

TUGAS AKHIR

**PENAMBAHAN FLY ASH DAN SLAG BAJA UNTUK
MENINGKATKAN NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO
(CBR) TANAH LEMPUNG LUNAK**

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



Disusun Oleh :

**Bustanul Arifin
NIM : 30202000045**

**Dwi Angga Saputra
NIM : 30202000282**

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

PENAMBAHAN *FLY ASH* DAN *SLAG BAJA* UNTUK MENINGKATKAN NILAI
CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) TANAH LEMPUNG LUNAK



Bustanul Arifin
NIM : 30202000045

Dwi Angga Saputra
NIM : 30202000282

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 21 Juli 2025

Tim Penguji

Tanda Tangan

Dr. Abdul Rochim, ST., MT.
NIDN : 0608067601

Lisa Fitriaya, ST., M. Eng
NIDN : 0631128901

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

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

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No : 65/A.2/SA-T/VII/2025

Pada hari ini tanggal 21 Juli 2025 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal pengajuan Dosen Pembimbing :

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

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

Bustanul Arifin

Dwi Angga Saputra

NIM : 30202000045

NIM : 30202000282

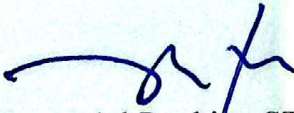
Judul : Penambahan *Fly Ash* Dan *Slag Baja* Untuk Meningkatkan Nilai *California Bearing Ratio* (CBR) Tanah Lempung Lunak

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	14/11/2024	ACC
2	Seminar Proposal	21/12/2024	
3	Pengumpulan data	05/01/2025	
4	Analisis data	07/02/2025	
5	Penyusunan laporan	24/03/2025	ACC
6	Selesai laporan	21/07/2025	

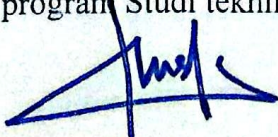
Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing


Dr. Abdul Rochim, ST.,MT.

Mengetahui,

Ketua program Studi teknik Sipil


Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Bustanul Arifin
NIM : 30202000045

NAMA : Dwi Angga Saputra
NIM : 30202000282

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

**PENAMBAHAN *FLY ASH* DAN *SLAG BAJA* UNTUK
MENINGKATKAN NILAI *CALIFORNIA BEARING RATIO* (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, Juli 2025

Yang membuat pernyataan

Yang membuat pernyataan,

Bustanul Arifin

Dwi Angga Saputra

NIM : 30202000045

NIM : 30202000282

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Bustanul Arifin
NIM : 30202000045

NAMA : Dwi Angga Saputra
NIM : 30202000282

JUDUL TUGAS AKHIR : **PENAMBAHAN *FLY ASH* DAN *SLAG* BAJA UNTUK MENINGKATKAN NILAI *CALIFORNIA BEARING RATIO* (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 kemudian 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, Juli 2025

Yang membuat pernyataan,

Bustanul Arifin

NIM : 30202000045



Yang membuat pernyataan,

Dwi Angga Saputra

NIM : 30202000282

MOTTO

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

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

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

Belajarliah kamu semua, dan mengajarliah kamu semua, dan hormatilah guru-gurumu, serta berlaku baiklah terhadap orang yang mengajarkanmu. (HR Tabrani)

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

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

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

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

PERSEMBAHAN

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

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

Bustanul arifin
Nim. 30202000045

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, kita memuji-Nya dan meminta pertolongan, pengampunan serta petunjuk kepada-Nya. Saya persembahkan laporan skripsi ini kepada:

1. Orang Tua saya Alm Bapak Suprojo dan Ibu Astutik yang selalu memberikan ketenangan, kenyamanan, motivasi, doa terbaik, dan telah mendidik saya sampai pada titik ini, sehingga saya bisa menyelesaikan masa studi saya.
2. Kakak saya dan adek saya, Eko Susilo dan Dzaki Novriansyah yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, senyum dan doanya untuk keberhasilan ini.
3. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., MT. dan Ibu Lisa Fitriyana, S.T.,M.Eng. sebagai pembimbing, penguji dan pengajar, yang selama ini telah tulus dan ikhlas meluangkan waktunya untuk menuntun dan mengarahkan saya, memberikan bimbingan dan pelajaran yang tiada ternilai harganya, agar saya menjadi lebih baik.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas ilmunya yang sangat bermanfaat.
5. Partner Tugas Akhir sekaligus sahabat saya, Bustanul Arifin, yang selalu menemani dan memahami kondisi saya, terima kasih selalu ada dan mendukung saya.
6. Asisten Laboratorium Bapak Tardi dan juga teman-teman yang sudah membantu dalam melaksanakan penelitian ini.
7. Terakhir, untuk diri saya sendiri, Dwi Angga Saputra terima kasih sudah berjuang dan bertahan sampai titik ini sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini sampai selesai.

Dwi Angga Saputra

Nim:30202000282

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “PENAMBAHAN *FLY ASH* DAN *SLAG* BAJA UNTUK MENINGKATKAN NILAI *CALIFORNIA BEARING RATIO* (CBR) TANAH LEMPUNG LUNAK” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

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

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

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

Semarang, 24 Maret 2025

Penulis

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO.....	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DARTAR GAMBAR.....	xiii
Abstrak.....	xv
Abstract.....	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Tanah	5
2.2 Klasifikasi Tanah	6
2.3 Tanah Lempung.....	11
2.3.1 Sifat Fisik Tanah.....	12
2.3.2 Tanah Dasar.....	12
2.4 Stabilisasi Tanah.....	13
2.4.1 Stabilisasi Mekanis.....	13
2.4.2 Stabilisasi Kimiawi.....	14
2.5 Pemadatan Tanah (<i>Proctor Standard</i>).....	14
2.6 California Bearing Ratio (CBR).....	16
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Lokasi Penelitian.....	19
3.2 Bahan dan Alat Penelitian.....	20
3.2.1 Bahan Penelitian.....	20
3.2.2 Alat penelitian.....	21
3.3 Persiapan Benda Uji	22

3.4	Lokasi Penelitian	22
3.5	Prosedur Penelitian	22
3.5.1	Berat Jenis Tanah	22
3.5.3	<i>Atterberg Limit</i>	26
3.5.4	<i>Direct Shear</i>	29
3.5.5	<i>Proctor Modified</i>	30
3.5.6	<i>California Bearing Ratio (CBR)</i>	31
3.6	Analisis Data	33
3.7	Bagan Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		35
4.1	Hasil Penelitian.....	35
4.2	Physical Properties Tanah Asli.....	35
4.2	Analisa Stabilisasi dengan <i>Fly ash</i> dan <i>Slag baja</i> di Laboratorium	36
4.2.1	<i>Grain Size</i>	36
4.1.1	<i>Atterberg Limits</i>	43
4.1.2	<i>Direct Shear</i>	49
4.1.3	<i>Proctor Modified</i>	54
4.1.4	<i>California Bearing Ratio (CBR)</i>	62
4.2	Akhir pembahasan	74
BAB V PENUTUP		76
5.1	Kesimpulan.....	76
5.2	Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA.....		77

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sistem Klasifikasi AASHTO.....	9
Tabel 2. 2 Sistem Klasifikasi USCS	11
Tabel 2. 3 Berat Jenis Tanah	12
Tabel 2. 4 Klasifikasi Tanah Dasar Berda	18
Tabel 3. 1 Kode dan perlakuan.....	22
Tabel 3. 2 Nilai indeks plastisitas	26
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Properties Tanah Asli	35
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Mekanis Tanah Asli	35
Tabel 4. 3 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Asli	36
Tabel 4. 4 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Campuran 1	37
Tabel 4. 5 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Campuran 2	37
Tabel 4. 6 Tabel 4. 6 Nilai Perhitungan Hidrometer Analynsis Tanah Campuran 3	38
Tabel 4. 7 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Campuran 4	38
Tabel 4. 8 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Asli	39
Tabel 4. 9 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Tanah Campuran 1	40
Tabel 4. 10 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Tanah Campuran 2	40
Tabel 4. 11 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Tanah Campuran 3	41
Tabel 4. 12 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Tanah Campuran 4	41
Tabel 4. 13 Hasil Grain Size.....	42
Tabel 4. 14 Nilai Perhitungan Batas Cair	44
Tabel 4. 15 Nilai perhitungan Batas Plastis.....	47
Tabel 4. 16 Hasil Indeks Plastisitas	48
Tabel 4. 17 Hasil perhitungan penembakan langsung sampel tanah asli dan campuran Fly Ash dan Slag baja	50
Tabel 4. 18 Hasil Penggambaran Direct Shear.....	53
Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Proctor Modified	55
Tabel 4. 20 Nilai Perhitungan Proctor Modified Tanah Asli.....	57
Tabel 4. 21 Nilai Perhitungan Proctor Modified campuran Fly Ash.....	58
Tabel 4. 22 Hasil Proctor Modified dari Tanah Asli yang terdiri dari campuran.....	61
Tabel 4. 23 Hasil Pengujian Tanah asli dan Campuran Fly ash	62
Tabel 4. 24 Hasil Penetrasi Sampel Tanah campuran Fly Ash dan Slag baja	64
Tabel 4. 25 Harga CBR Tanah Asli dan Tanah Campuran Fly Ash dan Slag baja	69
Tabel 4. 26 Nilai CBR Tanah Asli dan Tanah Campuran Fly Ash dan Slag baja	70

DARTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Plastisitas untuk Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO.....	8
Gambar 2. 2 Grafik Hubungan Berat Volume Kering Dan Kadar Air (Das, 1995)	16
Gambar 2. 3 Grafik Pengujian Cbr (Das, 1995)	17
Gambar 3. 1 Peta lokasi tempat pengambilan sampel tanah di Jl.PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah 55287	20
Gambar 3. 2 Fly ash.....	20
Gambar 3. 3 Slag baja.....	21
Gambar 3. 4 Bagan Penelitian	34
Gambar 4. 1 Grafik Gradasi Butiran.....	43
Gambar 4. 2 Grafik Liquid Limit sampel Tanah Asli.....	45
Gambar 4. 3 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 1	45
Gambar 4. 4 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 2	45
Gambar 4. 5 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 3	46
Gambar 4. 6 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 4	46
Gambar 4. 7 Grafik ATL Tanah Asli dan Campuran fly ash dan slag baja.....	49
Gambar 4. 8 Grafik Direct Shear Tanah Asli	51
Gambar 4. 9 Grafik Direct Shear Tanah Campuran 1	51
Gambar 4. 10 Grafik Direct Shear Tanah Campuran 2	52
Gambar 4. 11 Grafik Direct Shear Tanah Campuran 3	52
Gambar 4. 12 Grafik Direct Shear Tanah Campuran 4	53
Gambar 4. 13 Grafik Nilai Kohesi Tanah Asli dan Campuran Fly Ash dan Slag baja.....	54
Gambar 4. 14 Grafik Wopt yang menunjukkan sampel Tanah Asli.....	59
Gambar 4. 15 Grafik Wopt sampel Tanah Campuran 1	59
Gambar 4. 16 Grafik Wopt sampel Tanah Campuran 2	59
Gambar 4. 17 Grafik Wopt sampel Tanah Campuran 3	60
Gambar 4. 18 Grafik Wopt sampel Tanah Campuran 4	60
Gambar 4. 19 Grafik Proctor Modified yang menunjukkan contoh Tanah Asli yang mengandung campuran Fly Ash dan Slag baja.....	61
Gambar 4. 20 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Asli	66
Gambar 4. 21 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 22 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran 2	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 23 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran 3	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 24 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran 4	68
Gambar 4. 25 Grafik Harga CBR 0,1” dan 0,2”	70
Gambar 4. 26 Grafik Nilai CBR Tanah Asli	71

Gambar 4. 27 Grafik Nilai CBR Tanah campuran 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 28 Grafik Nilai CBR Tanah campuran 2	72
Gambar 4. 29 Grafik Nilai CBR Tanah Campuran 3	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 30 Grafik Nilai CBR Tanah Campuran 4	73
Gambar 4. 31 Grafik Nilai CBR	74



**PENAMBAHAN *FLY ASH* DAN *SLAG BAJA* UNTUK MENINGKATAN
NILAI *CALIFORNIA BEARING RATIO* (CBR)
TANAH LEMPUNG LUNAK**

Abstrak

Tanah Lempung Lunak, yang memiliki daya dukung rendah dan cenderung plastis, mudah mengalami perubahan bentuk ketika terkena beban, terutama di lingkungan yang lembab. Sebagai material dasar yang penting sebagai dasar di mana suatu konstruksi akan dibangun, tanah yang memiliki daya dukung rendah memiliki resiko yang besar terhadap keruntuhan disebabkan kurangnya kemampuan untuk menopang beban konstruksi di atasnya. Munculnya inovasi pencampuran dalam tanah lunak untuk meningkatkan kekuatan yang lebih besar dari tanah lunak umumnya. Dalam penelitian ini akan menganalisis penambahan *Fly Ash* dan *Slag Baja* yang berfungsi meningkatkan Nilai *California Bearing Ratio* (CBR) pada tanah lempung lunak.

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan menggunakan sampel tanah lempung dari di Jl. PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung. Variasi campuran untuk *Fly Ash* yaitu 10%, 15%, 20%, 25%, dan *Slag Baja* konstan sebesar 25%. Uji yang dilakukan untuk mengetahui perubahan yang terjadi setelah penambahan *Fly Ash* dan *Slag Baja*, sampel akan diuji di Laboratorium untuk Indeks sifat dan Indeks mekanik.

Pada penelitian ini menunjukan nilai CBR pada tanah asli sebesar 4,60%. Hasil nilai CBR dengan penambahan campuran *Fly Ash* dan *Slag Baja* meningkat menjadi 15,90% (kenaikan 245,65%) yang termasuk dalam kategori tanah sedang (7% - 20%). Oleh sebab itu penambahan *Fly Ash* dan *Slag Baja* dapat meningkatkan daya dukung tanah lempung lunak.

Kata Kunci: *Fly Ash*, *Slag Baja*, CBR

ADDITION OF *FLY ASH* AND *STEEL SLAG* TO INCREASE THE CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) VALUES SOFT CLAY SOIL

Abstract

Soft Clay, which has a low bearing capacity and tends to be plastic, easily deforms when subjected to loads, especially in humid environments. As a base material that has an important function as the foundation on which a construction will be built, soils that have low bearing capacity are at great risk of collapse due to their lack of ability to support the construction load above them. The emergence of blending innovations in soft soil to increase the strength greater than the general soft soil. This research will analyze the addition of *Fly Ash* and *Steel Slag* which serves to increase the California Bearing Ratio (CBR) value in Soft Clay Soils.

The method used is an experimental method using clay samples from Jl. PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, Demak Regency, Central Java 59563, as well as variations in the mixture for Fly Ash by 10%, 15%, 20%, 25%, and Steel Slag by 25%. To monitor the changes that occur after the addition of Fly Ash and Steel Slag, the samples will be retested in the laboratory for the Property Index and Mechanical Index.

This research resulted in a CBR value in the original soil of 4.60%. With the addition of Fly Ash and Steel Slag mixture, the CBR value increases with a CBR value of 15.90% which is included in the medium soil category (7% - 20%). Therefore, the mixing of *Fly Ash* and *Steel Slag* can increase the bearing capacity of Soft Clay Soil.

Keywords: *Fly Ash*, *Steel Slag*, CBR

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah lempung lunak adalah jenis tanah yang memiliki daya dukung rendah dan cenderung memiliki sifat plastis, mudah mengalami perubahan bentuk atau deformasi ketika terkena beban, terutama pada kondisi lembab. Tanah ini memiliki kandungan partikel halus yang tinggi, seperti silika dan alumina, yang membuatnya mudah menyerap air dan sangat sensitif terhadap perubahan kadar air, sehingga menyebabkan kestabilannya terganggu. Sebagai material dasar yang memiliki fungsi yang penting sebagai dasar di mana suatu konstruksi akan dibangun, tanah yang memiliki daya dukung rendah memiliki resiko yang besar terhadap keruntuhan disebabkan kurangnya kemampuan untuk menopang beban konstruksi di atasnya. Jika pembangunan tetap dilaksanakan di tanah maka tidak heran jika biaya yang diperlukan untuk melakukan perbaikan konstruksi tersebut. Oleh karena itu, mengetahui sifat fisis dan mekanis menjadi hal yang penting diketahui dengan melakukan investigasi atau penyelidikan tanah, tujuannya agar tanah yang memiliki karakteristik dapat ditambah kekuatan serta daya dukungnya dengan melakukan stabilisasi tanah.

Lokasi pengambilan sampel tanah berada di dekat daerah sungai, yang umumnya memiliki karakteristik tanah dengan kelembaban tinggi dan daya dukung rendah. Daerah sungai sering kali menjadi lokasi dengan jenis tanah aluvial atau lempung lunak, yang terbentuk dari hasil sedimentasi material halus seperti pasir, lempung, dan lumpur. Tanah ini memiliki ciri-ciri fisik dan mekanik yang kurang mendukung untuk digunakan sebagai lapisan tanah dasar pada konstruksi infrastruktur, seperti jalan raya atau fondasi bangunan.

Nilai CBR (*California Bearing Ratio*) tanah merupakan salah satu karakteristik utama yang perlu diketahui pada tanah dasar jalan. Masalah yang sering ditemui pada tanah dasar adalah rendahnya daya dukung tanah, yang dapat dilihat dari nilai *California Bearing Ratio* (CBR) yang rendah. Nilai CBR minimal 6% untuk tanah dasar merupakan batasan yang digunakan sebagai acuan kekuatan lapisan tanah dasar (subgrade) agar dapat mendukung lapisan perkerasan jalan. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) dan panduan teknis yang berlaku, nilai minimum ini

sering digunakan sebagai acuan dalam perencanaan dan pembangunan infrastruktur. SNI 1732:2017 (*Tata Cara Perencanaan Struktur Perkerasan Lentur Jalan Raya*) Jika tanah dasar memiliki nilai CBR di bawah 6%, maka diperlukan tindakan stabilisasi atau perbaikan tanah (soil improvement). Panduan Teknis Perkerasan Jalan (Bina Marga), Dalam panduan dari Bina Marga (Kementerian PUPR), tanah dasar (subgrade) jalan harus memenuhi CBR minimum 6% untuk perkerasan dengan lalu lintas ringan hingga sedang.

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

Penambahan material stabilisasi seperti *fly ash* dan *slag* baja merupakan salah satu solusi yang dapat meningkatkan karakteristik teknik tanah lempung lunak. *Fly ash*, yang dihasilkan sebagai limbah dari pembakaran batu bara pada pembangkit listrik, mengandung senyawa pozzolanik (silika dan alumina) yang mampu bereaksi dengan kapur dalam tanah untuk membentuk senyawa yang mengikat partikel tanah. Sementara itu, *slag* baja, yang merupakan limbah industri baja, mengandung mineral seperti kalsium oksida (CaO) dan magnesium oksida (MgO) yang berkontribusi pada peningkatan kekuatan tanah melalui mekanisme stabilisasi fisik dan kimia.

Penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh dari penggunaan *fly ash* dan *slag* baja yang digunakan sebagai stabilisator pada tanah lempung lunak. Tanah lempung sendiri memiliki daya dukung tanah yang lebih rendah dengan sifat fisis dan mekanis yang lebih baik. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji pengaruh material limbah industri terhadap stabilisasi tanah. Penelitian oleh Rahmawati et al. (2019) menunjukkan bahwa penambahan *fly ash* sebesar 10%–20% pada tanah lempung dapat meningkatkan nilai CBR hingga 50% dibandingkan dengan kondisi awal. Penelitian lainnya oleh Santoso dan Putra (2020) mengungkapkan bahwa *slag* baja sebagai bahan stabilisasi mampu mengurangi plastisitas tanah lempung lunak dan meningkatkan daya dukungnya secara signifikan.

Meskipun sudah ada beberapa penelitian mengenai penggunaan *fly ash* atau *slag* baja secara terpisah, penelitian yang mengombinasikan kedua material ini

untuk meningkatkan nilai CBR tanah lempung lunak masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi secara sistematis pengaruh kombinasi fly ash dan slag baja dalam meningkatkan daya dukung tanah lempung lunak, khususnya di lokasi yang dekat dengan sungai. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah sekaligus solusi praktis untuk stabilisasi tanah dengan pendekatan yang efisien dan ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

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

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

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui jenis dan karakteristik dari sampel tanah asli.
2. Mengetahui karakteristik tanah yang dicampur dengan *fly ash* dan *slag* baja sebagai material stabilisasi tambahan.
3. Membandingkan nilai CBR, *Proctor*, *Direct Shear*, *Atterberg Limit* pada tanah asli dan CBR, *Proctor*, *Direct Shear*, *Atterberg Limit* tanah yang dicampur dengan *fly ash* dan *slag* baja.

1.4 Batasan Masalah

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

1. Sampel tanah yang diteliti diambil pada Jl. PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah dengan kedalaman 1 m diatas permukaan tanah.
2. Lokasi *fly ash* yang diambil berasal dari PLTU Tanjung Jati B di Kecamatan Kembang, Sekuping, Tubanan, Kecamatan Kembang, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah dan *slag baja* diambil didesa jrakah, kecamatan tugu, kota semarang
3. Variasi campuran untuk *fly ash* yakni 10%, 15%, 20%, 25% dan *slag baja* 25% pada pengujian *Atterberg Limit*, *Direct Shear*, dan CBR.

1.5 Manfaat Penelitian

Keuntungan dari dilakukannya penelitian ini adalah:

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

1.6 Sistematika Penulisan

Proses penulisan Tugas Akhir ini mengikuti aturan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penemuan dan hasil penelitian dibahas dalam bab ini.

BAB V PENUTUP

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Tanah

Menurut ilmu Teknik Sipil, tanah merupakan himpunan mineral, bahan organik, serta endapan-endapan yang relatif lepas yang terletak di atas batuan dasar (Hardiyatmo, 2002). Tanah ini memiliki sifat antar butiran lepas, yang berarti butiran tanah akan terpisah-pisah saat dikeringkan dan hanya akan melekat dalam keadaan tertentu yang disebabkan oleh gaya tarik permukaan (Hardiyatmo, 2002). Sementara itu menurut Das (1993) menyatakan bahwa Tanah terdiri dari agregat yang berasal dari material organik yang padat dan sudah melapuk serta tidak terikat antara satu dengan yang lain secara kimiawi. Agregat ini ditambahkan dengan gas serta zat cair untuk mengisi celah antara partikel padat (Das, 1993).

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

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

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

2.2 Klasifikasi Tanah Pengertian Tanah

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

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

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

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

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

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

Keterangan:

GI = Indeks kelompok (group index),

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

LL = Batas cair (Liquid limit) PI

= Indeks plastisitas.

AASHTO membuat suatu indek kelompok (GI) didasarkan pada berapa persen tanah yang bisa lolos saringan N0. 200 serta batas dari *Atterberg*. Tujuannya, agar mendapatkan nilai kemampuan tanah dasar untuk menahan beban roda. Dengan tingginya nilai indeks kelompok (GI), menunjukkan bahwa penggunaan tanah yang lebih baik memiliki keterkaitan yang positif dengan hasilnya. Tiap kelompok tanah yang diklasifikasikan AASHTO (A-1 sampai A-7) dimulai dari A-1, A-2, dan A-3 yang merupakan tanah berbutir dengan 35% atau kurang dari jumlah butirang tanah yang lolos dari ayakan No. 200. Sedangkan untuk tanah yang memiliki kadar butiran tanah lolos lebih dari 35% digolongkan sebagai kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. Sebagian besar butiran yang terdapat pada kelompok A-4 sampai A-7 merupakan butiran lanau dan lempung. Kriteria yang menjadi sistem klasifikasi AASHTO didasarkan pada hal-hal berikut:

a. Ukuran Butir

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

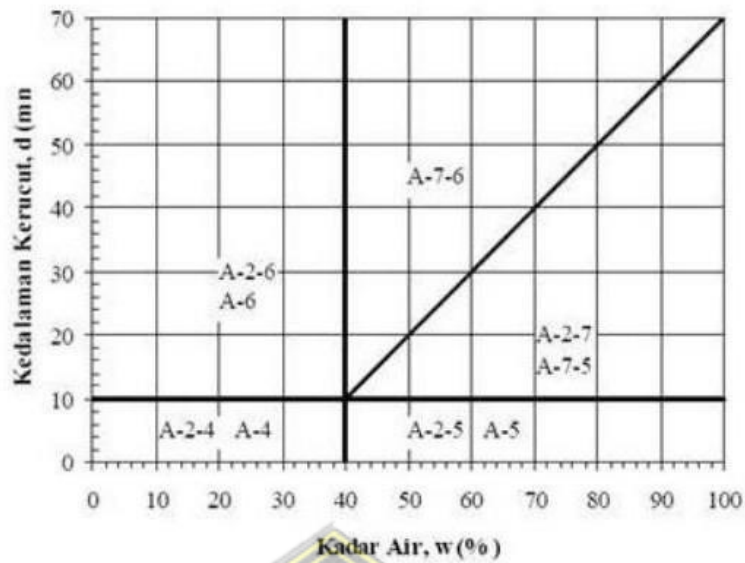
Pasir: butiran tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) serta butiran tertahan pada ayakan No. 200 (0.075 mm).

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

b. Plastisitas

Plastisitas tanah merupakan sifat yang mempengaruhi kekuatan tanah ketika terjadi perubahan kadar air. Semakin tinggi plastisitas tanah, yang berarti semakin besar rentang kadar air pada daerah plastis, maka kekuatan tanah tersebut akan semakin berubah. Plastisitas juga menggambarkan kemampuan tanah untuk menyesuaikan bentuknya pada volume yang konstan tanpa menyebabkan retakan atau kerusakan.

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



Gambar 2. 1 Grafik Plastisitas untuk Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

- c. Jika terdapat batuan dengan ukuran lebih dari 75 mm dalam sampel tanah yang akan diklasifikasikan, batuan tersebut harus dipisahkan terlebih dahulu. Namun, sebelum dipisahkan, persentase tanah dalam sampel harus dicatat. Apabila saat melakukan klasifikasi tanah menggunakan sistem AASHTO, maka dilakukan uji kecocokan dengan angka-angka pada tabel berikut yang nantinya didapat angka-angka yang sesuai berdasarkan kolom dari sebelah kiri ke kolom sebelah kanan (Das, 1995).

Tabel 2. 1 Sistem Klasifikasi AASHTO

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

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir				
	(Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200				
Klasifikasi Kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7	
				A-7-5	A-7-6
Analisis Ayakan (% lolos)					
No.10					
No.40					
No.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	
Sifat Frasaksi yang lolos ayakan No. 40.					
Batas Cair (LL)	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41	
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11	
Tipe Material yang paling dominan	Tanah Berlanau		Tanah Berlempung		
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa Sampai Jelek				

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

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

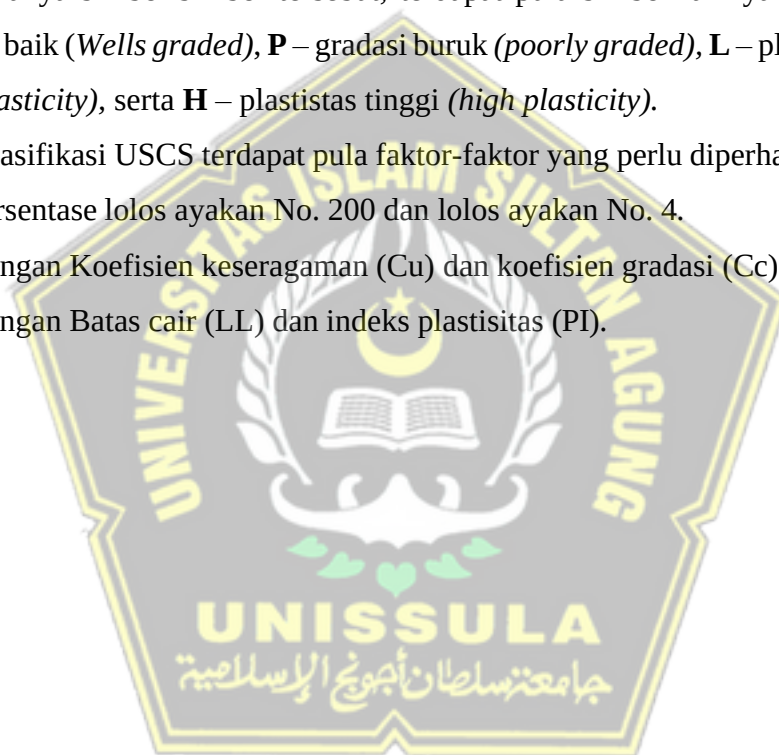
- Tanah berbutir kasar (coarse-grained-soil), persentase lolos saringan No. 200 kurang dari 50%, yaitu tanah berkerikil dan berpasir. Kelompok ini memakai simbol huruf **G** untuk kerikil (gravel) atau tanah berkerikil dan huruf **S** untuk pasir (Sand) atau tanah berpasir.

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

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

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

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



Tabel 2. 2 Sistem Klasifikasi USCS

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	
	Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
			Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus : Kurang dari 5% lolos saringan no.200: GM, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no.200 : GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan No.200 : Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel		
			Cu = $\frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ Cc = $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW		
Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau PI < 4 Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau PI > 7 Cu = $\frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ Cc = $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW					
Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau PI < 4 Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau PI > 7 Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol					
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung		
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)		
		OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
	Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis		
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)		
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi		
		PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi		
	Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		

Sumber : Hary Christady, 1996

Sumber : Hary Christady, 1996

2.3 Tanah Lempung

Tanah lempung plastis terletak dalam selang air dengan kadar air sedang hingga luas dan terdiri dari agregat partikel pembusukan kimiawi dari bagian-bagian batuan yang berukuran mikroskopik dan submikroskopik. Ketika kering, sulit membersihkannya dengan tangan kosong. Selain itu, permeabilitas tanah

lempung sangat rendah (Terzaghi & Peck, 1987). Pengaruh air pada tanah lempung mengakibatkan tanah dapat mengembang dan menyusut dengan cepat; itu keras saat kering dan lunak saat basah.

2.3.1 Sifat Fisik Tanah

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

Tabel 2. 3 Berat Jenis Tanah

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

(Hardiyatmo, 2002)

2.3.2 Tanah Dasar

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

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

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

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

2.4 Stabilisasi Tanah

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

2.4.1 Stabilisasi Mekanis

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

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

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

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

2.4.2 Stabilisasi Kimiawi

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

2.5 Pemadatan Tanah (*Proctor Standard*)

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

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

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

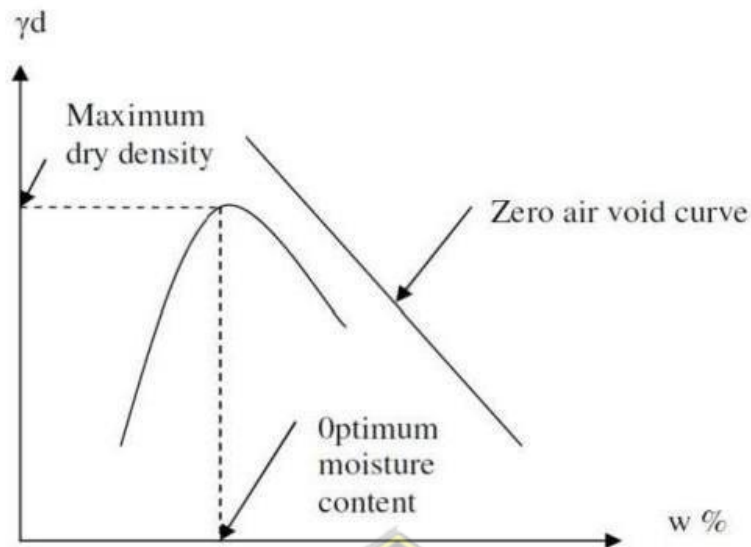
Sifat fisik dalam tanah bergantung besar pada kadar air di dalamnya, jika kadar air yang terkandung di dalam tanah sedikit maka tanah akan menjadi keras, tetapi sebaliknya, jika kadar air di dalam tanah cenderung besar, maka tanah akan menjadi lunak atau cair. Proses pemadatan ini akan dilaksanakan jikalau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

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

$$\gamma_d = b / (1 + \omega) \quad (2.2)$$

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

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



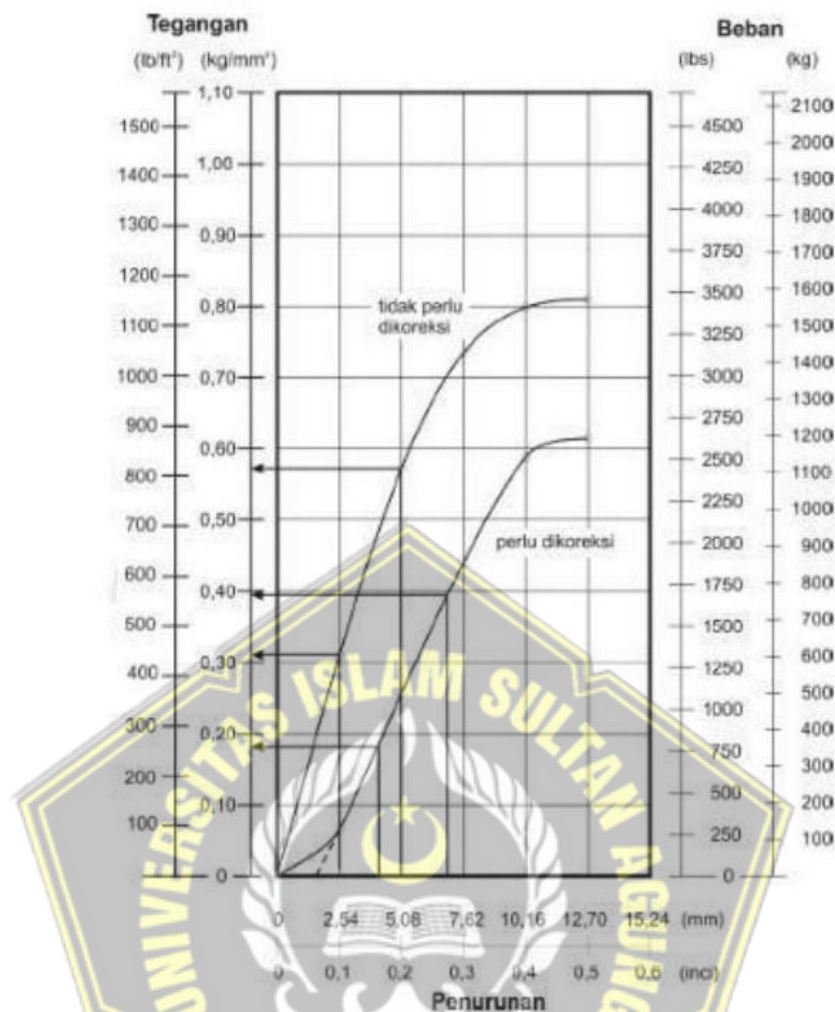
Gambar 2. 2 Grafik Hubungan Berat Volume Kering Dan Kadar Air (Das, 1995)

2.6 California Bearing Ratio (CBR)

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

Tabel 2. 4 Klasifikasi Tanah Dasar Berda

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

(Das, 1995)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Laboratorium Mekanika Tanah di Teknik Universitas Sultan Agung Semarang telah melakukan penelitian eksperimental terkait karakteristik fisik dan mekanik tanah. Proses penelitian mencakup pengujian batas konsistensi tanah untuk menentukan karakteristik fisiknya, serta pengujian nilai CBR (California Bearing Ratio). Pengujian CBR dilakukan dengan menggunakan kadar air optimum (Optimum Moisture Content/OMC) di tanah asli untuk pembuatan benda uji.

Sebelum penelitian dimulai, sejumlah persiapan dilakukan untuk memastikan hasil yang akurat. Persiapan tersebut meliputi studi literatur, survei lokasi pengambilan sampel tanah, penyiapan alat pengujian, pembuatan benda uji, dan pengujian di laboratorium. Tahap akhir yang tidak kalah pentingnya adalah analisis data untuk mendapatkan hasil yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan. Teknik Pengumpulan Data

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

Pengujian di laboratorium yang dilakukan yaitu kadar air (ω), berat volume (v), berat jenis (γ_m), batas Atterberg, klasifikasi tanah, *Direct Shear*, dan *California Bearing Ratio* (CBR) yang diuji pada sampel campuran dan tanah lempung dengan variasi 10%, 15%, 20%, 25%,

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut, lokasi pengambilan sampel tanah untuk penelitian terletak di Jl. PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, yang diperoleh dari *google map*.



Gambar 3. 1 Peta lokasi tempat pengambilan sampel tanah di Jl.PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah 55287

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

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

1. *Fly Ash*

Sisa batu bara yang berasal dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang terbang disebut *fly ash*. Untuk lokasi pengambilan sampel berada di PLTU Tanjung Jati B Jepara



Gambar 3. 2 *Fly ash*

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2025)

2. *Slag baja*

Bahan berasal dari limbah proses peleburan baja dalam industri metalurgi, terutama pada proses pembuatan baja menggunakan teknologi tanur tinggi (tanur tinggi) dan tanur listrik (tanur busur listrik) Blast Furnace Slag. Dihasilkan dari proses peleburan emisi besi menggunakan kokas sebagai bahan bakar di dalam tanur tinggi. Slag terbentuk dari kotoran dalam menghasilkan besi yang bercampur dengan fluks, seperti batu kapur, untuk memisahkan material logam dari impuritas. Untuk *slag baja* diambil didesa Jarakah, Kecamatan Tugu, Kota Semarang.



Gambar 3.3 *Slag baja*

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2025)

3.2.2 Alat penelitian

Metode yang digunakan untuk studi ini adalah:

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

3.3 Persiapan Benda Uji

Untuk setiap pengujian, bahan uji dikombinasikan saat benda uji dilakukan pengujian pada tanah campuran. Untuk pengujian CBR, campuran tanah, *fly ash* dan *slag baja* dicampur dengan air sampai tingkat air yang ideal untuk tanah asli. Untuk campuran *slag baja* dan *fly ash*, ditambahkan 25% *slag baja* dan 10%, 15%, 20%, 25% *fly ash*, dari berat kering tanah masing-masing.

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

Tabel 3. 1 Kode dan perlakuan

KODE	PERLAKUAN
S ₀	Tanah asli 100%
S ₁	Tanah 65% + SB 25% + FA 10%
S ₂	Tanah 60% + SB 25% + FA 15%
S ₃	Tanah 55% + SB 25% + FA 20%
S ₄	Tanah 50% +SB 25% + FA 25%

3.4 Lokasi Penelitian

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

3.5 Prosedur Penelitian

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

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

Alat yang digunakan :

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

Uji kepadatan tanah dilakukan dengan cara berikut.

1. Cari tahu berapa nilai air piknometer :
 - a. Timbang piknometer kosong, misal = 1 gr.
 - b. Piknometer diisi dengan aquades sampai penuh kemudian ditimbang, misal = b gr..
 - c. Suhu manometer diukur dengan termometer, misalnya : T_1 0 °. Harga air pada piknometer = $(b - c) t_1$; dimana t_1 = dikoreksi T_1
2. Mencari *specific gravity* (G_s) :
 - a. Ambil bahan yang akan diuji, lalu masukkan ke piknometer yang kering dan bersih di atas dan timbang, misalnya = c gram (massa sampel = 2025 gram).
 - b. Piknometer dan benda uji diberi aquades sampai tepat di bawah leher Piknometer, kemudian dikocok sampai gelembung didalam pikno hilang, kemudian didiamkan selama ± 24 jam.
 - c. Setelah ± 24 jam, Piknometer diisi dengan aquades sampai penuh lalu diukur beratnya, misal = d gram.
 - d. Kemudian suhu dicek menggunakan contoh termometer sifat gravitasi (G_s) dapat dilihat pada tabel pada T_2 0°C koreksi suhu, misalnya = t_2 . ditemukan melalui persamaan :

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

3.5.2 Grain Size

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

1. Hidrometer

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

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

Prosedur pelaksanaan uji hidrometer seperti dibawah ini.

- a. Ambil contoh sampel tanah sekitar 200 gr, kemudian dimasukan kedalam cawan besar dan direndam dengan air selama satu hari.
- b. Ambil cawan besar tersebut lalu ditambahkan air sekitar 1000 ml dan disaring dengan saringan nomor 200 mm.
- c. Aduk dengan alat pengaduk hingga rata.
- d. Setelah itu tanah yang tertinggal di saringan ditaruh di mangkok/cawan dan dikeringkan di dalam oven.

- e. Sisa air yang lolos dari saringan ditempatkan pada wadah kaca dan diberi air sehingga volume 1000 ml.
- f. Tutup wadah kaca dengan tangan dan balikkan wadah beberapa kali.
- g. Setelah dikocok, letakkan wadah di atas meja dan mulailah mengukur waktu.
- h. Masukkan hydrometer dengan hati-hati dan lakukan pengukuran pada $\frac{1}{2}$, 1, 2, 5, 10, 45, 75, 90, dan 120.

2. Sieve Analys

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

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

Prosedur pelaksanaan uji *Sieve Analys* seperti dibawah ini.

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

- f. Keluarkan sisa tanah yang tertahan di setiap saringan lalu di taruh ke cawan dan ukur berat masing-masing sisa tanah tersebut.

3.5.3 *Atterberg Limit* (SNI 1967-2008)

Karakteristik tanah berdasarkan nilai indeks plastisitas dapat dilihat pada Tabel

1.2. Menurut Hardiyatmo (2002), indeks plastisitas tinggi dengan jenis tanah lempung

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

Tabel 3. 2 Nilai indeks plastisitas

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

3. Batas cair

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

Alat yang digunakan :

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

h. *Aquadest*

Prosedur pelaksanaan uji batas cair seperti dibawah ini.

- g. ambil contoh sampel tanah secukupnya, kemudian dimasukan kedalamoven ± 24 jam. Kemudian, sampel tanah dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan saringan no.40 ($\varnothing 0,425$ mm).
- h. Ambil beberapa sampel, lalu campur dengan *aquadest* dalam mangkuk.
- i. Aduk dengan colet hingga rata.
- j. Setelah dicampur secara merata, masukkan sampel ke dalam nampan sampel yang telah disesuaikan dengan ketinggian tetesan ± 1 cm
- k. Sampel ditempatkan pada nampan yang diratakan, kemudian bagian tengahnya dialasi dengan collar sampai terpisah. Potongan menjadi dua.
- l. Engkol berputar pada kira-kira dua putaran tiap detik.
- m. Setelah tanah terisi sekitar 2 cm, pemutaran dihentikan.
- n. Experiment ini dilakukan empat kali dengan berbagai tingkat biota air. Duasampel sampel tanah diperkirakan mencakup panjang 2 cm atau lebih dari 25 keran.

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

Berikut adalah cara memplot percobaan batas cair :

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

4. Plastic limit (batas plastis)

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

kondisi plastis. Alat yang digunakan :

- a. Ayakan nomor 40 mm
- b. Mangkok
- c. Cawan
- d. Neraca analitis
- e. Oven
- f. Exicator

Metode berikut digunakan untuk menguji batas plastis ini.

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

5. Shrinkage limit (batas Susut)

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

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

Batas plastis ini diuji dengan metode berikut:

- a. Ambil contoh tanah secukupnya dan panggang selama ± 24 jam. Kemudian sampel tanah dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan no.40 ($\varnothing 0,425$ mm).
- b. Beberapa sampel tanah diambil dan ditempatkan dalam mangkuk

dan ditambahkan Aquadest, kemudian diaduk hingga rata.

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

3.5.4 *Direct Shear* (SNI 3420:2016)

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

Alat yang digunakan :

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

Prosedur untuk melakukan uji geser langsung adalah sebagai berikut.

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

16 kilogram, dan 24 kilogram, masing-masing, untuk menghasilkan tegangan yang berbeda, seperti yang ditunjukkan pada grafik

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

1. Tegangan Normal (σ_n)

Perbedaan beban normal (P) dengan luas penampang benda uji dikenal sebagai Tegangan normal . (F) – $\sigma_n = \frac{P}{F}$

2. Tegangan Geser (σ_s)

Tegangan geser dihitung dengan mengalikan nomor indikasi dial dengan nomor kalibrasi dan kemudian membagi luasnya. permukaan benda uji

$$(F) - \sigma_s = \frac{\text{gaya geser}}{F}$$

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

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

3.5.5 Proctor Modified (SNI 1743-2008)

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

Alat yang digunakan :

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

Untuk melakukan uji proctor standart, ikuti prosedur berikut:

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

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

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

Alat yang digunakan:

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

9. Pengukur beban dan penetrasi
10. Talam
11. Alat perata
12. Bak perendam

Proses berikut digunakan untuk melakukan uji CBR:

1. Keringkan tanah dengan benar jumlah sampel yang diperlukan di bawah panas matahari hingga kering.
2. Berbagi tanah menjadi lima bagian, masing-masing dengan berat kg, dan lima bagian masing-masing berbobot 3,8 kg, dan 5 bagian masing-masing berbobot 3,6 kilogram. Sebelumnya, saringan nomor 4 dengan diameter 4,76 mm digunakan untuk menyaring tanah.
3. Untuk sampel yang dicampur dengan bahan yang distabilkan, diamkan selama 24 jam setelah pencampuran menyeluruh dan tutup rapat.
4. Massa dasar dan bawah silinder keseimbangan. Ukuran tinggi dan diameter instrumen digunakan untuk menentukan volume silinder.
5. Berat alu ditimbang dan tinggi benda yang jatuh diukur.
6. Ambil masing-masing contoh tanah dan aduk dengan air yang diukur sampai rata. Campuran tersebut dibagi menjadi 5 bagian.
7. Tanah yang dihomogenkan tersebar di mana-mana di daerah tersebut. karenanya, lima buah bumi diambil dan masing-masing bagian ditumbuk secara merata 56 kali.
8. Cincin bagian atas dilepas perlahan-lahan kemudian diratakan, setelah itu ditimbang.
9. Letakkan panci timbang di atas permukaan objek yang akan diuji. Kemudian, atur pendorong untuk menembus permukaan objek sehingga alat pengukur beban menunjukkan jumlah awal beban sebesar 45 kilogram.
10. Pengumpanan awal ini diperlukan untuk memastikan kontak sempurna antara piston dan permukaan spesimen.
11. Sesuaikan plunger penetrasi ke permukaan objek yang diuji sehingga indikator/kontrol penetrasi diatur ke-0.
12. Pembentangan dilakukan dengan memutar engkol dengan cara yang otomatis dan terus menerus dengan tingkat kecepatan 1,27 mm/menit untuk menjaga torak tetap turun. Menit 1/4, 1/2, 1, 1 1/2, 2, 3, 4, 6, dan 8 dihitung dengan arloji pembebanan.

13. Percobaan yang tidak direndam di atas dilakukan tanpa air; untuk percobaan yang direndam, perlu direndam di tanah selama empat hari sebelum melakukan ulangi CBR.
14. Setelah membaca, lepaskan item yang diuji dan lepaskan sisi tinggi dan rendah untuk memeriksa kelembapan.

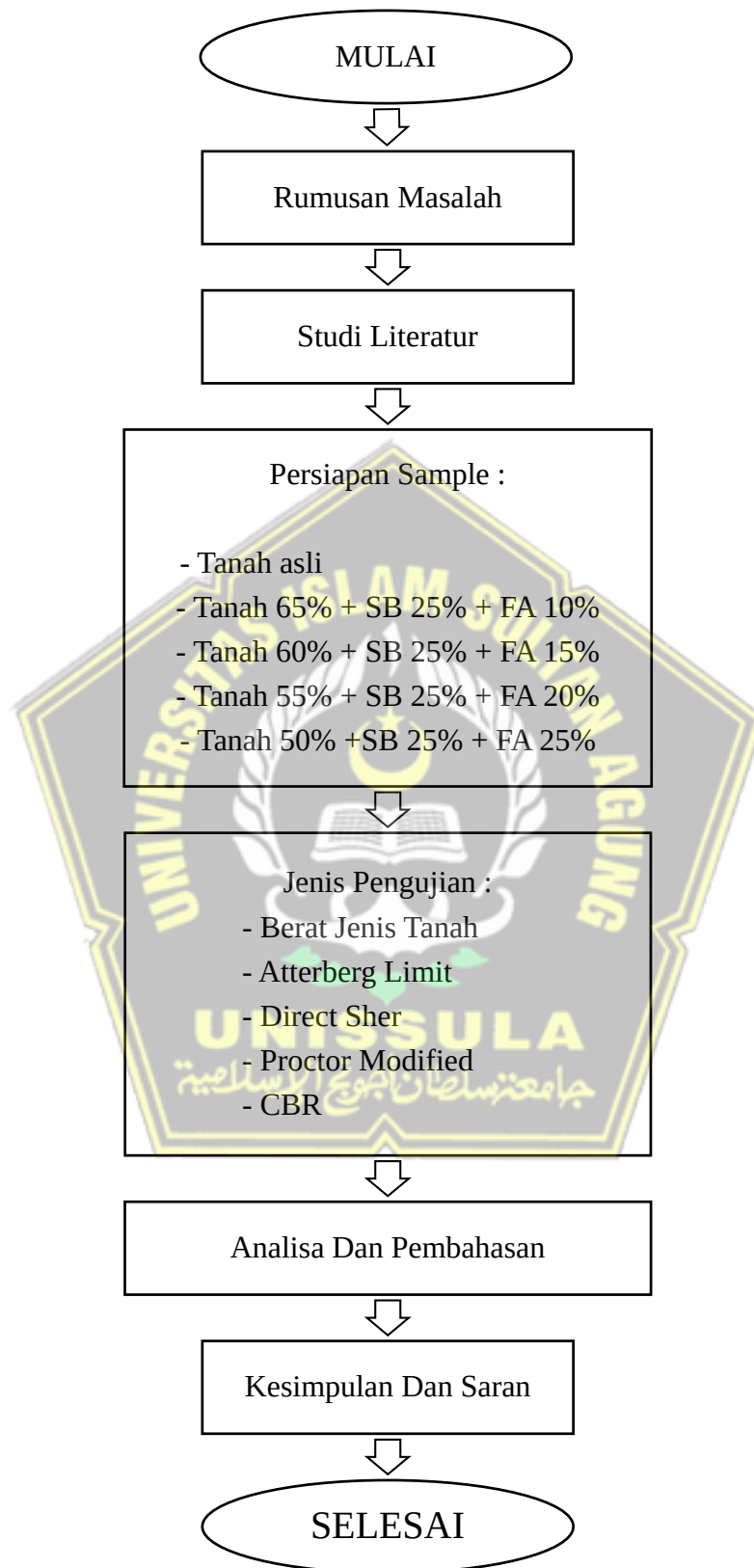
3.6 Analisis Data

Dalam pendekatan analisis data ini ada 2 tahap pelaksanaan yakni:

1. Melaksanakan pengujian di laboratorium dengan penambahan *slag baja* dan *fly ash*, ditambahkan 25% *slag baja* dan 10%, 15%, 20%, 25% *fly ash*, (bisa dilihat di tabel 3.1) yang mencakup uji *atterberg limit*, *direct shear*, dan CBR (*California Bearing Ratio*).
2. Kemudian hasil pengujian akan dibandingkan untuk mengetahui daya dukung tanah yang dicampur dengan *fly ash* dan *slag baja* apakah akan terjadi peningkatan?



3.7 Bagan Penelitian



Gambar 3. 4 Bagan Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Tugas akhir ini menganalisa tanah lempung yang distabilisasi dengan *Fly Ash* dan *Slag baja*. Sampel tanah lempung diambil di lokasi Loireng, Kec. Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah. Metode studi yang digunakan Tugas Akhir ini eksperimen (pengujian) yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik UNISSULA. Dari data tersebut dapat di analisis sifat-sifat tanah yang distabilisasi dengan penambahan *Fly Ash* dan *Slag baja*. Kemudian data tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh daya dukung tanah yang distabilisasi (dicampurkan) dengan *Fly Ash* dan *Slag baja* dengan variasi 10%,15%, 20%, 25% untuk *Fly Ash* dan 25 % untuk *Slag baja* (bisa dilihat di tabel 3.1).

4.2 Physical Properties Tanah Asli

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

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Properties Tanah Asli

Sifat	Nilai	Satuan
Spesific Gravity (GS)	2,234	
Batas Cair (LL)	63,67	%
Batas Plastis(PL)	23,86	%
Indeks Plastisitas (IP)	39,8	%

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Mekanis Tanah Asli

Sifat	Nilai	Satuan
Persenan Butiran Tanah Lolos Saringan No.200	55,400	%
Kadar Air Optimum (wopt)	27,000	%
Berat Volume Kering Maksimum (yd Max)	13,0	kN/m ³

Kohesi (c)	0,029	Kg/cm ²
Sudut Geser Dalam (ϕ)	16,170	(°)
Nilai CBR	4,6	%

Berdasarkan Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 diatas dapat dijelaskan tanah asli merupakan tanah lempung lunak, bisa dilihat dari hasil persenan butiran tanah lolos saringan No.200 sekitar 55,40%, nilai sudut geser (ϕ) 16,170°, dan nilai CBR 4,6%.

4.2 Analisa Stabilisasi dengan *Fly ash* dan *Slag baja* di Laboratorium

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

4.2.1 Grain Size

a. Hidrometer Analysis

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

Tabel 4. 3 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Asli

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentase Komulatif (%)	Percent Finer (%)
0	13	0	24	0,00412	0,0	0,00	65,48
1/4	12	1	23,8	0,00410	5,0	5,04	60,44
1/2	11	1	23,8	0,00290	5,0	10,07	55,40
1	11	0	24	0,00206	0,0	10,07	55,40
2	11	0	24	0,00146	0,0	10,07	55,40
5	10	1	23,8	0,00092	5,0	15,11	50,37
10	9	1	23,8	0,00065	5,0	20,15	45,33
45	4	5	23	0,00052	25,2	45,33	20,15
75	0	4	23,2	0,00023	20,1	65,48	0,00
90	0	0	24	0,00022	0,0	65,48	0,00
120	0	0	24	0,00019	0,0	65,48	0,00
		13					

Tabel 4. 4 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Campuran 1

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentase Kumulatif (%)	Percent Finer (%)
0	36	0	24	0,00412	0,0	0,00	57,22
1/4	34	2	23,6	0,00408	3,2	3,18	54,04
1/2	33	1	23,8	0,00290	1,6	4,77	52,45
1	29	4	23,2	0,00202	6,4	11,13	46,09
2	29	0	24	0,00146	0,0	11,13	46,09
5	24	5	23	0,00090	7,9	19,07	38,15
10	20	4	23,2	0,00064	6,4	25,43	31,79
45	0	20	20	0,00049	31,8	57,22	0,00
75	0	0	24	0,00024	0,0	57,22	0,00
90	0	0	24	0,00022	0,0	57,22	0,00
120	0	0	24	0,00019	0,0	57,22	0,00
		36					

Tabel 4. 5 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Campuran 2

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentase Kumulatif (%)	Percent Finer (%)
0	38	0	24	0,00412	0,0	0,00	54,19
1/4	36	2	23,6	0,00408	2,9	2,85	51,34
1/2	35	1	23,8	0,00290	1,4	4,28	49,91
1	33	2	23,6	0,00204	2,9	7,13	47,06
2	33	0	24	0,00146	0,0	7,13	47,06
5	32	1	23,8	0,00092	1,4	8,56	45,63
10	28	4	23,2	0,00064	5,7	14,26	39,93
45	0	28	18,4	0,00047	39,9	54,19	0,00
75	0	0	24	0,00024	0,0	54,19	0,00
90	0	0	24	0,00022	0,0	54,19	0,00
120	0	0	24	0,00019	0,0	54,19	0,00
		38					

Tabel 4. 6 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Campuran 3

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentase Kumulatif (%)	Percent Finer (%)
0	60	0	24	0,00412	0,0	0,00	48,96
1/4	59	1	23,8	0,00410	0,8	0,82	48,14
1/2	59	0	24	0,00291	0,0	0,82	48,14
1	58	1	23,8	0,00205	0,8	1,63	47,33
2	56	2	23,6	0,00144	1,6	3,26	45,70
5	50	6	22,8	0,00090	4,9	8,16	40,80
10	40	10	22	0,00062	8,2	16,32	32,64
45	0	40	16	0,00043	32,6	48,96	0,00
75	0	0	24	0,00024	0,0	48,96	0,00
90	0	0	24	0,00022	0,0	48,96	0,00
120	0	0	24	0,00019	0,0	48,96	0,00
		60					

Tabel 4. 7 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Campuran 4

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentase Kumulatif (%)	Percent Finer (%)
0	65	0	24	0,00412	0,0	0,00	46,96
1/4	64	1	23,8	0,00410	0,7	0,72	46,24
1/2	64	0	24	0,00291	0,0	0,72	46,24
1	61	3	23,4	0,00203	2,2	2,89	44,07
2	58	3	23,4	0,00144	2,2	5,06	41,90
5	50	8	22,4	0,00089	5,8	10,84	36,12
10	40	10	22	0,00062	7,2	18,06	28,90
45	0	40	16	0,00043	28,9	46,96	0,00
75	0	0	24	0,00024	0,0	46,96	0,00
90	0	0	24	0,00022	0,0	46,96	0,00
120	0	0	24	0,00019	0,0	46,96	0,00
		65					

b. Sieve Analysis

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

Tabel 4. 8 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Asli

Diameter saringan	No. Cawan	Brt. Cawan (gr)	Brt.Sampel+cwn yg tertinggal dlm saringan (gr)	Brt.Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Presentase sampel yg tertinggal (%)	Kumulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	A	4,34	4,34	0,00	0,00	0,00	100,00
2,000	B	10,15	13,81	3,66	1,83	1,83	98,17
0,850	C	4,40	9,59	5,19	2,60	4,43	95,58
0,425	D	4,07	10,71	6,64	3,32	7,75	92,26
0,250	E	4,18	8,62	4,44	2,22	9,97	90,04
0,180	F	4,10	9,62	5,52	2,76	12,73	87,28
0,150	G	4,35	10,51	6,16	3,08	15,81	84,20
0,075	H	4,15	33,18	29,03	14,52	30,32	69,68
0,000	I	4,18	12,59	8,41	4,21	34,53	65,48
				69,05	34,53		

Tabel 4. 9 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Tanah Campuran 1

Diameter saringan	No. Cawan	Brt. Cawan (gr)	Brt.Sampel+cwn yg tertinggal dlm saringan (gr)	Brt.Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Presentase sampel yg tertinggal (%)	Kumulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	A	6,19	6,19	0,00	0,00	0,00	100,00
2,000	B	4,01	27,18	23,17	11,59	11,59	88,42
0,850	C	4,01	16,84	12,83	6,42	18,00	82,00
0,425	D	4,03	16,17	12,14	6,07	24,07	75,93
0,250	E	4,23	12,43	8,20	4,10	28,17	71,83
0,180	F	3,98	10,18	6,20	3,10	31,27	68,73
0,150	G	4,03	9,13	5,10	2,55	33,82	66,18
0,075	H	4,09	21,90	17,81	8,91	42,73	57,28
0,000	I	4,28	4,39	0,11	0,06	42,78	57,22
				85,56	42,78		

Tabel 4. 10 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Tanah Campuran 2

Diameter saringan	No. Cawan	Brt. Cawan (gr)	Brt.Sampel+cwn yg tertinggal dlm saringan (gr)	Brt.Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Presentase sampel yg tertinggal (%)	Kumulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	A	4,14	4,14	0,00	0,00	0,00	100,00
2,000	B	7,18	25,18	18,00	9,00	9,00	91,00
0,850	C	4,40	17,84	13,44	6,72	15,72	84,28
0,425	D	4,07	15,17	11,10	5,55	21,27	78,73
0,250	E	4,11	14,12	10,01	5,01	26,28	73,73
0,180	F	4,18	12,78	8,60	4,30	30,58	69,43
0,150	G	4,14	12,98	8,84	4,42	35,00	65,01
0,075	H	4,02	20,90	16,88	8,44	43,44	56,57
0,000	I	4,12	8,87	4,75	2,38	45,81	54,19
				91,62	45,81		

Tabel 4. 11 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Tanah Campuran 3

Diameter saringan	No. Cawan	Brt. Cawan (gr)	Brt.Sampel+cwn yg tertinggal dlm saringan (gr)	Brt.Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Presentase sampel yg tertinggal (%)	Kumulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	A	4,21	4,21	0,00	0,00	0,00	100,00
2,000	B	3,94	30,28	26,34	13,17	13,17	86,83
0,850	C	4,27	18,87	14,60	7,30	20,47	79,53
0,425	D	4,36	16,72	12,36	6,18	26,65	73,35
0,250	E	4,10	20,52	16,42	8,21	34,86	65,14
0,180	F	4,14	8,08	3,94	1,97	36,83	63,17
0,150	G	3,97	7,08	3,11	1,56	38,39	61,62
0,075	H	4,34	23,01	18,67	9,34	47,72	52,28
0,000	I	4,05	10,69	6,64	3,32	51,04	48,96
				102,08	51,04		

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

Diameter saringan	No. Cawan	Brt. Cawan (gr)	Brt.Sampel+cwn yg tertinggal dlm saringan (gr)	Brt.Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Presentase sampel yg tertinggal (%)	Kumulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	A	4,21	4,21	0,00	0,00	0,00	100,00
2,000	B	3,94	32,28	28,34	14,17	14,17	85,83
0,850	C	4,27	18,87	14,60	7,30	21,47	78,53
0,425	D	4,36	16,72	12,36	6,18	27,65	72,35
0,250	E	4,10	22,52	18,42	9,21	36,86	63,14

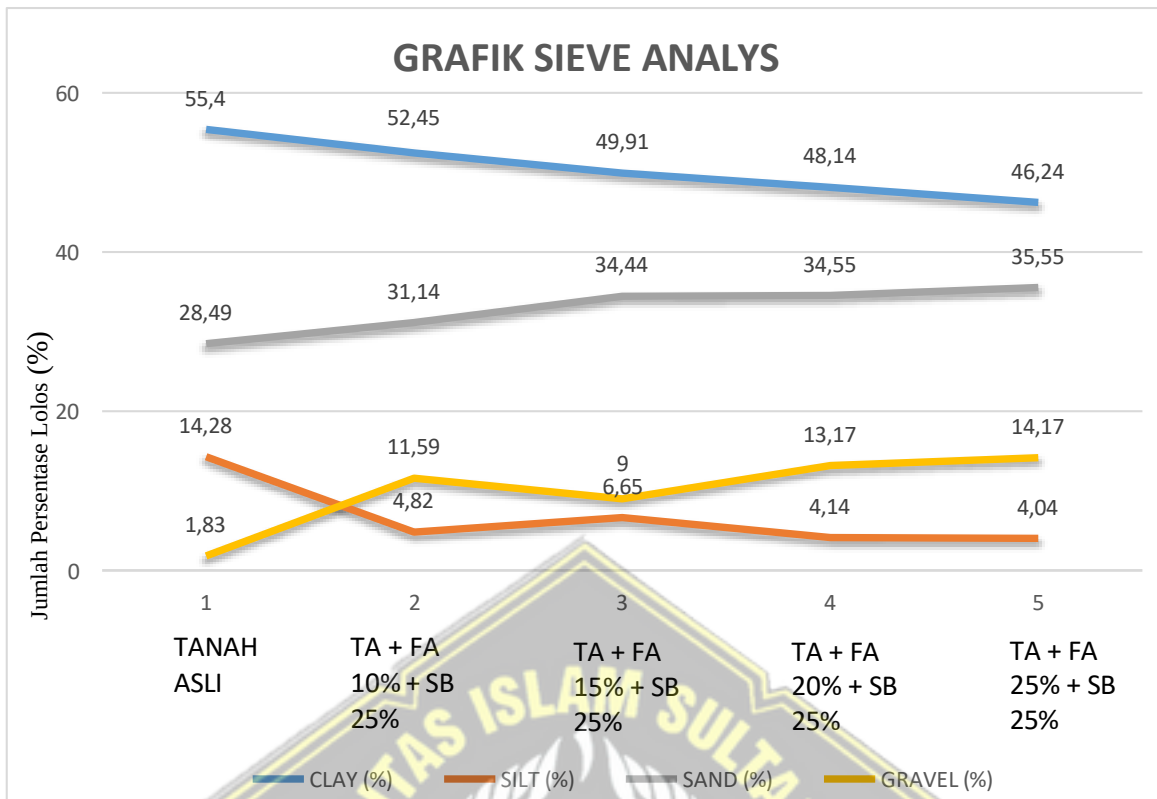
0,180	F	4,14	8,08	3,94	1,97	38,83	61,17
0,150	G	3,97	7,08	3,11	1,56	40,39	59,62
0,075	H	4,34	23,01	18,67	9,34	49,72	50,28
0,000	I	4,05	10,69	6,64	3,32	53,04	46,96
				106,08	53,04		

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

Tabel 4. 13 Hasil Grain Size

No	Sampel	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Gravel (%)
1	Tanah Asli	55,40	14,28	28,49	1,83
2	Tanah Campuran 1	52,45	4,82	31,14	11,59
3	Tanah Campuran 2	49,91	6,65	34,44	9,00
4	Tanah Campuran 3	48,14	4,14	34,55	13,17
5	Tanah Campuran 4	46,24	4,04	35,55	14,17

Dari tabel di atas menunjukan data perubahan dari setiap campuran. dan untuk campuran 2 menunjukan nilai yang berbeda disebabkan pada proses pencampuran persentase gravelnya lebih sedikit dari campuran yang lain sehingga terjadi penurunan. Dari tabel tersebut dapat diperoleh grafik gradasi butiran seperti pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Grafik Gradasi Butiran

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

4.1.1 Atterberg Limits

a. Batas Cair

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

Analisis hasil perhitungan data *liquid limit*

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

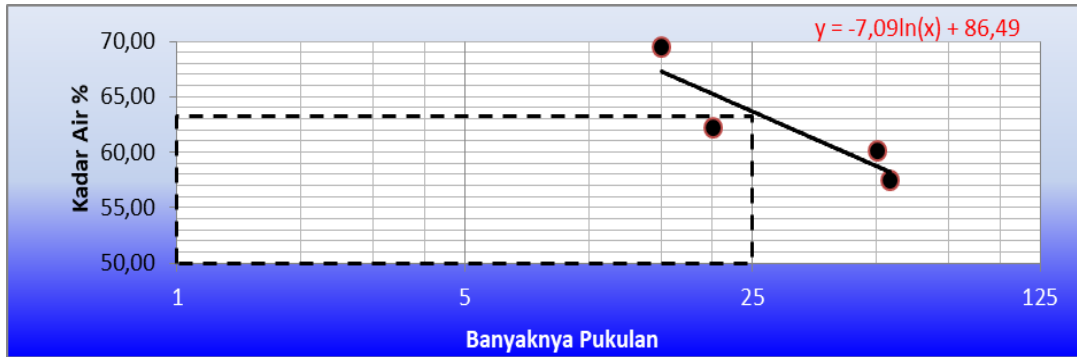
$$w = \frac{38,69-25,12}{25,12-4,37} \times 100\%$$

$$w = 22,27\%$$

Tabel 4. 14 Nilai Perhitungan Batas Cair

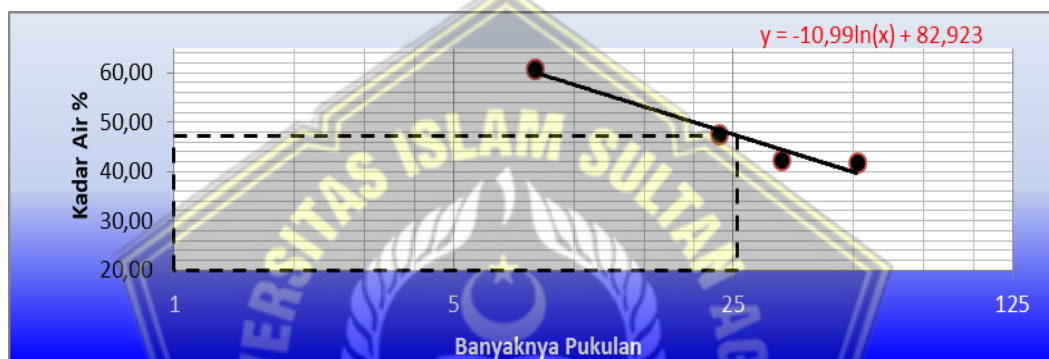
Sampel	Jumlah Ketukan	No. Cawan	Berat Cawan (gr) (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (gr) (b)	Berat Cawan + Tanah Kering (gr) (c)	w (%)	LL (%)
Tanah Asli 100%	15	1	4,03	41,78	26,30	69,51	63,67
	20	2	4,30	42,76	28,00	62,28	
	50	3	3,94	39,62	26,22	60,14	
	54	4	4,06	37,89	25,53	57,57	
Tanah Campuran 1	8	1	5,6	51,24	33,96	60,93	47,55
	23	2	4,37	38,22	27,30	47,62	
	33	3	4,5	37,95	28,01	42,28	
	51	4	4,25	32,69	24,3	41,85	
Tanah Campuran 2	5	1	4,25	56,41	38,11	54,05	44,34
	17	2	4,12	43,41	30,90	46,71	
	28	3	4,13	44,11	32,29	41,97	
	54	4	4,13	43,46	32,02	41,02	
Tanah Campuran 3	17	1	4,19	54,92	38,90	46,15	43,68
	23	2	4,08	55,47	39,70	44,27	
	34	3	4,12	56,11	40,69	42,17	
	38	4	4,11	53,81	39,5	40,44	
Tanah Campuran 4	15	1	4,19	54,92	38,93	46,03	40,26
	21	2	4,08	52,47	37,70	43,93	
	32	3	4,12	56,11	42,1	36,89	
	36	4	4,11	53,81	40,9	35,09	

Berdasarkan hasil perhitungan batas air pada Tabel 4.14, maka dapat diperoleh grafik *liquid limit* untuk sampel tanah asli seperti Gambar 4.2



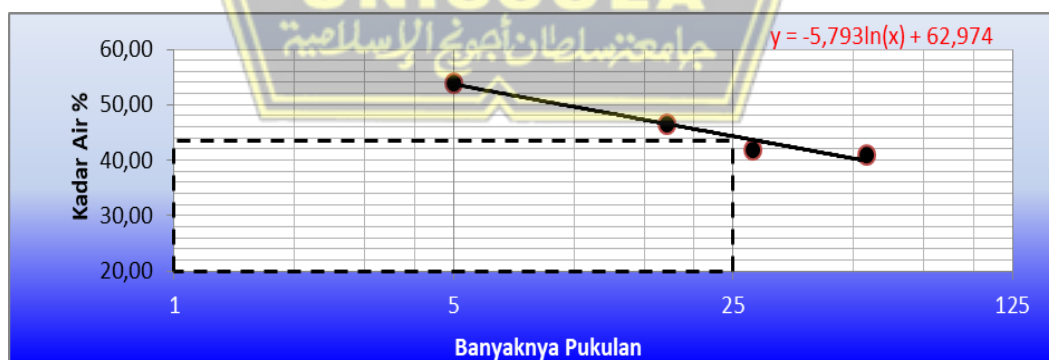
Gambar 4. 2 Grafik Liquid Limit sampel Tanah Asli

Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafik di Gambar 4.2 adalah sebesar 63,67%



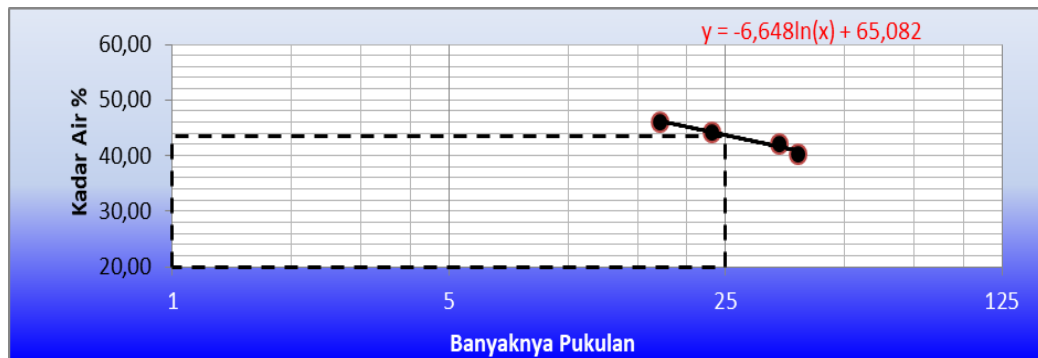
Gambar 4. 3 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 1

Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafik di Gambar 4.3. adalah sebesar 47,55%.



Gambar 4. 4 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 2

Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafikdi Gambar 4.4. adalah sebesar 44,34%.



Gambar 4. 5 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 3

Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafikdi Gambar 4.5 adalah sebesar 43,68%.



Gambar 4. 6 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran 4

Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafikdi Gambar 4.6 adalah sebesar 40,26%.

b. Batas Plastis

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

Analisis hasil eksperimen data batas plastis

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

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

$$w = 30,42\%$$

Tabel 4. 15 Nilai perhitungan Batas Plastis

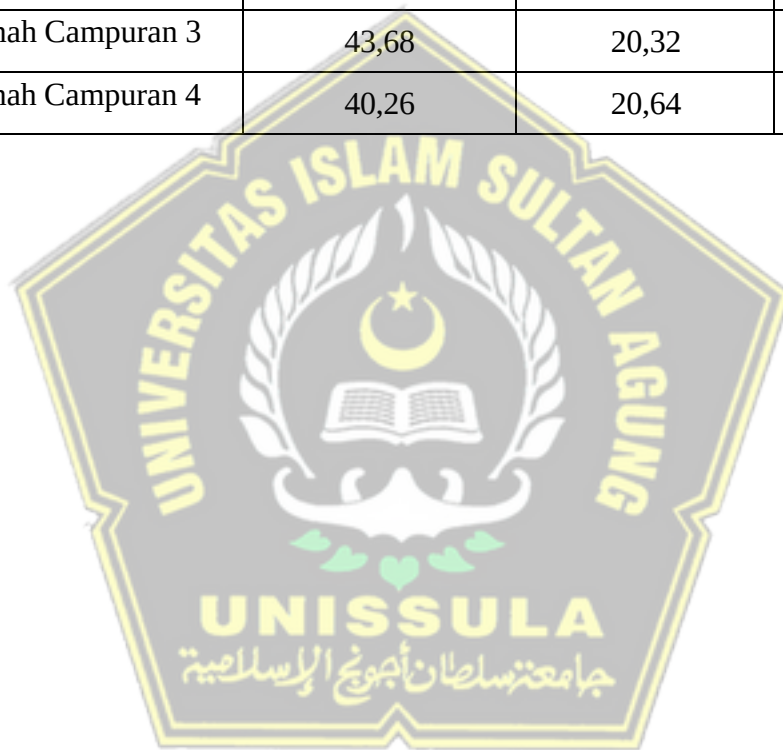
Sampel	No.Cawan	Berat Cawan (gr) (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (gr) (b)	Berat Cawan + Tanah kering (gr) (c)	W (%)	PL(%)
Tanah Asli	5	4,16	7,43	6,8	23,86	39,80
Tanah Campuran 1	5	5,96	15,26	13,8	18,62	28,93
Tanah Campuran 2	5	4,14	10,11	9,24	17,06	27,28
Tanah Campuran 3	5	4,34	16,02	14,34	16,80	16,80
Tanah Campuran 4	5	4,13	15,49	14,04	14,63	14,63

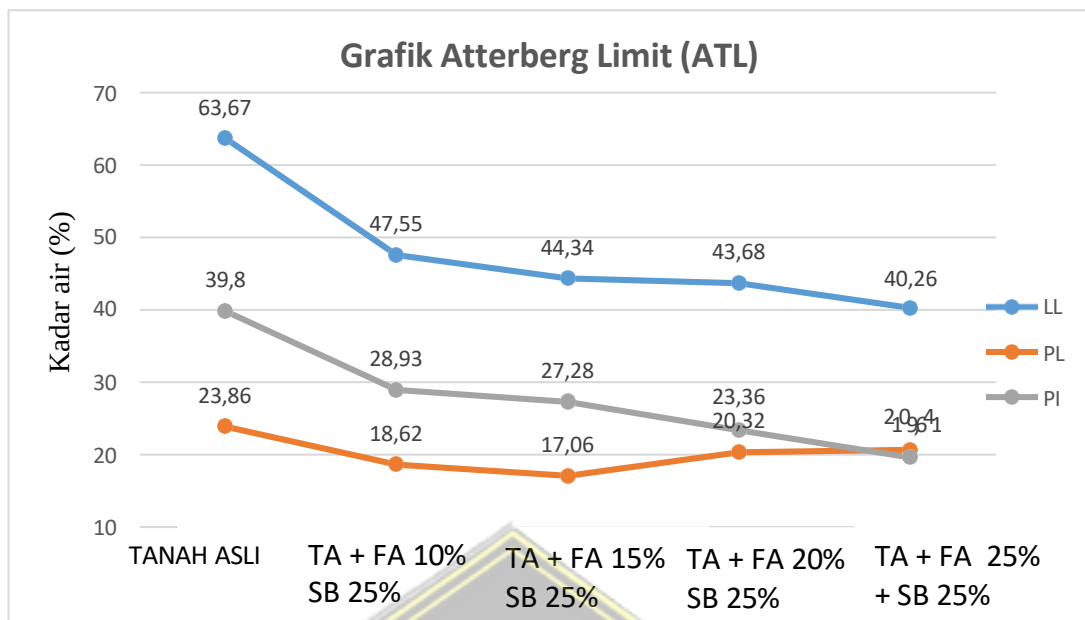
Setelah diketahui batas cair dan batas plastisnya hasil perhitungan secara keseluruhan dapat dihitung nilai (*IP*) dan didapat hasil perhitungan seperti pada Tabel 4. 15.

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

Tabel 4. 16 Hasil Indeks Plastisitas

Sampel	LL %	PL %	IP %
Tanah Asli	63,67	23,86	39,80
Tanah Campuran 1	47,55	18,62	28,93
Tanah Campuran 2	44,34	17,06	27,28
Tanah Campuran 3	43,68	20,32	23,36
Tanah Campuran 4	40,26	20,64	19,61





Gambar 4. 7 Grafik ATL Tanah Asli dan Campuran fly ash dan slag baja

Pada Gambar 4.7 terlihat bahwa tanah yang distabilisasi menggunakan *fly ash* dan *slag baja* menunjukkan bahwa nilai IP tanah, semakin banyak diberikan campuran, nilai IP semakin menurun karena akibat dari peningkatan sifat tanah, yang berarti bahwa daya dukung tanah meningkat.

4.1.2 Direct Shear

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

Diameter ring = 6,3 cm

Berat ring = 0,0274 kg

Kalibrasi Proving Ring = 0,376 kg/div

Koreksi Beban: 1 kg = 1,003kg

2 kg = 2,006 kg

4 kg = 4,123 kg

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

1. Tegangan Normal (σ_n)

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

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

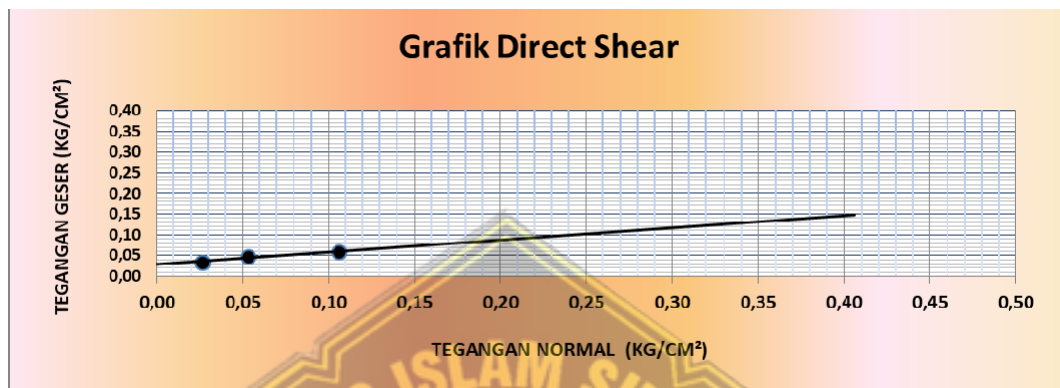
$$= 31,156 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_n &= \frac{\text{Berat Beban} + \text{Berat Ring}}{\text{Luas Penampang}} \\
 &= \frac{1,003 + 0,0274}{31,156} \\
 &= 0,032 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 17 Hasil perhitungan penembakan langsung sampel tanah asli dan campuran Fly Ash dan Slag baja

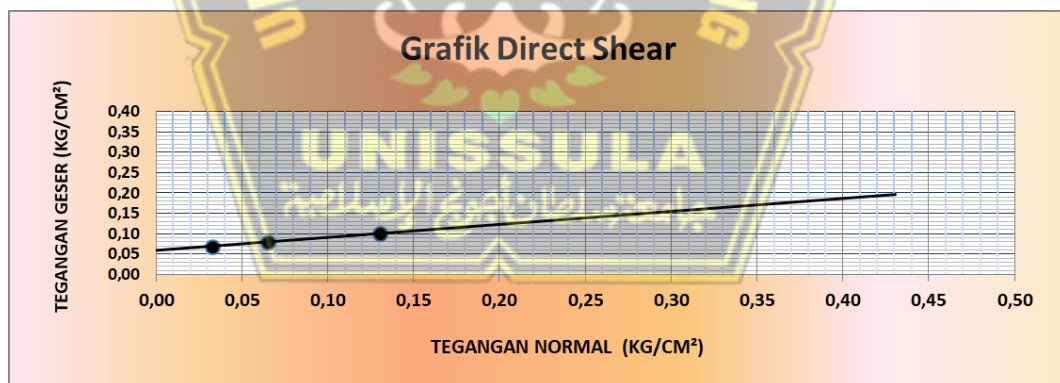
Sampel	Percobaan	Beban (kg/cm ³)	Koreksi Beban (kg/cm ³)	Pembacaan Dial	Tegangan Normal (σ_n)	Tegangan Geser (σ_s)
Tanah Asli	1	1	0,825	2	0,026	0,034
	2	2	1,65	2,8	0,052	0,048
	3	4	3,3	3,4	0,105	0,058
Tanah Campuran 1	1	1	1,016	4	0,032	0,069
	2	2	2,032	4,6	0,065	0,079
	3	4	4,060	5,8	0,130	0,100
Tanah Campuran 2	1	1	1,003	13	0,030	0,157
	2	2	2,006	15,5	0,061	0,187
	3	4	4,123	17	0,123	0,205
Tanah Campuran 3	1	1	1,003	6	0,028	0,072
	2	2	2,006	7	0,058	0,084
	3	4	4,123	9	0,115	0,109
Tanah campuran 4	1	1	1,003	9,5	0,026	0,115
	2	2	2,006	11	0,054	0,133
	3	4	4,123	12,5	0,108	0,151

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



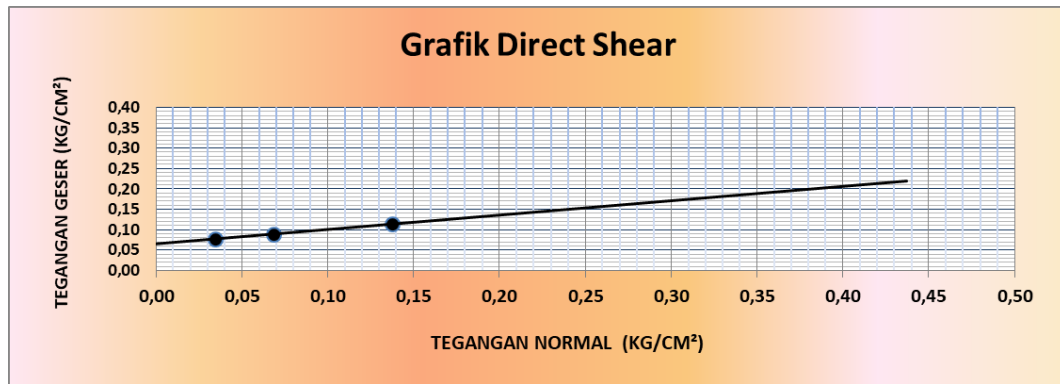
Gambar 4. 8 Grafik Direct Shear Tanah Asli

Berdasarkan Gambar 4.8 grafik *Direct Shear* Tanah Asli tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,347; 0,0485; 0,0589 dan nilai tegangan normal 0,0265; 0,0529; 0,1059.



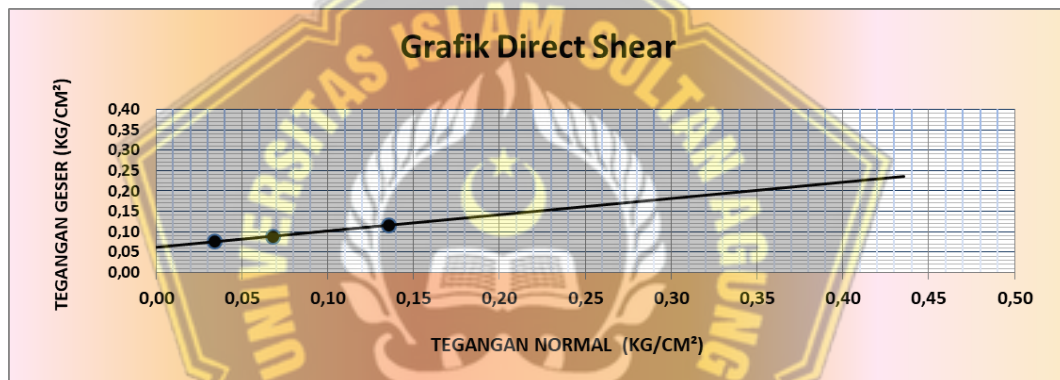
Gambar 4. 9 Grafik Direct Shear Tanah Campuran 1

Berdasarkan Gambar 4.9 grafik *Direct Shear* Tanah Campuran 1 tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,069; 0,797; 0,1009 dan nilai tegangan normal 0,0326;



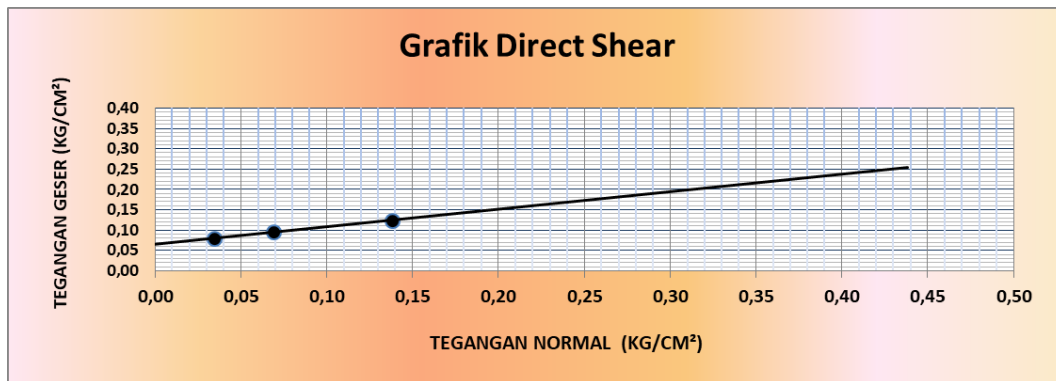
Gambar 4. 10 Grafik Direct Shear Tanah Campuran 2

Berdasarkan Gambar 4.10 Grafik *Direct Shear* Tanah Campuran 2 diperoleh nilai Tegangan Geser 0,078; 0,0901; 0,1144 dan nilai Tegangan normal 0,0344; 0,069, 0,137.



Gambar 4. 11 Grafik Direct Shear Tanah Campuran 3

Berdasarkan Gambar 4.11 Grafik *Direct Shear* Tanah Campuran 3 tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,0780; 0,884; 0,1179 dan nilai Tegangan normal 0,0338; 0,068; 0,135,



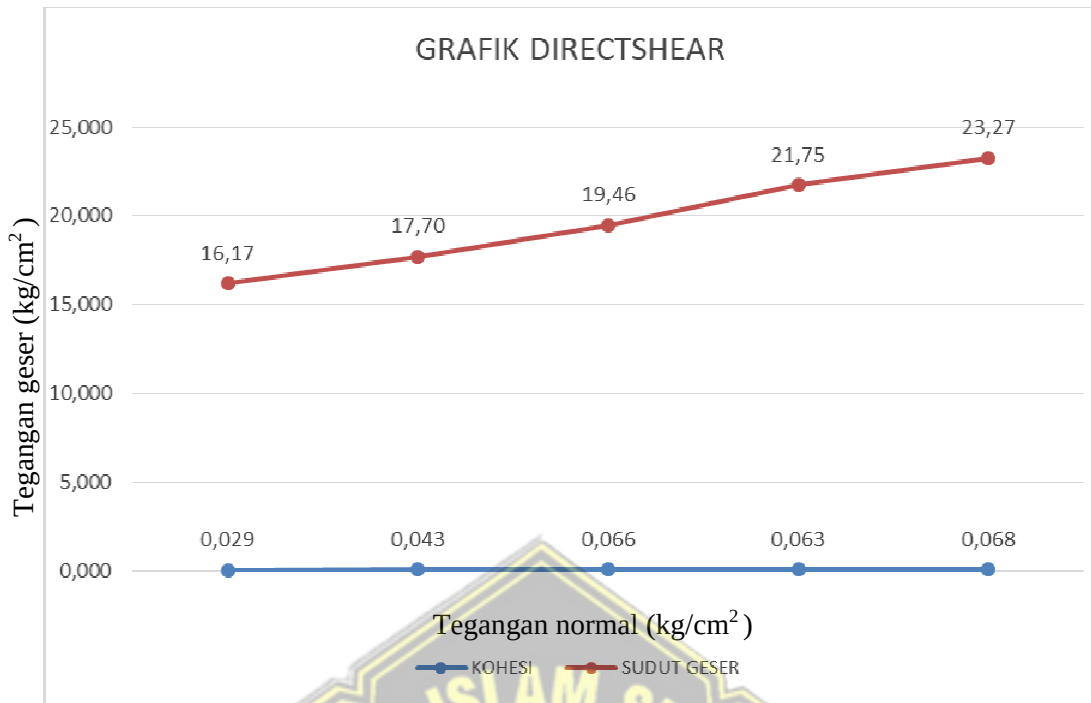
Gambar 4. 12 Grafik Direct Shear Tanah Campuran 4

Berdasarkan Gambar 4.12 Grafik *Direct Shear* Tanah Campuran 4 tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,797; 0,971; 0,1248 dan nilai Tegangan normal 0,0346; 0,069; 0,138.

Tabel 4. 18 Hasil Penggambaran Direct Shear

No	Sampel	Kohesi (c) (Kg/cm ²)	Sudut Geser Dalam (φ)(°)
1	Tanah Asli	0,029	16,17
2	Tanah Campuran 1	0,043	17,70
3	Tanah Campuran 2	0,066	19,46
4	Tanah Campuran 3	0,063	21,75
5	Tanah Campuran 4	0,068	23,27

Dari Tabel 4. 18 hasil penggambaran *Direct Shear* tersebut diperoleh grafik nilai kohesi (c) dari tiap sampel seperti pada Gambar 4.13



Gambar 4. 13 Grafik Nilai Kohesi Tanah Asli dan Campuran Fly Ash dan Slag baja

Berdasarkan Gambar 4. 13 diatas dapat diartikan maka semakin tinggi nilai kohesi dan sudut geser maka semakin bagus daya dukung tanahnya. Nilai kohesi tanah yang tinggi ditemukan berdasarkan hasil uji *Direct shear* di presentase (tanah campuran 4) 0,068 kg/cm^2 . dan pada sudut geser nilai yang paling tinggi sebesar (tanah campuran 4) 23,27%.

4.1.3 Proctor Modified

Percobaan Proctor Modified ini menggunakan tingkat air yang berbeda untuk setiap sampel untuk menentukan kadar air tanah ideal (W_{opt}), berat volume basah ideal (b), berat volume kering ideal (d_{opt}), dan persentase pori/pori pada tanah sampel. Tabel 4.19 menampilkan data yang diperoleh dari hasil uji laboratorium.

Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Proctor Modified

Sampel	Nomor Percobaan	Volume Air (cc)	Berat Alat + Tanah (gr)	No. Cawan	Berat Cawan (gr) (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (gr) (b)	Berat cawan + tanah Kering (gr) (c)
Tanah Asli	I	0	9847	1	7,17	28,29	25,00
	II	500	10077	2	3,83	47,22	38,50
	III	900	10376	3	4,23	49,80	39,81
	IV	1100	10245	4	8,00	49,83	40,06
	v	1300	10130	5	4,00	58,11	43,63
Tanah Campuran 1	I	0	10562	1	7,17	39,49	35,20
	II	300	10729	2	3,83	41,07	35,03
	III	500	10809	3	4,23	41,56	34,80
	IV	700	10867	4	8,00	42,42	35,00
	V	900	10550	5	4,00	43,20	34,00
Tanah Campuran 2	I	0	10562,00	1	4,05	39,49	35,20
	II	300	10729,00	2	4,11	41,07	35,20
	III	500	10860,00	3	4,27	41,56	35,00
	IV	700	10965,00	4	4,11	42,42	35,00
	V	900	10550,00	5	4,12	43,20	34,20
Tanah Campuran 3	I	300	8552,00	1	4,08	38,51	36,13
	II	600	8862,00	2	4,18	56,09	50,97
	III	900	9015,00	3	4,23	41,46	36,30
	IV	1200	8990,00	4	4,11	53,25	44,90
	V	1300	8775,00	5	4,12	43,20	34,70

Tanah Campuran 4	I	300	8652,00	1	4,08	38,51	36,20
	II	600	8804,00	2	4,18	56,09	51,10
	III	900	9042,00	3	4,23	41,46	36,35
	IV	1200	9032,00	4	4,11	53,25	45,00
	V	1300	8814,00	5	4,12	43,20	35,26

Data alat :

Berat alat = 5254 gram

Tinggi alat = 11,5 cm

Diameter alat = 10 cm

Analisis data tersebut kemudian dihitung seperti berikut :

1. Volume alat

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot t$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (10)^2 \times 11,50$$

$$= 902,75 \text{ cm}^3$$

2. Berat tanah basah

$$= (\text{Berat Proctor} + \text{Tanah}) - \text{Berat Proctor}(\text{alas} + 1)$$

$$= 6472 - 5254$$

$$= 1218 \text{ gr}$$

3. Berat Volume Tanah Basah (γ_b)

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

$$= \frac{1218}{902,75}$$

$$= 1,348$$

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

4. Kadar Air (w) _____

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

Dimana: a = Nilai Berat Cawan (gram)

b = Nilai Berat Cawan + Tanah Basah (gram)

c = Nilai Berat Cawan + Tanah Kering (gram)

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

$$= 18,37\%$$

5. Berat volume tanah kering (γ_k)

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

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

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

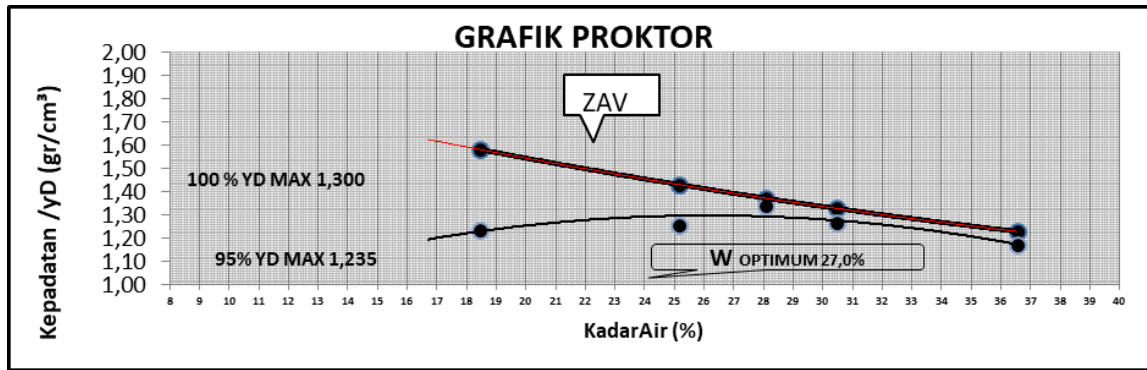
Tabel 4. 20 menunjukkan hasil perhitungan secara keseluruhan untuk Tanah Asli, sedangkan Tabel 4.21 menunjukkan hasil perhitungan secara keseluruhan untuk Tanah Campuran *Fly Ash* dan *Slag baja*

Tabel 4. 20 Nilai *Proctor Modified* Tanah Asli

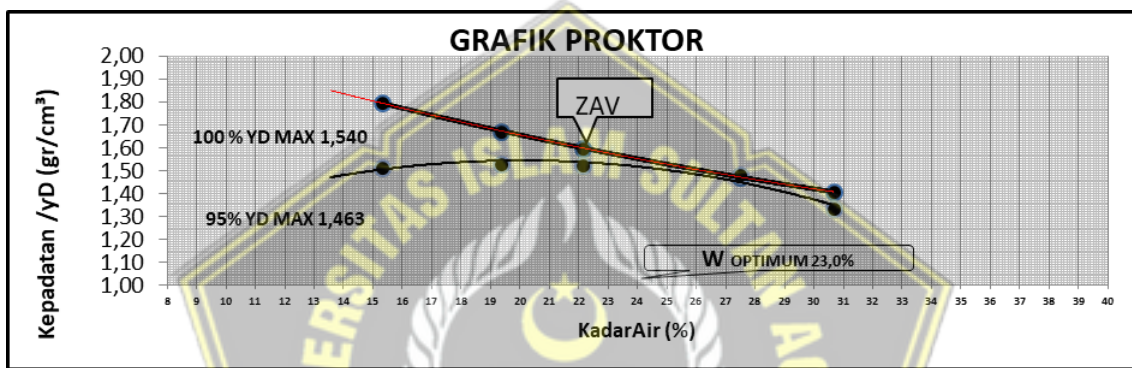
Sampel	No. Percobaan	w (%)	GS (gr/cm ³)	γ_b (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	ZAV
Tanah Asli	I	18,45	2,234	1,47	1,24	1,58
	II	25,15	2,234	1,57	1,26	1,43
	III	28,08	2,234	1,72	1,34	1,37
	IV	30,47	2,234	1,65	1,27	1,33
	V	36,54	2,234	1,60	1,17	1,23

Tabel 4. 21 Nilai *Proctor Modified* campuran *Fly Ash*

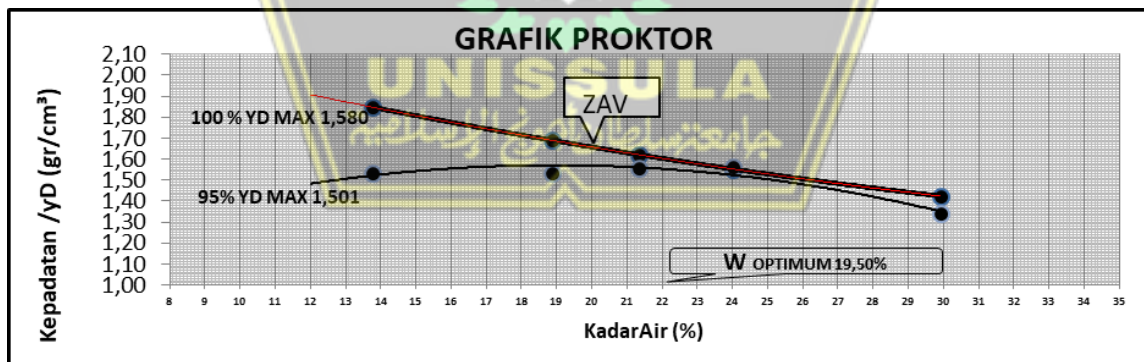
Sampel	No. Percobaan	w (%)	GS (gr/cm ³)	γ _b (gr/cm ³)	γ _d (gr/cm ³)	ZAV
Tanah Campuran 1	I	15,31	2,474	1,75	1,51	1,79
	II	19,36	2,474	1,83	1,53	1,67
	III	22,11	2,474	1,86	1,53	1,60
	IV	27,48	2,474	1,89	1,48	1,47
	V	30,67	2,474	1,74	1,33	1,41
Tanah Campuran 2	I	13,77	2,478	1,75	1,53	1,85
	II	18,88	2,478	1,83	1,54	1,69
	III	21,35	2,478	1,89	1,56	1,62
	IV	24,02	2,478	1,94	1,56	1,55
	V	29,92	2,478	1,74	1,34	1,42
Tanah Campuran 3	I	7,43	2,483	1,70	1,58	2,09
	II	10,94	2,483	1,85	1,67	1,95
	III	16,09	2,483	1,92	1,65	1,77
	IV	20,47	2,483	1,91	1,58	1,64
	V	27,80	2,483	1,81	1,41	1,47
Tanah Campuran 4	I	7,19	2,487	1,75	1,63	2,11
	II	10,64	2,487	1,82	1,65	1,97
	III	15,91	2,487	1,93	1,67	1,78
	IV	20,18	2,487	1,93	1,61	1,66
	V	25,50	2,487	1,83	1,45	1,52



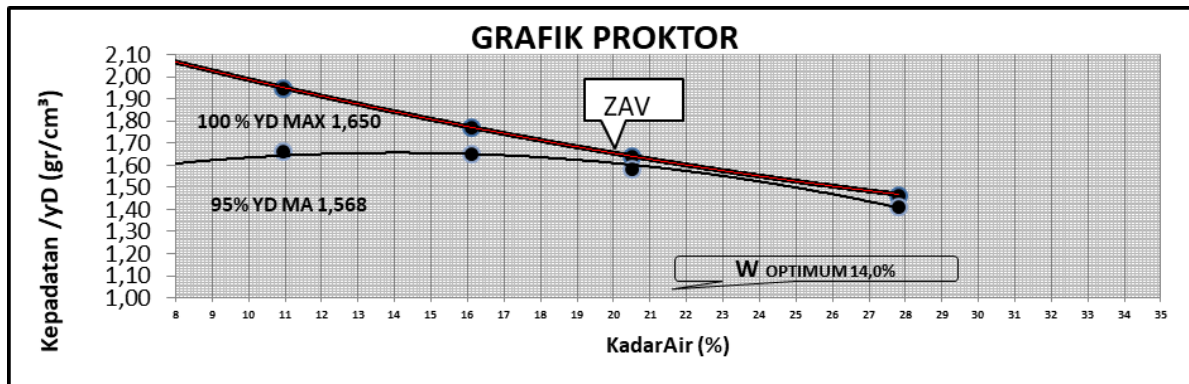
Gambar 4. 14 Grafik *Wopt* yang menunjukkan sampel Tanah Asli



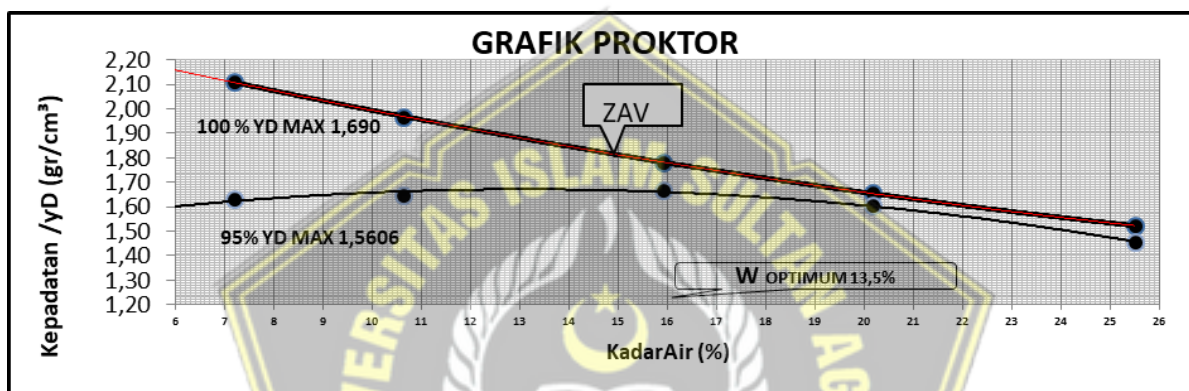
Gambar 4. 15 Grafik *Wopt* sampel Tanah Campuran 1



Gambar 4. 16 Grafik *Wopt* sampel Tanah Campuran 2



Gambar 4. 17 Grafik Wopt sampel Tanah Campuran 3

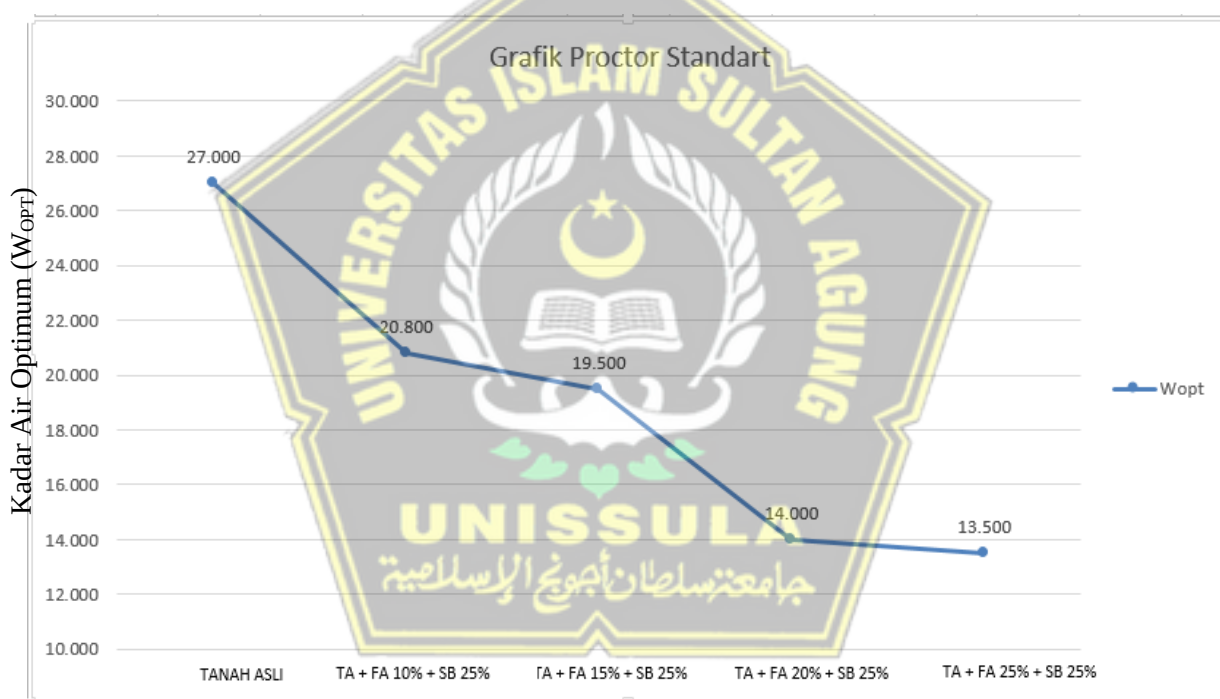


Gambar 4. 18 Grafik Wopt sampel Tanah Campuran 4

Tabel 4. 22 Hasil Proctor Modified dari Tanah Asli yang terdiri dari campuran

No	Sampel	W _{opt} (%)	γ _d (gr/cm ³)
1	Tanah Asli	27,0	1,3
2	Tanah Campuran 1	20,8	1,54
3	Tanah Campuran 2	19,5	1,58
4	Tanah Campuran 3	14,0	1,65
5	Tanah Campuran 4	13,5	1,69

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



Gambar 4. 19 Grafik Proctor Modified yang menunjukkan contoh Tanah Asli yang mengandung campuran Fly Ash dan Slag baja

Berdasarkan dari gambar 4.19 di atas, dapat dilihat bahwa kecenderungan (*trens*) grafik *proctor modified* semakin banyak diberikan campuran *Fly ash* dan *Slag baja* semakin kecil (w_{opt}) dan semakin besar γ_d (gr/cm³), ini berarti karakter daya dukung tanah semakin meningkat (karakter tanah semakin baik). w_{opt} tanah paling rendah diketahui pada campuran 4 yakni 13,50%.

4.1.4 California Bearing Ratio (CBR)

California Bearing Ratio (CBR) digunakan untuk menghitung nilai daya dukung tanah dengan kerapatan tertinggi. Tabel 4.23 dan 4.24 menunjukkan data hasil pengujian CBR, yang menggunakan kadar air yang paling ideal yang dihasilkan dari Uji *Proctor Modified*.

Tabel 4. 23 Hasil Pengujian Tanah asli dan Campuran *Fly ash*

Sampel	No	Berat Alat + Tanah (gr)	Berat Cawan (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (b)	Berat Cawan + Tanah Kering (c)
Tanah Asli	1	10410	4,2	39,62	32
Tanah Campuran 1	2	10193	4,2	39,62	33,5
Tanah Campuran 2	3	10193	3,9	32,89	28,14
Tanah Campuran 3	4	9075	3,93	39,07	34,56
Tanah Campuran 4	5	9049	3,93	39,07	34,89

Data alat

Berat tabung = 7167 gram

Tinggi tabung = 11,50 cm

Diameter tabung = 15 cm

Analisis hasil perhitungan pengujian CBR :

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

1. Volume alat (V) $= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot t$
 $= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 11,5$
 $= 2031,1875 \text{ cm}^3$
2. Berat tanah basah = (berat alat + tanah) – berat alat (alas + 1)
 $= 11074 - 7167$
 $= 3907 \text{ gr}$
3. Berat volume tanah basah (γ_b)
 $= \frac{\text{Berat Tanah Basah}}{\text{Volume Alat}}$
 $= \frac{3907}{2031,1875}$
 $= 1.92 \text{ gr/cm}^3$
4. Kadar air (W) $= \frac{b-c}{c-a} \times 100\%$
 Dimana: a = Nilai Berat Cawan (gram)
 b = Nilai Berat Cawan + Tanah Basah (gram)
 c = Nilai Berat Cawan + Tanah Kering (gram)
 $= \frac{42,15-30,43}{30,43-4,00} \times 100\%$
 $= 44,34\%$
5. Berat jenis tanah kering (γ_k)
 $= \frac{\gamma_b}{1+w}$
 $= \frac{1,923}{1+0,4434}$
 $= 1,36 \text{ gr/cm}^3$

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

Menghitung pengurangan beban:

Koreksi beban = Kalibrasi Alat + Pembacaan Arloji CBR

$$= 9,391 \times 8$$

$$= 75,13 \text{ lbs}$$

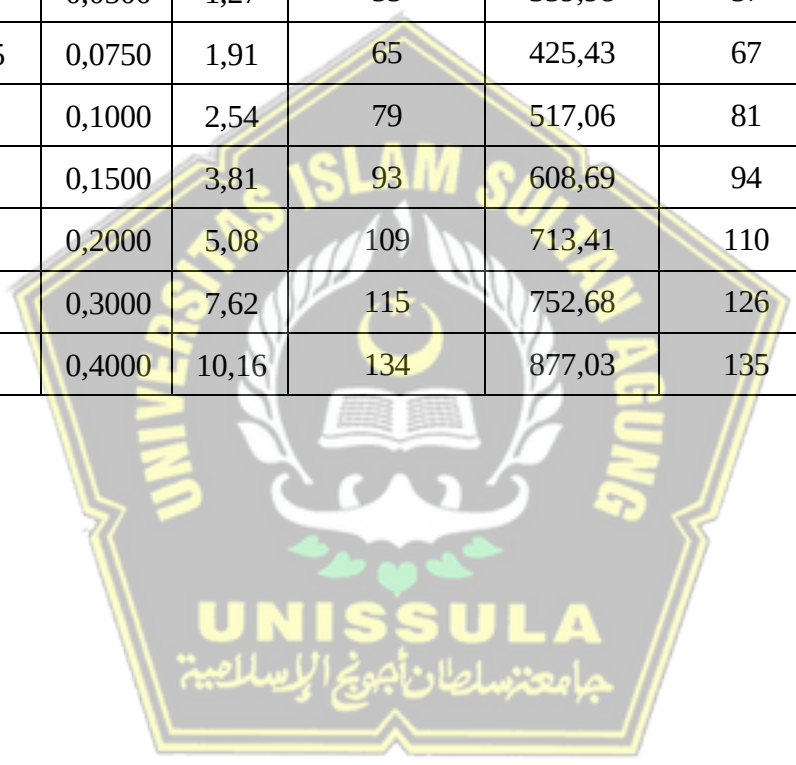
Tabel 4. 24 Hasil Penetrasi Sampel Tanah campuran *Fly Ash* dan *Slag baja*

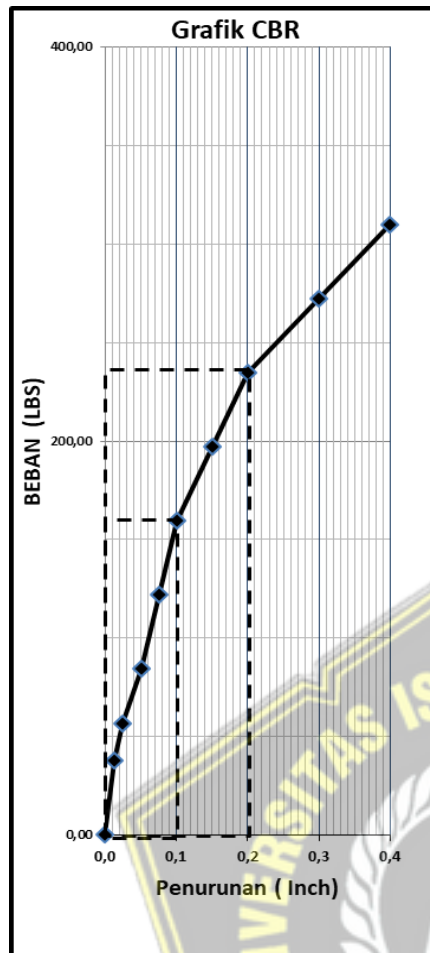
Kalibrasi : 9,391

t (menit)	Penurunan		Jumlah tumbukan			
	(inch)	(mm)	Tanah Asli		Tanah Campuran 1	
			Arloji Bawah	Koreksi	Arloji Bawah	Koreksi
¼	0,0125	0,32	4	37,56	4	37,56
½	0,0250	0,64	6	56,35	8	75,13
1	0,0500	1,27	9	84,52	16	150,26
1,5	0,0750	1,91	13	122,08	22	206,60
2	0,1000	2,54	17	159,65	30	281,73
3	0,1500	3,81	21	197,21	36	338,08
4	0,2000	5,08	25	234,78	42	394,42
6	0,3000	7,62	29	272,34	47	441,38
8	0,4000	10,16	33	309,90	54	507,11
t (menit)	Penurunan		Jumlah tumbukan			
	(inch)	(mm)	Tanah Campuran 2			
			Arloji Bawah	Koreksi		
¼	0,0125	0,32	5	46,96		
½	0,0250	0,64	9	84,52		
1	0,0500	1,27	18	169,04		
1,5	0,0750	1,91	25	234,78		
2	0,1000	2,54	38	356,86		
3	0,1500	3,81	42	394,42		
4	0,2000	5,08	48	450,77		
6	0,3000	7,62	56	525,90		
8	0,4000	10,16	59	554,07		

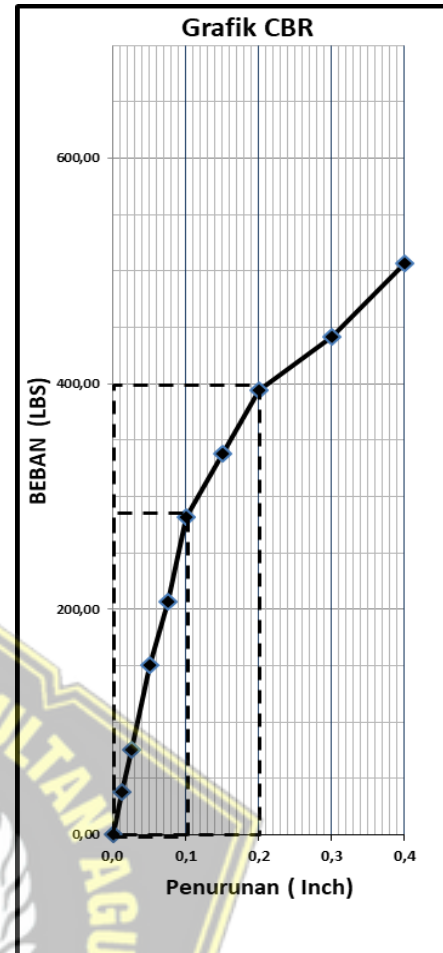
Kalibrasi : 6,545

t (menit)	Penurunan		Jumlah tumbukan			
	(inch)	(mm)	Tanah Campuran 3		Tanah Campuran 4	
			Arloji Bawah	Koreksi	Arloji Bawah	Koreksi
1/4	0,0125	0,32	17	111,27	19	124,36
1/2	0,0250	0,64	28	183,26	30	196,35
1	0,0500	1,27	55	359,98	57	373,07
1,5	0,0750	1,91	65	425,43	67	438,52
2	0,1000	2,54	79	517,06	81	530,15
3	0,1500	3,81	93	608,69	94	615,23
4	0,2000	5,08	109	713,41	110	719,95
6	0,3000	7,62	115	752,68	126	824,67
8	0,4000	10,16	134	877,03	135	883,58





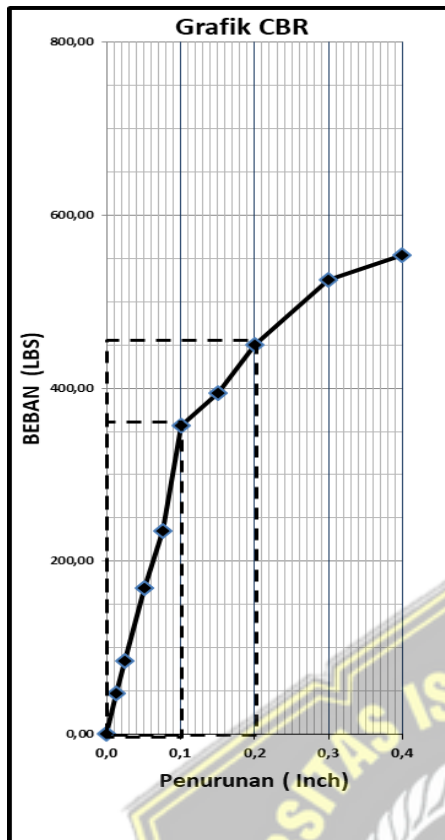
Gambar 4. 20 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Asli



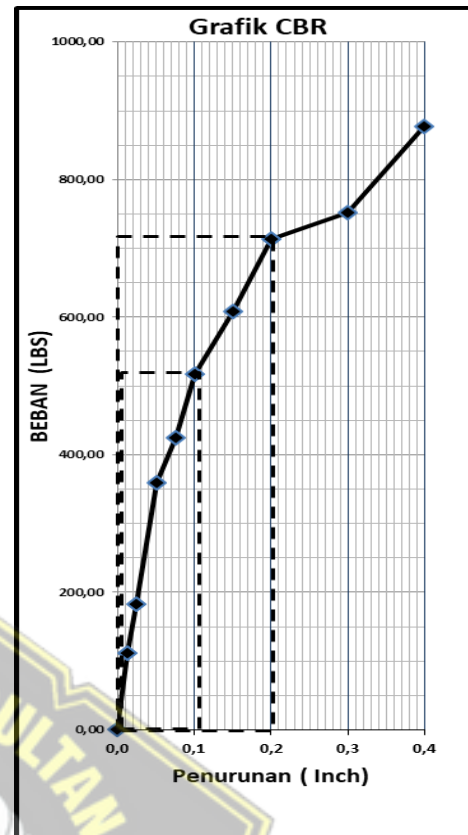
Gambar 4. 21 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran 1

Hasil pembacaan gambar 4.20 yaitu 0,1 inci sebesar 159,6 lbs dan 0,2 inci sebesar 234,78 lbs ditunjukkan padagrafik di atas.

Hasil pembacaan gambar 4.21, 0,1 inci sebesar 281,7 lbs dan 0,2 inci sebesar 394,42 lbs ditunjukkanpada grafik di atas.



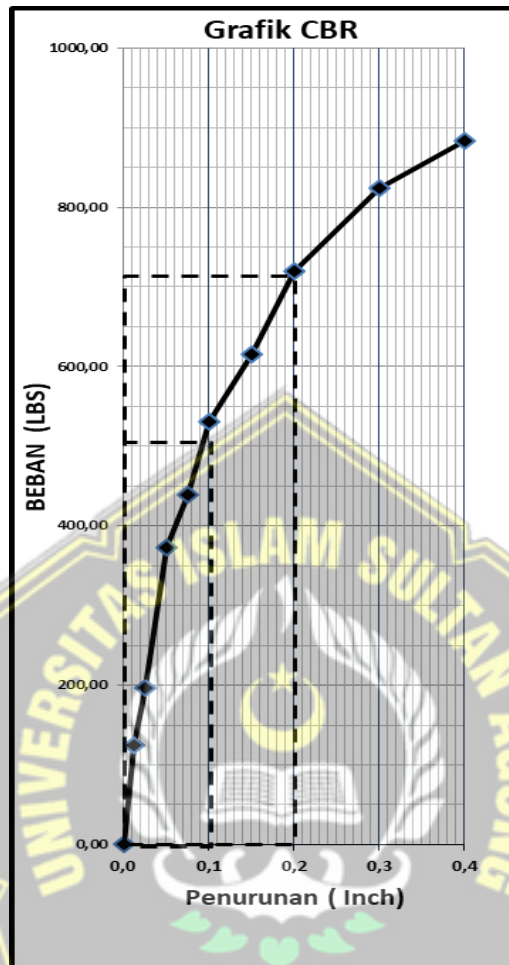
Gambar 4. 22 Penetrasi Tanah Campuran 2



Gambar 4. 23 Penetrasi Tanah Campuran 3

Hasil pembacaan gambar 4.22 dial 0,1 inci sebesar 356,9 lbs dan 0,2 inci sebesar 450,77 lbs ditunjukkan pada grafik di atas.

Hasil pembacaan gambar 4.23 dial 0,1 inci sebesar 517,1 lbs dan 0,2 inci sebesar 713,41 lbs ditunjukkan pada grafik di atas.



Gambar 4. 24 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran 4

Hasil pembacaan dial 0,1 inci sebesar 530,1 lbs dan 0,2 inci sebesar 719,95 lbs ditunjukkan pada grafik di atas

Menurut data yang dikumpulkan dari penetrasi tanah asli dan kombinasi *fly ash*, *slag baja* Dengan melakukan perhitungan, harga CBR setiap sampel dapat dihitung.

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

1. Menghitung Penetrasi 0,1” (0,254)

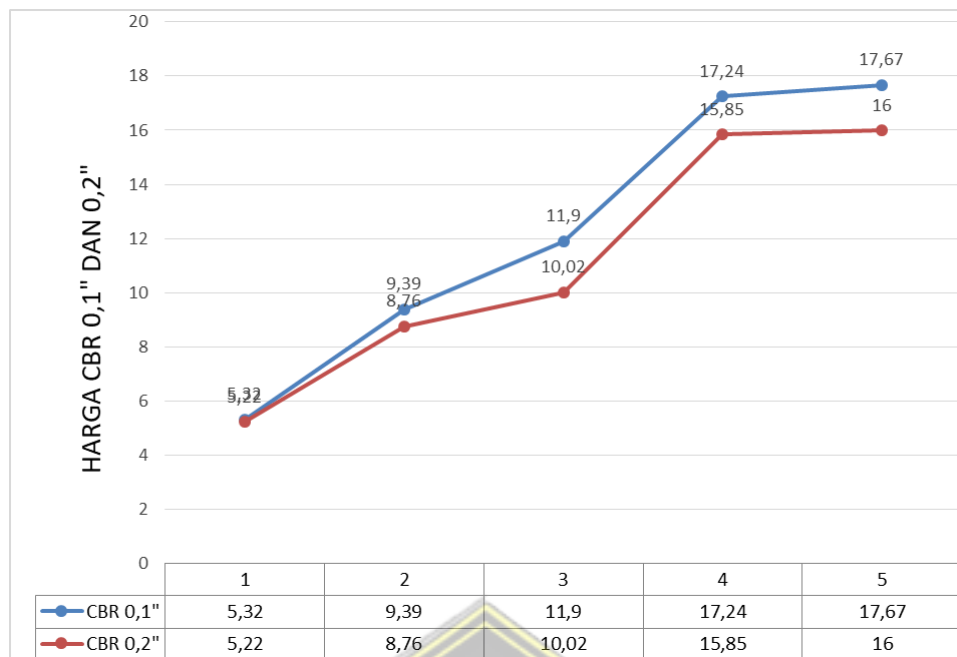
$$\begin{aligned} \text{CBR}(\%) &= \frac{P_1}{3 \times 1000} \times 100\% \\ &= \frac{150,26}{3 \times 1000} \times 100\% \\ &= 5,01 \end{aligned}$$

2. Menghitung Penetrasi 0,2” (0,508)

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

Tabel 4. 25 Harga CBR Tanah Asli dan Tanah Campuran Fly Ash dan Slag baja

Jenis Sampel	Beban Bawah Koreksi		Harga CBR	
	0,1”	0,2”	0,1”	0,2”
Tanah Asli	159,6	234,78	5,32	5,22
Tanah Campuran 1	281,7	394,42	9,39	8,76
Tanah Campuran 2	356,9	450,77	11,90	10,02
Tanah Campuran 3	517,1	713,41	17,24	15,85
Tanah Campuran 4	530,1	719,95	17,67	16,00

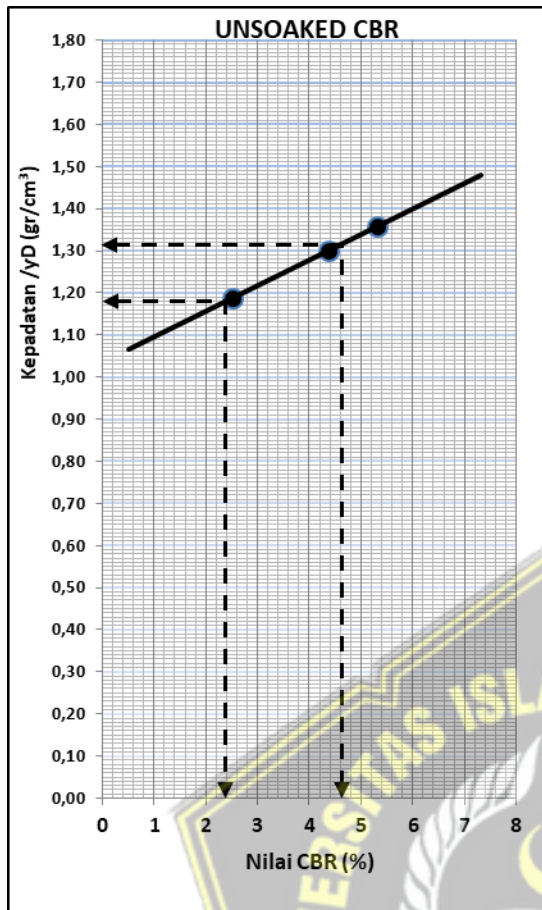


Gambar 4. 25 Grafik Harga CBR 0,1" dan 0,2"

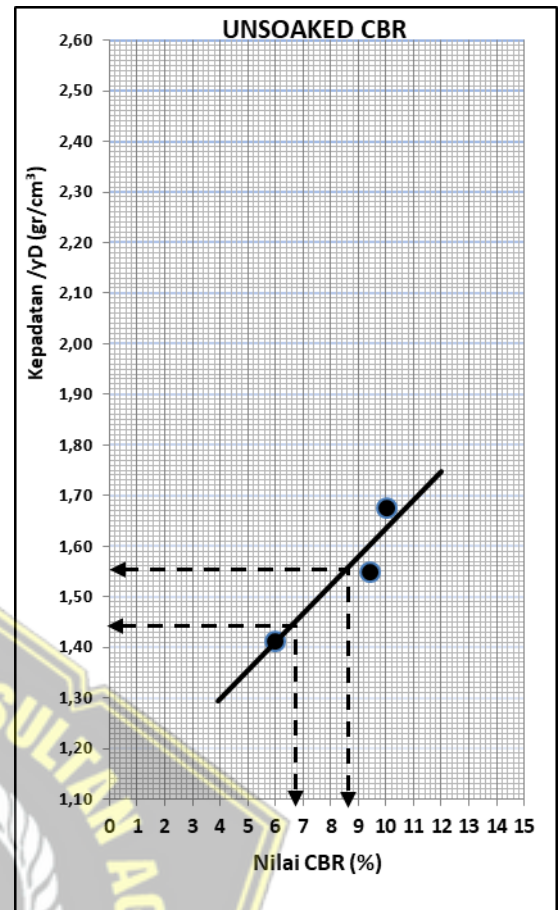
Berdasarkan Gambar 4.27, terlihat bahwa menambahkan *Slag baja* dan *Fly Ash* maka semakin meningkat nilai CBR tanah tersebut yang berarti itu daya dukung tanah semakin meningkat. Nilai CBR paling tinggi didapatkan di Tanah 5 yakni CBR 17,67% termasuk kategori sedang.

Tabel 4. 26 Nilai CBR Tanah Asli dan Tanah Campuran Fly Ash dan Slag baja

Jenis Sampel		UNSOAKED	
		100%	95%
Tanah Asli	Tanah asli 100%	4,6	2,4
Tanah Campuran 1	Tanah 65% + SB 25% + FA 10%	9,1	6,8
Tanah Campuran 2	Tanah 60% + SB 25% + FA 15%	10	7,2
Tanah Campuran 3	Tanah 55% + SB 25% + FA 20%	14,6	9,9
Tanah Campuran 4	Tanah 50% +SB 25% + FA 25%	15,9	11,4



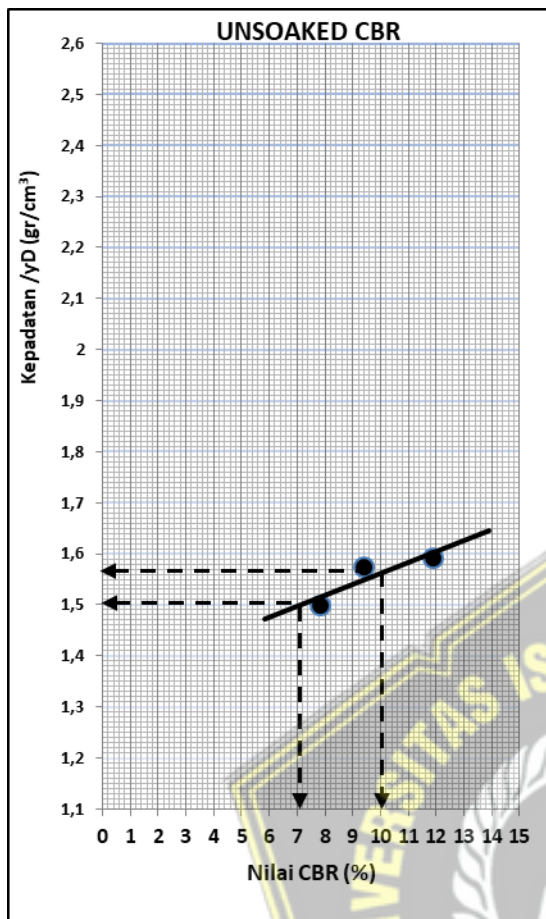
Gambar 4. 26 Grafik Nilai CBR Tanah Asli



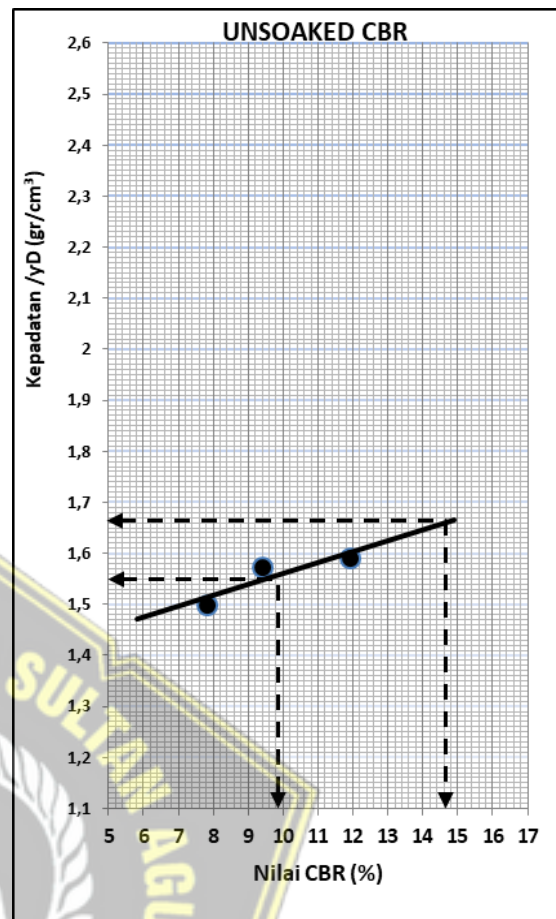
Gambar 4. 27 Grafik Nilai CBR Tanah campuran 1

Hasil pembacaan gambar 4.26 Nilai CBR 95% sebesar 2,40% dan Nilai CBR 100% sebesar 4,60% ditunjukkan pada grafik di atas

Hasil pembacaan gambar 4.27 Nilai CBR 95% sebesar 6,80% dan Nilai CBR 100% sebesar 8,80% ditunjukkan pada grafik di atas



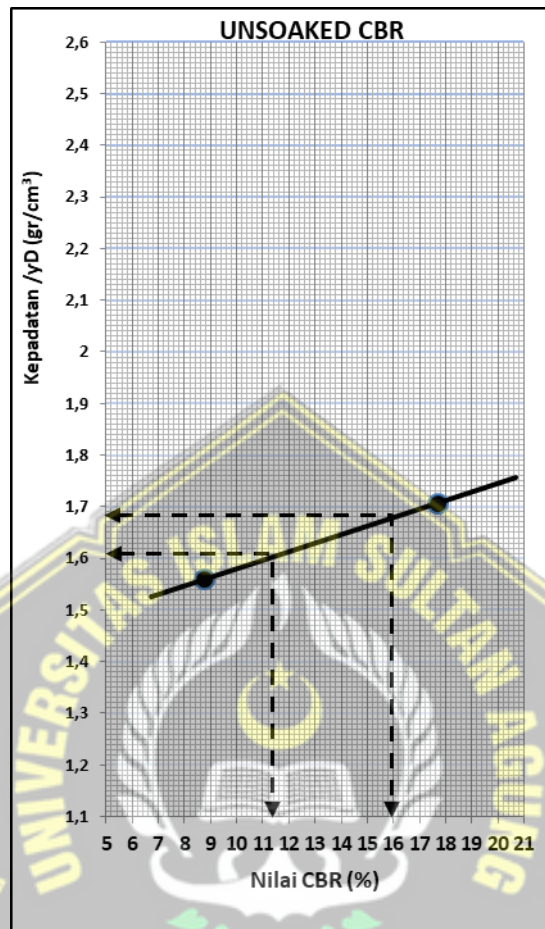
Gambar 4. 28 Grafik Nilai CBR Tanah campuran 2



Gambar 4. 29 Grafik Nilai CBR Tanah Campuran 3

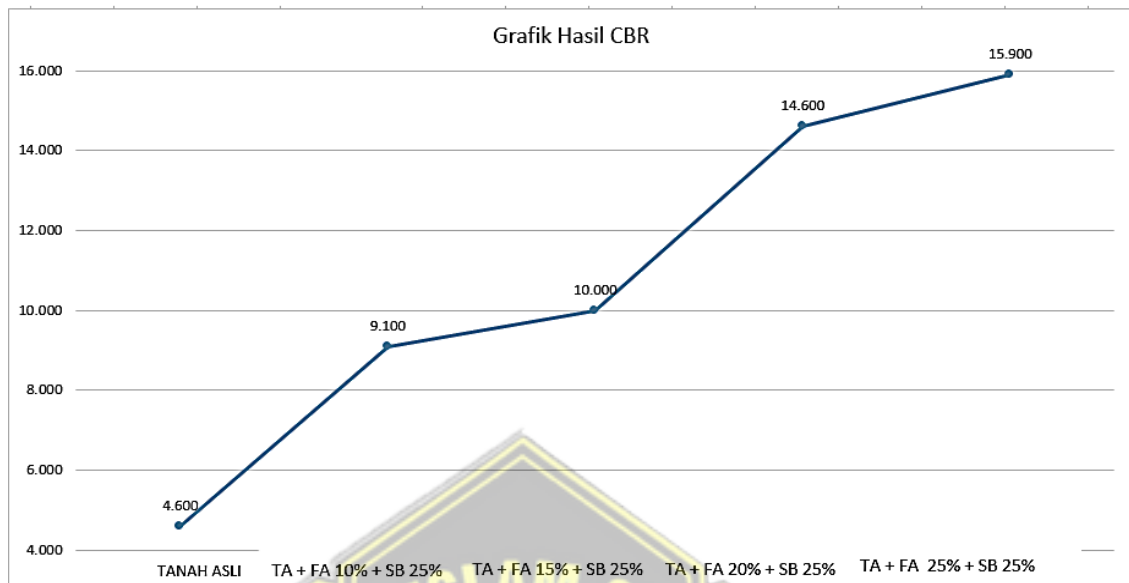
Hasil pembacaan gambar 4.27 Nilai CBR 95% sebesar 7,20% dan Nilai CBR 100% sebesar 10,0% ditunjukkan pada grafik di atas

Hasil pembacaan gambar 4.28 Nilai CBR 95% sebesar 9,90 % dan Nilai CBR 100% sebesar 14,6% ditunjukkan pada grafik di atas



Gambar 4. 30 Grafik Nilai CBR Tanah Campuran 4

Hasil pembacaan Nilai CBR 95% sebesar 11,40% dan Nilai CBR 100% sebesar 15,90% ditunjukkan pada grafik di atas



Gambar 4. 31 Grafik Nilai CBR

Berdasarkan Gambar 4.33, terlihat bahwa menambahkan *Slag baja* dan *Fly Ash* maka semakin meningkat nilai CBR tanah tersebut yang berarti itu daya dukung tanah semakin meningkat. Nilai CBR paling tinggi didapatkan di Tanah Campuran 4 yakni CBR 15,9% termasuk kategori sedang.

4.2 Akhir pembahasan

1. *Atterberg Limit*

Berdasarkan hasil Uji *Atterberg limit* dapat diketahui bahwa tanah yang distabilisasi menggunakan *fly ash* dan *slag baja* menunjukkan bahwa nilai IP tanah, semakin banyak diberikan campuran, nilai IP semakin menurun karena akibat dari peningkatan sifat tanah, yang berarti bahwa daya dukung tanah meningkat

2. *Direct Shear*

Nilai kohesi tanah yang tinggi ditemukan berdasarkan hasil uji *Direct shear* di presentase (Tanah Campuran 4) yakni 0,068 kg/cm². dan pada sudut geser nilai yang paling tinggi yakni pada presentase (Tanah Campuran 4) yakni 23,27%. semakin tinggi nilai kohesi dan sudut geser maka semakin baik daya dukung tanahnya.

3. *Proctor Modified*

Dapat dilihat bahwa pada pengujian *Proctor Modified* jika nilai kadar air semakin menurun maka kondisi daya dukung tanahnya tinggi. Pengujian kali ini menunjukkan presentase nilai optimum 13,50% adalah yang paling sedikit presentasenya

4. CBR

Dengan menambah *Fly ash* dan *Slag baja* maka semakin meningkat nilai CBR dan menunjukkan daya dukung tanah semakin baik, nilai CBR maksimal campuran (Tanah Campuran 4) dapat meningkat CBR 15,9% yang masuk dalam kategori sedang.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Setelah diuji di laboratorium, sampel tanah asli yang diambil dari Jl. PLN No.18, Daleman, Loireng, Kec. Sayung, adalah jenis tanah lempung lunak, hal ini terlihat dari hasil uji properties tanah seperti pada hasil uji *direct shear* dimana nilai sudut geser dalam $16,170^0$, hasil uji CBR tanah asli 4,6 %, nilai (GS) 2,234 nilai indeks plastisitas (IP) 39,8 %, dan kadarairoptimum(wopt) 27,00%.
2. Hasil pengujian di laboratorium memberikan hasil yang berbeda untuk setiap sampel tanah asli campuran *fly ash* dan *slag baja*. Bisa dilihat dari nilai CBR tanah asli 4,6% yang termasuk dalam kategori tanah buruk sampai sedang (3% - 7%) dan saat ditambahkan *fly ash* dan *slag baja* nilai maksimal CBR mencapai 15,9% yang termasuk dalam kategori tanah sedang (7% - 20%). Kesimpulannya adalah dengan menambahkan *fly ash* dan *slag baja* dapat meningkatkan daya dukung tanah.
3. Hasil dari pengujian CBR, *Proctor*, *Direct Shear*, *Atterberg Limit* di laboratorium menunjukkan bahwa tanah asli dengan penambahan campuran tanah *fly ash* dan *slag baja* dapat meningkatkan nilai CBR, *Proctor*, *Direct Shear*, *Atterberg Limit*. Nilai CBR Tanah Asli dengan harga CBR 4,6% dan Nilai CBR maksimal terdapat pada tanah campuran 4 dengan harga CBR 15,9% yang termasuk dalam kategori sedang.

5.2 Saran

1. Perbanyak jumlah sampel penelitian dengan persentase campuran tertentu yang selisih tiap sampelnya sedikit untuk mengetahui perbandingan perubahan hasil yang terjadi dan titik yang lebih optimum
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan penambahan bahan stabilisator lain sehingga didapatkan hasil yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Nugroho, S., Fatnanta, F., & Ika Pdutra, A. (2023). EFEK PENAMBAHAN ABU SERBUK KAYU PADA LEMPUNG ELASTISITAS TINGGI TERHADAP NILAI
- Amin, A. F. (2024). *campuran material perkerasan jalan di PLTU Asam Asam*. 9(02), 95–102.
- Ariyanto, A. S. (2017). Pengaruh Durabilitas Terhadap Stabilisasi Sub Base Jalan Dengan Fly Ash Dari Pltu Asam Asam Kalimantan Selatan. *Bangun Rekaprima*, 3(1), 22. <https://doi.org/10.32497/bangunrekaprima.v3i1.760>
- Ash, F. L. Y., Bottom, D. A. N., & Faba, A. S. H. (2024). *ANALISIS CBR TANAH LEMPUNG DENGAN PENAMBAHAN*.
- Fatwari, M. H. A. (2022). *Stabilisasi Tanah Rawa Menggunakan Limbah Steel – Slag, Fly Ash Dan Serbuk Botol Kaca Terhadap Nilai California Bearing Ratio (Cbr)*. 62.
- 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., Cornelis, R., & Dom, A. Y. (2022). Pengaruh Fly Ash pada Stabilisasi Lempung Ekspansive Terhadap Nilai Tegangan Geser dan CBR. *JURNAL FORUM TEKNIK SIPIL (J-ForTekS)*, 2(1), 92–102. <https://doi.org/10.35508/forteks.v2i1.6702>
- Huri, A. D., Yulianto, K., Wardani, S. P. R., & Hardiyati, S. (2013). Stabilisasi Tanah dengan Fly Ash dan Semen untuk Badan Jalan PLTU Asam-Asam. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 2(1), 1–8.
- Indriyati, T. S., Malik, A., & Alwinda, Y. (2019). Kajian Pengaruh Pemanfaatan Limbah Faba (Fly Ash Dan Bottom Ash) Pada Konstruksi Lapisan Base Perkerasan Jalan. *Jurnal Teknik*, 13(2), 112–119. <https://doi.org/10.31849/teknik.v13i2.3168>
- Jauhari, Z., Fauzi, A., & Fauzi, U. J. (2018). Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Bahan Stabilisasi Tanah Dasar Konstruksi Jalan Yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Tekno Global UIGM Fakultas Teknik*, 2(1), 57–63. <https://doi.org/10.36982/jtg.v2i1.389>
- Kasus, S., & Lempung, T. (2019). Stabilization of Expansive Soil Land With Chemical

- Method Using Dolomite Light and Steel Slag Waste Case Study of Flat Soil Wonokromo, Alian, Kebumen. *Jurnal Tekno SAINS Seri Teknik Sipil*, Mdd, 4–6.
- prahesti, mareta, Sholeh, M., & Riyanto, S. (2021). Pengaruh Penambahan Bottom Ash Terhadap Nilai Cbr Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung Di Badean Bondowoso. *Jurnal JOS-MRK*, 2(2), 163–166. <https://doi.org/10.55404/jos-mrk.2021.02.02.163->
- Sulaiman, S. (2021). *Pengaruh Penambahan Fly Ash Pada Tanah Rawa Pasang Surut Kecamatan Alalak Kabupaten Barito Kuala Terhadap Nilai Cbr* <http://eprints.uniska-bjm.ac.id/8836/>
- Susanto, A., Monico, K., & Renaningsih, R. (2022). Tinjauan Kuat Dukung Tanah Lempung Bayat – Klaten dengan Bahan Stabilisasi Slag Baja. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 1(1), 37–45. <https://doi.org/10.23917/dts.v1i1.18530>
- SWELLING (Effect Of Adding Wood Hush Ash On High Plasticity Clay Against Swelling Value). *Jurnal Infrastruktur*, 9(1), 1–6.
- tekniksipilunesa . org Email : REKATS. (2016).*
- TIM EJOURNAL Ketua Penyunting : Penyunting : Mitra bestari : Penyunting Pelaksana : Redaksi : Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya Website :*
- Tobing, B. C. L., Suroso, & Zaika, Y. (2014). Pengaruh Lama Waktu Curing Terhadap Nilai CBR Dan Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif Dengan Campuran 15% Fly Ash. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(2), 1–10. <http://sipil.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmts/article/view/98>
- 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 SipilStatik*, 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>