengujian memiliki tujuan dalam mengukur kadar air pada keadaan transisi antara keadaan cair dan plastis.

Peralatan yang dipergunakan dalam praktikum ini:

1. Alat cassagrande beserta coletnya
2. Saringan no. 40 (0,425mm)
3. Cawan berukuran besar
4. Oven
5. Neraca analitis
6. Eksikator, alat untuk pendinginan

Prosedur Pengujian Batas Cair (*Liquid Limit*):

- 1) Ambil sampel tanah dalam jumlah yang cukup, kemudian keringkan di dalam oven selama kurang lebih 24 jam. Setelah kering, tumbuk dan ayak menggunakan saringan No. 40 (0,425 mm).
- 2) Ambil sebagian sampel tanah, letakkan dalam mangkuk, tambahkan aquadest, lalu aduk hingga merata dan homogen.
- 3) Setelah homogen, masukkan sampel ke dalam mangkuk Cassagrande, ratakan, lalu buat celah di tengahnya menggunakan colet.

- 4) Putar engkol alat Cassagrande sehingga mangkuk melalui ketukan dengan tinggi jatuh  $\pm 1$  cm pada laju sekitar 2 putaran per detik.
- 5) Hentikan pemutaran saat celah tanah menutup sepanjang  $\pm 2$  cm.
- 6) Lakukan percobaan sebanyak empat kali dengan variasi kadar air. Dua kali di bawah 25 ketukan dan dua kali di atas 25 ketukan, dengan perkiraan tanah menutup sepanjang 2 cm.

Ambil sampel dari setiap percobaan untuk dianalisis kadar airnya.

- *Direct Shear*

Uji *direct shear* dilakukan untuk mengukur kekuatan geser tanah secara langsung. Pengujian ini menggunakan beberapa peralatan utama, yaitu:

1. Perangkat uji direct shear
2. Timbangan beserta anak timbangannya
3. Alat pemotong serta cetakan berbentuk cincin.

Prosedur pengujian *direct shear*, yaitu :

1. Menyiapkan perangkat uji, stopwatch, dan mengatur dial ke posisi nol.
2. Membentuk sampel tanah menggunakan ring pencetak, lalu menempatkannya ke dalam wadah uji.
3. Memasang beban vertikal (normal) untuk menghasilkan tegangan normal ( $\sigma_n$ ).
4. Mengoperasikan alat penggerak dengan kecepatan konstan sekitar satu putaran setiap  $\pm 2$  detik, sambil mengaktifkan stopwatch untuk mencatat tegangan geser ( $\sigma_s$ ).
5. Merekam nilai tertinggi pada jarum penunjuk saat pergeseran terjadi, termasuk waktu yang dibutuhkan.
6. Mengulangi percobaan sebanyak tiga kali dengan variasi beban 8 kg, 16 kg, dan 24 kg untuk memperoleh perbedaan tegangan, supaya *outputnya* dapat dianalisis dalam bentuk grafik.

- *Proctor Standard*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kadar air optimal ( $W_{opt}$ ) yang dibutuhkan dalam proses pemadatan tanah, serta mengukur berat volume basah maksimum ( $\gamma_b$ ), berat volume kering maksimum ( $\gamma_k$ ), dan persentase porositas tanah.

Pada praktikum ini, alat yang digunakan mencakup sebagai berikut :

1. Perangkat Proctor beserta alat pemadatnya.
  2. Jangka sorong untuk pengukuran presisi.
  3. Pisau perata untuk meratakan sampe.
  4. Timbangan untuk mengukur berat sampel.
  5. *Neraca* analitis beserta anak timbangannya.
  6. Cawan uji untuk menampung sampel.
  7. Oven pengering untuk menghilangkan kadar air.
  8. Gelas ukur untuk mengukur volume cairan.
  9. Saringan no. 4 (diameter 4,76 mm) untuk pemisahan partikel.
- *California Bearing Ratio* (CBR)
 

Pemeriksaan ini dilaksanakan untuk mengetahui tingkat CBR pada tanah atau campuran tanah dengan agregat yang telah dimampatkan di laboratorium dengan jumlah air spesifik. Nilai CBR diperoleh dengan membandingkan beban penetrasi material yang diuji dengan beban material standar pada kedalaman serta kecepatan penetrasi yang sama.

Alat yang dipergunakan pada praktikum ini:

    1. Mesin penetrasi (*Loading Machine*)
    2. Die silinder
    3. Cakram Pemotong Logam (Cakram Kertas)
    4. Alat Penumpukan dengan Uji Kompresi
    5. Alat pengukur pengembangan (*Swell*)
    6. Keping beban
    7. Pistol penetrasi
    8. Pengukur beban dan pengukur penetrasi
    9. Alat timbang

#### **3.4.2. Menyiapkan Bahan**

Berikut ini merupakan bahan-bahan yang digubakan dalam penelitian :

- Tanah
 

Sampel tanah yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung yang diperoleh dari Desa Trangkil, Kec. Gunung Pati, Kab. Semarang, Jawa Tengah.

- Air

Air yang dipakai dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Geoteknik, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

- *Fly Ash*

*Fly ash* yang dipergunakan sebagai material stabilisasi pada penelitian Tugas Akhir ini diperoleh dari.

**Tabel 3.1. Mix Design**

Kode	Mix Design	Berat Tanah	Berat <i>Fly Ash</i>	Sampel
A01	Tanah Asli + 0% FA	100%	0%	1
A51	Tanah Asli 95% + 5% FA	95%	5%	1
A101	Tanah Asli 90% + 10% FA	90%	10%	1
A151	Tanah Asli 85% + 15% FA	85%	15%	1
A201	Tanah Asli 80% + 20% FA	80%	20%	1

### 3.5. Teknik Pengumpulan Data

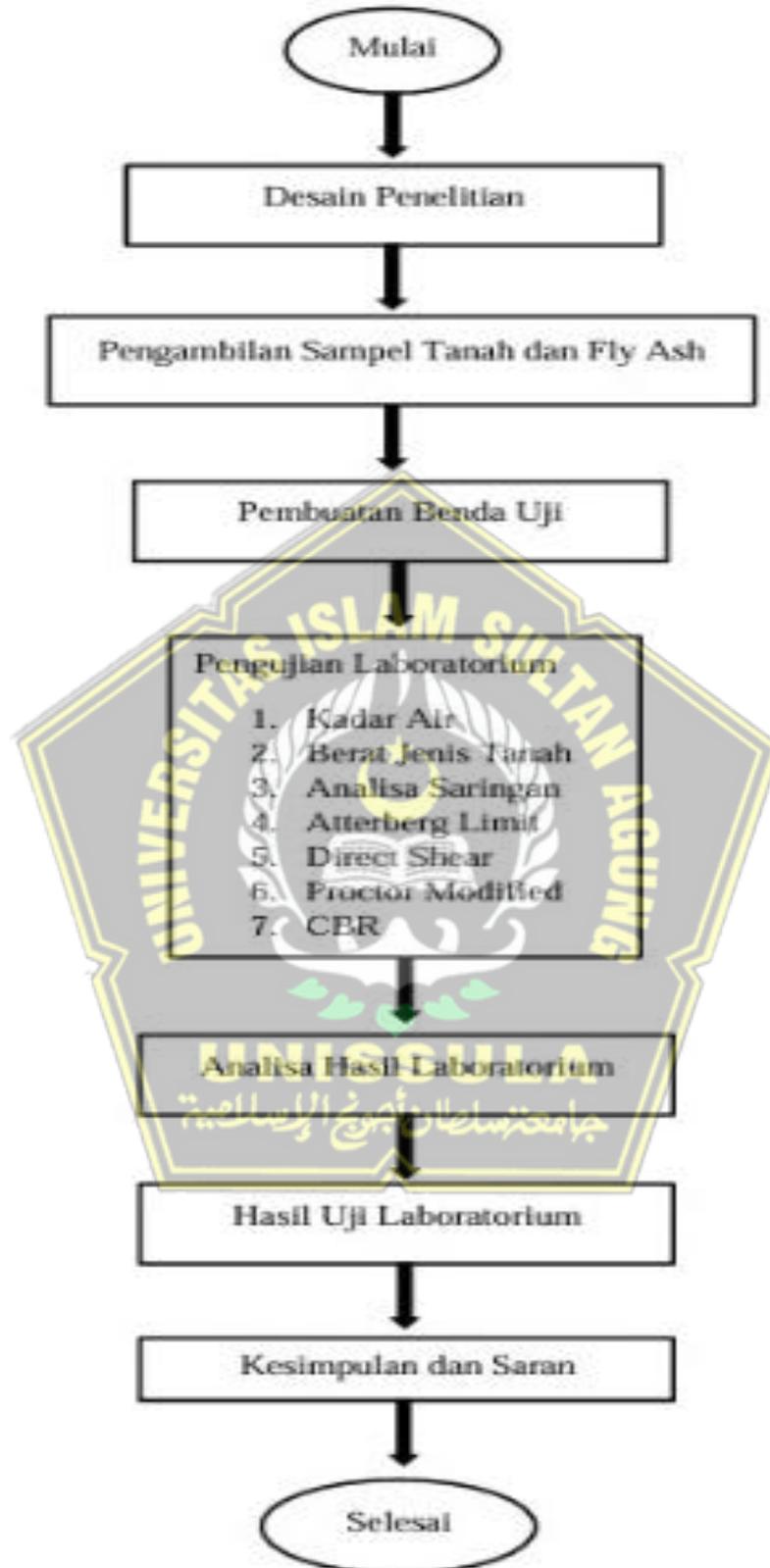
Data primer dan sekunder adalah dua metode yang dipergunakan dalam penelitian ini. Data primer didapat melalui observasi langsung, pengujian laboratorium, serta wawancara dengan pihak terkait. Sementara itu, data sekunder dikumpulkan dari berbagai literatur yang berisi informasi ilmiah mengenai Penambahan *Fly ash* Untuk Meningkatkan Nilai CBR Tanah Lempung Lunak.

### 3.6. Teknik Analisis Data

Metode analisis data dilaksanakan dengancermat untuk memastikan penyelesaian permasalahan secara akurat dan tepat. Semakin kompleks suatu permasalahan, semakin mendalam analisis yang diperlukan. Oleh karena itu, data serta konsep dasar teori menjadi penting sebagai dasar dalam melakukan analisis yang sistematis dan tepat.

Analisis tanah lempung dengan campuran *fly ash* sebagai stabilisator dilakukan dari hasil praktikum yang sudah dilakukan di laboratorium. Data tersebut digunakan untuk melengkapi parameter tanah yang telah tersedia.

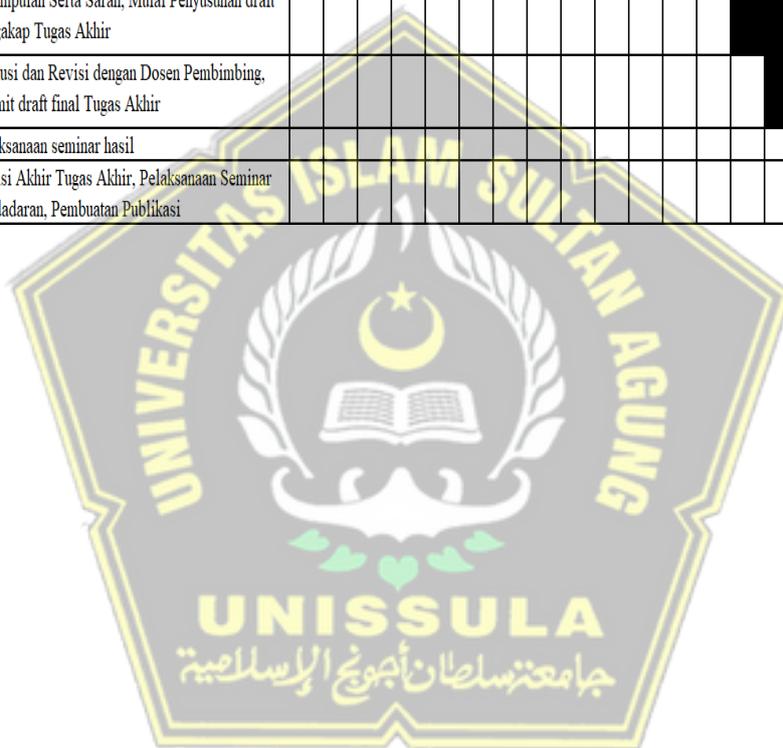
### 3.7. Bagan Alur



Gambar 3.2 Bagan Alur Penelitian

### 3.8. Jadwal Penyelesaian TA

No.	Keterangan	Oktober				November				Desember				Januari				Februari				
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
1	Disposisi TA				■																	
2	Pengumpulan Refrensi dan Literatur Terkait					■	■															
3	Mulai Memulis BAB (1 - 3)						■	■	■													
4	Diskusi dan Revisi dengan Dosen Pembimbing, Submit Proposal Serta Seminar Proposal									■	■											
5	Mulai Penelitian, Melengkapi BAB Hasil Penelitian ( BAB 4, Diskusi dan Revisi dengan Dosen Pembimbing)										■	■	■									
6	Melengkapi Pembahasan ( BAB 5 ) dan Kesimpulan Serta Saran, Mulai Penyusunan draft Lengkap Tugas Akhir													■	■							
7	Diskusi dan Revisi dengan Dosen Pembimbing, Submit draft final Tugas Akhir														■	■						
8	Pelaksanaan seminar hasil																			■		
9	Revisi Akhir Tugas Akhir, Pelaksanaan Seminar Pendadaran, Pembuatan Publikasi																				■	■



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Penelitian

Penelitian dalam Tugas Akhir ini berfokus pada penggunaan *fly ash* sebagai material tambahan untuk memperbesar nilai CBR pada tanah lempung lunak. Spesimen tanah yang dipergunakan dalam penelitian ini berasal dari Desa Trangkil, Kec. Gunung Pati, Kab. Semarang, Jawa Tengah. Penelitian ini dilaksanakan dengan mengacu pada hasil uji laboratorium yang berlangsung di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Berdasarkan data tersebut, karakteristik tanah sampel dapat diidentifikasi, serta dianalisis pengaruh penambahan *fly ash* terhadap sifat tanah. Data yang diperoleh dimanfaatkan untuk mengevaluasi kepadatan optimum tanah asli serta peningkatan daya dukung tanah setelah dicampur dengan *fly ash*. Dalam penelitian ini, *fly ash* ditambahkan dengan variasi persentase sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%.

#### 4.2. Sifat Fisik dan Mekanis Tanah

##### 4.2.1. Kadar Air

Pemeriksaan ini dilaksanakan dengan tujuan mengukur kadar air dalam tanah asli serta melihat bagaimana penambahan *fly ash* memengaruhi kadar air tanah tersebut. Hasil pengujian laboratorium kemudian dianalisis menggunakan rumus berikut:

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

Dengan contoh perhitungan sebagai berikut :

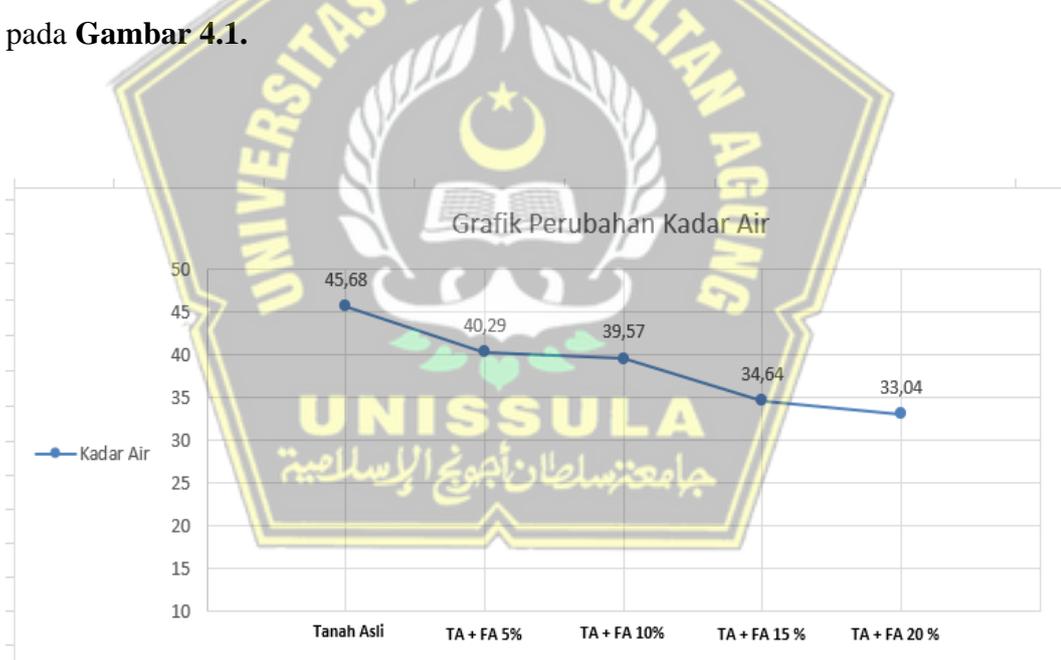
$$w = \frac{115,08 - 80,28}{80,28 - 4,10} \times 100\% = 45,68\%$$

Hasil pengujian kadar air baik pada tanah asli maupun tanah campuran, dapat diperlihatkan dalam **Tabel 4.1**

**Tabel 4.1.** Hasil Pengujian Kadar Air

Sampel	No. Cawan	Berat Cawan	Berat Cawan + Tanah Basah (gr)	Berat Cawan + Tanah Kering (gr)	Kadar Air (%)
0%	1	4,10	115,08	80,28	45,68
5%	2	4,22	115,95	83,86	40,29
10%	3	4,25	113,60	82,60	39,57
15%	4	4,31	114,12	85,87	34,64
20%	5	4,12	114,68	87,22	33,04

Sedangkan grafik yang dihasilkan dari perhitungan kadar air tersebut bisa diamati pada **Gambar 4.1**.



**Gambar 4.1.** Grafik Variasi Kadar Air

#### 4.2.2. Berat Jenis Tanah (GS)

Pengujian berat jenis tanah dilaksanakan untuk memperoleh tingkat parameter indeks tanah yang berkaitan dengan fase udara, air, dan butiran dalam tanah. Pengujian ini diterapkan pada tanah asli serta tanah yang telah dicampur dengan *fly ash*, dengan hasil yang ditampilkan dalam **Tabel 4.2**.

**Tabel 4.2.** Data Pengujian Berat Jenis Tanah

NO	Sampel	Piknometer				Suhu		Koreksi	
		Berat Pikno	B. Pikno + Aquadest	B. Pikno + Sampel	B. Pikno + Sampel + Aquadest	T1 (C°)	T2 (C°)	t1	t2
1	Tanah	27,82	68,68	50,13	90,99	27	27	1,003	1,003
2	FA	32,19	73,63	52,40	93,84	29	30	1,004	1,0042

Dari data tersebut, dapat dianalisa untuk menemukan nilai berat jenis tanah seperti pada contoh berikut :

- Menghitung Berat Jenis Tanah

$$GS = \frac{c - \alpha}{HAP - (d - C)t2}$$
$$= \frac{50,13 - 27,82}{49,62 - (90,99 - 50,13)1,003}$$
$$= 2,588 \text{ gr}$$

Hasil perhitungan data dari seluruh sampel pada pengujian ini dapat dilihat pada table **Tabel 4.3.**

**Tabel 4.3.** Hasil Perhitungan Berat Jenis Tanah

No	Sampel	Tanah Asli	FA	GS Tanah Asli	GS FA	GS Kombinasi
1	0%	100%	0%	2,588	2,309	2,588
2	5%	95%	5%	2,588	2,309	2,572
3	10%	90%	10%	2,588	2,309	2,557
4	15%	85%	15%	2,588	2,309	2,542
5	20%	80%	20%	2,588	2,309	2,527

Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai berat jenis yang terkandung dalam tanah semakin meningkat, seiring dengan bertambahnya jumlah *fly ash* yang dicampurkan, meskipun begitu berat jenis tersebut dibawah berat jenis *fly ash*.

#### 4.2.3. Analisa Saringan

Pengujian analisis saringan dilaksanakan dengan tujuan memastikan distribusi ukuran butiran tanah dari sampel yang berasal dari. Desa Trangkil, Kec. Gunung Pati, Kab. Semarang, Jawa Tengah. Data yang diperoleh antara lain :

##### a. Grain Size

Data yang diperoleh dari pengujian *Grain Size* dengan berat semula 200 gr mendapatkan sisa saringan dengan berat 21,76 gram. Data secara komprehensif dapat ditinjau pada **Tabel 4.4**.

**Tabel 4.4** Data Pengujian *Grain Size*

Diameter Saringan	No. Cawan	Br.t.Cawan (gr)	Br.t. Sampel+Cwn yg tertinggal dlm saringan (gr)	Br.t. Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)
4,750	A	4,30	5,83	1,53
2,000	B	4,03	8,96	4,93
0,850	C	4,13	6,45	2,32
0,425	D	4,24	7,30	3,06
0,250	E	4,16	6,48	2,32
0,180	F	4,18	6,21	2,03
0,150	G	4,08	5,42	1,34
0,075	H	4,05	7,40	3,35
0,000	I	4,06	4,94	0,88
<b>Jumlah</b>				<b>21,76</b>

Analisa hasil pengujian *Grain Size* sebagai berikut :

- Berat awal sampel (A) = 200 gr  
Berat sampel setelah pencucian (B) = 21,76 gr  
Berat lumpur yang terpisah (A – B) = 178,24 gr
- Massa tanah yang tersisa pada saringan (C) = 21 gr
- Selisih berat yang hilang (B – C) = 21,76 – 21  
= 0,76

4. Kadar Lumpur

$$= \frac{(200 - 21,76) + 0,76}{200} \times 100\% = 89,5\%$$

5. Presentase tanah tertinggal

$$= \frac{10,88}{200} \times 100\% = 5,44\%$$

6. Komulatif persen tanah

$$= 5,44\% + 0\% = 5,44\%$$

7. Persentase *Finner*

$$= (100\% - 0\%) = 100\%$$

Hasil perhitungan dari pengujian ukuran butir ditampilkan pada **Tabel 4.5**.

**Tabel 4.5.** Hasil Perhitungan Uji *Grain Size*

Diameter Saringan	Brt. Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Prosentase sampel yg tertinggal (%)	Kumulatif Prosentase sampel yg tertinggal (%)	<i>Percent Finer</i> (%)
4,750	1,53	0,77	0,77	100,00
2,000	4,93	2,47	3,23	96,77
0,850	2,32	1,16	4,39	95,61
0,425	3,06	1,53	5,92	94,08
0,250	2,32	1,16	7,08	92,92
0,180	2,03	1,02	8,10	91,91
0,150	1,34	0,67	8,77	91,24
0,075	3,35	1,68	10,44	89,56
0,000	0,88	0,44	10,88	89,12
Jumlah	21,76	10,88		

b. *Hidrometer*

Data pengujian *Hidrometer* pada sampel tanah asli diperoleh dari uji laboratorium tercantum pada **Tabel 4.6**.

**Tabel 4.6.** Data Pengujian Hidrometer

Waktu (menit)	Pembacaan Strip
0	50
1/4	49
1/2	48
1	47
2	46
5	43
10	40
45	6
75	0
90	0
120	0

Analisa perhitungan dari data pengujian yang diperoleh yaitu sebagai berikut :

1. Perbedaan Pembacaan

$$\begin{aligned}
 &= (\text{nilai pada strip pertama} - \text{nilai pada strip kedua}) \times 0,2 \\
 &= (50 - 49) \times 0,2 \\
 &= 0,2
 \end{aligned}$$

2.  $Z = 24 - \alpha (0,2)$

$$\begin{aligned}
 &= 24 - 0 (0,2) \\
 &= 24
 \end{aligned}$$

3.  $D = (106.10 - 7. z/t)^{1/2}$

$$\begin{aligned}
 &= (106.10 - 7. z/t)^{1/2} \\
 &= 0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4.  $N = \frac{\text{selisih pembacaan}}{\text{jumlah selisih pembacaan}} \times \text{kadar lumpur}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0}{50} \times 89,5\% \\
 &= 0\%
 \end{aligned}$$

5. Persentase Kumulatif

$$\begin{aligned}
 &= 0\% + 0\% \\
 &= 0\%
 \end{aligned}$$

6. Persentase *Finner*

$$= 89,12\% - 0\%$$

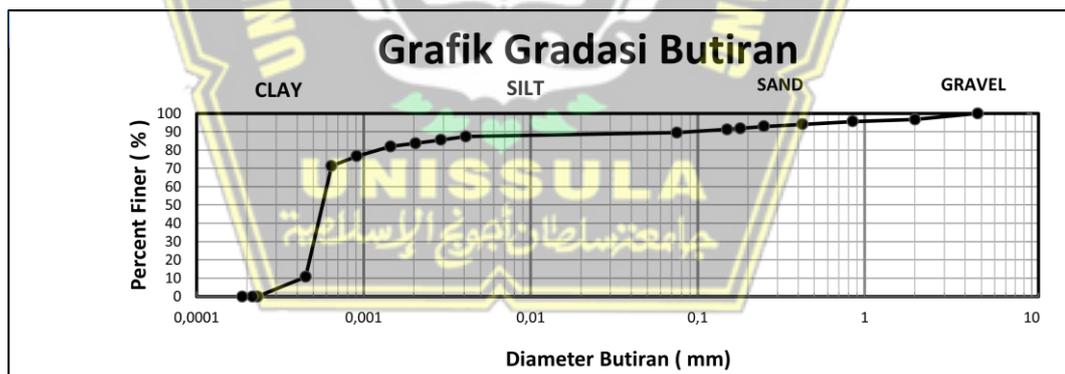
$$= 89,12\%$$

Hasil keseluruhan perhitungan dari uji Hidrometer dapat ditinjau dalam **Tabel 4.7.**

**Tabel 4.7.** Hasil Perhitungan Hidrometer

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Prosentase Butiran (%)	Prosentase Kumulatif (%)	Percent Finer (%)
0	50	0	24	0,00412	0,0	0,00	89,12
1/4	49	1	23,8	0,00410	1,8	1,78	87,34
1/2	48	1	23,8	0,00290	1,8	3,56	85,56
1	47	1	23,8	0,00205	1,8	5,35	83,77
2	46	1	23,8	0,00145	1,8	7,13	81,99
5	43	3	23,4	0,00091	5,3	12,48	76,64
10	40	3	23,4	0,00064	5,3	17,82	71,30
45	6	34	17,2	0,00045	60,6	78,43	10,69
75	0	6	22,8	0,00023	10,7	89,12	0,00
90	0	0	24	0,00022	0,0	89,12	0,00
120	0	0	24	0,00019	0,0	89,12	0,00
		50					

Dari Analisa perhitungan Grain Size dan Hidrometer pada sampel tanah asli, maka didapatkan Grafik seperti dalam **Gambar 4.2.**



**Gambar 4.2.** Grafik Analisa Saringan

Berdasarkan grafik tersebut, diperoleh nilai dari masing-masing pengelompokan tanah seperti berikut ini :

- *Clay* = 83,77%
- *Silt* = 5,79%
- *Sand* = 7,21%
- *Gravel* = 3,23%

#### 4.2.4. Atterberg Limits

Uji *Atterberg Limit* bertujuan untuk menentukan Kandungan air pada tanah yang menentukan perbedaan antara kondisi cair dan plastis, serta dipergunakan dalam memperoleh nilai indeks plastisitas.

##### a. Batas Cair

Tingkat air minimum yang menandai perubahan karakteristik tanah dari keadaan cair menjadi plastis disebut sebagai batas cair tanah. Data hasil uji laboratorium kemudian dianalisis menggunakan rumus berikut:

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

$$= \frac{32,13 - 20,40}{20,40 - 4,09} \times 100\%$$

$$= 71,92\%$$

Hasil perhitungan batas cair data uji laboratorium tersebut dapat ditinjau dalam **Tabel 4.8.**

**Tabel 4.8** Hasil uji Batas Cair

Sampel	No. Cawan	Jumlah Ketukan	Berat Cawan (gr)	B. Cawan + Tanah Basah (gr)	B. Cawan + Tanah Kering (gr)	W (%)	LL
0%	1	14	4,09	32,13	20,40	71,92	69,25
	2	23	4,13	36,29	22,85	71,79	
	3	34	4,02	39,02	25,18	65,41	
	4	59	4,13	44,50	28,58	65,11	
5%	1	17	4,06	22,54	15,14	66,79	62,79
	2	18	4,33	24,09	16,36	64,26	
	3	47	4,16	30,37	20,57	59,72	
	4	50	4,08	34,03	23,33	55,58	
10%	1	15	4,33	28,00	18,06	72,40	59,47
	2	20	4,06	33,94	22,61	61,08	
	3	42	4,16	39,68	27,8	50,25	
	4	57	4,08	34,29	25,49	41,10	

15%	1	18	4,22	31,27	20,63	64,84	57,91
	2	20	4,29	34,25	22,65	63,18	
	3	27	4,29	36,10	25,02	53,45	
	4	58	4,27	34,44	25,30	43,46	
20%	1	19	4,35	36,99	25,32	55,65	46,85
	2	22	4,12	42,43	30,26	46,56	
	3	31	4,25	35,19	25,87	43,11	
	4	48	4,27	40,95	32,28	30,95	

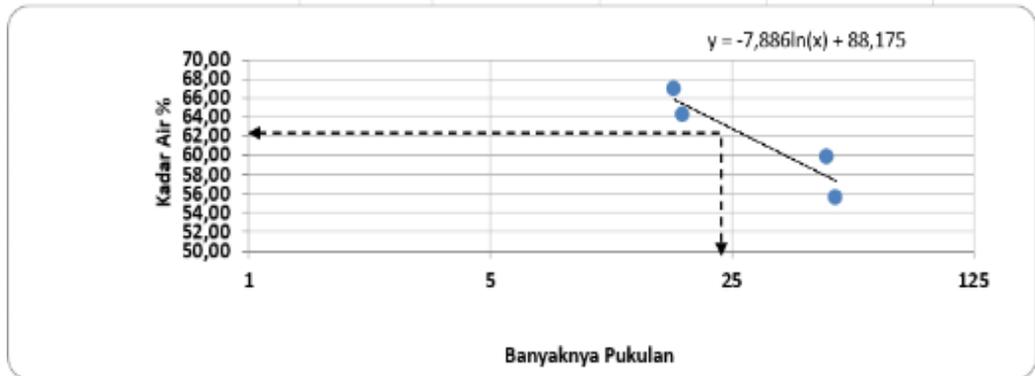
Berdasarkan hasil perhitungan pada table tersebut, maka dapat diperoleh grafik *liquid limit* tanah asli seperti pada **Gambar 4.3**.



**Gambar 4.3.** Grafik Batas Cair (*Liquid Limit*) Sampel Tanah Asli

Berdasarkan grafik, terlihat bahwa kadar air pada ketukan ke-25 mencapai 69,25%.

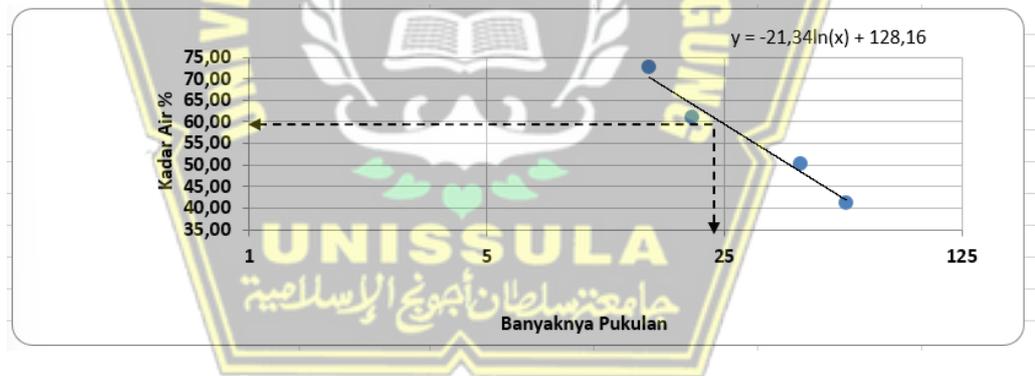
Berdasarkan perhitungan batas cair pada **Tabel 4.8** didapatkan grafik batas cair untuk spesimen tanah yang telah dikombinasikan dengan 5% *fly ash*, yang dapat ditinjau pada **Gambar 4.4**.



**Gambar 4.4.** Grafik Batas Cair (*Liquid Limit*) Sampel *Fly Ash* 5%

Berdasarkan grafik, terlihat bahwa kadar air pada ketukan ke-25 mencapai 62,79%.

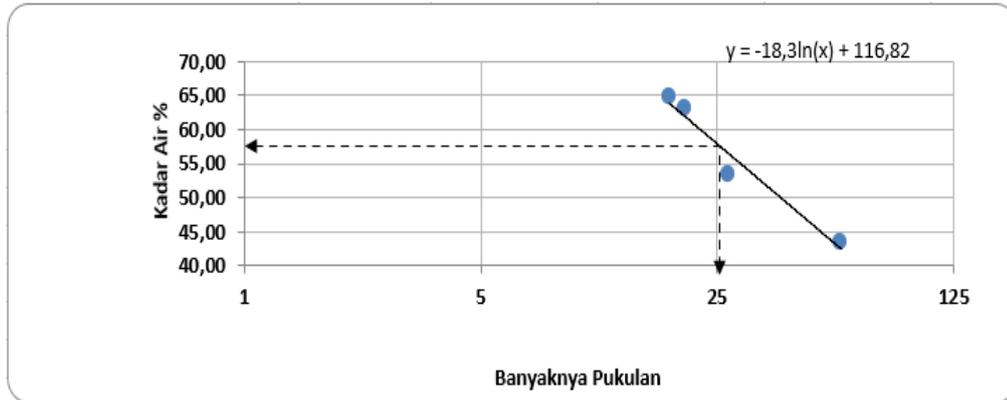
Berdasarkan perhitungan batas cair pada **Tabel 4.8** didapatkan grafik batas cair untuk sampel tanah yang telah dikombinasikan dengan 10% *fly ash*, yang dapat diamati dalam **Gambar 4.5**.



**Gambar 4.5.** Grafik Batas Cair (*Liquid Limit*) Sampel *Fly Ash* 10%

Berdasarkan grafik, terlihat bahwa kadar air pada ketukan ke-25 mencapai 59,47%.

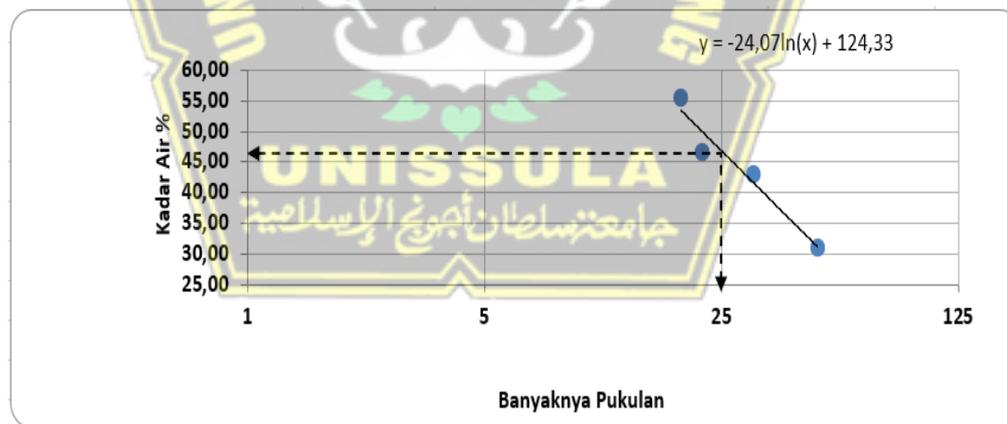
Berdasarkan perhitungan batas cair pada **Tabel 4.8** diperoleh grafik batas cair untuk sampel tanah yang telah dikombinasikan dengan 15% *fly ash*, yang dapat ditinjau dalam **Gambar 4.6**.



**Gambar 4.6** Grafik Batas Cair (*Liquid Limit*) Sampel *Fly Ash* 15%

Berdasarkan grafik, terlihat bahwa kadar air pada ketukan ke-25 mencapai 57,91%.

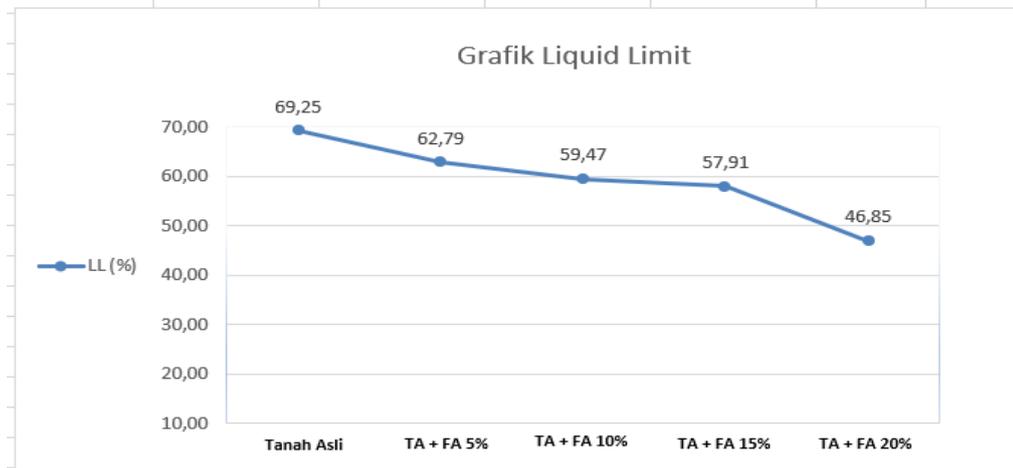
Berdasarkan perhitungan batas cair pada **Tabel 4.8** diperoleh grafik batas cair untuk sampel tanah yang dikombinasikan dengan 20% *fly ash*, yang bisa ditinjau pada **Gambar 4.7**.



**Gambar 4.7.** Grafik Batas Cair (*Liquid Limit*) Sampel *Fly Ash* 20%

Berdasarkan grafik, terlihat bahwa kadar air pada ketukan ke-25 mencapai 46,85%.

Berdasarkan grafik – grafik yang telah dilampirkan di atas, maka diketahui nilai kadar air seperti pada **Gambar 4.8**.



**Gambar 4.8.** Grafik *Liquid Limit* Tanah Asli dan Campuran

Berdasarkan grafik di atas, tampak bahwa tingkat air optimal cenderung menurun seiring dengan penambahan persentase *fly ash* sebagai bahan campuran tanah.

b. Batas Plastis

Batas plastis tanah merupakan kadar air saat tanah mengalami perubahan sifat dari kondisi plastis ke semi solid. Data hasil pengujian laboratorium kemudian dianalisis seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 w &= \frac{b - c}{c - a} \times 100\% \\
 &= \frac{15,65 - 12,77}{12,77 - 4,00} \times 100\% \\
 &= 32,84\%
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan keseluruhan dapat diamati pada **Tabel 4.9**.

**Tabel 4.9** Hasil Uji Batas Plastis

Sampel	No. Cawan	Berat Cawan (gr)	B. Cawan + Tanah Basah (gr)	B. Cawan + Tanah Kering (gr)	W (%)	PL
0%	5	4,00	15,65	12,77	32,84	32,84
5%	5	4,18	10,89	9,37	29,29	29,29

10%	5	4,18	9,88	8,61	28,67	28,67
15%	5	4,14	8,48	7,41	32,72	32,72
20%	5	4,10	6,55	5,99	29,63	29,63

Sesudah ditentukan batas cair dan batas plastisnya, selanjutnya bisa didapatkan nilai indeks plastisitasnya seperti perhitungan seperti berikut:

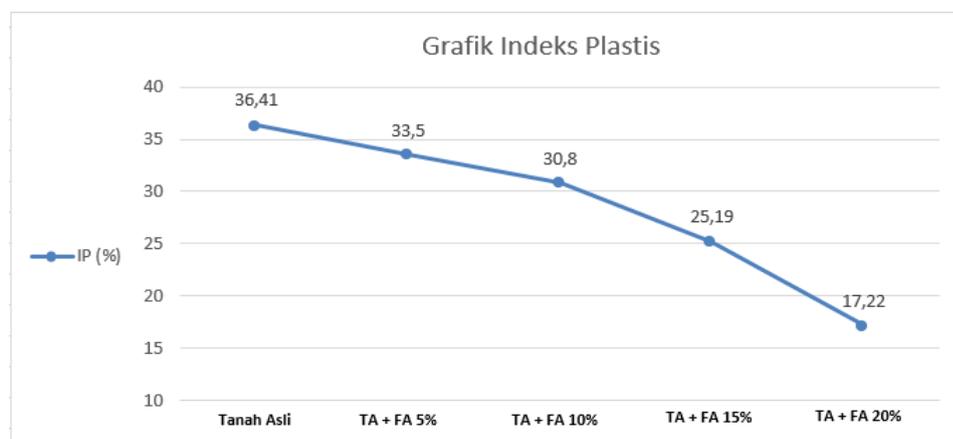
$$\begin{aligned}
 IP &= LL - PL \\
 &= 69,25 - 32,84 \\
 &= 36,41\%
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan secara menyeluruh dapat ditinjau pada **Tabel 4.10**.

**Tabel 4.10** Hasil Indeks Plastis

Sampel	LL (%)	PL (%)	IP (%)
0%	69,25	32,84	36,41
5%	62,79	29,29	33,50
10%	59,47	28,67	30,80
15%	57,91	32,72	25,19
20%	46,85	29,63	17,22

Dari tabel tersebut, dapat diperoleh Grafik indeks plastisitas yang ditunjukkan pada **Gambar 4.9**



**Gambar 4.9.** Grafik Indeks Plastisitas untuk Tanah Asli dan Campuran

Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.9.** dapat terlihat bahwa nilai optimum tercapai pada sampel tanah yang telah diberi campuran *fly ash* sebesar 17,22%. Pada sampel ini, kandungan partikel lempung paling sedikit, sehingga menunjukkan bahwa sifat tanah semakin baik dengan peningkatan daya dukungnya.

#### 4.2.5. Direct Shear

Pengujian *Direct Shear* bertujuan dalam mengetahui nilai kohesi dan sudut geser tanah pada sampel yang dipergunakan. Hasil pengujian tersebut didapat sebagai berikut:

- Diameter Ring = 6,3 cm
- Berat Ring = 0,07533 kg
- Tinggi Ring = 2 cm
- Koreksi Beban =
  - 0,95 kg = 0,957 kg
  - 1,9 kg = 1,902 kg
  - 3,8 kg = 3,811 kg

Kemudian dianalisa menggunakan perhitungan seperti berikut :

- a. Tegangan normal (n)

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \frac{p}{v} \\ &= \frac{\text{Berat Beban}}{\text{Luas Penampang}} \\ &= \frac{\text{Berat Beban}}{\text{Luas Penampang}} \\ &= 0,0302 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot t \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 6,3^2 \cdot 2 \\ &= 62,313 \end{aligned}$$

- b. Tegangan Geser (s)

$$\begin{aligned} \sigma_s &= \frac{\text{Gaya Geser}}{F} \\ &= 0,0381 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan secara menyeluruh dapat ditinjau pada **Tabel 4.11.**

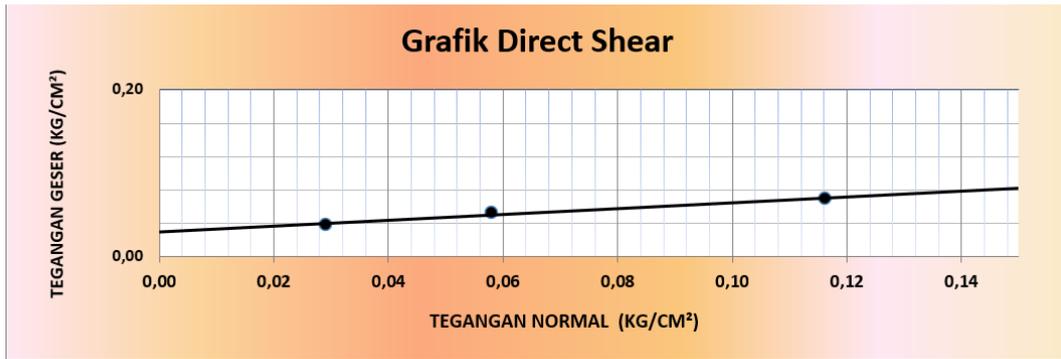
**Tabel 4.11** Hasil Perhitungan *Direct Shear*

Sampel	Percobaan	Beban	Koreksi Beban	Pembacaan Dial	Tegangan Normal	Tegangan Geser
0%	1	0,95	0,957	2,2	0,0291	0,0381
	2	1,9	1,902	3	0,058	0,0520
	3	3,8	3,811	4	0,116	0,0693
5%	1	0,95	0,957	3	0,0282	0,0520
	2	1,9	1,902	4	0,056	0,0693
	3	3,8	3,811	5	0,113	0,0867
10%	1	0,95	0,957	2	0,0281	0,0347
	2	1,9	1,902	2,5	0,056	0,0433
	3	3,8	3,811	4	0,112	0,0693
15%	1	0,95	0,957	2,4	0,0289	0,0416
	2	1,9	1,902	3,1	0,058	0,0537
	3	3,8	3,811	4,7	0,116	0,0815
20%	1	0,95	0,957	2,5	0,0292	0,0433
	2	1,9	1,902	3,5	0,058	0,0607
	3	3,8	3,811	5	0,117	0,0867

**Tabel 4.12.** Hasil Penggambaran *Direct Shear*

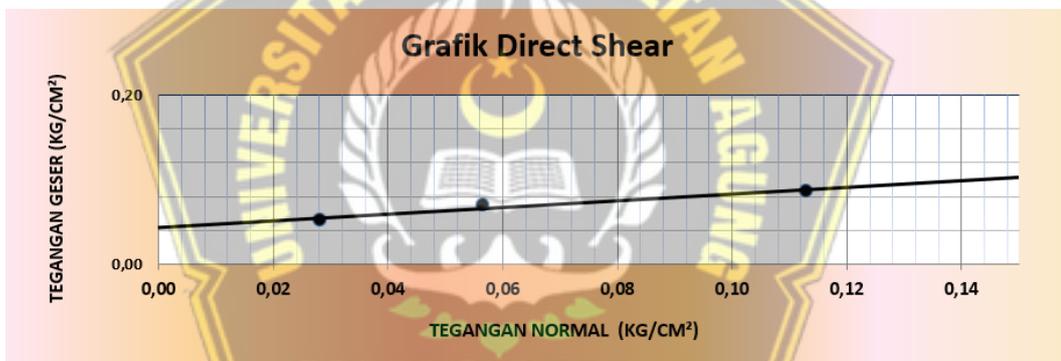
No	Sampel	Kohesi	Sudut Geser Dalam
1	0%	0,029	19,25
2	5%	0,043	21,54
3	10%	0,022	22,73
4	15%	0,028	24,85
5	20%	0,030	26,00

Hasil perhitungan uji *direct shear* dapat digunakan untuk menyusun diagram yang membandingkan antara tegangan normal dan tegangan geser. Pada diagram tersebut, terdapat sebuah garis yang menyentuh ketiga titik secara bersinggungan, yang menghasilkan nilai kohesi dan sudut geser yang mencerminkan keadaan tanah yang telah diuji. Diagram *direct shear* untuk spesimen tanah asli ditinjau dalam **Gambar 4.10**.



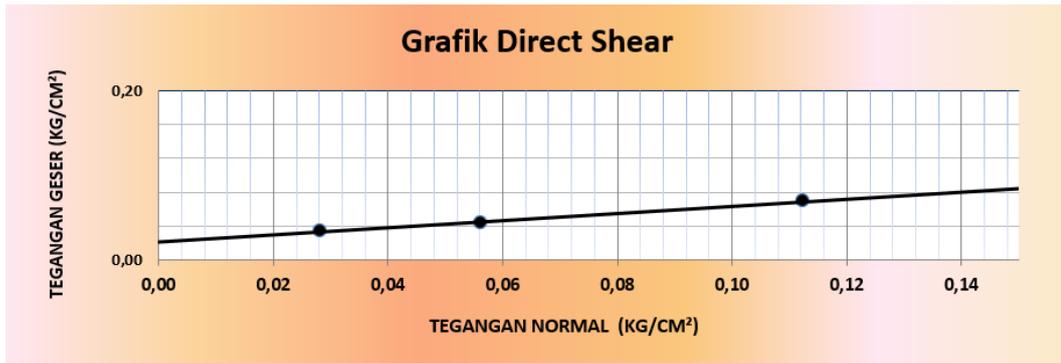
**Gambar 4.10.** Diagram *Direct Shear* Tanah Asli

Berdasarkan diagram tersebut, nilai kohesi tanah asli diperoleh yaitu 0,029 kg/cm<sup>2</sup> dan nilai tegangan normal masing-masing 0,0291, 0,058, 0,116, dengan sudut geser sebesar 19,25. Diagram *direct shear* untuk spesimen tanah asli ditunjukkan dalam **Gambar 4.10**.



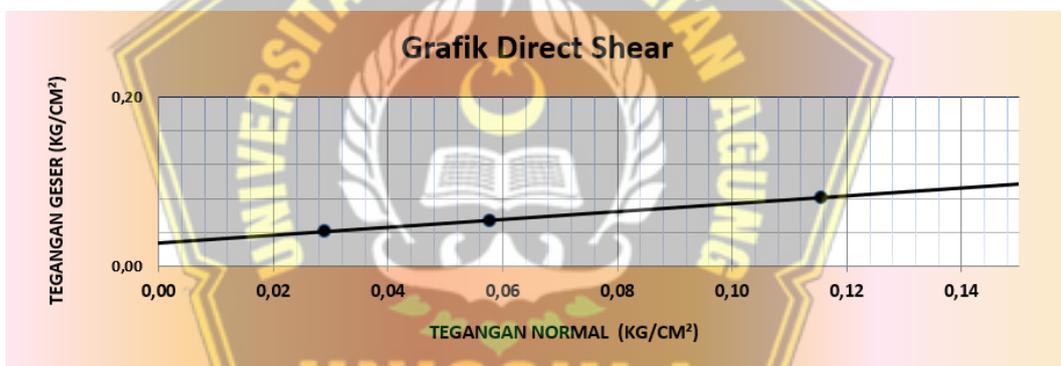
**Gambar 4.11.** Diagram *Direct Shear* Tanah Campuran *Fly Ash* 5%

Berdasarkan diagram tersebut, nilai kohesi tanah campuran *fly ash* 5% adalah 0,043 kg/cm<sup>2</sup>, dengan nilai tegangan normal masing-masing 0,0282, 0,056, 0,113, dan sudut gesernya sebesar 21,54. Diagram *direct shear* pada sampel tanah dengan campuran *fly ash* 5% dapat ditunjukkan dalam **Gambar 4.11**.



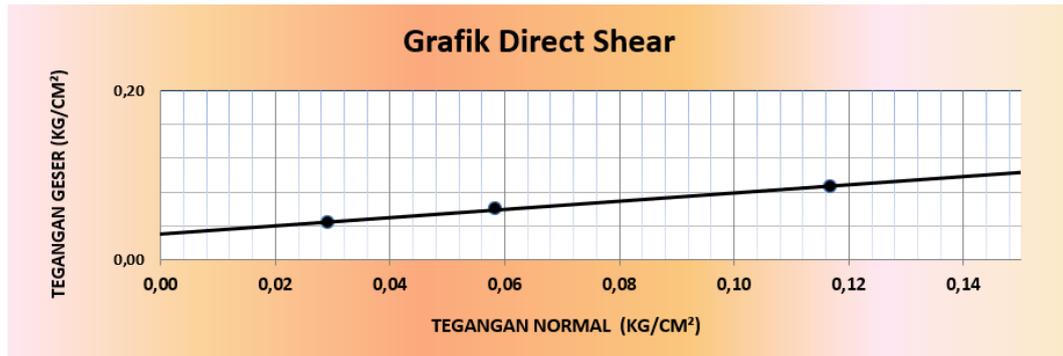
**Gambar 4.12.** Diagram *Direct Shear* Tanah Campuran *Fly Ash* 10%

Berdasarkan diagram tersebut, nilai kohesi tanah campuran *fly ash* 10% adalah 0,022 kg/cm<sup>2</sup>, dengan nilai tegangan normal 0,0281, 0,056, 0,112, dan sudut gesernya sebesar 22,73. Diagram *direct shear* pada spesimen tanah yang dicampur *fly ash* 10% dapat ditunjukkan oleh **Gambar 4.12**.



**Gambar 4.13.** Diagram *Direct Shear* Tanah Campuran *Fly Ash* 15%

Berdasarkan diagram tersebut, nilai kohesi tanah campuran *fly ash* 15% tercatat sebesar 0,028 kg/cm<sup>2</sup>, dengan nilai tegangan normal 0,0289, 0,058, 0,116, dan sudut gesernya sebesar 24,85. Diagram *direct shear* pada specimen tanah yang dicampur *fly ash* 15% dapat ditunjukkan oleh **Gambar 4.13**.



**Gambar 4.14.** Diagram *Direct Shear* Tanah Campuran *Fly Ash* 20%

Berdasarkan diagram tersebut, nilai kohesi tanah campuran *fly ash* 20% adalah 0,030 kg/cm<sup>2</sup>, dengan nilai tegangan normal 0,0292, 0,058, 0,117, dan sudut gesernya sebesar 26,00°. Diagram *direct shear* pada sampel tanah dengan campuran *fly ash* 20% dapat ditunjukkan dalam **Gambar 4.14**.

#### 4.2.6. Proctor Standart

Uji *Proctor standart* dipakai untuk menentukan kadar air optimal tanah ( $w_{opt}$ ), berat volume kering optimum ( $\gamma_k$ ), berat volume basah optimum ( $\gamma_b$ ), serta porositas sampel tanah. Dalam pengujian ini, dilakukan pengujian pada setiap sampel tanah dengan variasi kadar air yang berbeda-beda. Data hasil uji laboratorium ditunjukkan dalam **Tabel 4.13**.

**Tabel 4.13.** Hasil Perhitungan *Proctor Standart*

Sampel	Nomor Percobaan	Volume Air (cc)	Berat Alat + Tanah (gr)	Nomor Cawan	Berat Cawan (gr)	B. Cwn + T. Basah (gr)	B. Cwn + T. Kering (gr)
0%	I	0	9280	1	3,86	27,28	24,11
	II	500	10362	2	4,01	29,88	24,62
	III	800	10582	3	4,20	29,60	23,45
	IV	1100	10335	4	4,18	52,89	40,45
	V	1300	10290	5	3,79	59,24	43,93
5%	I	0	10251	1	5	43,68	37,81
	II	500	10375	2	4,12	46,86	38,88

	III	800	10500	3	4,16	52,80	43,47
	IV	1000	10605	4	4,35	71,07	56,60
	V	1200	10510	5	4,35	75,45	58,60
10%	I	0	10011	1	4,18	48,65	43,60
	II	500	10241	2	4,06	52,78	46,70
	III	800	10429	3	4,36	47,65	41,33
	IV	1100	10595	4	4,19	68,29	55,43
	V	1300	10479	5	4,08	71,59	55,34
15%	I	0	10300	1	4,07	29,21	25,85
	II	500	10500	2	4,14	35,79	30,85
	III	700	10700	3	4,12	41,85	35,15
	IV	900	10700	4	4,23	55,25	44,85
	V	1100	10600	5	4,21	66,60	52,36
20%	I	0	10430	1	4,05	45,80	40,87
	II	500	10515	2	4,01	38,41	33,32
	III	800	10695	3	4,16	42,96	36,24
	IV	1100	10558	4	4,30	45,77	37,88
	V	1300	10467	5	4,09	47,70	38,40

Data alat :

Berat alat = 6730 gr

Tinggi Alat = 11,8 cm

Diameter alat = 15,1 cm

Analisis tersebut kemudian dihitung sebagai berikut:

Contoh perhitungan menggunakan sampel tanah asli.

a. Volume alat

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot t \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 15,1^2 \cdot 11,8 \\
 &= 2112 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Berat Tanah Basah

$$\begin{aligned}
 &= (\text{berat tanah} + \text{cetakan}) - \text{berat alat} \\
 &= 9280 - 6730 \\
 &= 2,550 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

c. Berat Volume Tanah Dalam Kondi Basah

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Berat tanah basah}}{\text{Volume cetakan}} \\ &= \frac{2,550}{2112} \\ &= 1,207 \text{ gr/cm}^2 \end{aligned}$$

d. Kadar Air (w)

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

Dimana : a = Berat cawan (gr)

b = Berat cawan + tanah basah (gr)

c = Berat cawan + tanah kering (gr)

Contoh pada penambahan air sebesar 500 cc

$$\begin{aligned} w &= \frac{27,28 - 24,11}{24,11 - 3,86} \times 100\% \\ &= 15,65 \text{ gr/cm}^2 \end{aligned}$$

e. Berat Jenis Tanah Kering ( $\gamma_k$ )

$$\begin{aligned} \gamma_k &= \frac{\gamma_b}{1 + w} \\ &= \frac{1,207}{1 + 15,65} \\ &= 0,072 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

f. Kadar Pori / Porosity (n)

$$n = \left(1 - \left(\frac{\gamma_k}{G_s}\right)\right) \times 100\%$$

Dimana  $G_s$  tanah asli = 2,588

$$\begin{aligned} n &= \left(1 - \left(\frac{0,072}{2,588}\right)\right) \times 100\% \\ &= 0,97\% \end{aligned}$$

g. Angka pori / Void Ratio (e)

$$\begin{aligned} e &= \frac{n}{1 - n} \\ &= \frac{0,97}{1 - 0,97} \\ &= 0,49 \end{aligned}$$

h. Zero Air Void (ZAV)

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

Dimana  $\gamma_w = 1 \text{ gr/cm}^3$

$$\begin{aligned} ZAV &= \frac{2,588}{1 + (2,588 \times 15,65)} \\ &= 0,062 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

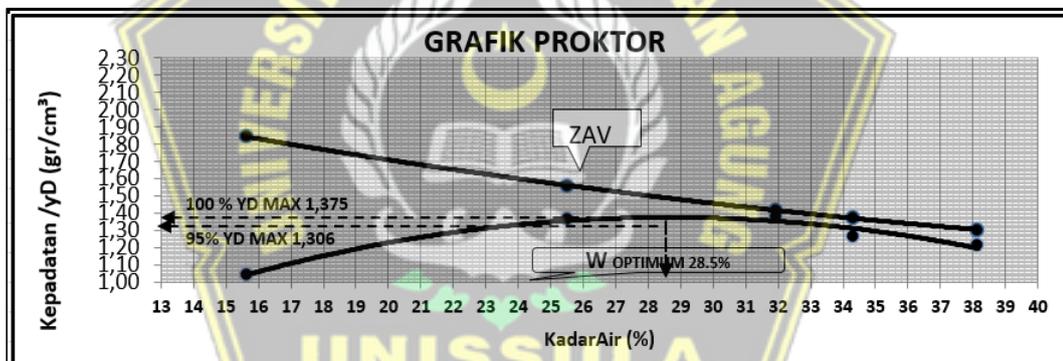
Hasil perhitungan lengkap dapat ditunjukkan dalam **Tabel 4.14**.

**Tabel 4.14** Hasil Perhitungan Proctor Standart

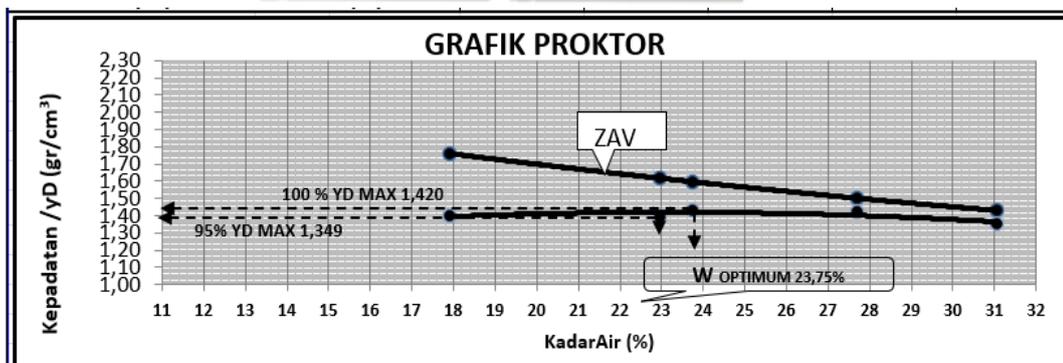
Sampel	No Percobaan	W (%)	$\gamma_b$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_k$ (gr/cm <sup>3</sup> )	ZAV
0%	I	15,65	1,20	1,04	1,84
	II	25,52	1,71	1,36	1,56
	III	31,95	1,82	1,38	1,42
	IV	34,30	1,70	1,27	1,37
	V	38,14	1,68	1,21	1,30
5%	I	17,89	1,65	1,40	1,76
	II	22,96	1,71	1,39	1,62
	III	23,73	1,77	1,43	1,60
	IV	27,69	1,82	1,42	1,50
	V	31,06	1,77	1,35	1,43
10%	I	12,81	1,54	1,36	1,93
	II	14,26	1,65	1,44	1,87
	III	17,09	1,74	1,48	1,78
	IV	25,10	1,81	1,45	1,56
	V	31,70	1,76	1,34	1,41
15%	I	15,43	1,68	1,45	1,83

	II	18,49	1,77	1,49	1,73
	III	21,59	1,86	1,53	1,64
	IV	25,60	1,86	1,48	1,54
	V	29,57	1,82	1,40	1,45
20%	I	13,39	1,69	1,49	1,89
	II	17,37	1,78	1,51	1,76
	III	20,95	1,86	1,54	1,65
	IV	23,50	1,80	1,46	1,59
	V	27,11	1,75	1,38	1,50

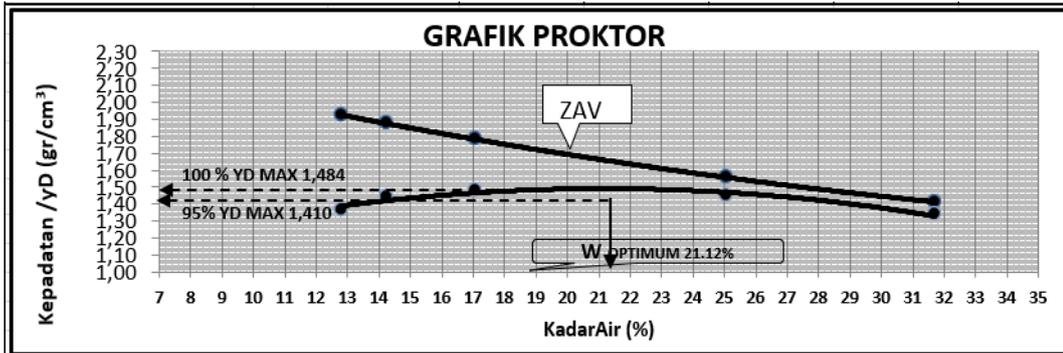
Berdasarkan hasil perhitungan dalam **Tabel 4.14** dapat diperoleh grafik seperti berikut.



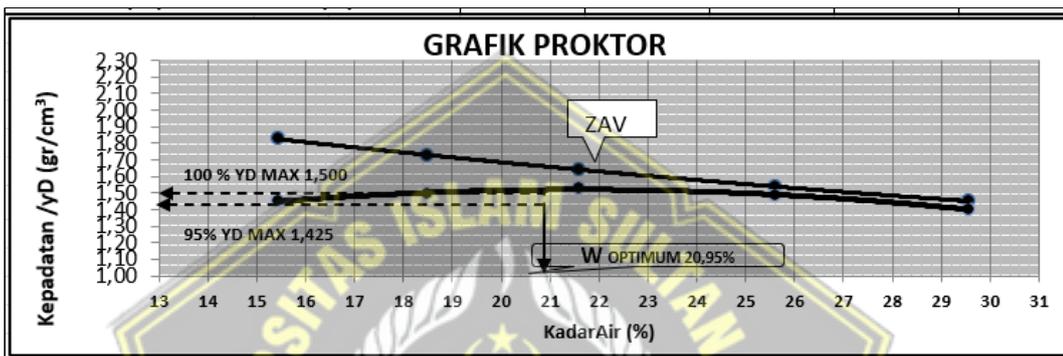
**Gambar 4.15.** Grafik *Proctor Standart* Tanah Asli



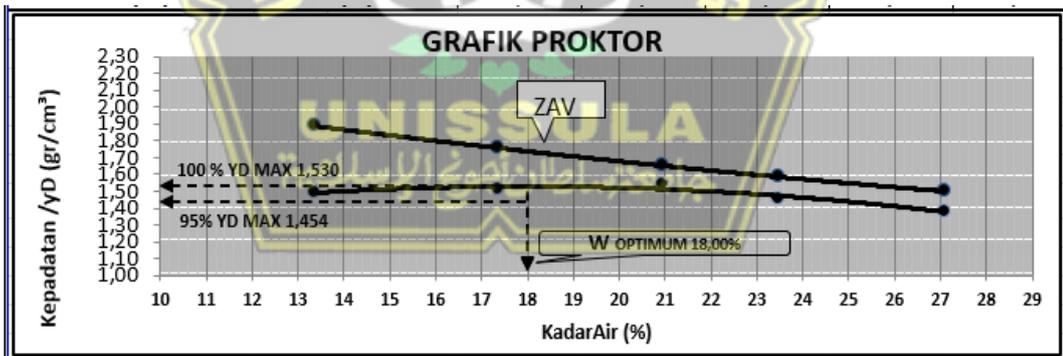
**Gambar 4.16,** Grafik *Proctor Standart* Campuran FA 5%



Gambar 4.17. Grafik *Proctor Standart* Campuran FA 10%



Gambar 4.18. Grafik *Proctor Standart* Campuran FA 15%



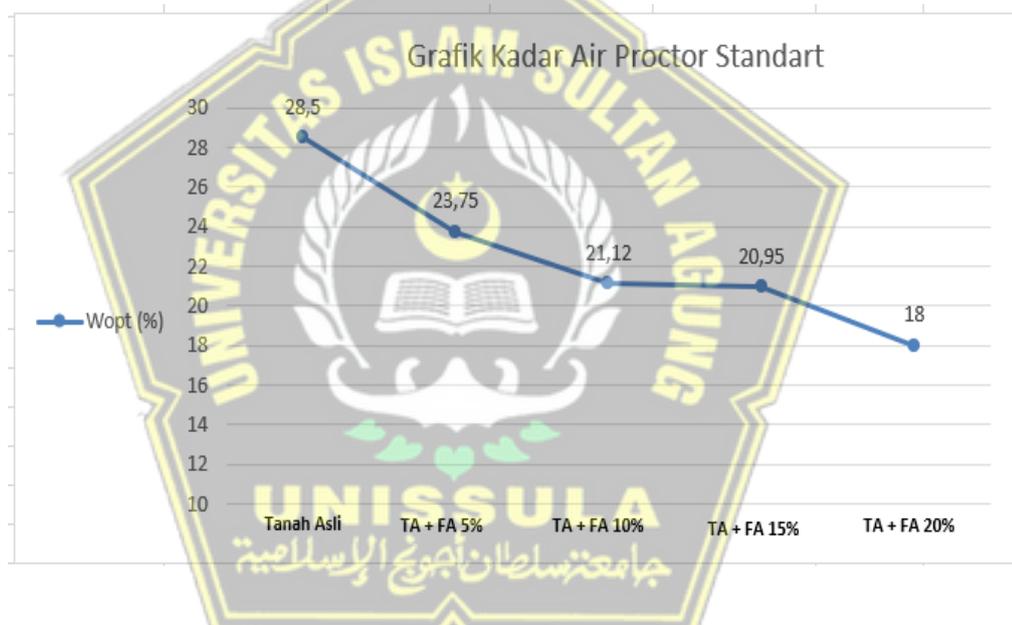
Gambar 4.19. Grafik *Proctor Standart* Campuran FA 20%

Berdasarkan grafik – grafik tersebut, maka dihasilkan nilai air optimum ( $w_{opt}$ ) dan volume berat kering maksimum ( $\gamma_k$ ) yang dapat ditinjau dalam **Tabel 4.15**.

**Tabel 4.15** Hasil Grafik *Proctor Standart*

No	Sampel	$W_{opt}$ (%)	$\gamma_k$ (gr/cm <sup>3</sup> )
1	0%	28,50	1,375
2	5%	23,75	1,420
3	10%	21,12	1,484
4	15%	20,95	1,500
5	20%	18,00	1,530

Dari tabel tersebut dapat diperoleh grafik kadar air optimum ( $w_{opt}$ ) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.20**.



**Gambar 4.20.** Diagram  $w_{opt}$  sampel tanah asli dan campuran *fly ash*

Dari diagram tersebut diketahui nilai optimumnya sebesar 18,00% yang mana semakin rendah nilainya maka kepadatan tanah semakin baik.

#### **4.2.7. California Bearing Ratio (CBR)**

Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) dilaksanakan untuk mengukur nilai daya dukung tanah pada kondisi kepadatan tertinggi. Pengujian ini memanfaatkan kadar air optimal yang didapat dari hasil uji Proctor Standar. Data hasil pengujian CBR dapat diamati dalam tabel dibawah ini.

**Tabel 4.16.** Data Pengujian CBR 10x Tumbukan

<b>Sampel</b>	<b>No</b>	<b>Berat Alat + Tanah (gr)</b>	<b>No. Cawan</b>	<b>Berat Cawan</b>	<b>B. Cwn + Tanah Basah</b>	<b>B. Cwn + Tanah Kering</b>
0%	1	10184	1	3,81	43,89	34,19
5%	2	10083	2	4,12	34,13	28,43
10%	3	10200	3	4,01	51,02	42,77
15%	4	10321	4	4,04	32,74	27,8
20%	5	10122	5	4,02	43,17	36,97

**Tabel 4.17.** Data Pengujian CBR 25x Tumbukan

<b>Sampel</b>	<b>No</b>	<b>Berat Alat + Tanah (gr)</b>	<b>No. Cawan</b>	<b>Berat Cawan</b>	<b>B. Cwn + Tanah Basah</b>	<b>B. Cwn + Tanah Kering</b>
0%	1	10570	1	3,96	42,41	33,28
5%	2	10475	2	3,92	51,82	42,64
10%	3	10500	3	4,13	57,00	47,65
15%	4	10603	4	4,01	42,87	36,15
20%	5	10590	5	4,15	42,24	36,24

**Tabel 4.18.** Data Pengujian CBR 56x Tumbukan

<b>Sampel</b>	<b>No</b>	<b>Berat Alat + Tanah (gr)</b>	<b>No. Cawan</b>	<b>Berat Cawan</b>	<b>B. Cwn + Tanah Basah</b>	<b>B. Cwn + Tanah Kering</b>
0%	1	10731	1	4,16	47,22	36,89
5%	2	10551	2	4,16	64,65	53,12
10%	3	10600	3	4,36	59,08	49,55
15%	4	10690	4	4,13	39,17	33,21
20%	5	10691	5	4,2	43,4	37,24

Data Alat :

Berat Alat = 6730 kg

Tinggi Alat = 11,8 cm

Diameter Alat = 15,1 cm

Analisis data tersebut dihitung dengan cara sebagai berikut:

Contoh perhitungan menggunakan sampel tanah asli dengan 56 kali tumbukan.

a. Volume Alat

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot t \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 15,1^2 \cdot 11,8 \\ &= 2112 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

b. Berat Tanah Basah

$$\begin{aligned} &= (\text{berat proctor} + \text{tanah}) - \text{berat proctor (alas + 1)} \\ &= 10731 - 6744 \\ &= 3987 \text{ gr} \end{aligned}$$

c. Berat Volume Tanah Basah

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Berat tanah basah}}{\text{Volume alat}} \\ &= \frac{3987}{2112} \\ &= 1,88 \text{ gr/cm}^2 \end{aligned}$$

d. Kadar Air (w)

$$\begin{aligned} &= \frac{b - c}{c - a} \times 100\% \\ &= \frac{47,22 - 36,89}{36,89 - 4,16} \times 100\% \\ &= 31,56 \% \end{aligned}$$

e. Berat Jenis Tanah Kering

$$\begin{aligned} &= \frac{\gamma_b}{1 + w} \\ &= \frac{1,88}{1 + 31,56} \\ &= 5,77 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel.

**Tabel 4.19.** Hasil Perhitungan CBR *Unsoaked* 10x Tumbukan

Sampel	No	Berat Alat + Tanah (gr)	Berat Alat (gr)	B. Tanah Basah (gr)	$\gamma$ Basah (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma$ Kering (gr/cm <sup>3</sup> )
0%	1	10184	6730	3454	1,627	1,233
5%	2	10083	6745	3338	1,573	1,274
10%	3	10200	6745	3455	1,628	1,342
15%	4	10321	6745	3576	1,685	1,395
20%	5	10122	6745	3377	1,591	1,339

**Tabel 4.20.** Hasil Perhitungan CBR *Unsoaked* 25x Tumbukan

Sampel	No	Berat Alat + Tanah (gr)	Berat Alat (gr)	B. Tanah Basah (gr)	$\gamma$ Basah (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma$ Kering (gr/cm <sup>3</sup> )
0%	1	10570	6730	3840	1,809	1,379
5%	2	10475	6745	3730	1,757	1,420
10%	3	10500	6745	3755	1,769	1,456
15%	4	10603	6745	3858	1,818	1,503
20%	5	10590	6745	3845	1,812	1,526

**Tabel 4.21.** Hasil Perhitungan CBR *Unsoaked* 56x Tumbukan

Sampel	No	Berat Alat + Tanah (gr)	Berat Alat (gr)	B. Tanah Basah (gr)	$\gamma$ Basah (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma$ Kering (gr/cm <sup>3</sup> )
0%	1	10731	6730	4001	1,885	1,433
5%	2	10551	6745	3806	1,79	1,45
10%	3	10600	6745	3855	1,816	1,500
15%	4	10690	6745	3945	1,859	1,542
20%	5	10691	6745	3986	1,859	1,567

Dari pengujian CBR di laboratorium, diperoleh data penetrasi untuk setiap sampel, seperti yang tercantum pada Tabel.

Untuk menghitung koreksi beban:

$$\begin{aligned} \text{Koreksi Beban} &= \text{Kalibrasi alat} \times \text{pembacaan arloji CBR} \\ &= 45,39 \times 1 \\ &= 45,39 \text{ lbs} \end{aligned}$$

**Tabel 4.22.** Data Penetrasi 10x Tumbukan

T (Menit)	Penurunan		Sampel					
			0%		5%		10%	
	(Inch)	(mm)	Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi
0	0,0000	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
¼	0,0125	0,32	1	45,39	0,5	13,40	3	28,17
1 / 2	0,0250	0,64	1,5	68,09	1,5	40,20	6	56,35
1	0,0500	1,27	1,8	81,70	3	80,40	9	54,52
1,5	0,0750	1,91	2	90,78	4,5	120,60	12	112,69
2	0,1000	2,54	2,5	113,48	6	160,80	16	150,26
3	0,1500	3,81	3	136,17	8	214,40	19	178,43
4	0,2000	5,08	3,5	158,87	8,5	227,80	22	206,60
6	0,3000	7,62	4	181,56	9,5	254,60	25	234,78
8	0,4000	10,16	5	226,95	11	294,80	28	262,95
T (Menit)	Penurunan		Sampel					
			15%		20%			
	(Inch)	(mm)	Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi		
0	0,0000	0,00	0	0,00	0	0,00		
¼	0,0125	0,32	4	37,56	4	37,56		
1 / 2	0,0250	0,64	7	65,74	8	75,13		
1	0,0500	1,27	13	122,08	15	140,87		
1,5	0,0750	1,91	16,5	154,95	21	197,21		

2	0,1000	2,54	21	197,21	29	272,34
3	0,1500	3,81	26	244,17	34	319,29
4	0,2000	5,08	32	300,51	37	347,47
6	0,3000	7,62	37	347,47	43	403,81
8	0,4000	10,16	48	450,77	47	441,38

**Tabel 4.23.** Data Penetrasi 25x Tumbukan

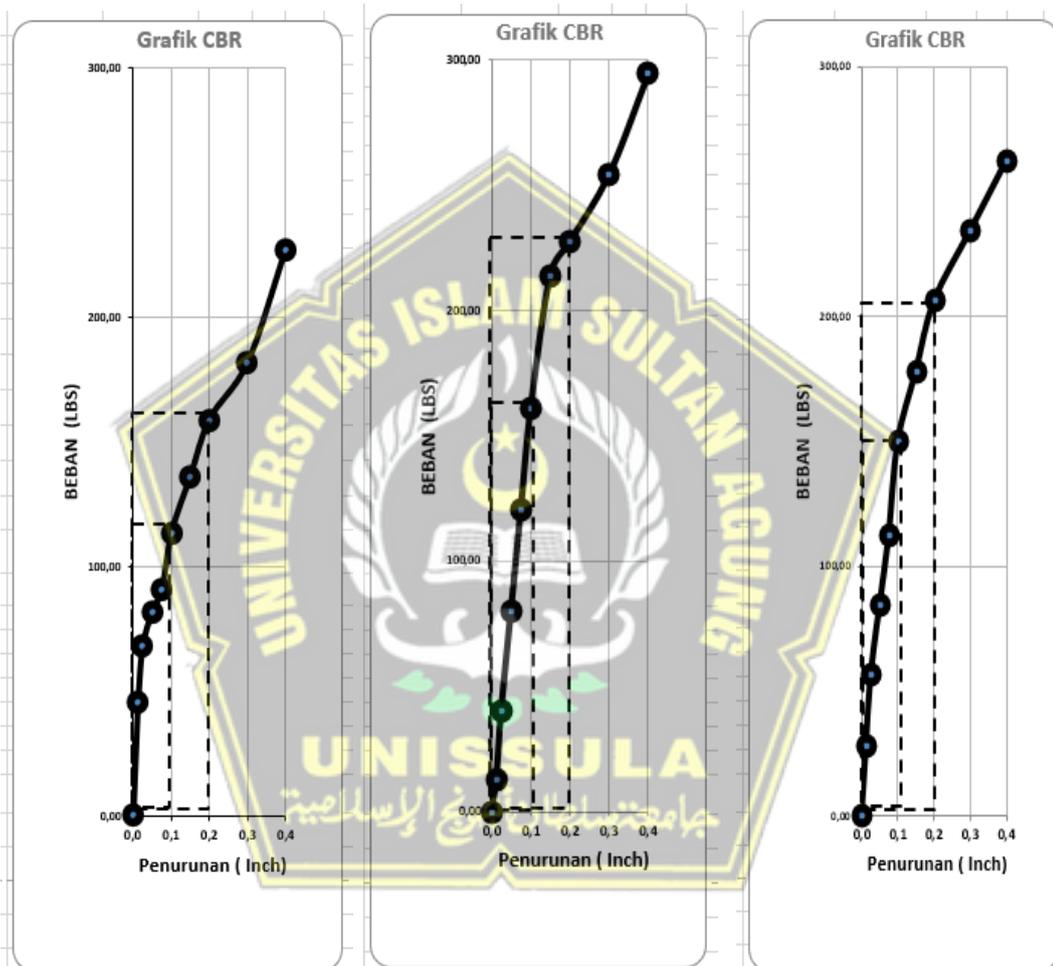
T (Menit)	Penurunan		Sampel					
			0%		5%		10%	
	(Inch)	(mm)	Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi
0	0,0000	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
¼	0,0125	0,32	1	45,39	1	26,80	4	37,56
1 / 2	0,0250	0,64	2	90,78	2	53,60	10	93,91
1	0,0500	1,27	2,5	113,48	4	107,20	14	131,47
1,5	0,0750	1,91	3	136,17	5	134,00	17	159,65
2	0,1000	2,54	3,5	158,87	6,5	174,20	21	197,21
3	0,1500	3,81	4	181,56	7,5	201,00	26	244,17
4	0,2000	5,08	5	226,95	9	241,20	31	291,12
6	0,3000	7,62	6	272,34	11	294,80	36	338,08
8	0,4000	10,16	6,5	295,04	13	348,40	41	385,03
T (Menit)	Penurunan		Sampel					
			15%		20%			
	(Inch)	(mm)	Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi		
0	0,0000	0,00	0	0,00	0	0,00		
¼	0,0125	0,32	6	56,35	6	56,35		
1 / 2	0,0250	0,64	13	122,08	9	84,52		
1	0,0500	1,27	17	159,65	18	169,04		
1,5	0,0750	1,91	23	215,99	28	262,95		
2	0,1000	2,54	28	262,95	45	422,60		

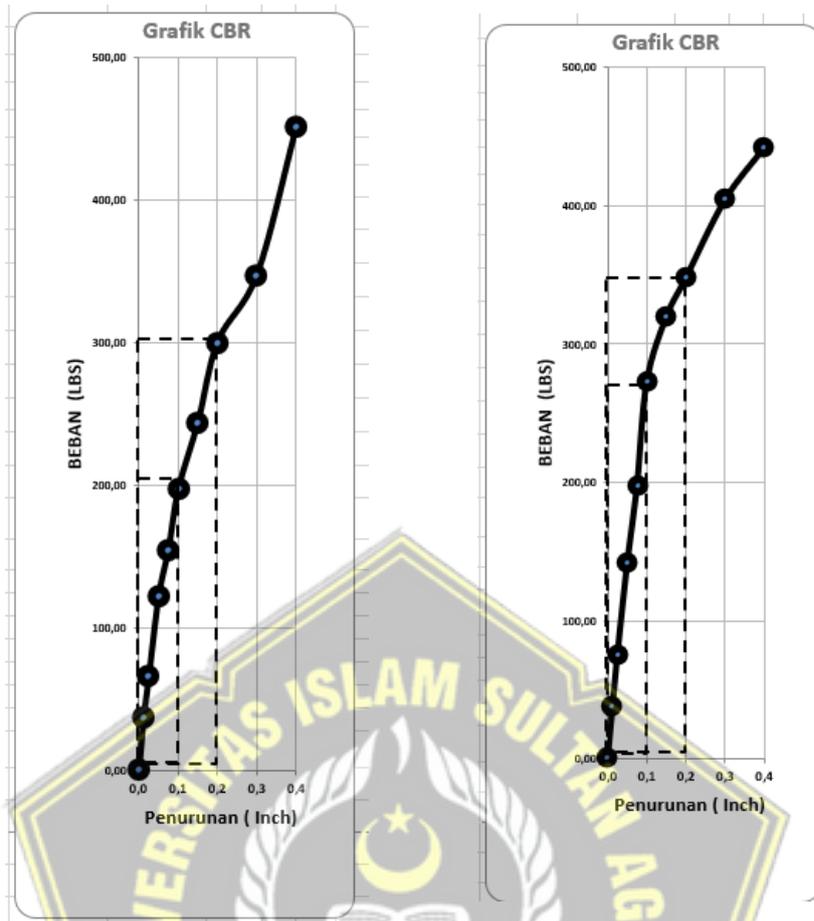
3	0,1500	3,81	32	300,51	53	497,72
4	0,2000	5,08	36	338,08	66	619,81
6	0,3000	7,62	41	385,03	75	704,33
8	0,4000	10,16	46	431,99	83	779,45

Tabel 4.24. Data Penetrasi 56x Tumbukan

T (Menit)	Penurunan		Sampel					
			0%		5%		10%	
	(Inch)	(mm)	Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi
0	0,0000	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
¼	0,0125	0,32	2	90,78	1,5	40,20	4	37,56
1 / 2	0,0250	0,64	3	136,17	3,5	93,80	9	84,52
1	0,0500	1,27	3,5	158,87	6	160,80	16	150,26
1,5	0,0750	1,91	4	181,56	7,5	201,00	21	197,21
2	0,1000	2,54	4,5	204,26	8,5	227,80	26	244,17
3	0,1500	3,81	5	226,95	11	294,80	32	300,51
4	0,2000	5,08	6	272,34	12,5	335,00	38	356,86
6	0,3000	7,62	7	317,73	15	402,00	43	403,81
8	0,4000	10,16	9	408,51	16	428,80	48	450,77
T (Menit)	Penurunan		Sampel					
			15%		20%			
	(Inch)	(mm)	Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi		
0	0,0000	0,00	0	0,00	0	0,00		
¼	0,0125	0,32	6	56,35	7	65,74		
1 / 2	0,0250	0,64	10	93,91	19	178,43		
1	0,0500	1,27	20	187,82	31	291,12		
1,5	0,0750	1,91	31	291,12	40	375,64		
2	0,1000	2,54	40	375,64	57	535,29		
3	0,1500	3,81	56	525,90	77	723,11		

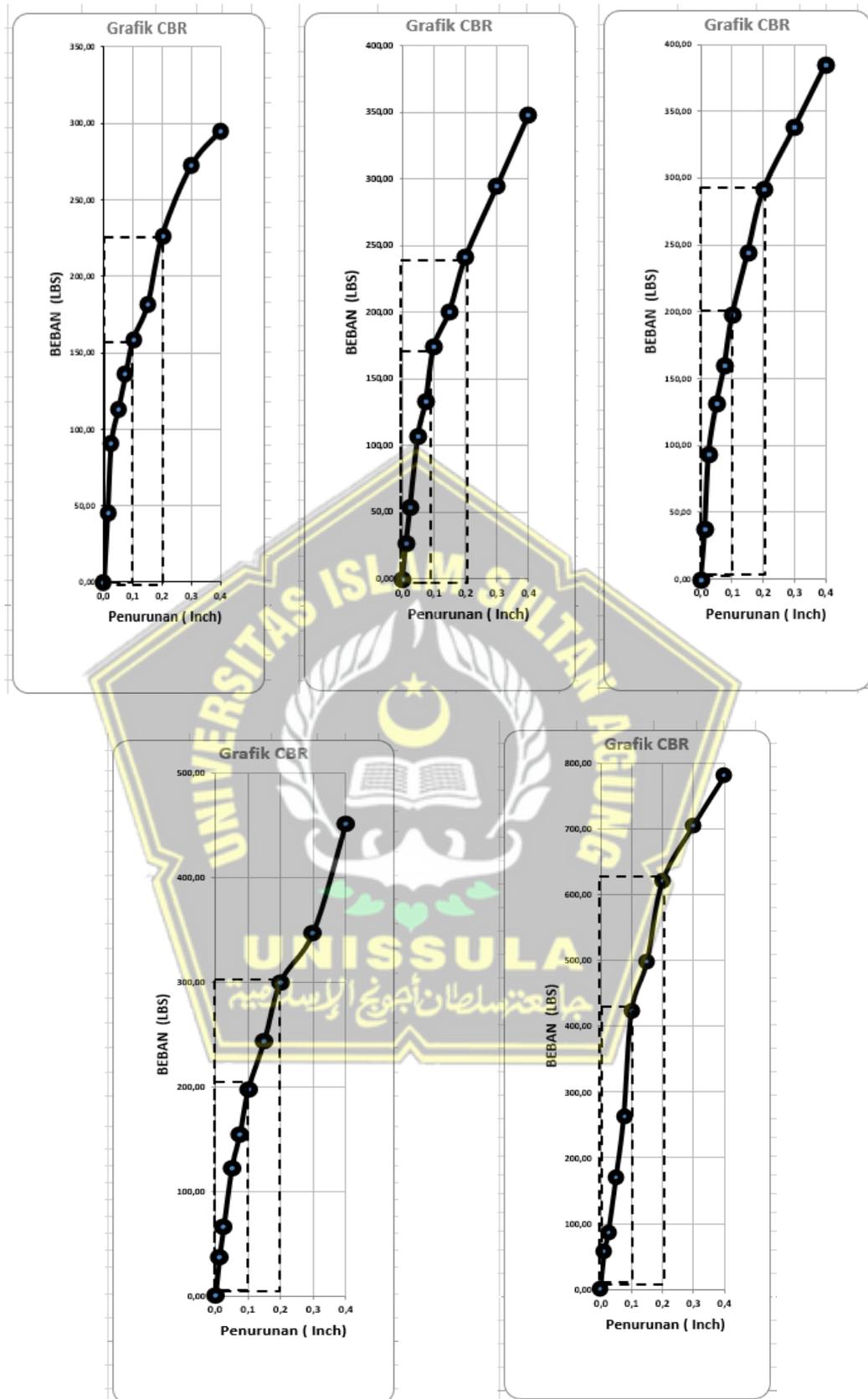
4	0,2000	5,08	70	657,37	100	939,10
6	0,3000	7,62	85	798,24	112	1051,79
8	0,4000	10,16	95	920,32	120	1126,92





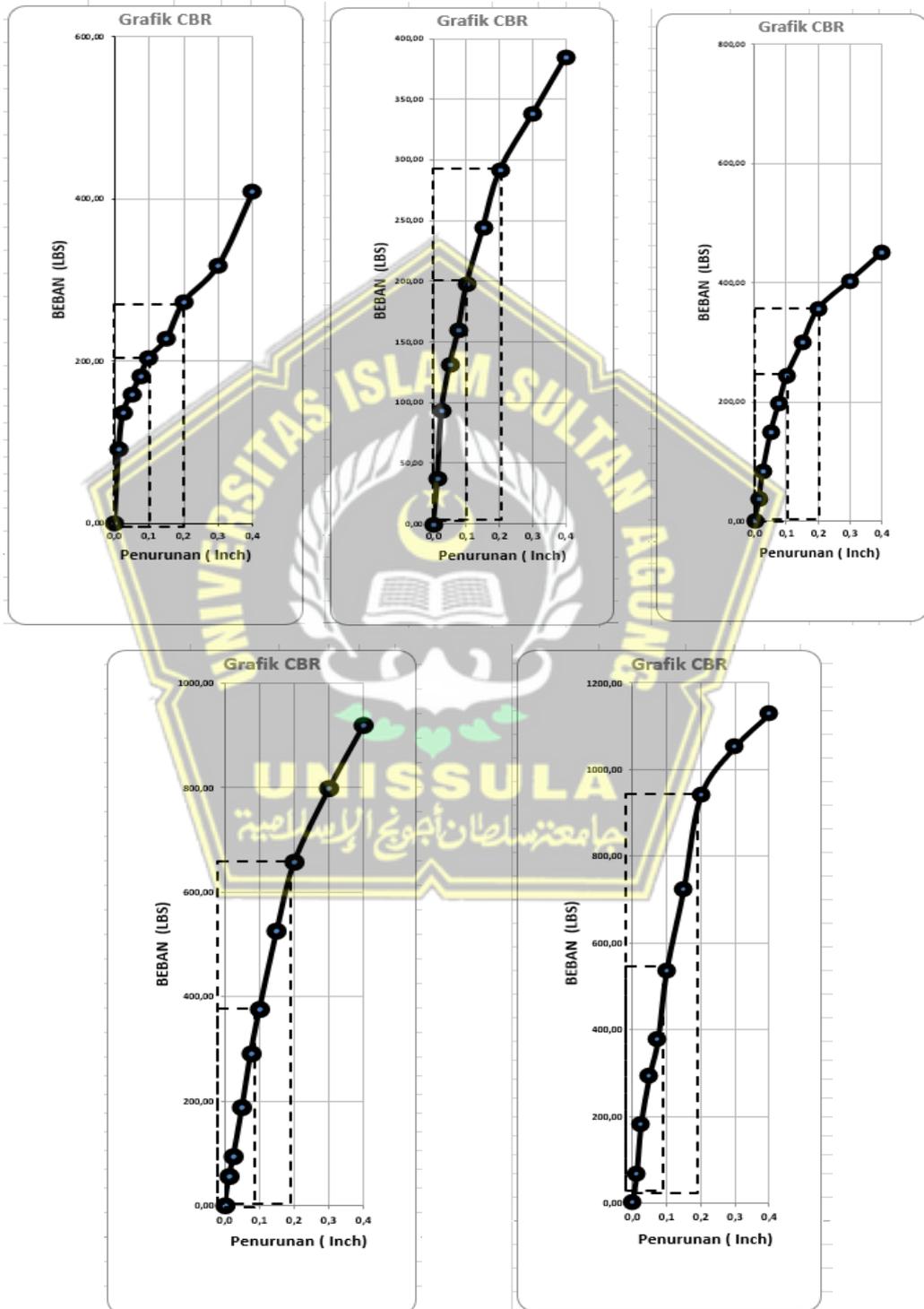
**Gambar 4.21.** Diagram Hasil Penetrasi 10x Tumbukan

Berdasarkan diagram di atas, nilai pembacaan dial 0,4 inci menunjukkan bahwa untuk sampel A sebesar 226,95 lbs, sampel B sebesar 294,80 lbs, sampel C sebesar 262,95 lbs, sampel D sebesar 450,77 lbs, dan sampel E sebesar 441,38 lbs.



Gambar 4.22. Diagram Hasil Penetrasi 25x Tumbukan

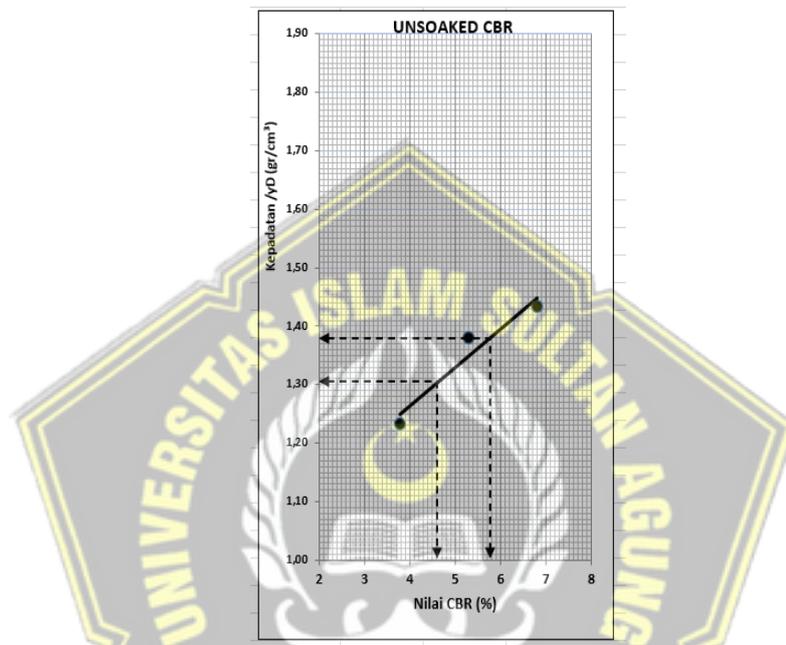
Berdasarkan diagram di atas, nilai pembacaan dial 0,4 inci menunjukkan bahwa untuk sampel A sebesar 295,04 lbs, sampel B sebesar 348,40 lbs, sampel C sebesar 385,03 lbs, sampel D sebesar 431,99 lbs, dan sampel E sebesar 779,45 lbs.



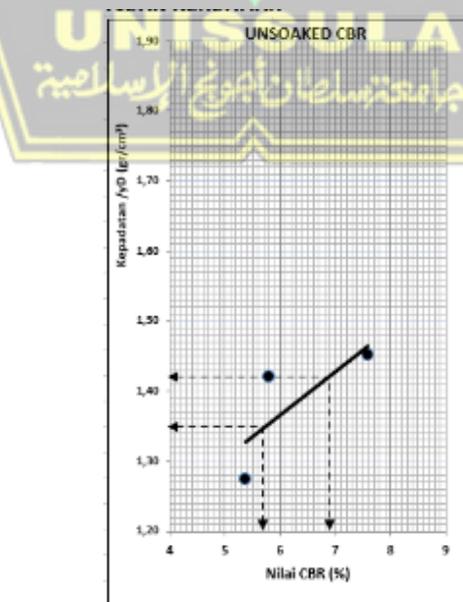
Gambar 4.23. Diagram Hasil Penetrasi 56x Tumbukan

Berdasarkan diagram di atas, nilai pembacaan dial 0,4 inci menunjukkan bahwa untuk sampel A sebesar 408,51 lbs, sampel B sebesar 428,80 lbs, sampel C sebesar 450,77 lbs, sampel D sebesar 920,32 lbs, dan sampel E sebesar 1126,92 lbs.

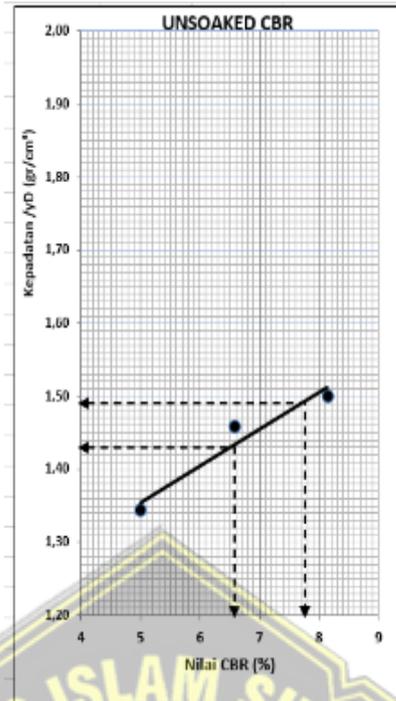
Berdasarkan data penetrasi dan tanah campuran fly ash, nilai CBR untuk setiap sampel dapat dihitung melalui perhitungan.



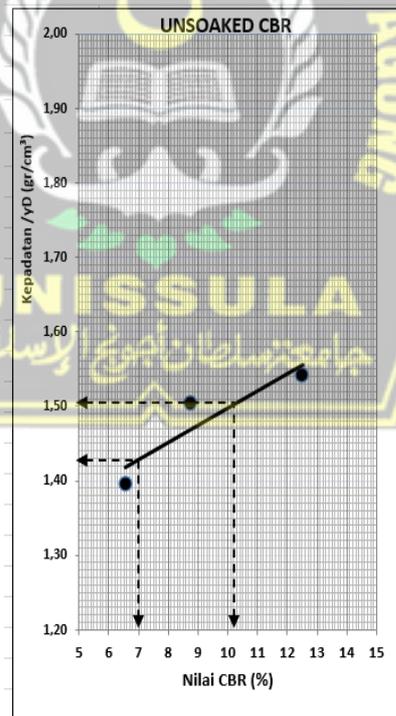
Gambar 4.24. Diagram *Unsoaked CBR* Sampel 0%



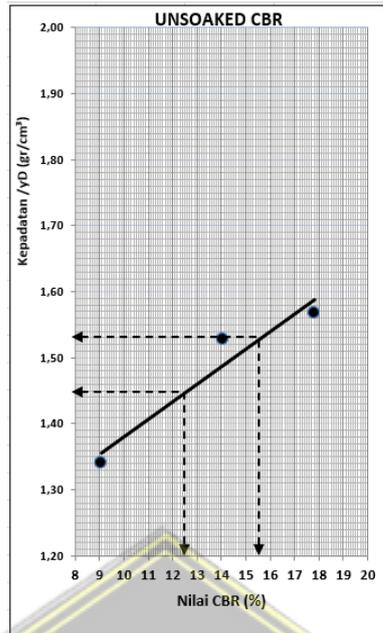
Gambar 4.25. Diagram *Unsoaked CBR* Sampel 5%



Gambar 4.26. Diagram *Unsoaked CBR* Sampel 10%



Gambar 4.27. Diagram *Unsoaked CBR* Sampel 15%

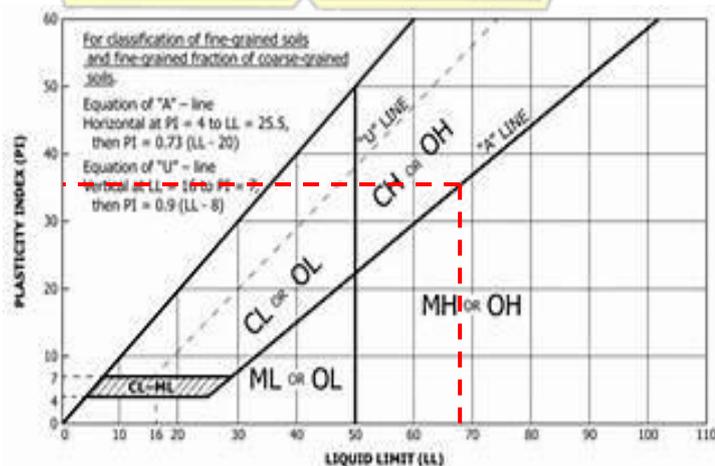


Gambar 4.28. Diagram *Unsoaked CBR* Sampel 20%

### 4.3. Klasifikasi Tanah

#### 4.3.1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS (*Unified Soil Classification System*)

Berdasarkan hasil pengujian *Atterberg Limits*, nilai *Liquid Limit* (LL) untuk tanah asli diperoleh sebesar 69,25%, sementara nilai *Plastic Limit* (PL) sebesar 32,84%, yang tergolong dalam kategori MH atau OH. Adapun nilai *Indeks Plastisitas* (IP) yang diperoleh adalah 36,41%. Nilai *Liquid Limit* dan *Indeks Plastisitas* ini dipergunakan dalam menetapkan pengelompokan tanah menurut diagram plastisitas pada sistem USCS, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.29 di bawah ini.



Gambar 4.29. Diagram Plastisitas Sistem USCS

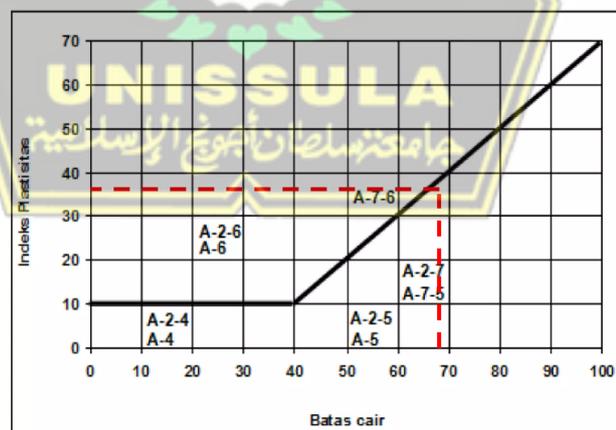
Berdasarkan diagram tersebut, garis yang menghubungkan antara nilai LL dan IP menunjukkan bahwa tanah termasuk dalam kategori CH. Dengan demikian, tanah di Desa Trangkil, Kecamatan Gunung Pati, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah, diklasifikasikan sebagai lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, yang dikenal sebagai lempung "gemuk" (*fat clays*).

#### 4.3.2. Klasifikasi Tanah AASTHO

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium didapatkan data-data yang digunakan dalam menentukan klasifikasi tanah menurut AASTHO seperti seperti berikut ini:

1.  $F = 89,12\%$ , termasuk kedalam jenis tanah lempung karena nilai yang berhasil melewati saringan nomor 200 lebih dari 35.
2.  $LL = 69,25\%$ , termasuk kedalam klasifikasi kelompok A-7 yang mempunyai batas minimum LL sebesar 41%.
3.  $IP = 36,41\%$ , termasuk kedalam klasifikasi kelompok A-7 dengan batas minimum IP sebesar 11%.

Nilai *Liquid Limit* (LL) dan *Indeks Plastisitas* (IP) pada data tersebut dapat digunakan untuk membuat diagram klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO seperti **Gambar 4.30**.



**Gambar 4.30.** Diagram Klasifikasi Tanah berdasarkan AASHTO

Berdasarkan diagram tersebut dapat dilihat bahwa garis yang menghubungkan LL dan IP bertemu pada bagian A-7-6 yang tergolong tanah berlempung. Nilai indeks kelompok dapat dihiitung menggunakan persamaan seperti berikut:

$$\begin{aligned}
GI &= (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,001 (F - 15) (PI - 10) \\
&= (89,12 - 35) [0,2 + 0,005 (69,25 - 40)] + 0,001 (89,12 - 15) (36,41 - 10) \\
&= 41,7 \cong 42
\end{aligned}$$

Berdasarkan nilai perhitungan tersebut, maka sampel tersebut termasuk dalam kelas subgrade sangat buruk. Jadi dapat diketahui bahwa klasifikasi tanah berdasarkan system AASHTO di Ds. Trangkil, Kec. Gunung Pati, kab. Semarang termasuk kedalam kelompok A-7-6 (42)

#### 4.4. Rangkuman Hasil Pengujian

Pengujian yang sudah dilakukan pada tanah di desa Trangkil, Kec. Gunung Pati, Kab. Semarang Jawa Tengah diperoleh hasil – hasil uji laboratorium berikut:

a. Kadar Air

Pada spesimen tanah yang asli, kandungan air yang didapat sebesar 45,68%. Nilai tersebut menurun pada sampel dengan campuran *fly ash* 5% menjadi 40,29%. Selanjutnya, kadar air terus mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya *fly ash*, yang memiliki kadar air rendah.

b. Berat Jenis (GS)

Pada sampel tanah asli, diperoleh nilai berat jenis sebesar 2,588%. Nilai ini mengalami penurunan pada sampel dengan campuran *fly ash*, disebabkan oleh kadar air pada *fly ash* yang sebesar 2,309%. Meskipun terjadi penurunan, berat jenis tanah campuran tetap lebih tinggi dibandingkan dengan berat jenis *fly ash*.

c. Atterberg Limits

Dalam pengujian ini, nilai *indeks plastisitas optimum* diperoleh pada campuran *fly ash* 20%, yaitu sebesar 18,00%. Hal ini terjadi karena sampel tersebut memiliki kandungan partikel lempung paling sedikit dibandingkan dengan sampel lainnya. Grafik menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* menyebabkan penurunan nilai *indeks plastisitas*.

d. Direct Shear

Dari grafik tersebut diperoleh nilai kohesi optimumnya pada presentase 5% sebesar 0,043 kg/cm<sup>2</sup>. sedangkan nilai sudut geser dalam optimumnya sebesar 26,00° pada campuran *fly ash* 20%.

e. *Proctor Standart*

Diketahui bahwa kadar air optimum berdasarkan uji *Proctor Standart* tertinggi terdapat pada sampel tanah asli, yaitu sebesar 28,50%. Penurunan nilai pada grafik disebabkan oleh penambahan *fly ash*, yang mengakibatkan kadar air optimum semakin rendah. Pada sampel dengan campuran *fly ash* 20%, kadar air optimum turun hingga 18,00%.

f. *California Bearing Ratio (CBR)*

Dari grafik, besaran CBR *Unsoaked* tertinggi diperoleh pada sampel dengan campuran *fly ash* 20%, yaitu sebesar 17,84%.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan analisis yang dilakukan terhadap sampel tanah dalam Tugas Akhir ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan klasifikasi tanah menurut sistem pengembangan (PI) SNI 03-6795-2002 dan potensi pengembangan menurut Skempton (1953) yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum, dapat disimpulkan bahwa tanah di Desa Trangkil, Kecamatan Gunung Pati, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah, memiliki daya dukung yang rendah.
2. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, penambahan *fly ash* sebagai campuran terbukti memengaruhi stabilitas tanah. Semakin tinggi proporsi *fly ash* yang ditambahkan, semakin membaik sifat mekanik tanah, yang mengindikasikan peningkatan daya dukung tanah.
3. Berdasarkan pengujian *California Bearing Ratio (CBR) Unsoaked* pada sampel tanah asli, diperoleh nilai CBR sebesar 5,80%. Sementara itu, pengujian pada sampel tanah yang dicampur *fly ash* dengan presentase 5%, 10%, 15%, dan 20% menghasilkan nilai CBR masing-masing sebesar 6,90%, 7,80%, 10,20%, dan 15,50%. Dapat disimpulkan bahwa nilai CBR *Unsoaked* optimum diperoleh pada campuran *fly ash* 20%, yaitu sebesar 15,50%.

#### 5.2. Saran

Dari penelitian ini, beberapa saran dapat disampaikan untuk memperoleh hasil yang lebih baik pada penelitian berikutnya, yaitu:

1. Tingkatkan jumlah sampel penelitian dengan variasi persentase campuran *fly ash* yang memiliki selisih lebih kecil antar sampel, sehingga perbandingan perubahan hasil dapat diamati dengan lebih detail serta menentukan titik optimum yang lebih akurat.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan penambahan bahan stabilisator lain sehingga didapatkan hasil yang lebih baik lagi.

3. Perlu ketelitian dan berhati – hati dalam melakukan uji laboratorium terutama penggunaan alat yang harus sesuai prosedur agar diperoleh hasil maksimal dan lebih valid.



## DAFTAR PUSTAKA

- Amania, Fatma Sarie, O. (2022). Pengaruh Penambahan Pasir Sirkon, Abu Kayu Dan Fly Ash Pada Tanah Lempung Terhadap Daya Dukung Dan Kuat Geser Tanah. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 3(2), 63–70.  
<https://doi.org/10.26740/proteksi.v3n2.p63-70>
- Andiyarto, H. T. C., Widodo, A., & Nugroho, U. (2015). Evaluasi Geoteknik Kelongsoran Lereng 23 Januari 2014 di Perumahan Trangkil Sejahtera Gunungpati Semarang. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 17(2), 119–130.
- Anggraini, M., Saputra, P. E., & Yanti, G. (2023). Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Serbuk Cangkang Kerang Ditinjau Dari Nilai Cbr. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 47–56.  
<https://doi.org/10.33369/ijts.15.1.47-56>
- Apriyanti, Y., & Hambali, R. (2014). Pemanfaatan Fly Ash untuk Peningkatan Nilai CBR Tanah Dasar. *Fropil*, 2(2), 151–162.
- Budi, G. S., Cristanto, A., & Setiawan, E. (2003). Pengaruh Fly Ash terhadap Sifat Pengembangan Tanah Ekspansif. *Civil Engineering Dimension*, 5(1), 20–24.
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah Jilid 1(Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik. *Penerbit Erlangga*, 1–300.
- Ghozaly, I. A., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2022). Studi Eksperimental Penggunaan Fly Ash dan Difa Soil Stabilizer pada Tanah Lempung untuk Meningkatkan Daya Dukung Tanah Dasar. *Jurnal Konstruksi: Teknik ...*, 01(11), 56–66. <http://pasca->

umi.ac.id/index.php/kons/article/view/1243

- Hangge, E. E., Bella, R. A., & Ullu, M. C. (2021). Pemanfaatan Fly Ash Untuk Stabilisasi Tanah Dasar Lempung Ekspansif. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 89–102.
- Hermawan, A. D., & Rudiarto, I. (2023). Daya Dukung Permukiman dan Kesesuaian Pola Ruang Kawasan Permukiman di Kecamatan Gunungpati Kota Semarang. *Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Kota*, 19(1), 48–63. <https://doi.org/10.14710/pwk.v19i1.23914>
- Isbusandi, A. D., Widiastuti, M., & Sutanto, H. (2018). Analisis pengaruh penggunaan geotekstil terhadap peningkatan daya dukung fondasi dangkal pada tanah lempung di kota samarinda. *Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Sipil Analisis*, 2(November), 48–56.
- Kurniawan, A., Alwi, A., & Bachtiar, V. (2016). Stabilisasi tanah lunak dengan abu ampas tebu, fly ash, kapur dan semen terhadap sifat mekanis tanah. *Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura*, 1–6.
- Kusuma, R. I., Mina, E., & Fakhri, N. (2018). Stabilisasi Tanah Lempung Lunak dengan Memanfaatkan Limbah Gypsum dan Pengaruhnya Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR). *Jurnal Fondasi*, 7(1), 22–31.
- Leliana, A., & Andajani, N. (2015). Pengaruh Penambahan Fly Ash terhadap Nilai Kuat tekan bebas Pada Tanah lempung Ekspanisf Di daerah magetan jawa Timur. *Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 1–5.
- Miswar, M., Syaifuddin, S., & Amani, N. (2018). Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Semen Dan Kapur Untuk Meningkatkan Daya Dukung Cbr Tanah. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 1–13. <https://doi.org/10.30811/portal.v9i2.615>

- Mulyono, T. (2022). Klasifikasi Tanah. *Program Studi D3 Transportasi Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, November 2017.*
- Prayino, Husnah, D. (2019). Stabilisasi tanah lempung dengan campuran semen dan fly ash. *Teknik Sipil Universitas Abdurrab*, 32–41.
- Prihatin, K. (2014). Pengaruh Penambahan Limbah Batu Bara (FLY ASH) Pada Tanah Lempung Sangat Lunak Terhadap Kuat Geser Tanah. *Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda*, VI(1).
- Rusdiansyah, R. (2018). Studi Karakteristik Tanah Lempung Lunak Akibat Adanya Penambahan Material Limbah. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 4(1), 39–49.  
<https://doi.org/10.20527/jukung.v4i1.4667>
- Subardja, D. S., Ritung, S., Anda, M., Sukarman, Suryani, E., & Subandiono, R. E. (2014). Petunjuk Teknis Klasifikasi Tanah Nasional. In *Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor* (Vol. 22). <http://papers.sae.org/2012-01-0706/>
- Taffarel, Javier Yusuf ., & Herdianto, Y. (2022). Tugas akhir pengaruh penambahan fly ash terhadap stabilitas tanah lunak. *Universitas Islam Sultan Agung Semarang.*
- Utami, E. T., Tambunan, H. F., & Uli Simanjuntak, I. R. (2021). Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Upaya Peningkatan Daya Dukung Tanah Dasar (Studi Kasus : Karang Anyar, Lampung Selatan). *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 17.  
<https://doi.org/10.36055/fondasi.v10i1.10610>
- Wibowo Agustyan Sandy, & Arriski. (2021). Tugas akhir pengaruh penambahan fly ash terhadap stabilisasi tanah lempung. *Universitas*

*Islam Sultan Agung Semarang.*

- Wismantara, & Budiarnaya, P. (2020). Methods for Increasing the Bearing Capacity of Soft Soil. *Scientific Journal TELSINAS*, 3(2), 37–40.
- Yohanes, B., Oktovian, W., Sompie, B. A., & Sumampouw, J. E. R. (2020). Pengaruh Penambahan Fly Ash Dan Tras Pada Tanah Lempung Terhadap Nilai Cbr. *Jurnal Sipil Statik*, 8(1), 71–76. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/27710>
- Yulianti, D., Firda, A., Djohan, B., & Syahrul Fuad, I. (2023). Stabilitas Tanah Lempung Menggunakan Kapur Dan Fly Ash Dengan Pengujian Cbr. *Jurnal Teknik Sipil LATERAL*, 1(2), 47–53. <https://doi.org/10.52333/lateral.v1i2.411>

