TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* TERHADAP STABILITAS TANAH LUNAK

(Studi Kasus : Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah)

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan Pendidikan Program Sarjana (S1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung

Disusun Oleh :

Javier Yusuf Taffarel
30.2020.00.253

Yuan Herdianto
30.2020.00.261

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2022

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* TERHADAP STABILITAS TANAH LUNAK

(Studi Kasus : Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah)

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan Pendidikan Program Sarjana (S1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung

Disusun Oleh :

Javier Yusuf Taffarel — **30.2020.00.253**

Yuan Herdianto — **30.2020.00.261**

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIKUNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2022

Usulan Penelitian Tugas Akhir

JUDUL

PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* TERHADAP STABILITAS TANAH LUNAK

(Studi Kasus : Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah)

Yang diajukan oleh :

Javier Yusuf Taffarel
30.2020.00.253

Yuan Herdianto
30.2020.00.261

Telah Disetujui Oleh

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT

Tanggal : 19 Januari 2022

Pembimbing Pendamping

Lisa Fitriana, ST., M.Eng

Tanggal :

Mengetahui

Ketua Program Sudi Teknik Sipil

Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

Dipindai dengan CamScanner

YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 PO.BOX 1054/SM
Telp. (024)6583584 Fax. (024)6582455 http:/www.unissula.ac.id

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH TERHADAP STABILITAS TANAH LUNAK

(Studi Kasus : Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah)

Oleh :

Javier Yusuf Taffarel
NIM : 30202000253

Yuan Herdianto
NIM : 30202000261

Telah disetuji dan disahkan di Semarang, 14 Januari 2022

	Tim Penguji	Tanda Tangan
1.	Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT	.....
2.	Lisa Fitriana, ST., M.Eng	.....
3.	Selvia Agustina, ST., M.Eng.	.....

Universitas Islam Sultan Agung Program
Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik

Ketua,

Muhamad Rusli Ahyar,ST., M.Eng

Dipindai dengan CamScanner

YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Raya Kaligawe KM. 4 Po. BOX 1054Telp.(024)6583584Ext.507 Semarang 50112

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nomor :

Pada hari ini, Jumat tanggal 14 Januari 2022 berdasarkan Surat Keputusan Rektor Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang perihal penunjukan Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II :

1. Nama : Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT.
   Jabatan Akademik : Asisten Ahli
2. Nama : Lisa Fitriyana ST, M.Eng
   Jabatan Akademik : Lektor

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut dibawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir / Skripsi :

Nama : Javier Yusuf Taffarel
NIM : 30202000253

Nama : Yuan Herdianto
NIM : 30202000261

Judul : PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH TERHADAP STABILITAS TANAH LUNAK (Studi Kasus : Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah). Dengan tahapan sebagai berikut :

No.	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	23 September 2021	-
2	Proposal	23 November 2021	ACC
3	Pengumpulan data	2 November 2021	-
4	Analisis data	18 November 2021	-
5	Penyusunan laporan	31 Desember 2021	-
6	Selesai laporan	05 Januari 2022	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak – pihak yang berkepentingan.

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT.

Dosen Pembimbing II

Lisa Fitriyana ST, M.Eng

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

M. Rusli Anyar ST, M. Eng

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : 1. Javier Yusuf Taffarel

2. Yuan Herdianto

NIM : 30202000253

: 30202000261

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH TERHADAP STABILITAS TANAH LUNAK (Studi Kasus : Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah).

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 06 Januari 2022

Yang membuat pernyataan,

Javier Yusuf Taffarel

Yuan Herdianto

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini :

NAMA : 1. Javier Yusuf Taffarel

2. Yuan Herdianto

NIM : 30202000253

: 30202000261

JUDUL SKRIPSI : PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH TERHADAP STABILITAS TANAH LUNAK (Studi Kasus : Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah)

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, 06 Januari 2022

Yang membuat pernyataan,

Javier Yusuf Taffarel

Yuan Herdianto

Dipindai dengan CamScanner

MOTTO

مُسْلِم رَوَاهُ . الجَنَّةِ إِلَى طَرِيْقًا لَهُ اللهُ سَهَّلَ,عِلْمًا فِيْهِ طَرِيْقًايَلْتَمِسُ سَلَكَ مَنْ

“Barang siapa yang keluar untuk mencari ilmu maka ia berada di jalan Allahhingga ia pulang.” (Hadist Riwayat Turmudzi)

“Keberhasilan bukanlah milik orang yang pintar. Keberhasilan adalah kepunyaanmereka yang senantiasa berusaha.” (B.J. Habibie)

Javier Yusuf Taffarel

MOTTO

لَهٗ مُعَقِّبٰتٌ مِّنْۢ بَيْنِ يَدَيْهِ وَمِنْ خَلْفِهٖ يَحْفَظُوْنَهٗ مِنْ اَمْرِ اللّٰهِ ۗاِنَّ اللّٰهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتّٰى يُغَيِّرُوْا مَا بِاَنْفُسِهِمْ ۗوَاِذَآ اَرَادَ اللّٰهُ بِقَوْمٍ سُوْۤءًا فَلَا مَرَدَّ لَهٗ ۚوَمَا لَهُمْ مِّنْ دُوْنِهٖ مِنْ وَّالٍ - ١١

“Baginya (manusia) ada malaikat-malaikat yang selalu menjaganya bergiliran, dari depan dan belakangnya. Mereka menjaganya atas perintah Allah. Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri. Dan apabila Allah menghendaki keburukan terhadap suatu kaum, maka tak ada yang dapat menolaknya dan tidak ada pelindung bagi mereka selain Dia.” *(Q.S. 13 Ar-Ra’d : 11)*

Yuan Herdianto

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan pemilik jiwa dan Semesta alam. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Ali Mahmudi dan Ibu saya Nur Dani Kurniawati, atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Saudara dan keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan dan doa sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT. dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng. yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Semua dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
5. Partner laporan tugas akhir Yuan Herdianto. Terimakasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Untuk teman saya Mimo, Edo, Alfar, Yuan, Romi, Bayu, Iqmal, Nabila, Simma, dkk yang tidak bisa disebutkan satu persatu terimakasih atas doa, semangat dan bantuan yang telah diberikan.
7. Semua teman-teman kelas transfer Fakultas Teknik Sipil UNISSULA angkatan 2020, terimakasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.

Javier Yusuf Taffarel

NIM : 30202000253

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan pemilik jiwa dan Semesta alam. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua saya, Bapak Heri purwanto. Ibu Juminten atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a yang tidak ada habisnya.
2. Saudara kandung dan keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan dan doa sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT. dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng. yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Semua dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
5. Partner laporan tugas akhir Javier Yusuf Taffarel. Terimakasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Untuk teman saya Mimo, Edo, Alfar, Yuan, Romi, Bayu, Iqmal, Nabila, Simma, dkk yang tidak bisa disebutkan satu persatu terimakasih atas doa, semangat dan bantuan yang telah diberikan.
7. Semua teman-teman Fakultas Teknik Sipil UNISSULA angkatan 2017, terimakasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.

Yuan Herdianto

NIM : 30202000261

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, hanya dengan rahmat dan karunia-Nya laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik tentang "Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Stabilitas Tanah Lunak". Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar- besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Bapak Ir. Rachmat Mudiyono, MT., Ph D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.
2. Bapak M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung.
3. Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
5. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Program Studi Teknik Fakultas Teknik Sipil UNISSULA.
6. Kedua orang tua yang telah memberikan doa dan motivasi.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan baik dari segi isi maupun dari segi susunannya. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat tidak hanya bagi penulis, tetapi juga bagi pembaca.

Semarang, Januari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
USULAN PENELITIAN TUGAS AKHIR ii
LEMBAR PENGESAHAN iii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI v
PERNYATAAN KEASLIAN vi
MOTTO vii
PERSEMBAHAN ix
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR TABEL xvi
DAFTAR GAMBAR xviii
DAFTAR LAMBANG DAN NOTASI xx
ABSTRAK xxii
ABSTRACT xxiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 2
1.3. Tujuan Penelitian 2
1.4. Batasan Masalah 3
1.5. Manfaat Penelitian 3
1.6. Peta Lokasi 3
1.7. Keaslian Kajian 4
1.8. Sistematika Penulisan 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1. Pengertian Tanah 6
2.2. Tanah Lempung 7
2.3. Tanah Ekspansif 7

2.4. Material Penyusun Tanah 8
2.5. Klasifikasi Tanah 9
2.5.1. Kalsifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS (Unified SoiL Classification System) 9
2.5.2. Klasifikasi Tanah berdasarkan Sistem Derajat Pengembangan Batas – batas Atterberg 11
2.5.3. Klasifikasi Tanah berdasarkan Sistem Korelasi Batas – batas Atterberg 11
2.6. Sifat Fisik Tanah 12
2.6.1. Kadar Air (w) 13
2.6.2. Berat Jenis Tanah (Gs) 12
2.6.3. Analisa Saringan 13
2.6.4. Batas-batas Atterberg 15
2.6.5. CBR (California Bearing Ratio) 16
2.7. Sifat Mekanika Tanah 17
2.7.1. Pemadatan Tanah 17
2.7.2. Kuat Geser Tanah 19
2.8. Stabilisasi Tanah Menggunakan *Fly ash* 20
BAB III METODE PENELITIAN 22
3.1. Pengertian Umum 22
3.2. Studi Literatur 24
3.3. Teknik Pengumpulan Data 24
3.4. Bahan Penelitian 25
3.4.1. Tanah 25
3.4.2. Air 25
3.4.3. *Fly ash* 25
3.5. Lokasi Penelitian 25
3.6. Prosedur Penelitian 25
3.6.1. Kadar Air 25
3.6.2. Berat Jenis Tanah (Gs) 26
3.6.3. Analisa Saringan (Sieve Analysis) 27
3.6.4. Atterberg limits (Batas-batas Konsistensi) 31

3.6.5. Direct Shear 34
3.6.6. Proctor Modified 36
3.6.7. California Bearing Ratio (CBR) 37
3.7. Metode Analisis Data 39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 40
4.1. Klasifikasi Tanah 40
4.1.1. Data Uji Labolatorium Tanah Asli 41
4.1.2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Derajat Pengembangan Batas –batas Atterberg 42
4.1.3. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Korelasi Batas – batas Atterberg 42
4.1.4. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS (Unified Soil Classification System) 43
4.1.5. Nilai Aktivitas Tanah Ekspansif 44
4.2. Sifat Fisik dan Mekanis Tanah 46
4.2.1. Kadar Air 46
4.2.2. Berat Jenis Tanah (GS) 47
4.2.3. *Attertberg Limits* 46
4.2.4. *Batas Susut (Shrinkage Limits)* 55
4.2.5. *Direct Shear* 59
4.2.6. *Proctor Modified* 66
4.2.7. *California Bearing Ratio* (CBR) 73
BAB V PENUTUP 87
5.1. Kesimpulan 87
5.2. Saran 87
DAFTAR PUSTAKA xxiv
LAMPIRAN xxvii

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan potensi pengembangan dan (PI) 11
Tabel 2.2 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah 15
Tabel 3.1 Daftar sample campuran tanah asli dan campuran *fly ash* 24
Tabel 4.1 Data Tanah Asli 41
Tabel 4.2 Hubungan Potensi Pengembangan dan (PI) SNI 03-6795-2002 43
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Nilai Keaktivitas Tanah Ekspansif 44
Tabel 4.4 Korelasi Tingkat Keaktifan dengan Potensi Pengembangan (Skempton 1953) Departemen Pekerjaan Umum 45
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kadar Air 46
Tabel 4.6 Data Pengujian Berat Jenis Tanah 47
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Batas Cair 50
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Batas Plastis 53
Tabel 4.9 Hasil Indeks Plastis 54
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Susut Linier Tanah Asli 55
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Susut Linier Campuran 4% 56
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Susut Linier Campuran 8% 57
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Susut Linier Campuran 16% 58
Tabel 4.14 Hasil Perhitungan *Direct Shear* 60
Tabel 4.15 Hasil Penggambaran *Direct Shear* 64
Tabel 4.16 Hasil Pengujian *Proctor Modified* 66
Tabel 4.17 Hasil Perhitungan *Proctor modified* Tanah Asli 69
Tabel 4.18 Hasil Perhitungan *Proctor modified* campuran fly ash 69
Tabel 4.19 Hasil Grafik *Proctor modified* 71
Tabel 4.20 Data Pengujian CBR Soaked 73
Tabel 4.21 Data Pengujian CBR Unsoaked 73
Tabel 4.22 Hasil Perhitungan CBR Soaked 75
Tabel 4.23 Hasil Perhitungan CBR Unsoaked 75
Tabel 4.24 Data Penetrasi Sampel Tanah Asli Soaked 76
Tabel 4.25 Data Penetrasi Sampel Tanah Asli Unsoaked 77

Tabel 4.26 Data Penetrasi Sampel Tanah campuran fly ash Soaked..... 78
Tabel 4.27 Data Penetrasi Sampel Tanah campuran fly ash Unsoaked..... 79
Tabel 4.28 Harga CBR (Soaked) Tanah Asli dan Campuran fly ash 84
Tabel 4.29 Harga CBR (Unsoaked) Tanah Asli dan Campuran fly ash 85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Lokasi Jalan Provinsi Blora-Purwodadi KM 4, Desa Sumber, Kecamatan Tunjungan, Kabupaten Blora 4

Gambar 2.1. Klasifikasi Tanah Dari System USCS 8

Gambar 2.2 Petunjuk kerusakan (*collapsibility*) struktur tanah, kemudah mampatan dan pengembangan didasarkan pada berat volume kering (γd) di tempat dan batas cair (*Mitchell dan Gardner, 1975; Gibbs, 1969*) 11

Gambar 2.3 Alat pengujian *proctor modified* 19

Gambar 2.4 Grafik Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering 19

Gambar 2.5 Skema Uji Geser Langsung Tanah 20

Gambar 3.1 Bagan Alur Penelitian 23

Gambar 3.2 Piknometer 26

Gambar 3.3 Susunan Saringan dan Penggetar 29

Gambar 3.4 Gelas ukur dan Hidrometer 29

Gambar 3.5 Peralatan Cassagrande 31

Gambar 3.6 Perangkat Direct Shear Test 34

Gambar 3.7 Perangkat *Proctor Modifie*d 36

Gambar 3.8 Mesin Pengujian CBR 38

Gambar 4.1 Petunjuk kerusakan (*collapsibility*) struktur tanah, kemudah mampatan dan pengembangan didasarkan pada berat volume kering (γd) di tempat dan batas cair (*Mitchell dan Gardner, 1975; Gibbs, 1969*)

Gambar 4.2 Diagram Plastisitas Sistem USCS 43

Gambar 4.3 Nilai Aktifitas Tanah Ekspansif 45

Gambar 4.4 Grafik Hasil Perhitungan Kadar Air 47

Gambar 4.4 Grafik Berat Jenis Tanah 49

Gambar 4.6 Grafik *Liquid Limit* Sampel Tanah Asli 50

Gambar 4.7 Grafik *Liquid Limit* Sampel *Fly Ash* 4% 51

Gambar 4.8 Grafik *Liquid Limit* Sampel *Fly Ash* 8% 51

Gambar 4.9 Grafik *Liquid Limit* Sampel *Fly Ash* 16% 52

Gambar 4.10 Grafik *Liquid Limit* Tanah Asli dan Campuran 52

Gambar 4.11 Grafik ATL Tanah Asli dan Campuran 54

Gambal 4.12 grafik shrinkage Tanah Asli dan Campuran 59

Gambar 4.13 Grafik *Direct Shear* Tanah Asli 61
Gambar 4.14 Grafik *Direct Shear* Campuran *Fly Ash* 4% 62
Gambar 4.15 Grafik *Direct Shear* Campuran *Fly Ash* 8% 63
Gambar 4.16 Grafik *Direct Shear* Campuran *Fly Ash* 16% 64
Gambar 4.17 Grafik Nilai Kohesi Tanah Asli dan Campuran 65
Gambar 4.18 Grafik Sudut Geser Dalam Tanah Asli dan Campuran 65
Gambar 4.19 Grafik *Proctor Modified* Tanah Asli 70
Gambar 4.20 Grafik *Proctor Modified* campuran fly ash 4 % 70
Gambar 4.21 Grafik *Proctor Modified* campuran fly ash 8 % 71
Gambar 4.22 Grafik *Proctor Modified* campuran fly ash 16 % 71
Gambar 4.23 Grafik W_{opt} sampel tanah asli dan campuran *fly ash* 72
Gambar 4.24 Grafik γ_d sampel tanah asli dan campuran *fly ash* 72
Gambar 4.25 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Asli (Soaked) 80
Gambar 4.26 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Asli (Unsoaked) 80
Gambar 4.27 Grafik Hasil Penetrasi Tanah campuran 4% (Soaked) 81
Gambar 4.28 Grafik Hasil Penetrasi Tanah campuran 4% (Unsoaked) 81
Gambar 4.29 Grafik Hasil Penetrasi Tanah campuran 8% (Soaked) 82
Gambar 4.30 Grafik Hasil Penetrasi Tanah campuran 8% (Unsoaked) 82
Gambar 4.31 Grafik Hasil Penetrasi Tanah campuran 16% (Soaked) 83
Gambar 4.32 Grafik Hasil Penetrasi Tanah campuran 16% (Unsoaked) 83
Gambar 4.33 Grafik Harga CBR (Soaked) 85
Gambar 4.34 Grafik Harga CBR (Unsoaked) 86

DAFTAR LAMBANG DAN NOTASI

SiO2	[-]	Silikat
AI2O3	[-]	Aluminat
A	[m2]	Luas
D	[m]	Diameter
c	[kg/cm2]	Kohesi
Cv	[cm2 /s]	Koefisien
w	[%]	Kadar Air
Gs	[-]	Harga berat jenis butiran tanah
e	[-]	Angka pori
σn	[kg/cm2]	Tegangan normal
σs	[kg/cm2]	Tegangan geser
φ	[°]	Sudut geser
γ_d	[gr/cm3]	Berat Volume Kering
n	[%]	Kadar pori
γ_b	[gr/cm3]	Gamma basah
γ_w	[gr/cm3]	Gamma Air
HAP	[gr]	Harga air piknometer
T	[°]	Suhu
KL	[%]	Kadar lumpur

t	[s]	Waktu
Gl	[-]	Indeks grup
PL	[%]	Plastic limit
LL	[%]	Liquid limit
ZAV	[-]	Zero Air Void
Ca	[-]	Kapur
P	[gr/cm^3]	Beban normal
F	[cm^2]	Luas penampang

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH TERHADAP STABILITAS TANAH LUNAK

(Studi Kasus : Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah)

Oleh :

Javier Yusuf Taffarel [1)], Yuan Herdianto [1)] , Rinda Karlinasari [2)] , Lisa Fitriyana[2)]

Abstrak

Jalan Kudus - Purwodadi km 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah seringkali ditemukan tanahnya rumit sehingga struktur di atasnya akan terancam bahaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan campuran *fly ash* pada stabilitas tanah.

Metode penelitian dilakukan di labolatorium Unissula. Pengujian dilakukan mencampurkan tanah dengan *fly ash*, dengan persentase campuran *fly ash* masing-masing sebesar 4%, 8%,16%. Macam-macam pengujian yang diujikan adalah berat jenis, uji kadar air analisa saringan, *direct shear*, *atterberg limit*, *proktor modified*, dan CBR.

Dari hasil pengujian laboratorium, pengaruh campuran *fly ash* terhadap daya dukung tanah yaitu semakin banyak campuran *fly ash* yang di berikan maka semakin baik sifat mekanis tanah yang artinya daya dukung tanah semakin meningkat., diperoleh nilai yang cenderung naik pada setiap sampel dengan penambahan *fly ash*. Dari pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) *Soaked* dan *unsoaked* yang dilakukan pada sampel tanah asli dan tanah yang ditambahkan fly ash dengan persentase 4%, 8%, 16% diperoleh harga CBR *soaked* sebesar 2,160%, 3,704%, 7,716%, dan 15,07%. Dan CBR *unsoaked* sebesar 4,938%, 5,247%, 9,259%, dan 15,432%.

Kata kunci : Stabilitas, *Fly Ash*, Daya dukung

[1)] Mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA

[2)] Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA

EFFECT OF THE ADDITION OF FLY ASH ON SOFT SOIL STABILITY

(Case Study: Klambu Village, Klambu Subdistrict, Grobogan Regency, Central Java)

By :

Javier Yusuf Taffarel [1)], Yuan Herdianto [1)] , Rinda Karlinasari [2)] , Lisa Fitriyana[2)]

Abstract

Kudus - Purwodadi Road km 25, Klambu Village, Klambu Subdistrict, Grobogan Regency, Central Java is often found damage indicated the land is problematic so that the building on it will be at risk of damage. This study aims to find out the type of native soil and the influence of the addition of fly ash mixtures on the soil.

The research method is carried out at the Unissula laboratory. The test was conducted mixing soil with fly ash, with the percentage of fly ash mixtures at 4%, 8%, 16% respectively. The various tests tested are weight type, water content test, filter analysis, direct shear, atterberg limit, modified proctor, and CBR.

From the results of laboratory tests, the effect of fly ash mixture on soil carrying capacity is the more fly ash mixture provided, the better the mechanical properties of the soil which means that the carrying capacity of the soil is increasing, obtained values that tend to rise in each sample with the addition of fly ash. From california bearing ratio (CBR) soaked and unsoaked tests conducted on samples of native soil and soil added fly ash with a percentage of 4%, 8%, 16% obtained CBR soaked prices of 2,160%, 3.704%, 7.716%, and 15.07%. And CBR unsoaked by 4.938%, 5.247%, 9.259%, and 15.432%.

Keywords: Stability, Fly Ash, Carrying capacity

[1)] Student of Civil Engineering Faculty UNISSULA

[2)] Lecturer of Civil Engineering Faculty UNISSULA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah merupakan bahan esensial yang sangat penting dalam suatu desain atau pembangunan dalam suatu tugas di bidang Perancangan Struktur, baik itu pembangunan gedung maupun pembangunan jalan. Ada berbagai jenis tanah yang ada di alam, namun tidak banyak jenis tanah yang dapat menjadi bantuan yang layak untuk pembangunan jalan. Akibatnya, kotoran harus memiliki batas bantalan yang layak. Tanah yang mempunyai batas daya dukung yang layak dapat membatasi bahaya kerusakan jalan di atasnya, sehingga penting untuk memperbaiki (kekuatan) tanah yang memiliki tanah dengan batas daya dukung rendah.

Tanah dengan batas daya dukung yang rendah memiliki sifat pembesaran dan penyusutan yang sangat tinggi, biasanya sifat ini diklaim oleh jenis lumpur, jadi untuk jenis tanah itu sendiri, dengan asumsi bahwa pembangunan jalan didasarkan padanya, akan terjadi kerusakan atau benturan. dalam pembangunan jalan.

Untuk bertahan/mengembangkan tanah dengan batas daya dukung rendah, tanah dasar jenis lumpur yang memiliki batas daya dukung rendah memerlukan penanganan yang luar biasa. Perlakuan ini diharapkan dapat membangun batas dan kehandalan dari batas bantalan kotoran. Perlakuan luar biasa yang dimaksud adalah penyesuaian tanah. Penyesuaian tanah pada umumnya menggunakan beberapa campuran, misalnya kapur, *gypsum*, biji plastik, *fly ash*.

Pada penelitian ini akan membahas tentang stabilitas tanah lunak dengan penambahan *fly ash* (abu terbang batu bara) sebagai bahan stabilisator yang dipercaya dapat bekerja pada sifat fisik dan mekanik tes yang memiliki batas daya dukung tanah. *Fly ash* merupakan sisa pemakaran atuara di pemangkit listrik tenaga uap (PLTU) dalam entuk paritikel halus. Bahan ini mengandung unsur silikat (SiO2) dan aluminat (Al2O3) sehingga tergolong pozzolan (Mochtar 2002).

Abu Batuara tidak mampu mengikat tetapi dengan adanya air dan ukurannya yang halus silikat (SiO2) yang terperangkap dalam *fly ash* ereaksi secara kimia dan menghasilkan zat yang mampu mengikat. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat tanah dengan daya dukung yang leih baik dari sebelum ditamahkan *fly ash*. Jika tanahnya berkualitas buruk biaya permukaan jalan bahkan lebih tinggi. Dengan demikian jika kualitas tanahnya baik maka biaya konstruksi perkerasan jalan *subgrade* akan lebih efektif. Hal ini mendorong kami untuk menganalisis dan menguji pengaruh penamahan *fly ash* terhadap CBR sampel tanah yang kami kumpulkan di Jalan Kudus - Purwodadi km 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah. Berdasarkan keterangan diatas, kami melakukan sebuah penelitian yang berjudul "**Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Stabilitas Tanah Lunak**".

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka bisa ditemukan rumusan masalah yang ada sebagai berikut :

1. Jenis tanah seperti apakah yang berada di lokasi Jalan Kudus - Purwodadi km 25, Ds Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah?
2. Apa pengaruh dari pencampuran *fly ash* terhadap daya dukung tanah (DDT)?
3. Berapa nilai pengujian CBR pada tanah asli dan tanah yang dicampur dengan *fly ash*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penulisan Tugas Akhir tersebut adalah :

1. Mengetahui jenis karakteristik tanah sampel yang diambil di Jalan Kudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah
2. Mengetahui pengaruh campuran *fly ash* pada stabilitas tanah
3. Mengetahui prosentase hasil pengujian *CBR, DS, ATL, Proctor Modified* pada tanah asli dan tanah yang dicampur *fly ash*

1.4 Batasan Masalah

Mengingat esarnya masalah serta keteratasan waktu dan kapasitas maka atasan masalah agar penelitian ini efektif adalah: :

1. Sampel tanah Lempung yang diteliti diambil di Jalan Kudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah.
2. Jenis *Fly Ash* yang di ambil yaitu tipe F.
3. Penelitian dilakukan di laboratorium yaitu kadar air, berat jenis tanah, analisa saringan, *atterberg limit*, *direct shear*, *proctor modified*, CBR (*california bearing ratio*).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi tentang kondisi dan sifat-sifat tanah yang diteliti.
2. Mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* terhadap sifat-sifat sampel tanah yang diteliti.
3. Dapat menjadi acuan atau *review* bagi pihak-pihak yang melakukan penelitian lebih lanjut mengenai stabilitas tanah.

1.6 Peta Lokasi

Lokasi pengamilan contoh tanah untuk tujuan penelitian adalah di Jalan Kudus Purwodadi km 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan Jawa Tengah. Lokasi pengambilan contoh tanah ditunjukkan pada **Gambar 1.1** di awah ini.

Gambar 1.1 Peta lokasi, lokasi pengamilan sampel tanah di Jalan Kudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah. (Sumber : *Google Maps)*

1.7 Keaslian Kajian

Keaslian penelitian yang menghasilkan Tugas Akhir ini, tulisan-tulisan yang ditulis pada saat menyelesaikan disertasi ini, merupakan karya asli penulis. Sertakan bagian dan sumber sebagai referensi, dicantumkan dalam bentuk makalah dan daftar pustaka.

1.8 Sistematika Penulisan

Proses penulisan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Ba ini memperkenalkan latar belakang susunan kata pertanyaan tujuan penelitian, minat penelitian, peta lokasi pengamilan sampel tanah, orisinalitas penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tinjauan pustaka yang menjelaskan teori-teori yang relevan dengan topik yang dipertimbangkan berdasarkan literatur, pengamatan, dan pendapat ahli untuk kasus yang sama, serta penggunaan pedoman, rumus atau perhitungan yang diterapkan dalam analisis masalah yang berkaitan dengan perhitungan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini mencakup diagram untuk memeriksa sampel tanah, bahan studi yang digunakan, lokasi studi, persiapan peralatan, dan kinerja studi.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan temuan dan membahas hasil penelitian yang dilakukan.

BAB V PENUTUP

Bab ini menjelaskan kesimpulan dari hasil penelitian dan rekomendasi untuk penelitian yang dilakukan.

Skripsi diakhiri dalam daftar pustaka, makalah pengujian dan lampiran. Daftar pustaka terlampir mencakup daftar buku, jurnal dan referensi yang digunakan dalam penelitian. Lampiran berisi catatan lengkap dan analisis data makalah.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Tanah

Tanah bisa didefinifikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) material–material padat yang tidak terikat secara kimiawi satu sama lain dan dari bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang–ruang kosong diantara paritikel–paritikel padat tersebut, menurut (Das,1993).

Dalam pandangan ilmu teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan–endapan yang relatif lepas, yang terletak diatas batuan dasar (Hardiyatmo, 1992, dalam Fitriyana, 2019).

Tanah lunak yaitu agregat paritikel-paritikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan sifatnya plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas (Karlinasari, 2019).

Selain menurut (Bowles, 1994), mendefinisikan tanah yaitu campuran paritikel–paritikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

1. Berangkal (*boulders*) yaitu potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm dan untuk ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles* / *pebbles*)
2. Kerikil (*gravel*) yaitu paritikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*) yaitu batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5mm, yang berkisar dari kasar dengan ukuran 3 mm sampai 5 mm sampai bahan halus yang berukuran 1 mm.
4. Lanau (*silt*) yaitu paritikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm sampai 0,0074 mm.
5. Lempung (*clay*) yaitu paritikel material yang berukuran yang lebih kecil dari 0,002 mm yang berupa sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
6. Koloid (*colloids*) yaitu paritikel material yang diam dan berukuran lebih

kecil dari 0,001 mm.

Menurut (Bowles, 1991), menjelaskan apabila butiran–butiran tanah terpisah pisah sesudah dikeringkan dan melekat hanya apabila berada dalam keadaan basah akibat gaya tarik permukaan didalam air, maka tanah disebut tak kohesif.

2.2 Tanah Lempung

Tanah liat adalah kumpulan paritikel mikroskopis dan submikroskopik yang berasal dari penguraian kimiawi penyusun batuan dan merupakan plastis pada kadar air medium hingga luas. Dalam keadaan kering, sangat keras dan tidak mudah lepas dengan jari. Selain itu, permeabilitas tanah liat sangat rendah (Terzaghi dan Peck, 1987).

2.3 Tanah Ekspansif

Lempung adalah tanah berukuran mikro sampai submikron yang diperoleh dari adanya komponen batuan. Tanah sangat keras dalam kondisi gersang, porositas aluvium sangat rendah, sehingga tanah bersifat fleksibel.

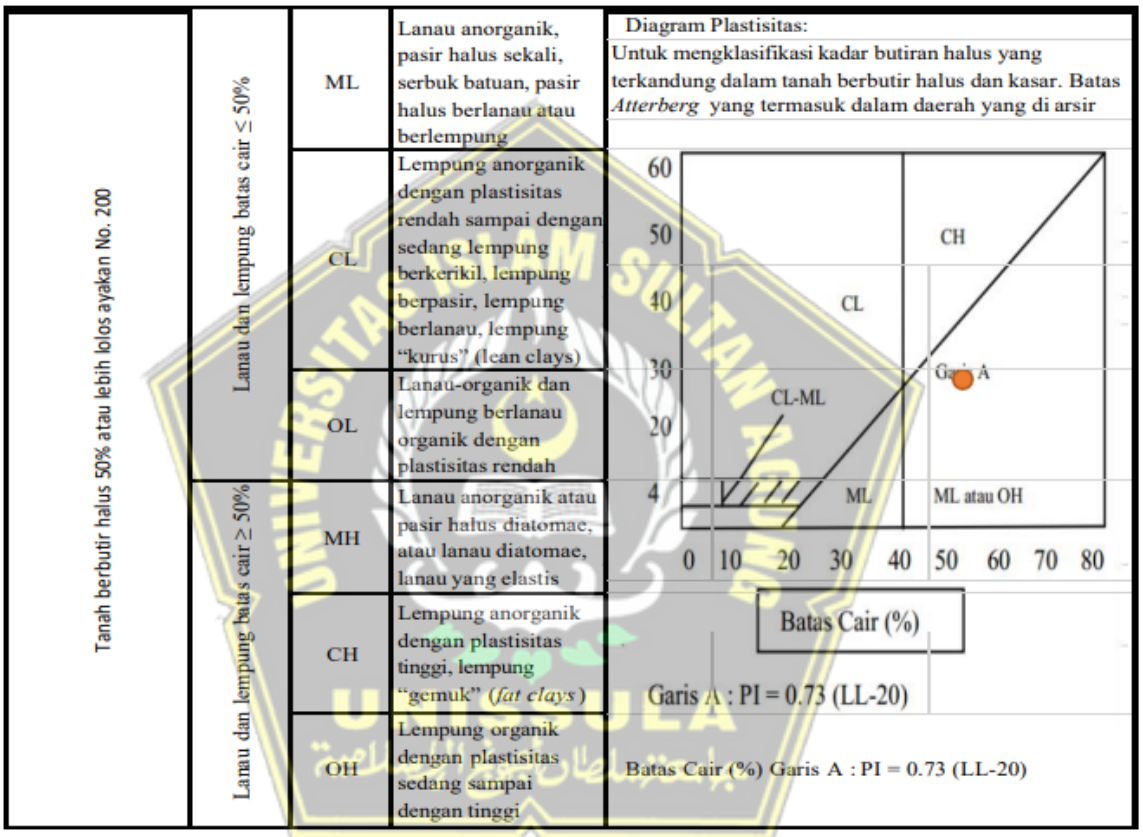
Tanah ekspansif merupakan tanah yang mempunyai ciri-ciri kembang susut yang besar akibat peristiwa kapiler atau perubahan jumlah kadar air (Munthohar, 2014).

Tanah ekspansif yaitu adalah tanah yang memiliki sifat pemuaian dan penyusutan yang tinggi. Ada 2 jenis pengembangan perbaikan tanah ekstensif, yaitu pengembangan pengembangan horizontal dan vertikal tertentu (Hardiyanto, 2014).

Secara keseluruhan mineral digolongkan menjadi 15 jenis lempung (Kerr, 1959). Antara La adalah *montmorillonit, illite, kaolinite dan polygorskite*. Dari golongan mineral tersebut, lempung mengembang dapat dibedakan menjadi lempung mengembang dan lempung non ekspansif. sifat yang menyusut secara signifikan sebagai respons terhadap perubahan kadar air, seperti pada kelompok montmorillonit. Kelompok ini membuat tanah liat tidak stabil dalam kontak dengan air.

Tanah dengan sifat-sifat terseut adalah tanah liat karena tanah liat

mengandung paritikel mineral yang memerikan tanah sifat plastis ila dicampur dengan air. Sifat pemuaian ini diseakan oleh silih ergantinya proses pemasahan dan pengeringan serta merupakan akiat dari peruahan sistem tanah yang mengganggu keseimangan tegangan dalam (Manopo 2013). Pada tanah uji kadar lempung mengemang erdasarkan nilai atas cair terdapat persentase 51,6% pada indeks plastistas 2757% sehingga klasifikasi penggunaan lahan yang seragam dapat disimpulkan ahwa tanah terseut tergolong ML atau OH.



Gambar 2.1 Klasifikasi Tanah Dari Sistem *USCS*

2.4 Bahan Penyususn Tanah

Bahan penyusun tanah bersifat heterogen dan heterogen. Ada 3 (tiga) bahan utama untuk pengomposan, yaitu :

1. Fase padat, yang berwujud material organik dan mineral.
2. Fase cair, yang berwujud air tanah.
3. Fase gas, yang berwujud udara tanah.

Tanah juga dapat dibagi menjadi 2 kelompok utama termasuk pelapukan (weathering) fisik dan kimia dan erasal dari ahan organik. Tanah sisa (residual)

terjadi apaila hasil proses pelapukan tetap pada posisi semula. Sedangkan earth to transport (transported soil) terjadi ketika umi ergerak dari tempat ini tanpa mempersoalkan pencipta gaya terseut.

Tanah *residual* dapat ditemukan di tempat beriklim sedang atau semi-kering. Tanah yang terjadi di zona ini iasanya keras dan stail dan tidak meluas ke agian tanah yang leih dalam. Namun jika terjadi di iklim yang lema hangat dan menerima cukup sinar matahari lapisan tanah *residual* bisa beberapa meter. Tanah *residual* dapat erupa tanah yang padat dan stail tetapi dapat juga mengandung ahan yang sangat mudah dimampatkan yang ditemukan di antara formasi atuan yang elum terlalu lapuk. Dengan demikian dalam kondisi seperti itu tanah dapat menyebabkan kesulitan terhadap pondasi dan pekerjaan konstruksi lainnya.

2.5 Klasifikasi Tanah

2.5.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem USCS (*Unified Soil Classification System*)

Klasifikasi ini dikembangkan oleh *Cassagrande* selama Perang Dunia II untuk *Unit Insinyur Amerika Serikat*. Pada tahun 1969, sistem ini diadopsi oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM) sebagai metode standart untuk klasifikasi tanah (ASTM D 2487).

Menurut sistem USCS, tanah diklasifikasikan menjadi tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. Tanah berbutir kasar dibagi menjadi kerikil, dicatat sebagai G (dari kata *gravel*), dan pasir (S = *Sands*). Setiap kelompok tanah dibagi menjadi empat kelompok, yaitu :

1. Kadar cukup baik dan cukup bersih, dengan berupa sedikit bahan berbutir halus, dengan nilai W (*well-graded*)
2. Kadar jelek dan kadar sedang, disimbolkan P (*poorly graded).*
3. Ukuran kadar lempung sedang untuk pengikat , lambang C (*clay*)
4. Tanah berbutir agak kasar mengandung tanah berbutir halus, lambang M (*silt*)

Tanah berbutir halus terbagi atas :

1. Tanah lanau organik (bebas organik) dan tanah berpasir berbutir begitu halus, lambang M (*silt*)
2. Tanah lempung anorganik, dilambang C (*clay*)
3. Tanah lanau dan lempung organic, dilambang O (*organic*)
4. Tanah dengan kandungan organik sangat tinggi kadar air, dilambangkan dengan Pt (*peat*) Ketiga kelompok tanah berbutir halus tersebut dibagi menjadi beberapa kelompok berdasarkan batas cairnya, yaitu:

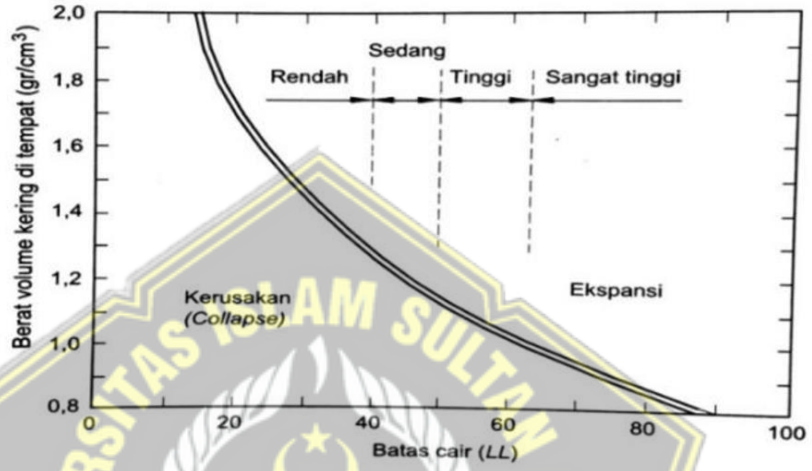
1. Batas cair < 50%, merupakan di tanah berbutir halus pada kompresibilitas rendah hingga sedang, dilambang L (*low compressibility*)
2. Batas cair > 50%, merupakan di tanah berbutir halus pada kompresibilitas tinggi, dilambang H (*high compressibility*)

Untuk mengidentifikasi kelompok tanah yang terkikis halus ini, *Casagrande* menggunakan plot plastistas seperti yang ditunjukkan pada gambar yang menunjukkan sistem penilaian USCS.

Dalam klasifikasi USCS ini, bagan daktilitas dibagi menjadi dua kelompok batas fluida, yakni: tinggi dan rendah (*high and low*) ; dalam standart Inggris (*British Standartd*) bagan daktilitas dibagi menjadi lima kelompok batas fluida, yaitu : *extremely high* (E), *very high* (V), *high* (H), *intermediate* (I), and *low* (L).

2.5.2 Klasifikasi Tanah berdasarkan Sistem Derajat Pengembangan Batas – batas Atterberg

Petunjuk kerusakan (*collapsibility*) struktur tanah, kemudah mampatan dan pengembangan didasarkan pada berat volume kering (γ_d) di tempat dan batas cair. Korelasi antara batas cair (LL) dan berat volume kering (γ_d) berdasarkan pengalaman *U.S Water* dan *Power Resources Service.*



Gambar 2.2 Petunjuk kerusakan (*collapsibility*) struktur tanah, kemudah mampatan dan pengembangan didasarkan pada berat volume kering (γ_d) di tempat dan batas cair (*Mitchell dan Gardner, 1975; Gibbs, 1969).*

2.5.3 Klasifikasi Tanah berdasarkan Sistem Korelasi Batas – batas Atterberg

Identifikasi lempung ekspansif dapat dilakukan dengan melakukan pengujuan langsung dengan Plastis Index (PI), didapatkan hubungan potensi pengembangan lempung dengan indeks plastistas (IP) pada SNI 03-6795-2002, di tunjukan pada **Tabel 2.1**

Tabel 2.1 hubungan potensi pengembangan dan (*PI*)

Tingkat Pengembangan	Batas Cair ---	Indeks Plastis ---	Uji Hisap Asli [Kn/M2]
Tinggi	> 60	> 35	> 4
Sedang	50 – 60	25 - 35	1,5 - 4
Rendah	< 50	< 25	< 1,5

(Sumber SNI 03-6795-2002)

2.6 Sifat Fisik Tanah

Fisika tanah adalah keadaan tanah pada keadaan semula yang dapat digunakan untuk menentukan jenis tanah.

2.6.1 Kadar Air

Adul Hakam 2010 menerangkan bahwa nilai kadar air begitu erguna agi praktisi untuk mengamil keputusan tentang keadaan yang ada. Nilai Kadar air merupakan kriteria untuk menentukan kekuatan dan sifat tanah, terutama tanah dengan erutis halus. Untuk menentukan kadar air dapat digunakan berapa metode, termasuk adalah *Over Drying Method*. Metode ini yaitu yang paling akurat yang dapat dijalankan di laboratorium. Dengan mengambil sample tanah dimasukkan ke dalam piring setelah itu dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105°C - 110°C selama 24 jam hingga tanah benar-benar kering. Temperatur di atas 110°C dapat merusak kristalisasi struktur paritikel lempung yang terikat secara kimia (IS: 2720 Part II-1969).

Kadar air (*w*) adalah perbandingan antara berat air yang dikandung tanah dengan berat kering tanah yang dinyatakan dalam bentuk persen. Kadar air (*w*) dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$w = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\% \quad \text{.....(2.2)}$$

Dengan : w = Kadar air yang dinyatakan dalam persen

W_1 = Berat cawan kosong.

W_2 = Berat cawan + berat tanah basah.

W_3 = Berat cawan + berat tanah kering.

2.6.2 Berat Jenis Tanah

Nilai berat spesifik dari paritikel tanah (bagian *solid*) sering dibutuhkan dalam berbagai perhitungan mekanika tanah (Braja M Das, 1995).

Berat butir adalah perbandingan massa jenis paritikel tanah dengan massa jenis air suling pada volume dan suhu yang sama. Berat jenis batubara dapat ditemukan dengan rumus berikut :

$$Gs = \frac{c-a}{HAP-(d-c)t2} \quad \text{..... (2.3)}$$

Dengan : Gs = Berat Jenis

a = Berat isi piknometer

c = Berat isi piknometer + sampel

d = Berat isi piknometer + aquadest + sampel

HAP = Harga air piknometer

t2 = Temperatur setelah ± 24 jam

2.6.3 Analisa Saringan

Perubahan berukuran paritikel pada tanah dinyatakan menjadi persentase berdasarkan total bahan kering. Ukuran paritikel tanah memilih sifat-sifat tanah. Ukuran paritikel yg terdapat pada pada tanah adalah dasar buat penamaan & pengklasifikasian tanah. Oleh karenanya uji analisis paritikel adalah uji yg paling tak jarang dilakukan.

Analisis ukuran paritikel tanah (*sieve analysis*) adalah penentuan persentase massa paritikel dalam suatu unit ayakan dengan ukuran diameter tertentu. Ada dua cara untuk mendistriusikan ukuran paritikel dalam tanah yaitu :

a. Analisa ayakan (*grain size*)

Tugas analisis ayakan adalah menentukan kandungan sampel tanah. Analisis saringan digunakan untuk ukuran paritikel tanah yang berdiameter lebih besar dari 0,075 mm.

Untuk mendistriusikan ukuran paritikel tanah yang ereda ini dilakukan dengan penyaringan. Massa tanah yang tersisa per ayakan ditimang kemudian dihitung persentase akumulasi massa tanah. Langkah-langkah perhitungan yang digunakan adalah seagai erikut: Untuk mendistriusikan ukuran paritikel tanah yang ereda dilakukan dengan penyaringan. Massa tanah yang tersisa per ayakan ditimbang kemudian dihitung persentase akumulasi massa tanah. Prosedur perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Berat sampel semula = A gram
   Berat sampel setelah dicuci = B gram
   Berat lumpur = berat sampel lolos saringan no. 200
   = A – B
2. Jumlah berat tanah yang tertinggal dalam saringan Ø 4,76 mm sampai Ø 0,075 mm = C gram
   Jadi kehilangan berat = (B – C) gram
3. Kadar lumpur dengan α = berat tanah yang tertinggal dalam alas saringan
4. Presentase tanah yang tertinggal
   $= \frac{\text{berat sempel yang tertinggal}}{\text{A}} \text{ x } 100\%$
5. Kumulatif persen tanah yang tertinggal
   = jumlah + presentase tanah diatasnya
6. Present Finer = (100% - kumulatif persen)

b. Analisa Hidrometer

Fungsi dari uji analisis hidrometer adalah menggunakan alat yang disebut hidrometer untuk menentukan ukuran paritikel tanah yang berdiameter kurang dari 0,075 mm

Uji analitik hidrometer ditentukan oleh pengendapan paritikel tanah atau dengan proses pengendapan. Metode ini didasarkan pada hukum Stokes tentang laju paritikel mengendap dalam suspensi dalam larutan. Rumus yang bisa digunakan :

$$\text{Presentase butiran N} = \frac{\text{Setelah Pembacaan}}{\text{Jumlah selisih pembacaan}} \text{ x Kadar lumpur} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.4)$$

Dengan : KL = nilai kadar lumpur (berat lumpur)
D = nilai diameter $(106.10^{-7}\ z/t)^{t/2}$
t = nilai waktu dalam detik
z = $24 - \alpha$ (0,2)
α = nilai banyaknya strip setiap pembacaan

2.6.4 Atterberg Limit

Plastistas tanah erutir halus sangat penting. Plastistas adalah kemampuan tanah untuk eradaptasi terhadap peruahan entuk pada volume yang konstan tanpa retak atau hancur. Plastistas ini diseakan oleh adanya paritikel mineral lempung di dalamnya.

Atterberg (1911) mengkategorikan tingkat plastistas tanah menjadi empat tingkatan berdasarkan nilai indeks plastistas 0% sampai 17%. Batas-batas ini ditunjukkan pada **Tabel 2.2** di bawah ini.

Tabel 2.2 Nilai indeks plastistas dan macam tanah

IP	Sifat	Macam Tanah
0	Non plastis	Pasir
< 7	Plastisitas rendah	Lanau
7-17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau
>17	Plastisitas tinggi	Lempung

(Sumber : Atterberg 1911, dalam Hardiyatmo, 1999)

Atterberg (1911), jelaskan cara menggamarkan atas kerapatan tanah erutir halus dengan memperhatikan kadar air tanah terseut. Batasnya adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*) dan batas susut (*shrinkage limit*).

a. Batas Cair (*liquid limit* - LL)

Kadar air dapat dinyatakan sebagai persentase (%) tanah yang diperlukan untuk menutupi goresan dalam jarak 0,5 inci (12,7 mm) di sepanjang bagian bawah sampel dalam mangkuk. ditentukan setelah 25 pukulan sebagai batas cair (*liquid limit*). Pada pengujian batas cair, beberapa percbaan dengan kadar air yang berbeda harus dilakukan untuk menyesuaikan tingkat kelembapan tanah pada 15 sampai 35 kali.

$$w = \frac{b-c}{c-a} x100\% \quad \text{.....(2.5)}$$

Dengan a = Nilai berat Cawan (gr)

b = Nilai bawan+Tanah Basah (gr)

c = Nilai bawan+Tanah kering (gr)

b. Batas Plastis (*plastic limit* – PL)

Batas plastistas berada di atas dan di bawah tingkat plastistas tanah. Batas plastistas didefinisikan sebagai kadar air dalam persen (%). Uji plastistas dapat dilakukan dengan menggelindingkan contoh tanah sampai diameter 18 inci (32 mm) sampai terjadi keretakan.

c. Batas Susut (*shringkage limit* – SL)

Kadar air dinyatakan seagai persentase (%) di mana peruahan volume dari massa tanah erhenti didefinisikan seagai atas susut *(shringkage limit)*. Uji atas susut dilakukan dengan menggunakan alat erentuk mangkuk porselen dengan ukuran diameter 175 inci (44,4 mm) dan tinggi 05 inci (127 mm). Volume sampel tanah kering ditentukan dengan menggunakan air raksa.

***d.* Indeks Plastis (*plasticity index* – PI)**

Indeks plastistas adalah selisih antara puncak cair dan puncak plastistas tanah, atau PI – LL – PL. Indeks plastistas digunakan untuk menentukan plastistas tanah. Tanah dengan anyak paritikel lempung adalah tanah dengan PI tinggi. Di sisi lain PI rendah disimpan oleh tanah humus dengan kadar air yang sedikit erkurang menyeakan tanah mengering.

IP = LL – PL ……..(2.6)

Dengan IP = Indeks Plastis

LL= *liquid limit*

PL = *plastic limit*

2.6.5 CBR (*California Bearing Ratio*)

Yang dimaksud dengan CBR adalah perandingan ean uji *(loading test)* dengan dengan standart *(standartd load)* dan ditulis dalam persentase. Pada rumus : CBR = *test load / standartd load* x 100% Tujuan dari

pengujian ini adalah dapat mengevaluasi kekuatan tanah yang dipadatkan Secara laoratorium yg akan dipakai pada perencanaan teal perkerasan jalan. Hasil pengujian dinyatakan menjadi nilai CBR (pada %) yg akan dipakai buat memilih tebal perkerasan jalan. Untuk memilih tebal perkerasan secara umum, tahanan sublapisan umumnya dinyatakan menggunakan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dimana nilai CBR adalah perbandingan tahanan menurut subfloor atau material lain yg dipakai buat konstruksi perkerasan jalan dalam nilai CBR yg diperoleh menurut percbaan yg baik, buat model tanah asli (*undisturbed sample*) dan model tanah yg dipadatkan (*compacted sample*). Pengujian CBR pula mampu dilakukan eksklusif pada lapangan. Saat merencanakan jalur aliran, ketebalan perkerasan umumnya dipengaruhi menurut nilai CBR substrat yg dipadatkan. Nilai CBR yg dipakai buat perencanaan diklaim menggunakan desain CBR (*CBR design* Desain CBR yg diperoleh menurut percbaan laboratorium memperhitungkan 2 faktor, yaitu :

a. Kadar air tanah dan berat volume kering pada saat dipadatkan.
b. Percbaan pada kadar air yang erjadi setelah perkerasan selesai Melakukannya. Kadar air sampel tanah yang diuji mendekati kadar air optimal (toleransi ± 5%).

2.7 Sifat Mekanik Tanah

Sifat mekanik tanah adalah sifat-sifat tanah pada kondisi beban dan digunakan sebagai parameter dalam desain pondasi.

2.7.1 Pemadatan Tanah

Pemadatan tanah adalah proses memadatkan tanah dengan cara mengompresinya secara mekanis, sehingga menghasilkan kepadatan paritikel tanah yang lebih tinggi dan paritikel udara yang lebih sedikit yang mengisi rongga massa tanah. Kepadatan tanah diukur sebagai kerapatan volume kering terkompresi. Kapasitas retensi air dari tanah yang dipadatkan bertindak sebagai faktor pembasah atau pelumas untuk paritikel tanah. Hal ini memungkinkan paritikel tanah untuk bergerak lebih mudah dan bergesekan satu sama lain, menghasilkan posisi yang

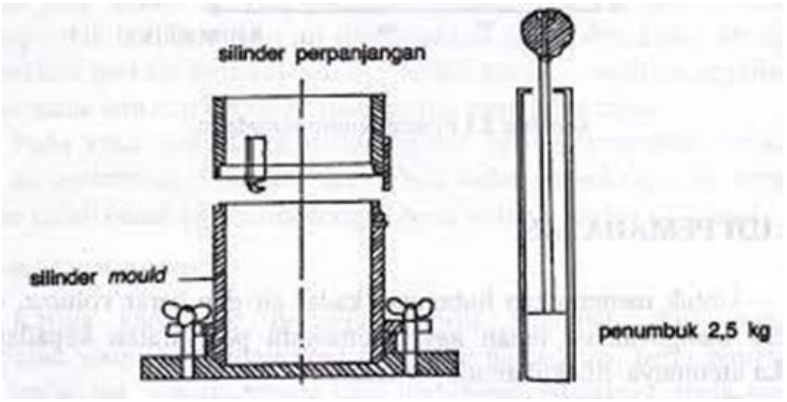
lebih rapat. Menurut Hardiyatmo, 2002, ada empat tujuan pemadatan tanah, yaitu :

1. Meningkatkan kuat geser tanah
2. Menurunkan sifat mudah mampat (komprebilitas)
3. Menurunkan permeabilitas
4. Menurunkan perubahan volume karena perubahan kadar air, dll. Dalam proses pemadatan tanah, ada empat faktor yang mempengaruhi pengendalian pemadatan, menurut (Hardiyatmo, 2002):

1. Energi pemadatan (*compaction effort*)
2. Tipe tanah dan gradasi
3. Kadar air
4. Unit berat kering (*dry unit weight*)

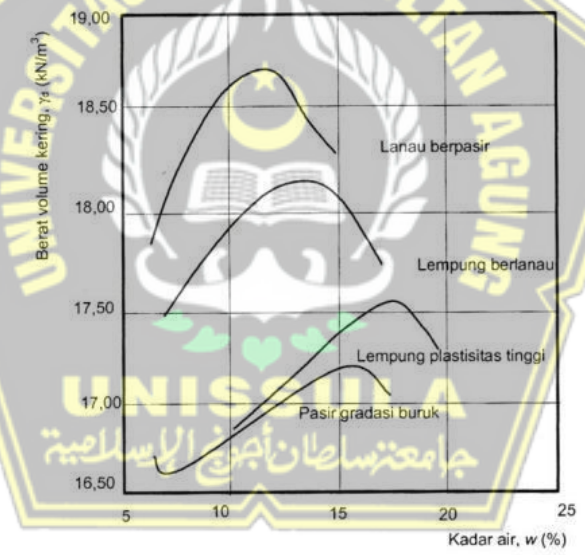
Kepadatan tanah bisa didapatkan dari uji laboratorium standart, khususnya uji pengawas. Tes proctored dikategorikan menjadi 2 kategori, yaitu *standartd proctor* dan *modified proctor*.

Alat yang digunakan adalah cetakan erentuk silinder. Dalam uji Proctor standart sampel tanah dimasukkan ke dalam cetakan yang dipadatkan dengan kepalan tangan seerat 25 kg dan dikurangi tingginya seesar 305 cm. Contoh pemadatan tanah diagi menjadi 3 lapisan. Setiap lapisan tanah ditumuk 25 kali. Selain itu pada pengujian proctor revisi cetakan yang diperlukan tetap sama cuma berat kepalan tangan yang diuah menjadi 4,54 kg dan tinggi kepalan tangan yang dijatuhkan adalah 45,72 cm. Dalam uji ini lantai diagi menjadi 5 lapisan pada masing-masing 25 pukulan. Alat-alat yang digunakan pada uji proctor dapat dilihat pada **Gambar 2.1** di bawah ini.



Gambar 2.3 Alat pengujian *proctor modified (*Hardiyatmo, 2002)

Pada uji pemadatan tanah, pengujian diulang minimal 5 kali setiap kali dengan kadar air yang berbeda. Data yang diperoleh diplot terhadap hubungan antara kadar air dan berat jenis kering. Angka ini ditunjukkan pada **Gambar 2.4** di bawah ini.



Gambar 2.4 Grafik hubungan kadar air dan berat volume kering **(**Hardiyatmo, 2002)

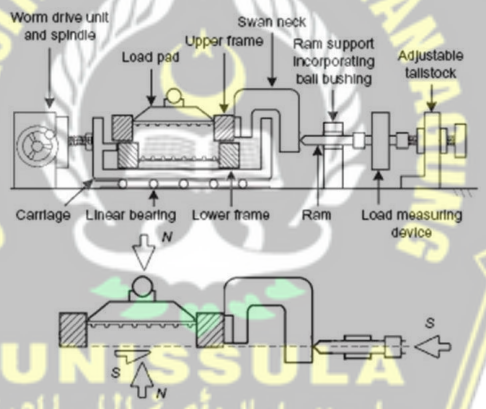
2.7.2 Kuat Geser Tanah

Uji geser tanah adalah pengujian untuk mengetahui secara langsung besarnya kuat geser tanah. Contoh tanah yang dapat digunakan untuk pengujian ini adalah tanah yang tidak terlalu padat yaitu contoh tanah lunak yang mengandung liat. Perhatian dan kehati-hatian yang tinggi harus dilakukan dengan pengambilan sampel, penyimpanan sampel, dan

penanganan pra-tes. Perhatian khusus sampel utuh (*undisturbed),* yang perlu mempertahankan struktur tanah dan kadar air lokasi (*Craig, 1991*).

Sebuah pengujian geser tanah yang lebih umum adalah uji geser langsung (*direct shear*). Uji *direct shear* dilakukan dengan menempatkan contoh tanah didalam kotak logam dengan penampang persegi atau lingkaran. Kotak tersebut dibagi menjadi dua bagian yang sama dengan tinggi kotak. Di atas dan di bawah contoh tanah diletakkan piringan logam. Sebuah beban gaya vertikal (N) kemudian diterapkan pada pelat secara bertahap. Ini menciptakan tegangan geser dengan menciptakan defleksi antara dua bagian kotak.

Gaya geser (T) diukur dengan perpindahan geser (ΔI). Pada pengujian *direct shear* digunakan beberapa contoh tanah dan beban yang berbeda. Pengujian tanah geser langsung ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.5 Alur uji *direct shear*

(Sumber : http://slideplayer.info/slide/2815000/)

2.8 Stabilitas Tanah Menggunakan *Fly Ash*

2.8.1 *Fly Ash* sebagai Bahan untuk Stabilitas

Pembakaran batubara di PLTU membuat berupa limbah cair dan padat. *Fly ash* dan *bottom ash* yaitu limbah padat dari pembakaran batubara. Limbah cair antara lain (*oily drain, aux drain, boiler cleaning, ash disposal area, coal pile storage area, boiler blowdown, FGD blow down*) Menurut ASTM C618 *fly ash* Dibagi menjadi 2 kelas, yaitu *fly ash* kelas F dan *fly ash* kelas C. Perbedaan utama antara kedua jenis *fly ash*

adalah jumlah kalsium, silika, aluiminium dan besi yang ada di dalam *fly ash.*

a. *Fly ash* kelas F adalah *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batubara *antrasit* atau *bituminus*, yang memiliki sifat *pozzolan* dan untuk mendapatkan sifat *cementitious* perlu ditambahkan *quicklime, hydrated lime*, atau semen. *Fly ash* kelas F memiliki kadar kapur yang rendah (CaO < 10%).

b. *Fly ash* kelas C adalah *fly ash* yang dihasilkan dari pembakaran batubara *lignit* atau *bituminous* dengan sifat *pozzolanic* dan *self cementing* (kemampuan untuk mengeras dan meningkatkan kekuatan bila direaksikan dengan air tanpa penambahan kapur). *Fly ash* kelas C biasanya memiliki kandungan kapur (CaO) > 10%. Keuntungan penggunaan fly ash dalam aplikasi *Geotechnical Engineering*, seperti *soil improvement* untuk konstruksi jalan dari sudut pandang ekonomi, lingkungan, dan mengurangi *shrinkage-cracking* penggunaan semen sebagai bahan penstabil. Salah satu langkah lingkungan yang dapat diterapkan adalah penilaian limbah *fly ash* untuk digunakan sebagai bahan konstruksi untuk pekerjaan sipil. Namun pemanfaatan limbah *fly ash* tersebut belum maksimal.

UNISSULA

BAB III

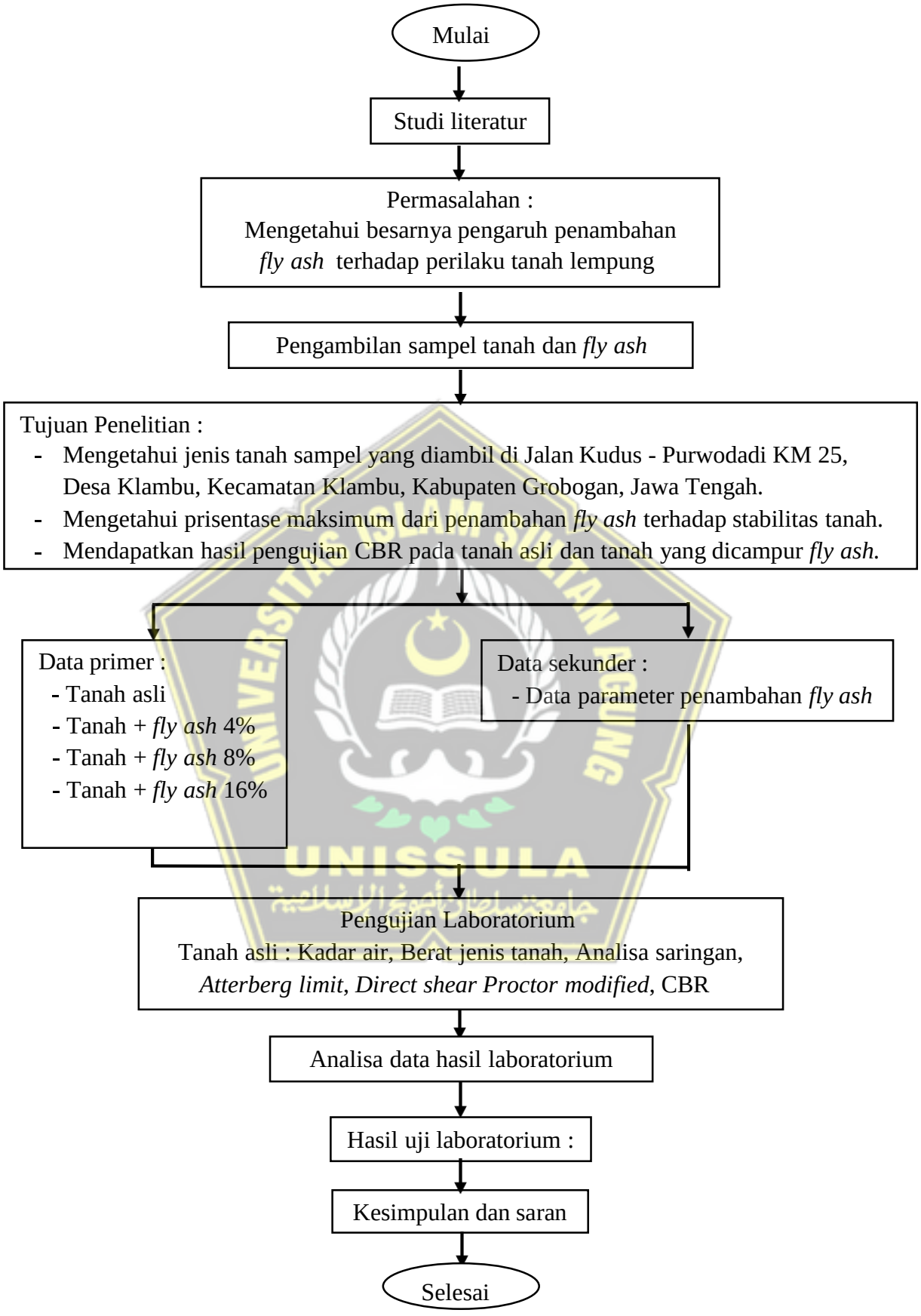
METODE PENELITIAN

3.1 Pengertian Umum

Metodologi adalah langkah yang harus ditempuh peneliti untuk mengumpulkan informasi atau data dan melakukan survei terhadap data yang diperoleh. Metode survei memberikan gambaran umum tentang desain survei. Ini mencakup langkah dan langkah yang perlu dilakukan, panjang survei, sumber data, dan langkah pengumpulan data yang diproses, dikelola, dan dianalisis.

Pada Tugas Akhir ini akan digunakan sampel tanah dari Jalan Kudus Purwodadi KM 25 di Desa Klamb, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah untuk menguji sifat-sifat lempung tersebut dengan penambahan *fly ash*. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk perbaikan tanah atau stabilisasi tanah dengan menggunakan aditif *fly ash* untuk meningkatkan daya dukung tanah.

Bagan alur metodologi dari awal hingga akhir tugas akhir ini dalam **Gambar 3.1** berikut ini.



Gambar 3.1 Bagan alur tahapan penelitia

3.2 Studi Literatur

Studi literatur atau tinjauan pustaka yang diambil dari berbagai jurnal, panduan, konferensi, pedoman peraturan, dan bahan bacaan lainnya adalah sumber referensi untuk alasan dan parameter yang digunakan. Pembangunan jalan sedang dibangun.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik perolehan data yang digunakan terbagi menjadi dua kategori: data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh melalui observasi, uji laboratorium, dan wawancara tatap muka dengan pemangku kepentingan. Data utama yang digunakan ditunjukkan pada **Tabel 3.1**. Data sekunder diperoleh dengan mempelajari informasi ilmiah dalam jurnal dan literatur tentang peningkatan daya dukung tanah liat dengan *menambahkan fly ash.*

Tabel 3.1 Daftar sampel campuran tanah alami dan campuran *fly ash.*

Jenis Data	Sumber Data	Tipe Analisis	Kegunaan
Data primer	Pengujian di laboratorium	Kadar air	Tentukan kadar air awal tanah asli dan tanah campuran *fly ash* masing-masing sebesar 4%, 8%, 16%.
		Berat jenis	Tentukan berat jenis tanah masing-masing untuk tanah asli dan campuran fly ash 4%, 8%, 16%,
		Analisa saringan	Analisis tingkat butir untuk lantai asli.
		Atterberg limit	Penentuan kepadatan tanah berdasarkan kadar air tanah alami dan tanah campuran fly ash *fly ash* masing–masing 4%, 8%, 16%,

Berdasarkan **Tabel 3.1** pembahasan aturan tipe analisis bisa dilihat seperti berikut ini.

3.4 Bahan Penelitian

3.4.1 Tanah

Sampel tanah yang digunakan sebagai bahan survei adalah tanah yang dikumpulkan di sekitar Jalan Kudus Purwodadi KM25 Desa Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah.

3.4.2 Air

Penggunaan air untuk penelitian diperoleh dari Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

3.4.3 Fly Ash

Fly ash untuk bahan penelitian stabilisasi tanah adalah *fly ash* yang dikumpulkan dengan *fly ash* kelas F. *Fly ash* yang digunakan dalam uji laboratorium harus lolos 4.

3.5 Lokasi Penelitian

Pengujian dilaksanakan pada Laboratorium Geoteknik Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

3.6 Persiapan Alat dan Prosedur Penelitian

3.6.1 Kadar Air

Uji kadar air adalah persentase berat air tanah terhadap berat tanah kering yang dinyatakan dalam persentase.

Alat yang digunakan dalam praktikum ini :

1. Cawan
2. Neraca analitis dan anak timbangan
3. Pengovenan pada temperatur 105^0-110^0 C

Prosedur untuk melakukan pengujian kadar air seperti dibawah :

1. Timbang wadah aluiminium, misalnya = satu gram.
2. Pengambilan benda uji dengan jumlah yang cukup, tempatkan di piring dan timbang. Berat cawan berisi contoh tanah basah = b gram.
3. Dimasukkan ke dalam oven selama 2 jam
4. Setelah pengumpulan selesai, dimasukkan ke dalam exicator

5. Bila suhu dingin atau konstan, sampel ditimbang, misal = c gram.
6. Maka kadar air $= \frac{b-c}{c-a} x100\%$

3.6.2 Berat Jenis Tanah

specific gravity (Gs) atau uji berat jenis adalah perbandingan berat tanah tertentu dengan berat air pada suhu tertentu dan volume yang sama.

Alat yang digunakan dalam kursus ini:

1. Neraca analitis beserta anak timbanga
2. Piknometer (piknometer dapat dilihat pada **Gambar 3.2**)
3. Aquadest
4. Pemanas
5. Termometer

Gambar 3.2 Benda uji Piknometer

Prosedur untuk melakukan uji kepadatan tanah adalah sebagai berikut.

a. tentukan nilai air piknometer :
   1. Timbang piknometer kosong, misal = 1 gram.
   2. Piknometer diisi dengan aquades sampai penuh kemudian ditimbang, misal = b gram..
   3. Suhu manometer diukur dengan termometer, misalnya : T_1 ^{0}C.

      Harga air pada piknometer = (b - c) t_1; dimana t_1 = dikoreksi T_1

b. Mencari *specific gravity* (Gs) :

1. Ambil bahan yang akan diuji, lalu masukkan ke piknometer yang kering dan bersih di atas dan timbang, misalnya = c gram (massa sampel = 2025 gram).
2. Piknometer dan benda uji diberi aquades sampai tepat di bawah leher Piknometer, kemudian dikocok sampai gelembung didalam pikno hilang, kemudian didiamkan selama ± 24 jam.
3. Setelah ± 24 jam, Piknometer diisi dengan aquades sampai penuh lalu diukur beratnya, misal = d gram.
4. Kemudian suhu dicek menggunakan termometer, misal = T_2 ^{0}C Koreksi suhu dapat dipantau pada tabel, misal = t_2. Maka *specific gravity* (Gs) dapa ditemukan melalui persamaan :

$$\text{Gs} = \frac{c - a}{HAP - (d - c)t2}$$

3.6.3 Analisa Saringan

a. Grain size

Pengujian ini dimaksudkan untuk klasifikasi tanahatau untuk menentukan ukuran butir tanah.

Alat yang digunakan dalam praktikum ini :

1. Urutan saringan (Ø 4,76 mm s/d Ø 0,074 mm)
2. *Vibrator*
3. Neraca analitik beserta anak timbangan
4. Wadah
5. Pemanas

Prosedur yang harus dilakukan untuk *grain size* adalah sebagai berikut :

1. Ambil sampel tanah kering secukupnya dan ditimbang, misal = a gram
2. Sampel ditempatkan dalam cawan besar, disiram dan direndam selama ± 24.
3. Kemudian cuci dalam saringan dengan diameter 0,07 mm (no. 200) dan lumpur ditempatkan dalam wadah terpisah.
4. Sampel yang telah dihilangkan keraknya tadi dioven kemudian ditimbang, misal = b gram.

5. Siapkan susunan filter pada vibrator dengan diameter filter semakin mengecil seperti terlihat pada **gambar 3.3**.
6. Sampel yang telah ditimbang ditempatkan pada ayakan atas kemudian dikocok selama ± 5 menit.
7. Setiap sampel yang tersisa pada saringan ditempatkan dalam cawan aluiminium dan ditimbang.

Perhitungan dan metode penggambaran grafik.

1. Berat sampel awal = a gram.
   Berat sampel setelah dicuci = b gram.
   Berat lumpur = berat samole yang lolos dari saringan no. 200
   = a – b gram.
2. Jumlah berat tanah yang tertinggal dalam saringan Ø 4,76 mm s/d Ø 0,074 mm = c gram.
   Kehilangan berat = (b – c) gram
3. Kadar lumpur = $\frac{(a-b)+\alpha}{a} x\ 100\%$
4. Dengan α = berat tanah tertinggal dialas saringan.
5. Persentase tanah yang teringgal :
   $\frac{\text{Berat tanah yang tertinggal}}{A} \text{x} 100\ \%$
6. Komulatif persen tanah yang tertinggal = Jumlah – prosentase tanah diatasnya.
7. *Present finer* = (100% – kumulatif persen).
8. Grafik dapat diplot dalam sebuah tabel, dengan diameter ayakan per absis dan persentase yang lebih halus per ayakan.

Gambar 3.3 Penyusunan saringan dan *vibrator*

b. *Hydrometer analysis*:

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui sebaran butiran tanah melalui saringan berdiameter 0,075 mm (no.200) dengan menggunakan hidrometer.

Alat yang digunakan dalam kursus ini adalah :

1. Hidrometer pada **Gambar 3.4**
2. Gelas ukur 1000 cc
3. Cawan porselin dan penumbuk
4. *Stopwatch*
5. Pemanas

Gambar 3.4 Gelas ukur dan hidrometer

Prosedur untuk melakukan uji hidrometer adalah sebagai berikut.

1. Tanah diayak melalui saringan berdiameter 0,074 mm (no.200) dikeringkan dalam oven ±24 jam kemudian ditimbang
2. Sampel direndam dalam botol selama ± 24 jam.
3. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam gelas ukur dan ditambahkan air sebanyak 1000 cc.
4. Kocok gelas ukur sampai sampel dan air tercampur dengan baik.
5. Pasang hidrometer ke kaca, saat *stopwatch* menyala. Pembacaan 0 detik diambil ketika hidrometer stabil.
6. Pembacaan dilakukan pada ke 0, ½ , ¼ , 1, 2, 5 menit dst.

Keterangan :

Jika air pada hidrometer turun seiring bertambahnya waktu, maka semakin banyak lumpur yang mengendap. Pada pembacaan rentang hidrometer, terkadang ada tikungan di air pada hidrometer yang menghalangi bacaan. Jika menemui permasalahan seperti ini, 15detik sebelum melakukan pembacaan, ketuk gelas ukur dengan lembut supaya kelengkungan air didalam hidrometer berkurang serta pembacaan bisa terbaca. Jika masih ada kelengkungan air, kita ambil bacaan antara bidang atas dan bidang datar.

Rumus :

$$\text{Presentase butiran, } N = \frac{Selisih\ pembacaan}{Jumlah\ selisih\ pembacaan} \text{x Kadar lumpur}$$

Dimana :

KL = nilai kadar lumpur (berat lumpur)

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

Dimana :

t = waktu (detik)

z = 24 – α (0,2)

α = banyak strip setiap pembacaan

3.6.4 Atterberg Limit

a. *Liquid limit* (batas cair)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kadar air tanah yang ada di batas antara keadaan cair dan plastis.

Alat yang digunakan dalam kursus ini:

1. Cassagrande dengan coletnya yang terdapat dalam **Gambar 3.5**.
2. Ayakan no. 40 (mm)
3. Wadah
4. Mangkok atau cawan besar
5. Neraca analitik
6. Pemanas
7. Exicator (alat pendingin)

Gambar 3.5 Peralatan Cassagrande

Tata cara pelaksanaan Uji batas cair seperti pada uraian dibawah.

1. Ambil contoh tanah secukupnya, kemudian dimasukkan ke dalam oven ±24 jam. Kemudian, sampel tanah dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan saringan no.40 (Ø 0,425 mm).
2. Ambil sebagian sampel, lalu campur dengan air dalam mangkuk.
3. Aduk dengan colet hingga rata.
4. Setelah tercampur rata, masukkan sampel ke dalam nampan sampel yang telah disesuaikan dengan ketinggian tetesan ± 1 cm
5. Sampel ditempatkan pada nampan yang diratakan, kemudian bagian tengahnya dialasi dengan collar sampai terpisah. potongan

menjadi dua.

6. Engkol berputar pada kira-kira dua putaran tiap detik.
7. Pemutaran berhenti setelah tanah terisi sekitar 2 cm.
8. Percbaan ini dilakukan sebanyak 4 kali dengan tingkat biota air yang berbeda dan diperkirakan sampel tanah akan mencakup panjang 2 cm di bawah 25 keran (2 sampel) dan lebih dari 25 keran (2 sampel).

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

Berikut adalah cara memplot percbaan batas cair :

1. Dari hasil di atas, kami menggambar grafik dengan sumbu x yang mewakili jumlah bentang dan sumbu y yang mewakili persentase kadar air.
2. Keempat titik akar dihubungkan oleh sebuah garis lurus yang memotong sumbu vertikal pada ketukan ke-25.
3. Perpotongan garis 25 dan garis digambar secara mendatar dan tentukan persentase kadar air.
4. Nilai kadar air adalah batas cair tanah.

b. *Plastic limit* (batas plastis)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui batas plastis tanah. Ini adalah kadar air minimum dari sampel tanah, ketika tanah dalam keadaan plastis.

Alat yang digunakan dalam kursus ini :

1. Saringan no. 40 (mm)
2. Mangkok dan colet
3. Cawan
4. Lempeng kaca
5. Neraca analitis
6. Oven
   Exicator (alat pendingin)

Prosedur untuk melakukan uji batas plastis ini adalah sebagai berikut:

1. Ambil contoh tanah secukupnya dan panggang selama ±24 jam. Kemudian sampel tanah dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan no.40 (Ø 0,425 mm).
2. Beberapa sampel tanah diambil dan ditempatkan dalam mangkuk dan ditambahkan *Aquadest*, kemudian diaduk hingga rata.
3. Setelah tercampur, sampel dipelintir di atas cawan kaca hingga membentuk lingkaran panjang sampai putus dengan diameter ±3 mm.
4. Jika telah mencapai batas, sampel tanah diambil dan ditimbang terus menerus dari 5 gram sampai 10 gram untuk mengetahui kadar airnya.

c. *Shrinkage limit* (batas Susut)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui susut linier tanah. Ini adalah kadar air minimum dari sampel tanah, ketika tanah dalam keadaan plastis.

Alat yang digunakan dalam kursus ini :

1. Saringan no. 40 (mm)
2. Mangkok dan colet
3. Cawan
4. Lempengan kaca
5. Neraca analitik
6. Oven
7. Raksa

Prosedur untuk melakukan uji batas plastis ini adalah sebagai berikut:

1. Ambil contoh tanah secukupnya dan panggang selama ± 24 jam. Kemudian sampel tanah dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan no.40 (Ø 0,425 mm).
2. Beberapa sampel tanah diambil dan ditempatkan dalam mangkuk dan ditambahkan Aquadest, kemudian diaduk hingga rata.
3. Setelah sampel tercampur rata, masukkan cetakan ke dalam gelas

kimia dan kocok dengan spatula.

4. Setelah sampel dimasukkan ke dalam cawan, sampel akan dipanggang selama ± 24 jam.
5. Setelah ±24 jam, cawan sampel dikeluarkan dari oven dan diseimbangkan dengan neraca analitik,
6. Mangkuk kecil kemudian diisi dengan air raksa hingga pinggirannya dan ditempatkan dalam mangkuk yang lebih besar.
7. Sampel ditempatkan dalam mangkuk kecil berisi air raksa sampai merkuri menyebar dari mangkuk kecil ke mangkuk besar.
8. Selanjutnya air raksa dituangkan ke dalam wadah yang telah ditimbang, kemudian wadah tersebut ditimbang dan air raksa dibelokkan untuk mencari volatilitasnya.

3.6.5 Direct Shear

Uji geser langsung dimaksudkan untuk menentukan secara langsung kekuatan geser tanah.

Alat yang digunakan dalam kursus ini :

1. Penguji *direct shear test* yang ditunjukkan pada **Gambar 3.6**.
2. Timbangan dan timbangan atau timbangan
3. Pisau atau alat pemotong dan cincin pencetak

Gambar 3.6 Peralatan *direct shear test*

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 (normal) diterapkan untuk mendapatkan tegangan normal (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 untuk mendapatkan tegangan geser (σ_s).
5. Ketika situasi telah berubah, jarum disimpan ke posisi jarum tertinggi. Sekarang juga.
6. Percbaan dilakukan tiga kali pada masing-masing sampel tanah dengan beban 8 kg, 16 kg dan 24 kg. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan tegangan yang berbeda, sehingga hasilnya dapat diplot pada grafik.

Cara menghitung tegangan normal (σ_n) dan Tegangan Geser (σ_s) adalah sebagai berikut.

1. Tegangan Normal (σ_n)

   Tegangan normal adalah perbandingan antara beban normal (P) dengan luas penampang benda uji (F) - $\sigma_n = \frac{P}{F}$
2. Tegangan Geser (σ_s)

   Tegangan geser diperoleh dari perbandingan nomor indikasi dial dikalikan dengan nomor kalibrasi dibagi dengan luas permukaan benda uji (F) - $\sigma_s = \frac{\text{Gaya Geser}}{F}$

Perhitungan dan metode representasi untuk mendapatkan c (kohesi) dan Ø (sudut geser dalam tanah) adalah sebagai berikut.

1. Gambar yang diperoleh dari percbaan dijelaskan dalam tempat koordinat. Tekanan adalah tegangan normal (σ_n) dan koordinatnya adalah tegangan geser (σ_s).
2. Untuk mencari kohesi (c) diukur jarak untuk titik potong tiap garis lurus atau grafik terhadap sumbu ordinat ke titik pusat. Dalam pengukuran ini, hasilnya dikalikan dengan sekala yang digunakan.
3. Untuk mencari sudut geser dalam tanah (Ø) ukur sudut di mana garis

horizontal memotong garis pada grafik.

3.6.6 Proctor Modified

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kadar air yang diperlukan untuk pemadatan tanah (W_{opt}), berat volume basah maksimum (γ_d), berat volume kering maksimum (γ_d), dan presentase pori atau *porosity*.

Alat-alat yang digunakan pada praktikum ini :

1. Perangkat proktor beserta penumbuknya seperti pada **Gambar 3.7.**
2. Jangka sorong
3. Pisau perata
4. Timbangan berat
5. Neraca analitis dan anak timbangan
6. Cawan
7. Oven
8. Gelas ukur
9. Saringan no. 4 (Ø 4,76 mm)

Gambar 3.7 Peralatan *proctor modified*

Prosedur untuk melakukan uji *proctor modified* adalah sebagai berikut:

1. Tanah yang akan diuji dikeringkan terlebih dahulu sebelum pengujian pemantauan dilakukan.
2. Alat pemantau dilepas dan setiap alat ditimbang dan diukur diameter dan tingginya. Demikian juga, tinjunya diukur dalam ukuran dan berat.
3. Ambil contoh tanah kering dan saring dengan saringan no. 4 (Ø 4,76

mm), kemudian bagi tanah menjadi 6 bagian, masing-masing 2kg.

4. Ambil satu bagian sampel, lalu campurkan dengan air sampai tercampur rata, lalu bagi menjadi 3 bagian yang sama.
5. Setiap elemen dimasukkan ke dalam detektor dan dipukul 25 kali. Lanjutkan pada bagian 2 dan 3.
6. Ring atas atau bagian atas perlahan-lahan dilepas dan diratakan dalam tabung dengan pisau perata, kemudian tanah dan probe ditimbang.
7. Ambil sedikit tanah di dalam tabung (atas dan bawah tabung) untuk mencari kadar airnya.
8. Percbaan diulangi lagi untuk contoh tanah berikutnya dengan cara yang sama dan dengan jumlah air yang bervariasi ditambahkan sampai batas maksimum (yang akan menghasilkan berat maksimum).
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 digambar dengan absis kadar air (w) dan kordinatnya (γb, γd, ZAV).

3.6.7 CBR (California Bearing Ratio)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui daya dukung tanah pondasi pada perencanaan lapis perkerasan lentur.

Alat yang digunakan dalam kursus ini :

1. Mesin CBR pada **Gambar 3.8.**
2. CBR mold
3. Ring pemisah
4. Penumbuk modified
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

Gambar 3.8 Mesin pengujian CBR

Prosedur untuk melakukan uji *proctor modified* adalah sebagai berikut:

1. Keringkan tanah sesuai jumlah sampel yang dibutuhkan di bawah panas matahari sampai kering.
2. Bagilah tanah menjadi 5 bagian dengan berat masing-masing
3. kg, masing-masing bagian 5 bagian dengan berat 3,8 kg, 5 bagian dengan berat masing-masing 3,6 kg. Sebelumnya, tanah disaring melalui saringan no. 4 Ø 4,76 mm
4. Untuk sampel yang dicampur dengan bahan yang distabilkan, diamkan selama 24 jam setelah pencampuran menyeluruh dan tutup rapat.
5. Massa dasar dan bawah silinder keseimbangan. Volume silinder ditentukan dengan mengukur tinggi dan diameter alat.
6. Berat alu ditimbang dan tinggi benda yang jatuh diukur.
7. Ambil masing-masing contoh tanah dan aduk dengan air yang telah ditentukan sampai homogen. Campuran tersebut dibagi menjadi 5 bagian.

8. Tanah yang dihomogenkan terdistribusi secara merata. Jadi ada 5 buah bumi dan masing-masing bagian ditumbuk 56 kali sama rata.
9. Cincin bagian atas dilepas perlahan-lahan kemudian diratakan, setelah itu ditimbang.
10. Letakkan panci timbang di atas permukaan benda yang akan diuji, kemudian atur pendorong untuk menembus permukaan benda yang diuji, sehingga alat pengukur beban menunjukkan beban awal sebesar 45 kg. 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 nol.
12. Pembebanan dilakukan dengan memutar engkol secara konstan dan otomatis dengan kecepatan 1,27 mm/menit, sehingga torak turun secara konstan
13. Pembacaan arloji pembebanan dilakukan pada menit ke $^1/_4$, $^1/_2$, 1, $1^1/_2$, 2, 3, 4, 6, dan menit ke- 8
14. Percbaan diatas adalah percbaan *unsoaked*, untuk percbaan *soaked* rendam tanah selama 4 hari lalu ulangi percbaan CBR.
15. Setelah membaca, lepaskan benda uji dan lepaskan sisi atas dan bawah untuk memeriksa kelembapan.

3.7 Metode Analisis Data

Dalam metode analisis data secara cermat dengan tujuan agar masalah dapat ditangani dengan baik dan tepat. Semakin sulit masalah yang dihadapi, semakin kompleks analisisnya. Untuk analisis yang baik, diperlukan data atau informasi dan teori tentang konsep-konsep yang mendasarinya.

Analisis stabilitas lempung dengan penambahan *fly ash* berdasarkan data hasil laboratorium. Data dari latihan ini digunakan untuk melengkapi data yang ada tentang parameter tanah

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini adalah pengaruh penambahan *fly ash* terhadap stabilisasi tanah. Tanah yang dijadikan sampel berasal dari Jalan Kudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah. Metode penelitian yang digunakan Tugas Akhir ini berdasarkan data yang diperoleh dari uji di Laboratorium Geoteknik Fakultas Teknik UNISSULA. Dari data tersebut dapat diketahui sifat-sifat tanah yang kami jadikan sampel pada penelitian ini beserta pengaruh yang ditimbulkan oleh penambahan *fly ash.* Kemudian data tersebut digunakan untuk menganalisa kepadatan tanah optimum dari tanah asli yang digunakan dan juga stabilisasi tanah asli yang dicampur dengan *fly ash.* Adapun persentase campuran *fly ash* yang digunakan yaitu lain 4%, 8%, dan 16%

4.1 Klasifikasi Tanah Asli

4.1.1 Data Uji Labolatorium Tanah Asli

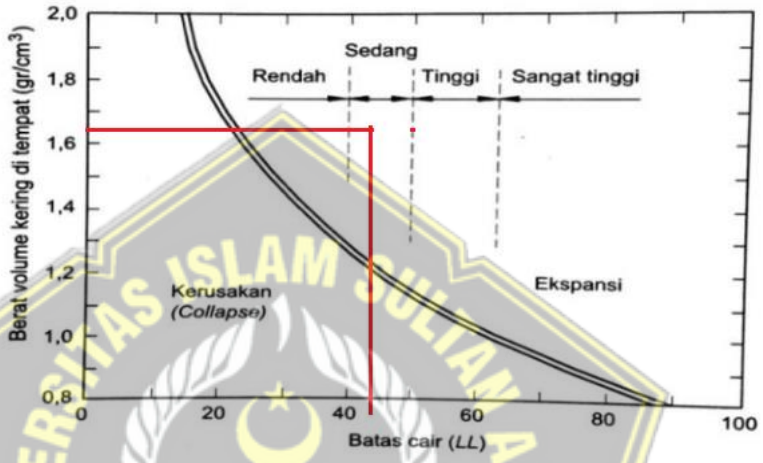
Uji laboratorium dilakukan dengan tujuan mengetahui nilai *Grafity Spesific* (*GS*), Kadar Air (*w*), *Direct Shear*, *Atterberg Limit* (*ATL*), *Grain Size Analysis*, *Proctor Modified*, dan CBR yang terkandung pada tanah asli. Data hasil uji labolatorium tanah asli, digunakan nuntuk mengklasifikasi tanah asli dengan menggunakan metode menurut (*Mitchell dan Gardner, 1975; Gibbs, 1969)*, pengembangan dan (*PI*) menurut SNI 03-6795-2002, dan potensi pengembangan menurut (Skempton 1953) departemen pekerjaan umum, hasil uji laboratorium pada **tabel 4.1** sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Tanah Asli

NO	SOIL TEST	SATUAN	TANAH ASLI
			100%
1	***Grafity Spesific (GS)***		**2,583**
2	***Physical Properties :***		
	Kadar Air (*w*)	%	**31,98**
3	***Direct Shear :***		
	Kohesi (c)	kg/cm²	**0,33**
	Sudut Geser Dalam (φ)	o	**15,71**
4	***Atterberg Limit (ATL) :***		
	Liquid Limit (LL)	%	**44,20**
	Plastis Limit (PL)	%	**20,09**
	Plastis Index (IP)	%	**24,11**
	Shrinkage Limits (SL)	%	**15,510**
5	***Grain Size Analysis :***		
	Clay	%	**67,74**
	Silt	%	**20,08**
	Sand	%	**11,23**
	Gravel	%	**0,95**
6	***Proctor Modified***	%	
	Berat Volume Kering Maks (γ_{dmax})	gram/cm³	**1,620**
	Kadar Air Optimum (w_{opt})	%	**18,80**
7	**CBR**		
	Unsoaked	%	**4,938**
	Soaked	%	**2,160**

4.1.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Derajat Pengembangan Batas – Batas *Atterberg*

Petunjuk kerusakan (*collapsibility*) struktur tanah, kemudah mampatan dan pengembangan didasarkan pada berat volume kering di tempat dan batas cair. Hubungan batas cair (*LL)* sebesar **44,20 %** dan berat volume kering (γ_d) sebesar **1,620 %** didasarkan pada pengalaman *U.S Water and Power Resources Service* ditunjukan pada **Gambar 4.1**



Gambar 4.1 Petunjuk kerusakan (*collapsibility*) struktur tanah, kemudahmampatan dan pengembangan didasarkan pada berat volume kering di tempatdan batas cair (*Mitchell dan Gardner, 1975; Gibbs, 1969).*

Berdasarkan gambar diatas menujukan bahwa, menurut *Mitchell dan Gardner, 1975; Gibbs, 1969* Potensi pengembangan (*collapsibility*) struktur tanah termasuk **Tanah Ekspansif Sedang.**

2.5.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Korelasi Batas – Batas Atterberg

Identifikasi lempung ekspansif dapat dilakukan dengan melakukan pengujuan langsung dengan *Plastis Index* (*PI*) sebesar **24,11 %**, didapatkan hubungan potensi pengembangan lempung dengan indeks plastistas (*IP*) pada SNI 03-6795-2002, di tunjukan dalam **Tabel 4.2**

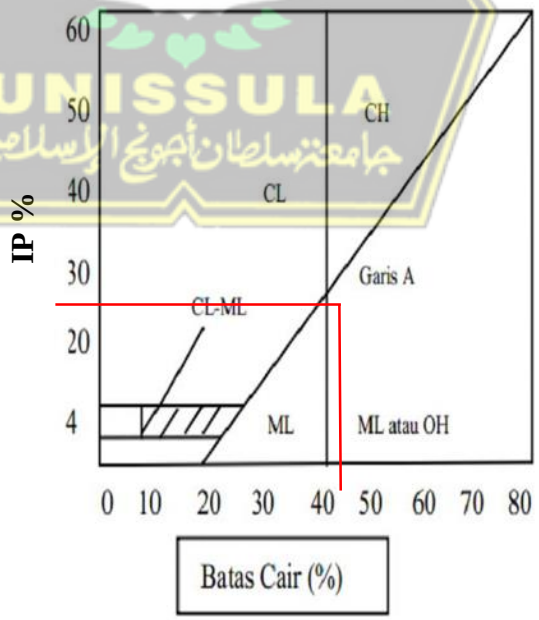
Tabel 4.2 Antara Potensi Pengembangan dan (*PI*) SNI 03-6795-2002

Tingkat Pengembangan	Batas Cair ---	Indeks Plastis ---	Uji Hisap Asli [Kn/M2]
Tinggi	> 60	> 35	> 4
Sedang	50 – 60	25 - 35	1,5 - 4
Rendah	< 50	< 25	< 1,5

Berdasarkan **tabel 4.2** menujukan bahwa, jenis tanah asli pada Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan Potensi pengembangan tanah **termasuk rendah.**

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

Dari hasil pengujian *atterberg limits* diperoleh nilai *Liquid Limit* (*LL*) tanah asli sebesar 44,20% yang mana termasuk kedalam golongan ML, OH, dan CH. Sedangkan nilai Indeks Plastistas (*IP*) yang diperoleh sebesar 24,11%. Nilai *Liquid Limit* dan Indeks Plastistas tersebut digunakan untuk menentukan klasifikasi tanah pada diagram plastistas sistem USCS seperti **Gambar 4.2** di bawah ini.



Gambar 4.2 Diagram Plastistas Sistem USCS

Berdasarkan diagram tersebut dapat dilihat bahwa garis yang menghungkan antara LL dan IP bertemu pada bagian OH. Sehingga jenis tanah pada Desa Klambu , Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan yaitu lempung organik dengan **plastistas sedang hingga tinggi**.

4.1.5. Nilai Aktivitas Tanah Ekspansif

Mencari nilai aktivitas tanah ekspansif bisa menggunakan rumus seperti berikut :

$$A = \frac{PI}{C}$$

A = Aktivitas

PI = *Plastis Index*

C = Persen fraksi lempung (diameter butiran <0,002 mm).

$$A = \frac{24,11}{67,7}$$

$$= 0,356$$

Hasil perhitungan data dari seluruh sampel tanah Jalan Kudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan pada pengujian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Nilai Keaktivitas Tanah Ekspansif

	C	67,7
CAMPURAN	IP	A
0%	24,11	0,356
4%	16,82	0,248
8%	15,25	0,225
16%	13,29	0,196

Tabel 4.4 Korelasi Tingkat Keaktifan dengan Potensi Pengembangan (*Skempton 1953*) Departemen Pekerjaan Umum

Tingkat keaktifan	Potensi Pengembangan
< 0,75	Tidak Aktif
0,75 – 1,25	Normal
> 1,25	Aktif

Berdasarkan **Tabel 4.4** menujukan bahwa, menurut (*Skempton 1953*) departemen pekerjaan umum potensi pengembangan tanah asli pada Jalan Kudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan **termasuk tidak aktif.**

Dari hasil perhitungan **Tabel 4.3** tersebut, maka didapatkan grafik nilai aktivitas tanah seperti pada **Gambar 4.3.**

Gambar 4.3 Grafik Nilai Aktivitas Tanah Ekspansif

Dari grafik **Gambar 4.3** tersebut dapat didapatkan bahwa nilai aktivitas tanah semakin menurun seiring dengan bertambahnya jumlah *fly ash* yang dicampurkan berarti sifat tanah semakin baik (daya dukung tanah meningkat).

Jadi kesimpulan dari metode klasifikasi potensi pengembangan di atas bahwa tanah dari Jalan Kudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah yaitu termasuk ekspansif tanah **sedang sampai tidak aktif.**

4.2. Sifat Fisik dan Mekanis Tanah

4.2.1. Physical Properties

Pengujian kadar air dilakukan dengan tujuan mengetahui nilai kadar air, *Void Ratio* (*e*), dan *Porosity* (*n*) yang terkandung pada tanah asli dan pengaruh *fly ash* yang dicampurkan ke tanah tersebut. Hasil yang didapat dari uji laboratorium dianalisa seperti **Persamaan (2.2)** :

Kadar air (w) = $\frac{b-c}{c-a}$

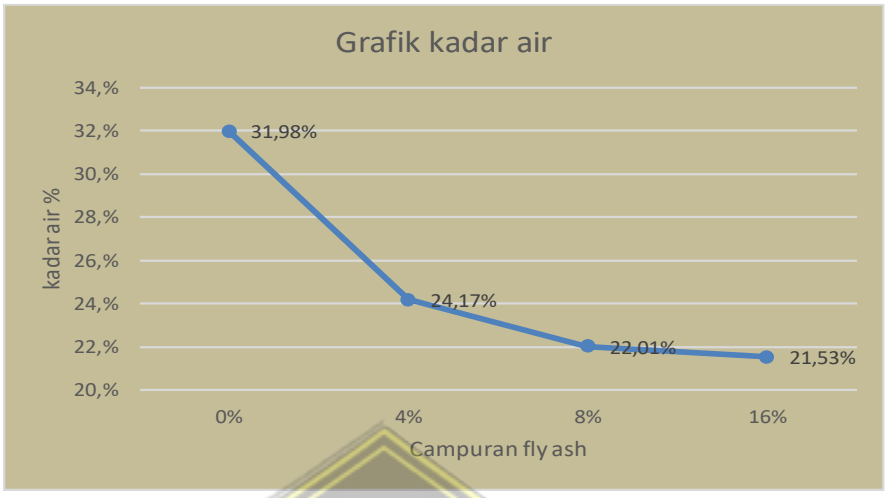
$$w = \frac{44{,}40 - 35{,}18}{35{,}18 - 6{,}35} x100\% = 31{,}98\%$$

Hasil dari pengujian kadar air (w), *Void Ratio* (e), dan *Porosity* (n) secara keseluruhan baik tanah asli maupun tanah campuran dapat dilihat pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Nilai Pengujian Kadar Air

		Tanah Asli	**Campuran Fly Ash**		
		100%	4%	8%	16%
Spesific Grafity (*GS*)	Satuan	2,583	2,580	2,561	2,532
No, Cawan		1	2	3	4
Brt. Cawan + Sampel basah (b)	gr	44,40	104,90	81,13	72,72
Brt. Cawan + Sampel kering (c)	gr	35,18	85,32	67,24	60,57
Berat cawan (a)	gr	6,35	4,31	4,14	4,14
Berat Air	gr	9,22	19,58	13,89	12,15
Berat Tanah Kering	gr	28,83	81,01	63,10	56,43
Kadar Air	%	31,98	24,17	22,01	21,53

Sedangkan grafik yang dihasilkan dari perhitungan kadar air tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4 Grafik Hasil Perhitungan Kadar Air

Berdasarkan **Gambar 4.4** tersebut, diketahui bahwa tanah dari lokasi pengambilan sample memiliki kadar air yang semakin rendah saat diberi penambahan *fly ash* yang artinya sifat properties tanah semakin baik.

4.2.2. Berat Jenis Tanah (*GS*)

Pengujian berat jenis tanah dilakukan dengan tujuan mendapatkan nilai parameter indeks tanah yang berhubungan fungsional meliputi fase udara, air, dan juga butiran dalam tanah. Pengujian dilakukan terhadap tanah asli dan tanah dengan campuran *fly ash* yang Hasil perhitungan data dari seluruh sampel pada pengujian ini dapatdilihat pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4.6 Data Pengujian Berat Jenis Tanah

Sample	**SAT**	**Tanah Asli 100 %**			**4%**		**8%**		**16%**	
Piknometer No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Piknometer + sampel (c)	(gr)	59,55	58,38	60,15	52,79	47,87	59,26	51,67	59,56	55,37
Berat (a) Piknometer	(gr)	31,72	28,81	31,85	28,94	21,99	33,45	22,31	31,54	31,27
Berat Pikno + Air (b)	(gr)	81,52	79,01	81,35	78,83	70,06	83,87	69,82	82,20	81,49

Harga Air Piknometer	(gr)	50,01	50,41	49,71	50,10	48,28	50,64	47,71	50,88	50,43
Berat Pikno + air + sampel (d)	(gr)	98,69	96,92	98,94	93,40	86,03	99,75	87,64	99,23	96,09
Koreksi Temperatur 30°	(t1°c)	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004
Koreksi Temperatur 30°	(t2°c)	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004
Berat Sampel (e)	(gr)	27,83	29,57	28,30	23,85	25,88	25,81	29,36	28,02	24,10
Berat Air	(gr)	39,14	38,54	38,79	40,61	38,16	40,49	35,97	39,67	40,72
Grafity Spesific		2,60	2,53	2,63	2,56	2,60	2,59	2,53	2,54	2,53
Average		2,59			2,58		2,56		2,53	

Dari data tersebut, dapat dianalisa untuk mendapatkan nilai berat jenis tanah seperti pada **Persamaan (2.3)** dan dihitung sebagai berikut :

a. Menghitung Harga Air Piknometer

HAP $= (b - a)\, t_1$

$= (81{,}52 - 31{,}72)\ 1{,}00400$

$= 50{,}01$

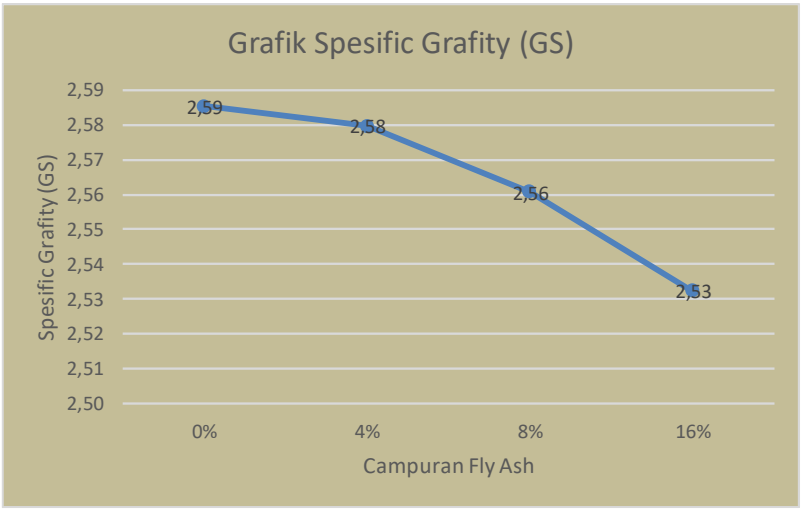
b. Menghitung Berat Jenis Tanah

$$GS = \frac{c-a}{HAP-(d-a-\text{e})\ t_2}$$

$$= \frac{59{,}55 - 31{,}72}{50{,}01 - (98{,}69 - 31{,}72 - 27{,}83)\ 1{,}00456}$$

$= 2{,}60$

Dari hasil perhitungan tersebut, maka didapatkan grafik *Spesific Gravity (GS)* seperti pada **Gambar 4.5.**



Gambar 4.5 Grafik Berat Jenis Tanah

Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa tanah dari Jalan Kudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah, memliliki nilai berat jenis pada tanah yang cenderung turun seiring dengan bertambahnya jumlah *fly ash* yang dicampurkan.

4.2.3. Attertberg Limits

Pengujian *Atterberg Limits* dilakukan dengan tujuan mengetahui nilai kadar air dalam tanah yang merupakan batas antara keadaan cair dan plastis untuk mendapatkan nilai indeks plastistasnya.

a. Batas Cair

Data yang didapat dari uji laboratorium tersebut, kemudian dianalisa dengan menggunakan **Persamaan (2.5)** dan dihitung sebagai berikut :

$$w = \frac{b-c}{c-a} x100\%$$

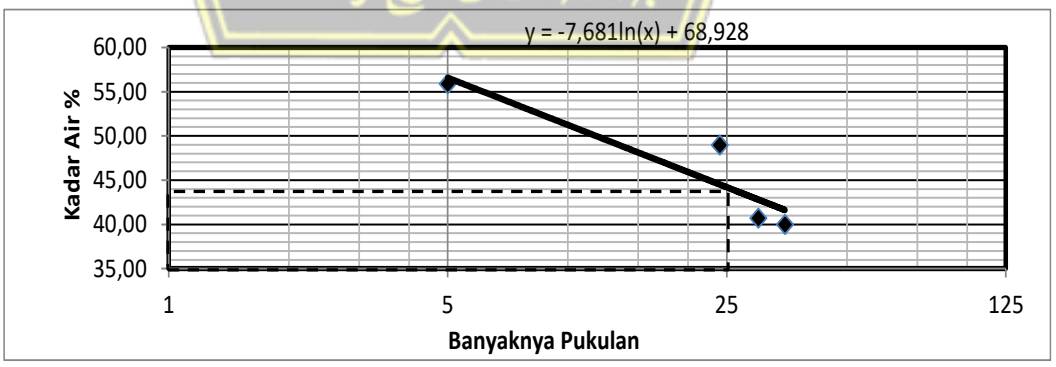
$$w = \frac{34{,}31 - 23{,}51}{23{,}51 - 4{,}181} x100\%$$

w = 55,87%

Tabel 4.7 Nilai Perhitungan Batas Cair

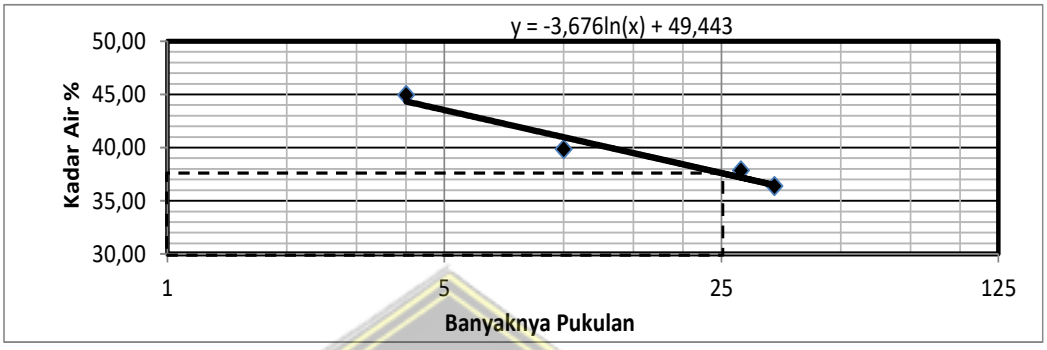
Sampel	Jumlah Ketukan	No. Cawan	Berat Cawan (gr) (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (gr) (b)	Berat Cawan + Tanah Kering (gr) (c)	*w* (%)	*LL* (%)
0%	5	1	4,181	34,31	23,51	55,87	44,20
	24	2	4,11	36,52	25,87	48,94	
	30	3	8,18	38,20	29,51	40,68	
	35	4	4,14	33,61	25,19	40,00	
4%	4	1	4,25	27,57	20,34	44,93	37,61
	10	2	4,21	35,27	26,42	39,85	
	28	3	4,14	28,80	22,03	37,84	
	34	4	8,21	31,83	25,53	36,37	
8%	5	1	10,08	37,86	29,86	40,44	36,37
	12	2	4,08	32,59	24,65	38,60	
	28	3	6,83	32,62	25,76	36,24	
	35	4	6,88	37,8	29,75	35,20	
16%	6	1	4,46	37,53	28,57	37,16	35,20
	13	2	6,30	39,13	30,31	36,73	
	36	3	6,29	39,68	31,05	34,85	
	46	4	6,57	34,15	27,18	33,82	

Berdasarkan hasil perhitungan batas cair pada **Tabel 4.7**, maka dapat diperoleh grafik *liquid limit* untuk sample tanah asli Jalan Kudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah seperti pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6 Grafik *Liquid Limit* Sampel Tanah Asli

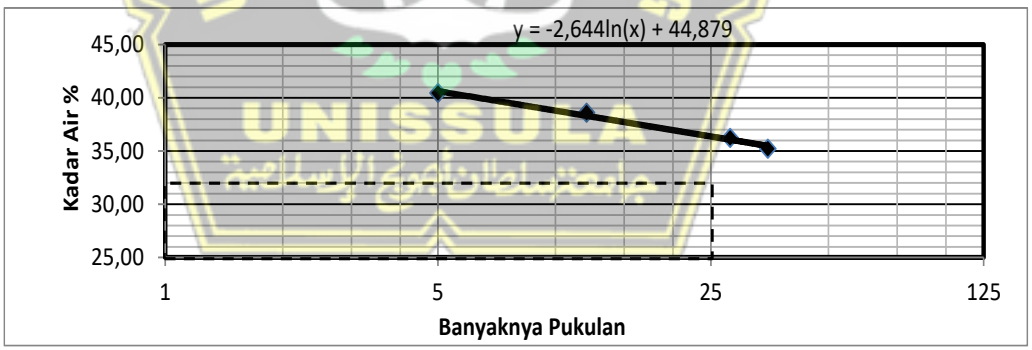
Dari grafik di **Gambar 4.6** terlihat bahwa kadar air pada pukulan ke-25 yaitu sebesar 44,20 %. Berdasarkan hasil perhitungan *liquid limit* pada **Tabel 4.6** diperoleh grafik *liquid limit* untuk sampel tanah dengan campuran *fly ash* 4% dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.



Gambar 4.7 Grafik *Liquid Limit* Sampel *Fly ash* 4%

Pada grafik di **Gambar 4.7** dapat dilihat bahwa besar kadar air pada pukulan ke-25 yaitu sebesar 37,61 %.

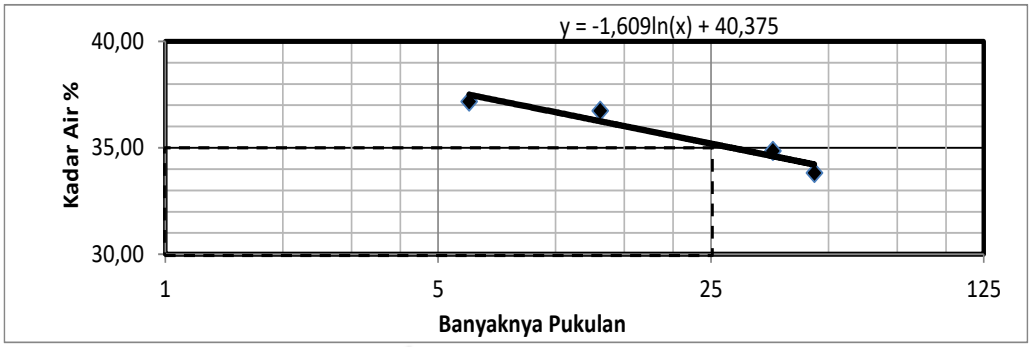
Berdasarkan hasil perhitungan *liquid limit* pada **Tabel 4.7** diperoleh grafik *liquid limit* pada sampel tanah dengan campuran *fly ash* 8% yang dapat dilihat pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4.8 Grafik *Liquid Limit* Sampel *Fly ash* 8 %

Pada grafik di **Gambar 4.8** dapat dilihat bahwa besar kadar air pada pukulan ke-25 yaitu sebesar 36,37 %.

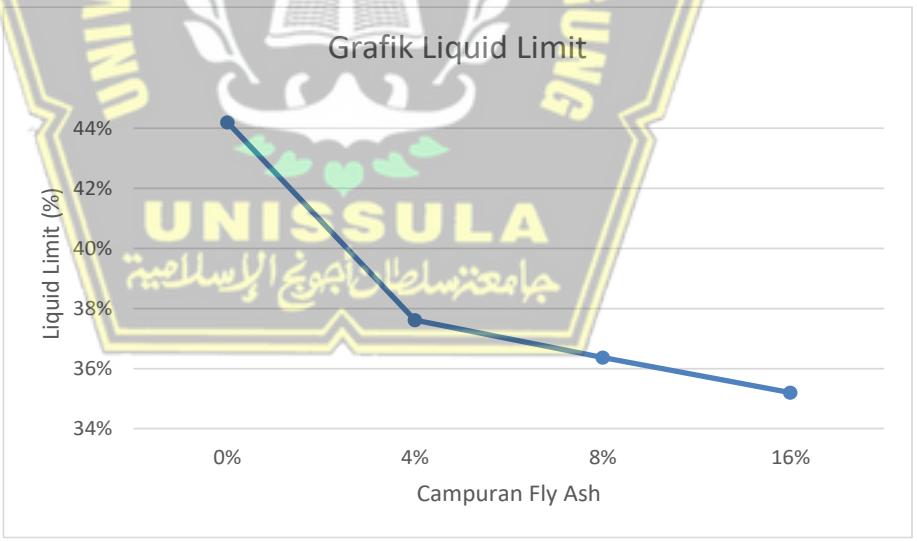
Berdasarkan hasil perhitungan *liquid limit* pada **Tabel 4.7** diperoleh grafik *liquid limit* pada benda uji tanah dengan campuran *fly ash* 16 % dapat dilihat pada **Gambar 4.9**.



Gambar 4.9 Grafik *Liquid Limit* Sampel *Fly ash* 16%

Dari grafik di **Gambar 4.9** dapat dilihat bahwa besar kadar air pada pukulan ke-25 yaitu sebesar 35,20 %.

Berdasarkan grafik-grafik yang telah dilampirkan, maka diketahui nilai *Liquid Limit* dari tiap sampel. Sehingga diperoleh grafik seperti pada **Gambar 4.10**



Gambar 4.10 Grafik *Liquid Limit* Tanah Asli dan Campuran

Berdasarkan **Gambar 4.10** grafik tersebut maka dapat dilihat bahwa tanah dari Jalan Kudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah, memiliki hasil *Liquid Limit* (*LL*) menjadi semakin menurun seiring dengan bertambahnya *fly ash* yang dicampurkan ke sampel sehingga sifat **tanah semakin baik**.

b. Batas Plastis

Data hasil uji laboratorium kemudian dianalisa menggunakan **Persamaan (2.5)** dan didapat hasil perhitungan batas plastis secara keseluruhan seperti pada **Tabel 4.8**.:

$$w = \frac{b-c}{c-a} x100\%$$

$$= \frac{11{,}73 - 10{,}44}{10{,}44 - 4{,}02} x100\%$$

$$= 20{,}09\%$$

Tabel 4.8 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* (%)**
0%	5	4,02	11,73	10,44	20,09	20,09
4%	5	4,16	10,9	9,74	20,79	20,79
8%	5	6,46	14,26	12,9	21,12	21,12
16%	5	6,58	14,37	12,97	21,91	21,91

Setelah diketahui batas cair dan batas plastisnya hasil perhitungan secara keseluruhan dapat dihitung nilai (*IP*) seperti pada **Persamaan (2.6)** dan didapat hasil perhitungan seperti pada **Tabel 4.9**.

$IP = LL - PL$

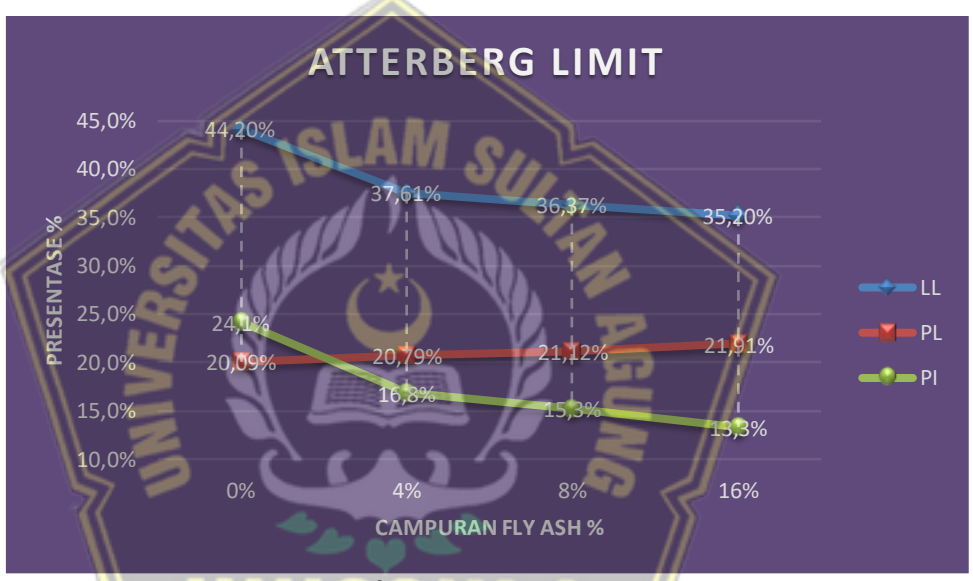
$= 44{,}20 - 20{,}09$

$= 24{,}11\ \%$

Tabel 4.9 Hasil Indeks Plastis

Sampel	LL %	PL %	IP%
0%	44,20	20,09	24,11
4%	37,61	20,79	16,82
8%	36,37	21,12	15,25
16%	35,20	21,91	13,29

Dari tabel tersebut dapat diperoleh grafik indeks plastistas (IP) sample tanah Jalan Kudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah seperti pada **Gambar 4.11**.



Gambar 4.11 Grafik ATL Tanah Asli dan Campuran

Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.11** dapat dilihat bahwa tanah dari lokasi pengambilan benda uji distabilisasi menggunakan *fly ash* mempunyai nilai *IP* tanah semakin menurun yang artinya sifat tanah semakin baik **daya dukung tanah meningkat**.

4.2.4. Batas Susut *(Shrinkage Limits)*

Batas susut adalah nilai kadar air pada kedudukan antara zone semi padat dengan zone padat. Dari hasil pengujian tersebut diperoleh data sebagai berikut :

a). Tanah Asli

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Susut Linier Tanah Asli

	Sample Lolos Saringan No.40		**Satuan**	**Tanah Asli 100 %**		
				UJI 1	**UJI 2**	**UJI 3**
a	Kode Cawan			1	2	3
b	Berat cawan + sample basah		(gr)	45,33	45,83	38,96
c	Berat cawan + sample kering		(gr)	34,96	35,2	28,16
d	Berat cawan		(gr)	15,70	15,66	8,19
e	Berat sample kering	W_o	(gr)	19,26	19,54	19,97
f	Berat air	W_w	(gr)	10,370	10,630	10,800
g	Berat Sampel Basah	W	(gr)	29,630	30,170	30,770
i	Volume sampel basah	V	(cm^3)	17,715	17,900	17,647
j	Volume sampel kering	V_o	(cm^3)	10,591	10,699	10,833
1	**Kadar Air** **w** = (W-Wo)/Ww*100		%	53,842	54,401	54,081
2	**Berat Jenis** **G** = Wo / (V_o γ w - Ww)		%	2,639	2,705	2,936
3	**Rasio Susut (R)** **R** = Wo / Vo		%	1,818	1,826	1,843
4	**Batas Susut (S)** **4.1.** Dari Hasil Perubahan Volume **S** = w -(((V - Vo)/Wo)*100)		%	16,856	17,550	19,960
	4.2. Dari Rasio Susut dan Berat Jenis **S** = ((1/R) - (1/G))*100		%	17,095	17,788	20,190
5	**Perubahan Volume (VC)** **VC** = (w-S)*R		%	67,259	67,301	62,900
6	**Susut Linier (LS)** **LS** = 100 * (1- $\sqrt[3]{100 /(VC + 100)}$)		%	**15,756**	**15,764**	**15,012**
SUSUT LINIER RATA - RATA (LS)			%	**15,510**		

Dari pengujian batas susut dilaboratorium untuk tanah asli didapatkan hasil sesuai pada **Tabel 4.10** dengan nilai rata-rata susut linier yaitu sebesar 15,510 %.

b). Campuran 4%

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Susut Linier Campuran 4%

	Sample Lolos Saringan No.40		Satuan	Tanah Asli 96 % + Fly Ash 4%		
				UJI 1	UJI 2	UJI 3
a	Kode Cawan			1	2	3
b	Berat cawan + sample basah		(gr)	45,60	46,1	36,75
c	Berat cawan + sample kering		(gr)	36,38	36,7	28,05
d	Berat cawan		(gr)	15,70	15,66	8,19
e	Berat sample kering	Wo	(gr)	20,68	21,04	19,86
f	Berat air	Ww	(gr)	9,220	9,400	8,700
g	Berat Sampel Basah	W	(gr)	29,900	30,440	28,560
i	Volume sampel basah	V	(cm^3)	17,71471	17,90000	17,64706
j	Volume sampel kering	Vo	(cm^3)	11,55368	11,61250	10,86691
1	**Kadar Air** **w** = (W-Wo)/Ww*100		**%**	44,584	44,677	43,807
2	**Berat Jenis** **G** = Wo / (V γ w - Ww)		**%**	2,448	2,489	2,231
3	**Rasio Susut (R)** **R** = Wo / Vo		**%**	1,790	1,812	1,828
4	**Batas Susut (S)** **4.1.** Dari Hasil Perubahan Volume **S** = w -(((V - Vo)/Wo)*100)		**%**	14,792	14,793	9,667
	4.2. Dari Rasio Susut dan Berat Jenis **S** = ((1/R) - (1/G))*100		**%**	15,015	15,014	9,898
5	**Perubahan Volume (VC)** **VC** = (w-S)*R		**%**	53,325	54,144	62,393
6	**Susut Linier (LS)** **LS** = 100 * (1- $\sqrt[3]{100 /(VC + 100)}$)		**%**	**13,278**	**13,432**	**14,923**
SUSUT LINIER RATA - RATA (LS)			**%**	**13,878**		

Dari pengujian batas susut dilaboratorium untuk tanah dengan penambahan fly ash 4% didapatkan hasil sesuai pada **Tabel 4.11** dengan nilai rata-rata susut linier yaitu sebesar 13,878 %.

c). Campuran 8%

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Susut Linier Campuran 8%

	Sample Lolos Saringan No.40		Satuan	Tanah Asli 92 % + Fly Ash 8 %		
				UJI 1	UJI 2	UJI 3
a	Kode Cawan			1	2	3
b	Berat cawan + sample basah		(gr)	45,71	46,23	37,21
c	Berat cawan + sample kering		(gr)	38,26	37,53	28,31
d	Berat cawan		(gr)	15,70	15,66	8,19
e	Berat sample kering	Wo	(gr)	22,56	21,87	20,12
f	Berat air	Ww	(gr)	7,450	8,700	8,900
g	Berat Sampel Basah	W	(gr)	30,010	30,570	29,020
i	Volume sampel basah	V	(cm^3)	17,71471	17,90000	17,64706
j	Volume sampel kering	Vo	(cm^3)	12,34559	12,54191	11,83971
1	**Kadar Air** **w** = (W-Wo)/Ww*100		**%**	33,023	39,781	44,235
2	**Berat Jenis** **G** = Wo / (V γ w - Ww)		**%**	2,208	2,389	2,312
3	**Rasio Susut (R)** **R** = Wo / Vo		**%**	1,827	1,744	1,699
4	**Batas Susut (S)** **4.1.** Dari Hasil Perubahan Volume **S** = w -(((V - Vo)/Wo)*100)		**%**	9,224	15,281	15,371
	4.2. Dari Rasio Susut dan Berat Jenis **S** = ((1/R) - (1/G))*100		**%**	9,428	15,494	15,599
5	**Perubahan Volume (VC)** **VC** = (w-S)*R		**%**	43,490	42,721	49,050
6	**Susut Linier (LS)** **LS** = 100 * (1- $\sqrt[3]{100/(VC+100)}$)		**%**	**11,340**	**11,181**	**12,457**
SUSUT LINIER RATA - RATA (LS)			**%**	**11,660**		

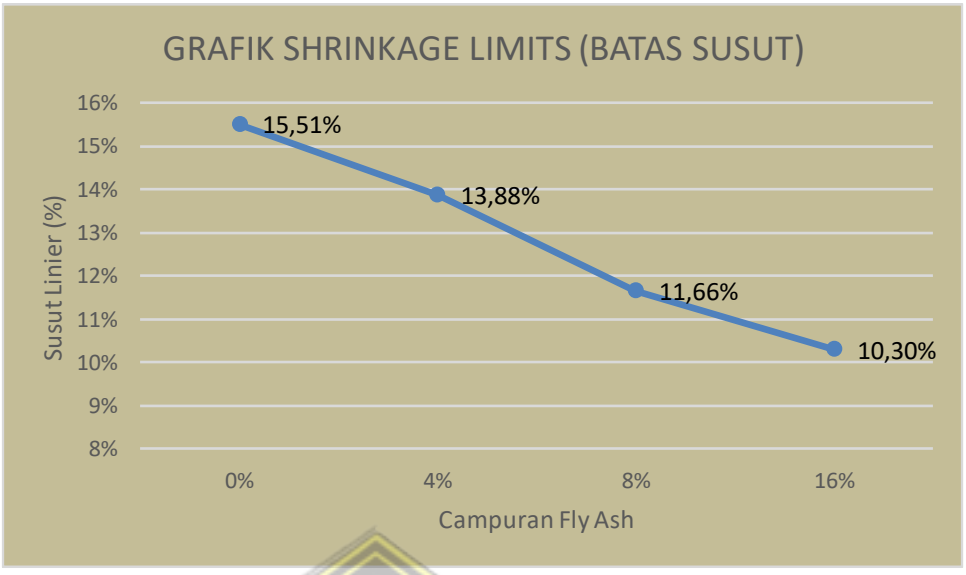
Dari pengujian batas susut dilaboratorium untuk tanah dengan penambahan fly ash 8% didapatkan hasil sesuai pada **Tabel 4.12** dengan nilai rata-rata susut linier yaitu sebesar 11,660 %.

c). Campuran 16%

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Susut Linier Campuran 16%

	Sample Lolos Saringan No.40		Satuan	Tanah Asli 86 % + Fly Ash 16 %		
				UJI 1	UJI 2	UJI 3
a	Kode Cawan			1	2	3
b	Berat cawan + sample basah		(gr)	45,83	46,36	37,58
c	Berat cawan + sample kering		(gr)	40,23	40,05	28,42
d	Berat cawan		(gr)	15,70	15,66	8,19
e	Berat sample kering	Wo	(gr)	24,53	24,39	20,23
f	Berat air	Ww	(gr)	5,600	6,310	9,160
g	Berat Sampel Basah	W	(gr)	30,130	30,700	29,390
i	Volume sampel basah	V	(cm^3)	17,71471	17,90000	17,64706
j	Volume sampel kering	Vo	(cm^3)	12,98309	13,06471	12,39706
1	**Kadar Air** **w** = (W-Wo)/Ww*100		**%**	22,829	25,871	45,279
2	**Berat Jenis** **G** = Wo / ($V \gamma$ w - Ww)		**%**	2,033	2,113	2,397
3	**Rasio Susut (R)** **R** = Wo / Vo		**%**	1,889	1,867	1,632
4	**Batas Susut (S)** **4.1.** Dari Hasil Perubahan Volume **S** = w -(((V - Vo)/Wo)*100)		**%**	3,540	6,046	19,328
	4.2. Dari Rasio Susut dan Berat Jenis **S** = ((1/R) - (1/G))*100		**%**	3,728	6,237	19,555
5	**Perubahan Volume (VC)** **VC** = (w-S)*R		**%**	36,444	37,010	42,349
6	**Susut Linier (LS)** **LS** = 100 * (1- $\sqrt[3]{100 /(VC + 100)}$)		**%**	**9,840**	**9,964**	**11,104**
SUSUT LINIER RATA - RATA (LS)			**%**	**10,303**		

Dari pengujian batas susut dilaboratorium untuk tanah dengan penambahan fly ash 16% didapatkan hasil sesuai pada **Tabel 4.13** dengan nilai rata-rata susut linier yaitu sebesar 10,303 %.



Gambar 4.12 Grafik Shrinkage Tanah Asli dan Campuran

Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.12** dapat dilihat bahwa tanah dari Jalan Kudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah, hasil *Shrinkage Limits* (*SL*) tanah tersebut semakin banyak penambahan fly ash maka semakin rendah susut liniernya yang artinya ke ekspansifan tanah semakin menurun, maka dari itu daya dukung tanah semakin meningkat.

4.2.5. Direct Shear

Uji *Direct Shear* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai kohesi tanah dan sudut geser pada sampel yang digunakan. Dari hasil pengujian yang diperoleh, berikut datanya

Diameter ring = 6,29 cm

Berat ring = 0,0274 kg

Koreksi Beban:

8 kg = 7,945 kg

16 kg = 16,140 kg

24 kg = 24,085 kg

Kemudian dianalisa menggunakan perhitungan seperti berikut :

$$\sigma n = \frac{p}{f} \quad \rightarrow \quad F = {}^{1}/_{4} \,.\pi\,.D^2$$

$$= {}^{1}/_{4} \,.3{,}14\,.6{,}29^2$$

$$= 31{,}058$$

$$\sigma n = \frac{Berat\ Beban}{Luas\ Penampang}$$

$$= \frac{7{,}945}{31{,}058}$$

$$= 0{,}258\ kg/cm^2$$

a. Tegangan Geser σs

$$\sigma s = \frac{Gaya\ Geser}{F}$$

$$= \frac{33\ x\ 0{,}375}{31{,}058}$$

$$= 0{,}3984\ kg/cm^2$$

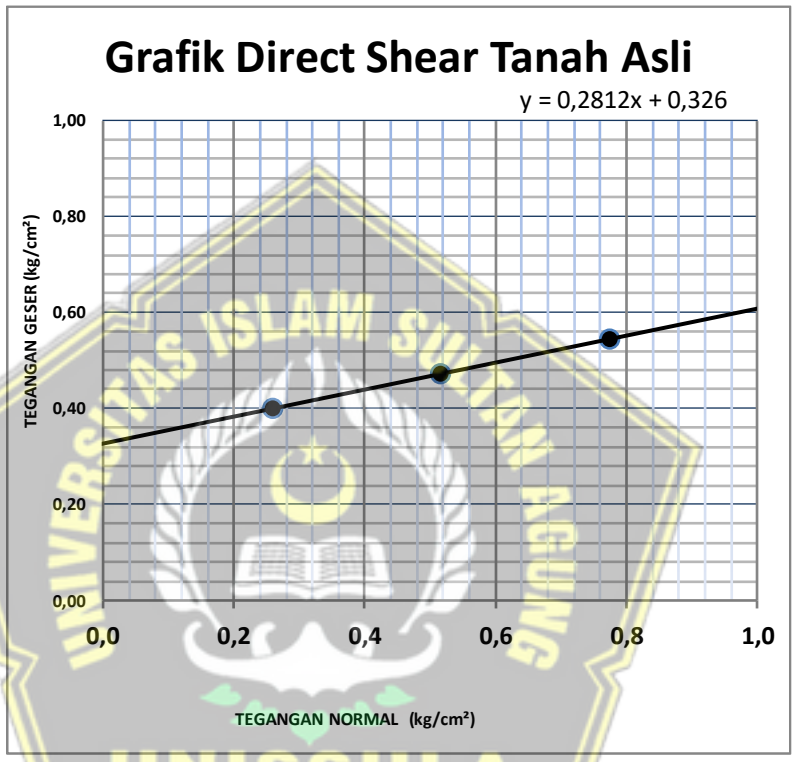
Nilai perhitungan secara keseluruhan dapat dilihat dalam **Tabel 4.14**

Tabel 4.14 Nilai Perhitungan Direct Shear

Sampel	**Percbaan**	**Beban (kg/cm³)**	**Koreksi Beban (kg/cm³)**	**Pembacaan Dial**	**Tegangan Normal** (σ_n)	**Tegangan Geser** (σ_s)
0%	1	8	7,945	33	0.258	0,398
	2	16	16,140	39	0.515	0,471
	3	24	24,085	35	0.773	0,543
4%	1	8	7,945	50	0.258	0,604
	2	16	16,140	73	0.515	0,881
	3	24	24,085	78	0.773	0,942
8%	1	8	7,945	55	0.258	0,664
	2	16	16,140	75	0.515	0,906
	3	24	24,085	86	0.773	1,038
16%	1	8	7,945	57	0.258	0,688
	2	16	16,140	76	0.515	0,918
	3	24	24,085	89	0.773	1,075

Dari perhitungan *direct shear* dapat digunakan grafik perbandingan antara tegangan normal dan tegangan geser.Ada garis yang bersinggungan dengan tiga titik pada grafik, sehingga nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ) yang sesuai.

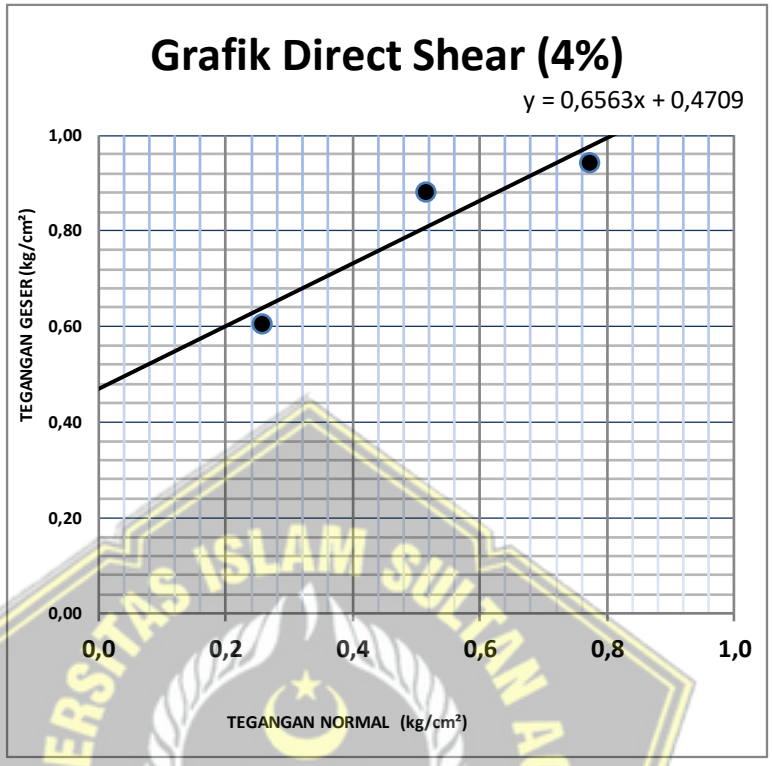
dengan kondisi tanah uji. Diagram gaya geser langsung dari sampel tanah asli dapat dilihat di **Gambar 4.13**.



Gambar 4.13 Grafik *Direct Shear* Tanah Asli

Berdasarkan **Gambar 4.13** grafik *Direct Shear* Tanah Asli tersebut diperoleh nilai kohesi tanah (c) asli sebesar 0,326 kg/cm^2 dan nilai sudut geser dalam (φ) sebesar 15,71°.

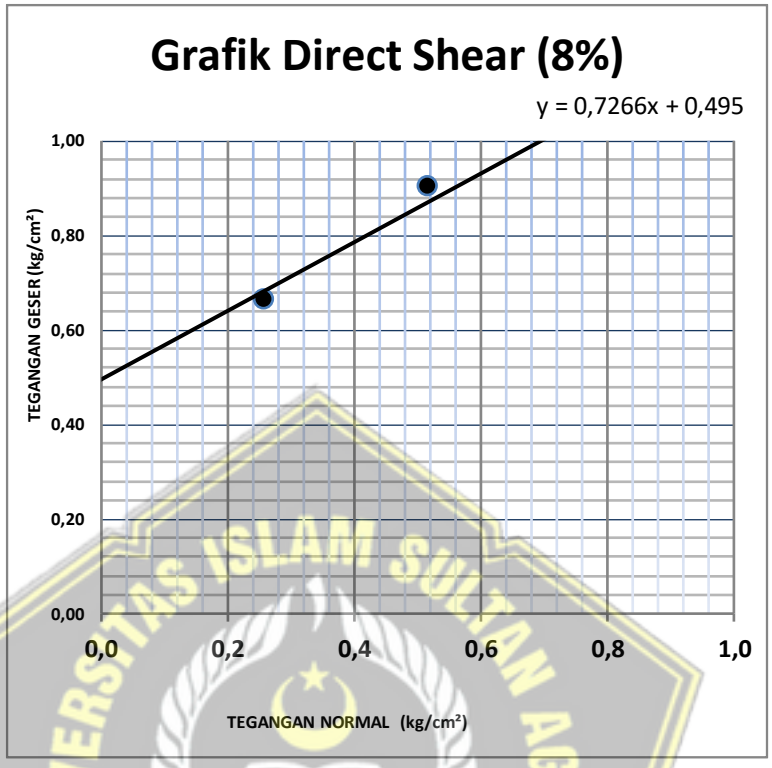
Grafik *direct shear* pada benda uji tanah dengan campuran *fly ash* 4% dapat dilihat dalam **Gambar 4.14**.



Gambar 4.14 Grafik *Direct Shear* Campuran *Fly Ash* 4%

Berdasarkan **Gambar 4.14** grafik *Direct Shear* Campuran *Fly ash* 4% tersebut diperoleh nilai kohesi tanah (c) asli sebesar 0,4709 kg/cm^2 dan nilai sudut geser dalam (φ) sebesar 33,29°.

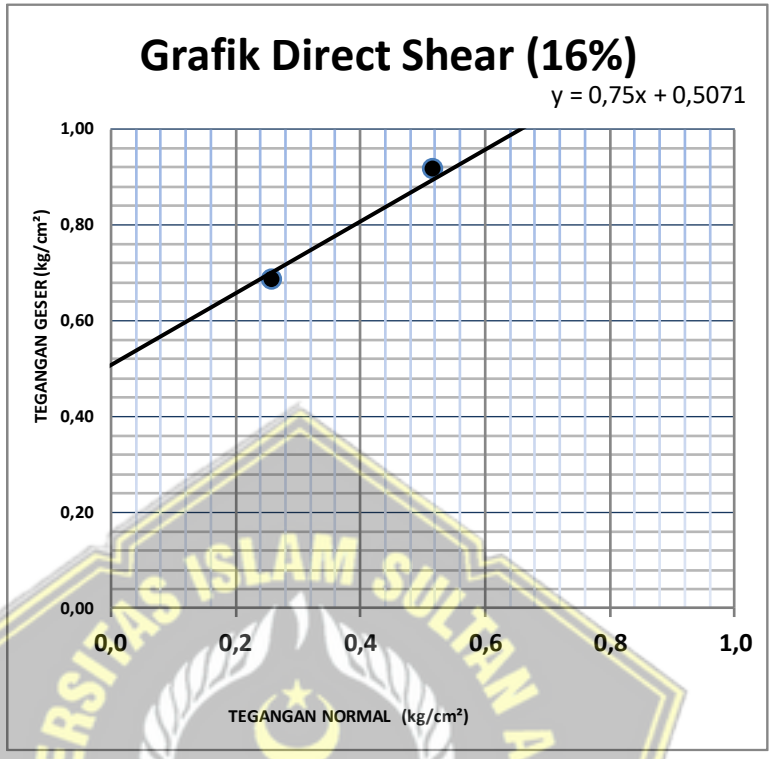
Grafik *direct shear* pada sampel tanah dengan campuran *fly ash* 8% dapat dilihat dalam **Gambar 4.15**.



Gambar 4.15 Grafik *Direct Shear* Campuran *Fly Ash* 8%

Berdasarkan **Gambar 4.15** grafik *Direct Shear* Campuran *Fly ash* 8% tersebut diperoleh nilai kohesi tanah (c) asli sebesar 0,495 kg/cm^2 dan nilai sudut geser dalam (φ) sebesar 36,02°.

Grafik *direct shear* pada sampel tanah dengan campuran *fly ash* 16% dapat dilihat dalam **Gambar 4.16**.



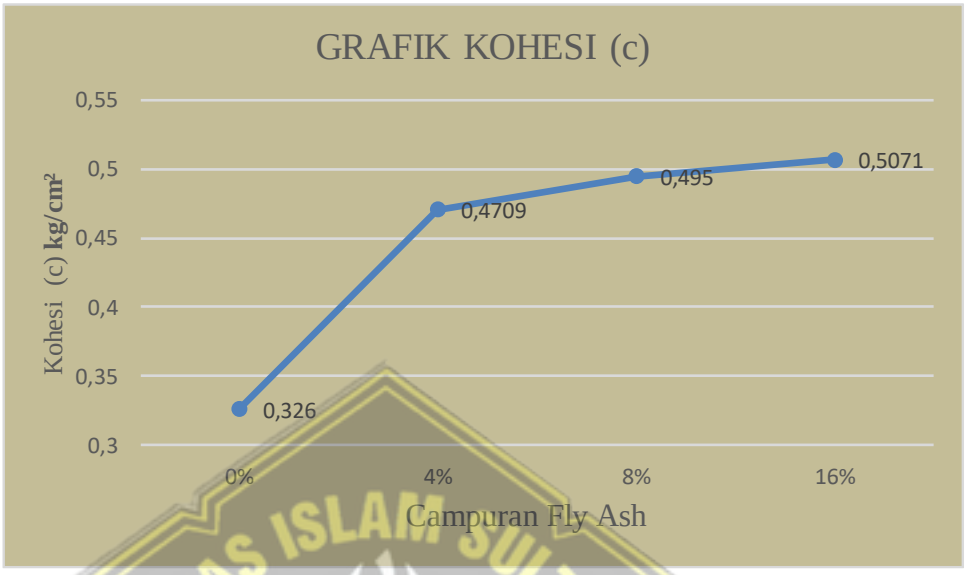
Gambar 4.16 Grafik *Direct Shear* Campuran *Fly Ash* 16%

Berdasarkan **Gambar 4.16** grafik *Direct Shear* Campuran *Fly ash* 16% tersebut diperoleh nilai kohesi tanah (c) asli sebesar 0,507 kg/cm^2 dan nilai sudut geser dalam (φ) sebesar 36,89°. Hasil dari penggambaran grafik *Direct Shear* secara keseluruhan dapat dilihat pada **Tabel 4.15**.

Tabel 4.15 Hasil Penggambaran *Direct Shear*

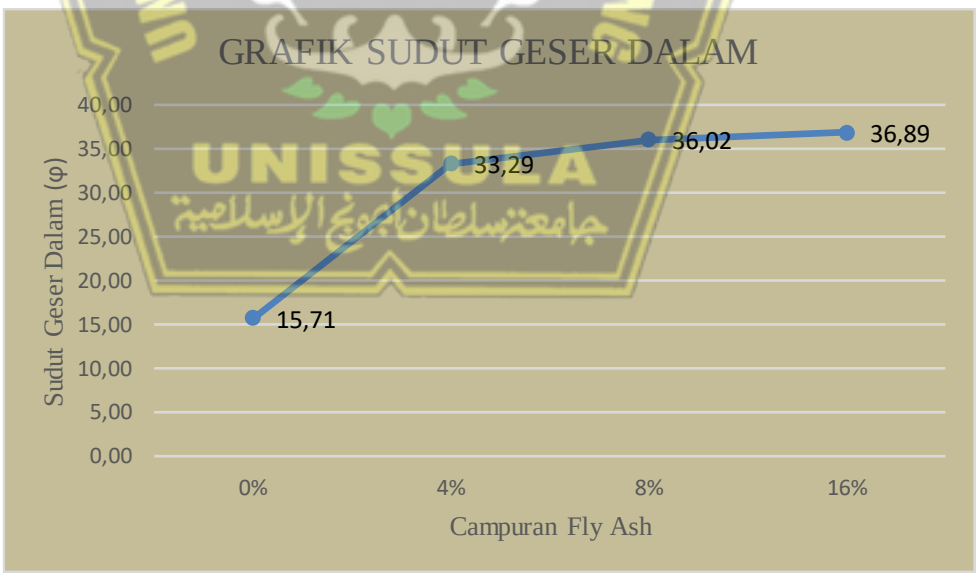
No	Sampel	Kohesi (c) (Kg/cm^2)	Sudut Geser Dalam (φ) (°)
1	0%	0,326	15,71
2	4%	0,470	33,29
3	8%	0,495	36,02
4	16%	0,507	36,89

Dari **Tabel 4.15** hasil penggambaran *Direct Shear* tersebut diperoleh grafik nilai kohesi (c) dari tiap sampel seperti pada **Gambar 4.17**.



Gambar 4.17 Grafik Nilai Kohesi (c) Tanah Asli dan Campuran

Dari **Tabel 4.15** hasil penggambaran *Direct Shear* juga diperoleh grafik nilai sudut geser (φ) dalam seperti pada **Gambar 4.18**.



Gambar 4.18 Grafik Sudut Geser Dalam (φ) Tanah Asli dan Campuran

Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.17** dan **Gambar 4.18,** tanah sempel lokasi penguian, diperoleh nilai kohesi (c) tanah dan nilai sudut geser dalam (φ), maka semakin meningkat. Semakin besar sudut geser dalam (φ) maka daya dukung tanah juga **semakin meningkat**.

4.2.6. Proctor Modified

Uji *Proctor Modified* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kadar air optimum tanah (w_{opt}), berat volume basah tanah optimum (γ_b), berat volume kering tanah optimum (γ_{dopt}), dan persentase pori / *porosity* pada tanah sampel. Pada percbaan ini kadar air yang digunakan pada setiap sampel berbeda. Data yang diperoleh dari hasil uji laboratorium dapat dilihat di **Tabel 4.16**.

Tabel 4.16 Hasil Pengujian *Proctor Modified*

Sampel	Nomor Percbaan	Volume Air (cc)	Berat Alat + Tanah (gr)	Nomer Cawan	Berat Cawan (gr) (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (gr) (b)	Berat cawan + tanah Kering (gr) (c)
0%	I	200	8638	1	6,68	47,22	43,43
	II	280	8864	2	8,83	69,71	62,07
	III	360	9118	3	6,79	62,98	55,42
	IV	500	9343	4	6,87	59,87	51,85
	V	600	9180	5	6,41	74,67	63,40
4%	I	200	8945	6	4,11	45,24	40,54
	II	300	9190	7	4,10	35,28	31,13
	III	400	9465	8	4,36	45,59	39,46
	IV	500	9373	9	4,06	34,74	29,74
	V	600	9285	10	4,08	46,03	38,95
8%	I	200	9018	11	4,10	40,63	37,13

	II	350	9406	12	4,36	43,72	38,84
	III	480	9461	13	4,06	52,72	44,92
	IV	550	9280	14	4,08	52,60	43,85
	V	650	9278	15	4,12	45,89	37,89
16%	I	200	9018	16	4,06	43,68	39,89
	II	300	9084	17	4,07	50,08	45,66
	III	450	9330	18	4,37	41,95	37,31
	IV	550	9465	19	4,27	47,43	41,60
	V	650	9359	20	4,37	50,71	43,43

Data alat :

Berat alat = 5160 gram

Tinggi alat = 12,5 gram

Diameter alat = 10 cm

Analisa data tersebut kemudian dihitung seperti berikut :

Digunakan contoh perhitungan dengan sampel tanah asli menurut perhitungan **tabel 4.16**

a) Volume Alat

= ¼. π. D^2.t

= ¼. 3,14. $(15,18)^2$. 11,74

= 2123,64 cm^3

b) Berat Tanah basah

= (berat tanah + cetakan) – berat alat

= 8638-5160

= 3478 gram.

c) Berat Volume Tanah Basah (γ_b)

$$= \frac{\text{Berat tanah basah}}{\text{Volume cetakan}}$$

$$= \frac{3478}{2123,64}$$

$= 1,64 \text{ gr/cm}^3$

d) 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)

Contoh pada penambahan air 200 cc:

$$w\ atas = \frac{47,22 - 43,43}{43,43 - 6,68} x100\%$$

e) Berat Volume Tanah Kering (γ_{dopt})

$$\gamma_d = \frac{\gamma b}{100+w}\ x\ 100$$

$$\gamma_d = \frac{1,64}{100+10,31}\ x\ 100$$

f) Zero Air Void (ZAV)

$$ZAV = \frac{Gs\ x\ \gamma w}{1 + (Gs\ x\ w)}$$

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

$$Gs = 2,585 \text{ gr}/cm^3$$

$$ZAV = \frac{2,585}{1 + (2,585\ X\ 10,31)}$$

$= 2,04$

Hasil perhitungan secara keseluruhan pada Tanah Asli dapat dilihat dalam **Tabel 4.17**,Dan hasil perhitungan secara keseluruhan pada Tanah Campuran Fly Ash dapat dilihat pada **Tabel 4.18**.

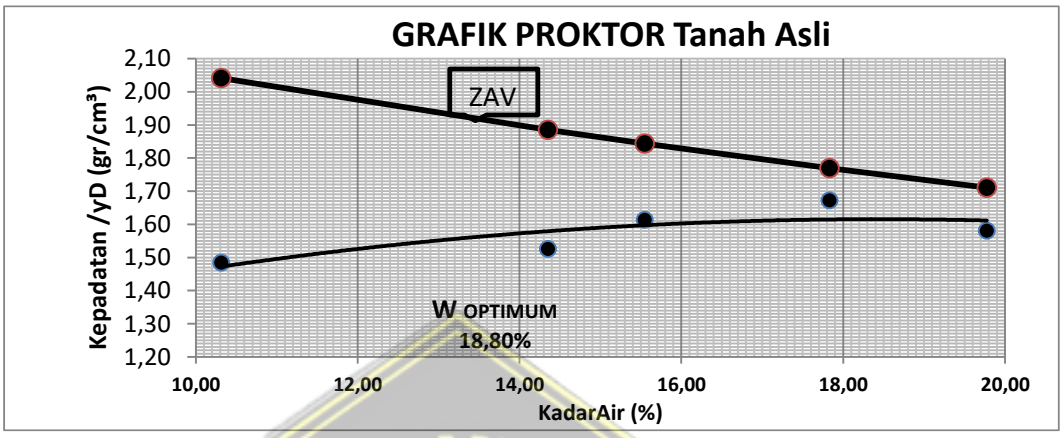
Tabel 4.17 Nilai Perhitungan *Proctor modified* Tanah Asli

Sampel	No. Percbaan	w (%)	GS gr/cm3	ɣ b (gr/cm³)	ɣd (gr/cm³)	ZAV
0%	I	10,31	2,585	1,64	1,48	2,04
	II	14,35	2,585	1,74	1,53	1,89
	III	15,55	2,585	1,86	1,61	1,84
	IV	17,83	2,585	1,97	1,67	1,77
	V	19,78	2,585	1,89	1,58	1,71

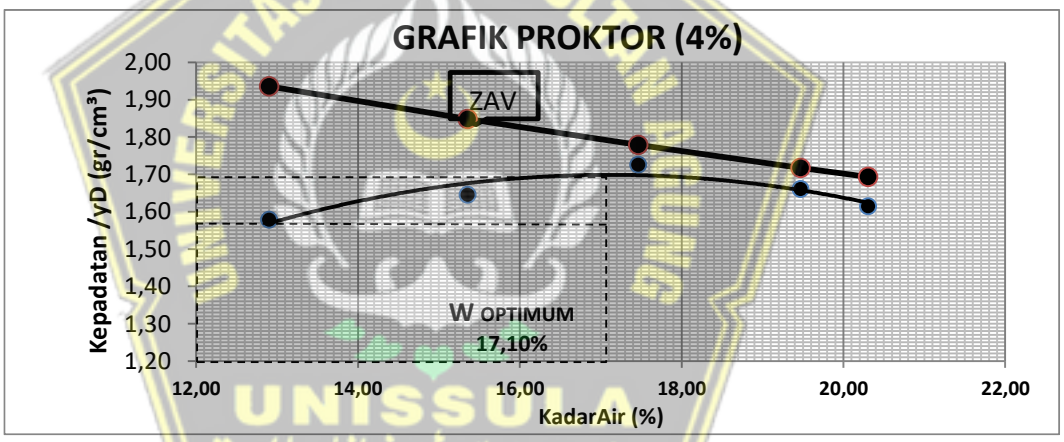
Tabel 4.18 Nilai Perhitungan *Proctor modified* campuran fly ash

Sampel	No. Percbaan	w (%)	GS gr/cm3	ɣ b (gr/cm³)	ɣd (gr/cm³)	ZAV
4%	I	12,90	2,580	1,78	1,58	1,94
	II	15,35	2,580	1,90	1,65	1,85
	III	17,46	2,580	2,03	1,73	1,78
	IV	19,47	2,580	1,98	1,66	1,72
	V	20,30	2,580	1,94	1,61	1,69
8%	I	10,60	2,561	1,82	1,64	2,01
	II	14,15	2,561	2,00	1,75	1,88
	III	19,09	2,561	2,03	1,70	1,72
	IV	22,00	2,561	1,94	1,59	1,64
	V	23,69	2,561	1,94	1,57	1,59
16%	I	10,58	2,532	1,82	1,64	2,00
	II	10,63	2,532	1,85	1,67	2,00
	III	14,09	2,532	1,96	1,72	1,87
	IV	15,62	2,532	2,03	1,75	1,81
	V	18,64	2,532	1,98	1,67	1,72

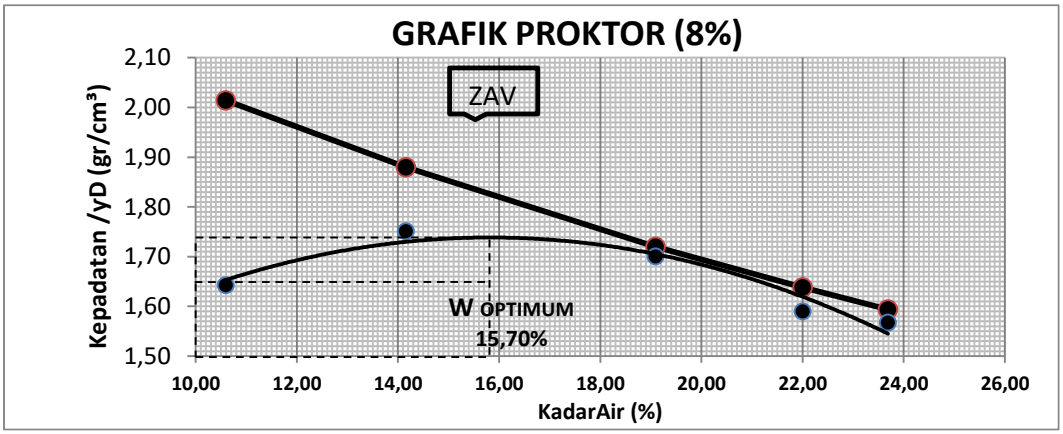
Dari hasil perhitungan pada **Tabel 4.17,** dan **Tabel 4.18** maka dapat diperoleh seperti grafik **Gambar 4.19, Gambar 4.20, Gambar 4.21, Gambar 4.22** seperti berikut.



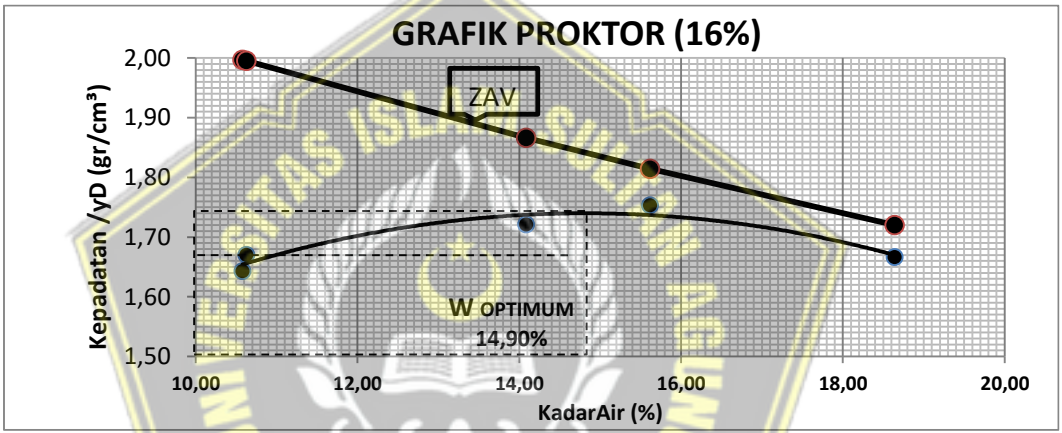
Gambar 4.19 Grafik *Proctor Modified* Tanah Asli



Gambar 4.20 Grafik *Proctor Modified* campuran *fly ash* 4 %



Gambar 4.21 Grafik *Proctor Modified* campuran *fly ash* 8 %



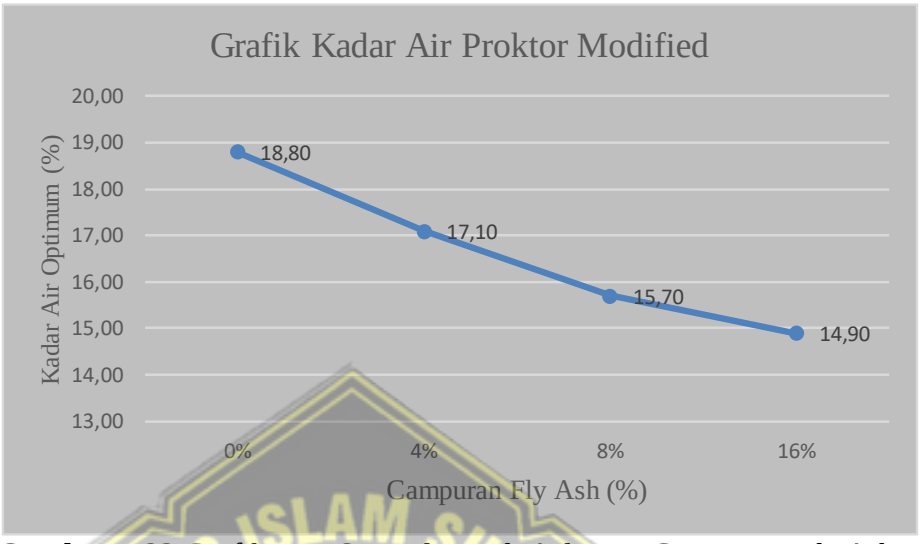
Gambar 4.22 Grafik *Proctor Modified* campuran *fly ash* 16 %

Berdasarkan grafik-grafik tersebut, maka dihasilkan kadar air optimum (w_{opt}) dan volume berat kering maksimum (γ_{dopt}) yang dapat dilihat pada **Tabel 4.19**.

Tabel 4.19 Hasil Grafik *Proctor modified*

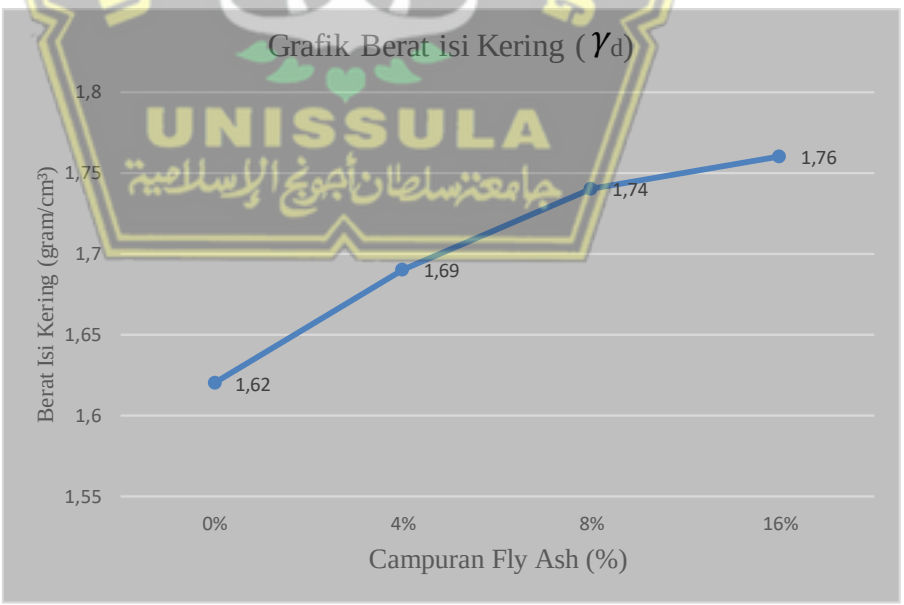
No	Sampel	W_{opt} (%)	γ_d (gr/cm³)
1	0%	18,80	1,62
2	4%	17,10	1,69
3	8%	15,70	1,74
4	16%	14,90	1,76

Dari tabel tersebut dapat diperoleh grafik kadar air optimum (w_{opt}) seperti pada **Gambar 4.23**.



Gambar 4.23 Grafik W_{opt} Sampel Tanah Asli Dan Campuran *Fly Ash*

Dari grafik tersebut diketahui pada nilai w_{opt} sebesar 14,90 % dimana tanah dari Jalan Kudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah. Dari **Tabel 4.19** tersebut dapat diperoleh grafik Berat volume Kering (γ_{dopt}) seperti pada **Gambar 4.24**



Gambar 4.24 Grafik Berat Isi Kering (γ_{dopt}) Sampel Tanah Asli Dan Campuran *Fly Ash*

Dari **Gambar 4.24** dan **Gambar 4.23** hasil pengujuan pada sempel tanah. dengan penambahan *fly ash* diperoleh hasil nilai kadar air optimum (W_{opt}) semakin turun sedangkan berat volume kering (γ_{dopt}) semakin naik yang berarti **kepadatan tanah semakin naik**.

4.2.7. *California Bearing Ratio* (CBR)

Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) dilakukan dengan tujuan mengetahui nilai daya dukung tanah pada kerapatan maksimum. Dalampengujian ini digunakan kadar air optimum yang didapat dari uji *Proctor Modified* . Data hasil pengujian CBR dapat dilihat pada **Tabel 4.20** dan **Tabel 4.21**.

Tabel 4.20 Data Pengujian CBR *Soaked*

Sampel	No	Berat Alat + Tanah (gr)	No. Cawan	Berat Cawan (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (b)	Berat Cawan + Tanah Kering (c)
0%	1	9645	1	10,09	51,7	40,86
4%	2	9569	2	9,85	41,2	33,56
8%	3	9488	3	4,15	34,98	29,62
16%	4	9606	4	4,12	43,03	36,65

Tabel 4.21 Data Pengujian CBR *Unsoaked*

Sampel	No	Berat Alat + Tanah (gr)	No. Cawan	Berat Cawan (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (b)	Berat Cawan + Tanah Kering (c)
0%	1	9348	1	10,09	62,11	54,03
4%	2	9392	2	10,22	44,54	39,51
8%	3	9460	3	10,09	62,11	55,02
16%	4	9584	4	4,33	46,59	40,88

Dari pengujian CBR *Soaked* dan *Unsoaked* tanah asli maupun dengan penambahan *fly ash* dilaboratorium didapatkan hasil sesuai pada **tabel 4.20** dan **tabel 4.21.**Data alat :

Berat tabung = 5160 gram
Tinggi tabung = 11,74 cm
Diameter tabung = 15,18 cm
Tinggi ganjal = 5,6 cm

Analisa data tersebut dihitung dengan cara seperti berikut :

Digunakan contoh perhitungan dengan sampel tanah asli sesuai data pada **tabel 4.20**.

a) Volume alat
   = ¼.π.D^2.t
   = ¼.3,14.(15,18)^2. 11,74
   = 2123,6 cm^3
b) Berat tanah basah
   = (berat alat + tanah) – berat alat (Alas +I)
   = 9645 – 5160
   = 4485 gram.
c) Berat volume tanah basah (γ_b)
   $= \frac{Berat\ tanah\ basah}{Volume\ alat}$
   $= \frac{4485}{2123,6}$
   = 2,112 gr/cm^3
d) Kadar air (w)
   $w = \frac{b-c}{c-a} x100\%$,
   Dimana : a = Berat cawan (gram)
   b = Berat cawan + tanah basah (gram)
   c = Berat cawan + tanah kering (gram)

$$w = \frac{51{,}7 - 40{,}86}{40{,}86 - 10{,}09}$$

$$= 35{,}2\%$$

e) Berat jenis tanah kering (γ_d)

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

$$= \frac{2{,}112}{1 + 35{,}2}$$

$$= 1{,}562\ gr/cm^3$$

CBR *Soaked* dan CBR *Unsoaked* Jalan Kudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah secara keseluruhan dapat dilihat pada **Tabel 4.22** dan **Tabel 4.23**.

Tabel 4.22 Nilai Perhitungan CBR *Soaked*

Sampel	No	Berat Alat + Tanah (gr)	Berat Alat (gr)	Kadar Air (gr)	Berat Sempel Basah (gr)	ɣ basah (gr/cm³)	ɣ kering (gr/cm³)
0%	1	9645	5160	35,2	40,86	2,112	1,562
4%	2	9569	5160	32,2	4409	2,076	1,570
8%	3	9488	5160	21,0	4328	2,038	1,684
16%	4	9606	5160	19,6	4446	2,094	1,750

Tabel 4.23 Nilai Perhitungan CBR *Unsoaked*

Sampel	No	Berat Alat + Tanah (gr)	Berat Alat (gr)	Kadar Air (gr)	Berat Sempel Basah (gr)	ɣ basah (gr/cm³)	ɣ kering (gr/cm³)
0%	1	9348	5160	18,4	4188	1,972	1,666
4%	2	9392	5160	17,2	4232	1,993	1,701
8%	3	9460	5160	15,8	4300	2,025	1,749
16%	4	9584	5160	15,6	4424	2,083	1,802

Dari data CBR *Soaked* dan *Unsoaked* tanah asli maupun pada penambahan *fly ash* dalam **tabel 4.20** dan **tabel 4.21** didapatkan hasil perhitungan sesuai dalam **tabel 4.22** dan pada **tabel 4.23**.

Dari uji CBR di laboratorium, juga di dapatkan nilai penetrasi dari setiap benda uji, seperti dalam **Tabel 4.24.**

Menghitung koreksi beban :

Koreksi beban = Kalibrasi alat x pembacaan arloji CBR

= 9,2591 x 1

= 9,256 lbs

Tabel 4.24 Data Penetrasi Sampel Tanah Asli *Soaked*

t (menit)	Penurunan		Jumlah tumbukan	
			0%	
	(inch)	(mm)	Arloji Atas	Koreksi
¼	0,0125	0,32	1	9,26
½	0,0250	0,64	2	18,52
1	0,0500	1,27	4	37,04
1,5	0,0750	1,91	5	46,30
2	0,1000	2,54	7	64,81
3	0,1500	3,81	9	83,33
4	0,2000	5,08	10	92,59
6	0,3000	7,62	12	111,11
8	0,4000	10,16	14	129,63

Tabel 4.25 Data Penetrasi Sampel Tanah Asli *Unsoaked*

t (menit)	Penurunan		Jumlah tumbukan	
			0%	
	(inch)	(mm)	Arloji Atas	Koreksi
¼	0,0125	0,32	2	18,52
½	0,0250	0,64	3	27,78
1	0,0500	1,27	7	64,81
1,5	0,0750	1,91	12	111,11
2	0,1000	2,54	16	148,15
3	0,1500	3,81	20	185,18
4	0,2000	5,08	23	212,96
6	0,3000	7,62	27	250,00
8	0,4000	10,16	31	287,03

Dari pengujian pembebanan pada sample tanah asli CBR *Soaked* dan *Unsoaked* Jalan Kudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah didapatkan hasil pembacaan dial seperti dalam tabel **tabel 4.24** dan **tabel 4.25.**

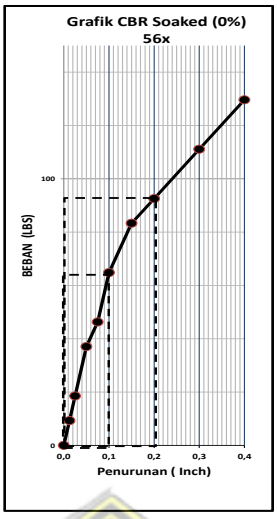
Tabel 4.26 Hasil Penetrasi Sampel Tanah campuran *fly ash Soaked*

t (menit)	Penurunan		Jumlah tumbukan			
			4%		8%	
	(inch)	(mm)	Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi
1/4	0,0125	0,32	2	18,52	4	37,04
1/2	0,0250	0,64	4	37,04	7	64,81
1	0,0500	1,27	6	55,55	12	111,11
1,5	0,0750	1,91	9	83,33	19	175,92
2	0,1000	2,54	12	111,11	25	231,48
3	0,1500	3,81	19	175,92	29	268,51
4	0,2000	5,08	22	203,70	31	287,03
6	0,3000	7,62	26	240,74	33	305,55
8	0,4000	10,16	29	268,51	35	324,07
t (menit)	Penurunan		Jumlah tumbukan			
			16%			
	(inch)	(mm)	Arloji Atas	Koreksi		
1/4	0,0125	0,32	12	111,11		
1/2	0,0250	0,64	18	166,66		
1	0,0500	1,27	29	268,51		
1,5	0,0750	1,91	38	351,85		
2	0,1000	2,54	43	398,14		
3	0,1500	3,81	50	462,96		
4	0,2000	5,08	55	509,25		
6	0,3000	7,62	61	564,81		
8	0,4000	10,16	68	629,62		

Tabel 4.27 Hasil Penetrasi Sampel Tanah campuran *fly ash Unsoaked*

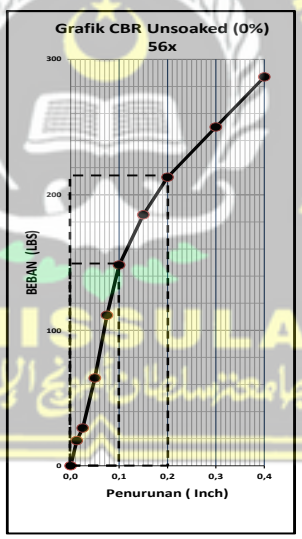
t (menit)	Penurunan		Jumlah tumbukan			
			4%		8%	
	(inch)	(mm)	Arloji Atas	Koreksi	Arloji Atas	Koreksi
1/4	0,0125	0,32	3	27,78	6	55,55
1/2	0,0250	0,64	4	37,04	9	83,33
1	0,0500	1,27	8	74,07	15	138,89
1,5	0,0750	1,91	14	129,63	21	194,44
2	0,1000	2,54	17	157,40	30	277,77
3	0,1500	3,81	22	203,70	34	314,81
4	0,2000	5,08	25	231,48	39	361,10
6	0,3000	7,62	29	268,51	43	398,14
8	0,4000	10,16	34	314,81	47	435,18
t (menit)	Penurunan		Jumlah tumbukan			
			16%			
	(inch)	(mm)	Arloji Atas	Koreksi		
1/4	0,0125	0,32	8	74,07		
1/2	0,0250	0,64	13	120,37		
1	0,0500	1,27	27	250,00		
1,5	0,0750	1,91	39	361,10		
2	0,1000	2,54	50	462,96		
3	0,1500	3,81	62	574,06		
4	0,2000	5,08	70	648,14		
6	0,3000	7,62	75	694,43		
8	0,4000	10,16	84	777,76		

Dari pengujian pembebanan pada sample tanah dengan penambahan *fly ash* CBR *Soaked* dan *Unsoaked* Jalan Kudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah didapatkan hasil pembacaan dial seperti dalam tabel **tabel 4.26** dan **tabel 4.27.**



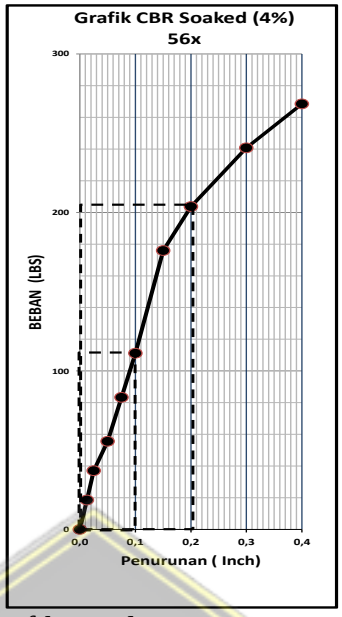
Gambar 4.25 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Asli *Soaked*

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan hasil pembacaan dial 0,1 (inchi) sebesar 64,81 lbs dan 0,2 (inchi) sebesar 92,59 lbs



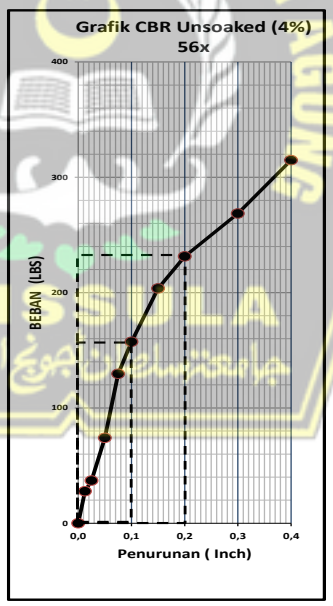
Gambar 4.26 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Asli *Unsoaked*

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan hasil pembacaan dial 0,1 (inchi) sebesar 148,15 lbs dan 0,2 (inchi) sebesar 212,96 lbs



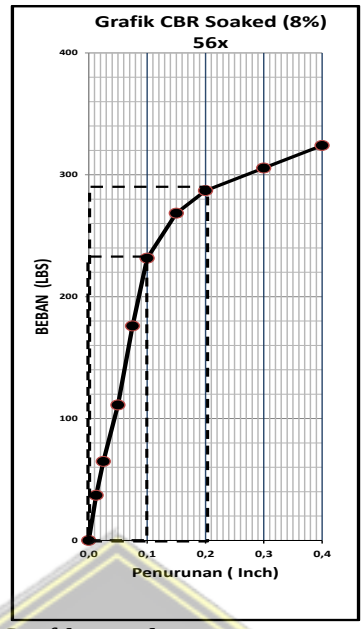
Gambar 4.27 Grafik Hasil Penetrasi campuarn 4% *Soaked*

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan hasil pembacaan dial 0,1 (inchi) sebesar 111,11 lbs dan 0,2 (inchi) sebesar 203,70 lbs



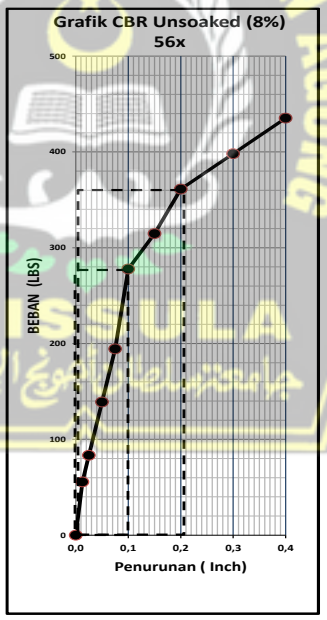
Gambar 4.28 Grafik Hasil Penetrasi campuarn 4% *Unsoaked*

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan hasil pembacaan dial 0,1 (inchi) sebesar 157,40 lbs dan 0,2 (inchi) sebesar 231,48 lbs



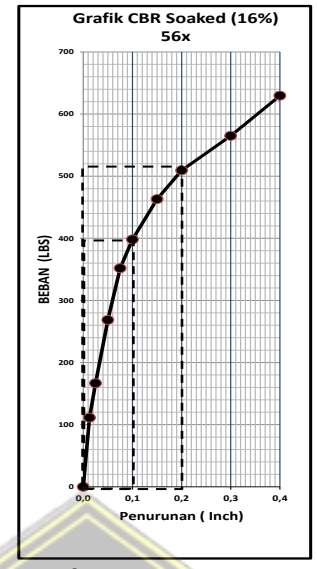
Gambar 4.29 Grafik Hasil Penetrasi campuarn 8% *Soaked*

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan hasil pembacaan dial 0,1 (inchi) sebesar 231,48 lbs dan 0,2 (inchi) sebesar 287,03 lbs



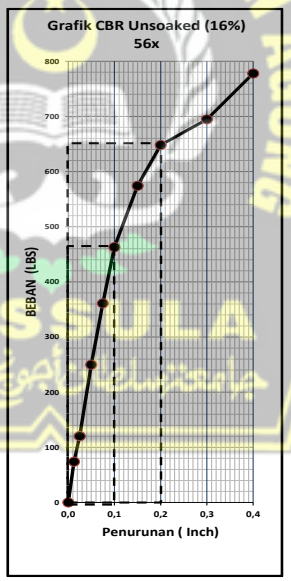
Gambar 4.30 Grafik Hasil Penetrasi campuarn 8% *Unsoaked*

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan hasil pembacaan dial 0,1 (inchi) sebesar 277,77 lbs dan 0,2 (inchi) sebesar 361,10 lbs



Gambar 4.31 Grafik Hasil Penetrasi campuarn 16% *Soaked*

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan hasil pembacaan dial 0,1 (inchi) sebesar 398,14 lbs dan 0,2 (inchi) sebesar 509,25 lbs



Gambar 4.32 Grafik Hasil Penetrasi campuarn 16% *Unsoaked*

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan hasil dari pembacaan dial 0,1 (inchi) sebesar 462,96 lbs dan 0,2 (inchi) sebesar 648,14 lbs

Berdasarkan data penetrasi tanah asli dan tanah campuran *fly ash* 4%, 8%, 16%, maka harga CBR masing-masing sampel dapat dilihat melalui perhitungan.

Berikut ini menjelaskan contoh perhitungan contoh tanah asli.

1. Perhitungan penetrasi 0,1" (0,254 mm)

$$\text{CBR (\%)} = \frac{P1}{3X1000} X100$$

2. Perhitungan penetrasi 0,2" (0,508 mm)

$$CBR\ (\%) = \frac{P2}{3\ K\ 1500} X\ 100\%$$

$$= \frac{92{,}59}{3\ x\ 1500} X\ 100\%$$

$$= 2{,}06\ \%$$

Keterangan : P1 = tekanan uji pada penetrasi 0,1" (g/cm^3)P2 = tekanan uji pada penetrasi 0,2" (g/cm^3)

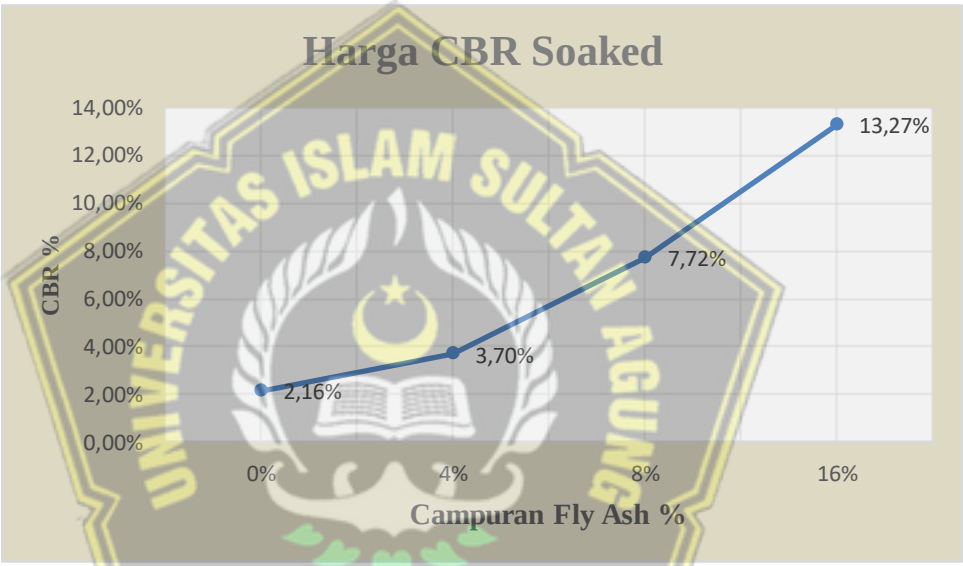
Setelah semua data diperoleh seperti contoh tersebut, maka diperoleh nilai perhitungan seperti dalam **Tabel 4.28** dan **Tabel 4.29.**

Tabel 4.28 Nilai CBR (*Soaked*) Tanah Asli dan Campuran *fly ash*

Sampel	Beban Atas Koreksi		Harga CBR		
	0,1"	0,2"	0,1"	0,2"	(%)
0%	64,81	92,59	2,16	2,06	2,160
4%	111,11	203,70	3,70	4,53	3,704
8%	231,48	287,03	7,72	6,38	7,716
16%	398,14	509,25	13,27	11,32	15,07

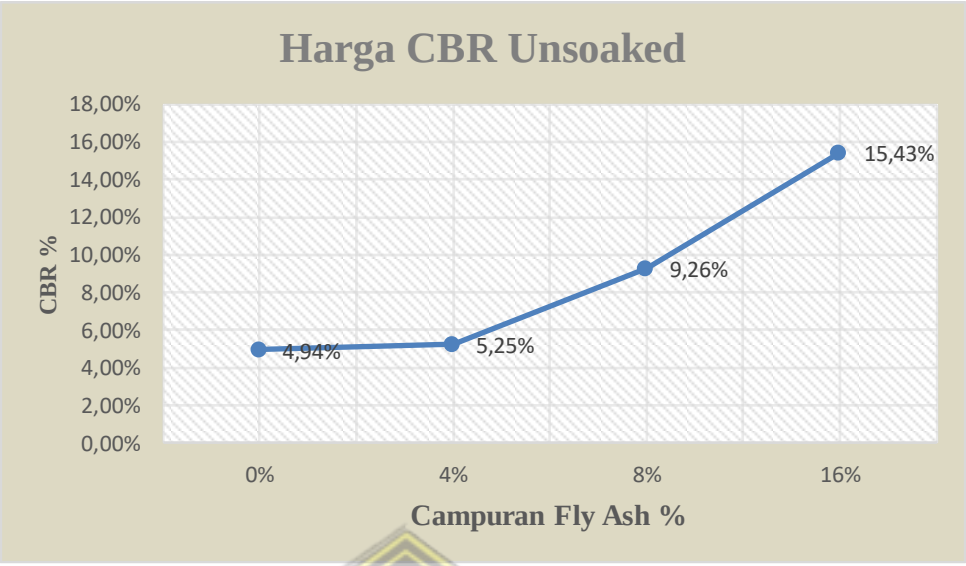
Tabel 4.29 Harga CBR (*Unsoaked*) Tanah Asli dan Campuran *fly ash*

Sampel	Beban Atas Koreksi		Harga CBR		
	0,1"	0,2"	0,1"	0,2"	(%)
0%	148,15	212,96	4,94	4,73	4,938
4%	157,40	231,48	5,25	5,14	5,247
8%	277,77	361,10	9,26	8,02	9,259
16%	462,96	648,14	15,43	14,40	15,432



Gambar 4.33 Grafik Harga CBR *Soaked*

Berdasarkan **Gambar 4.33** grafik tersebut diketahui bahwa campuran *fly ash* dapat meningkatkan nilai CBR *Soaked*, seiring dengan banyak campuran *fly ash* dari itu nilai CBR juga bertambah. Semakin tinggi nilai CBR semakin tinggi pula nilai daya dukungnya.



Gambar 4.34 Grafik Harga CBR *Unsoaked*

Berdasarkan **Gambar 4.33** grafik tersebut diketahui bahwa campuran *fly ash* dapat meningkatkan nilai CBR *Unsoaked*, seiring dengan banyak campuran fly ash maka nilai CBR juga meningkat. Semakin tinggi nilai CBR semakin tinggi pula nilai daya dukungnya.

BAB V
PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari data hasil pengujian laboratorium dan analisa yang dilakukan pada sampel tanah dalam Tugas Akhir ini dapat diambil kesimpulan seperti berikut ini :

1. klasifikasi tanah menurut Sistem (*Mitchell dan Gardner, 1975; Gibbs, 1969)*, pengembangan dan (*PI*) menurut SNI 03-6795-2002, dan potensi pengembangan menurut (*Skempton 1953*) departemen pekerjaan umum, dapat disimpulkan bahwa tanah di JalanKudus - Purwodadi KM 25, Desa Klambu, Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah merupakan tanah yang keekspansifannya **rendah sampai tidak aktif**.
2. Dari hasil pengujian laboratorium, pengaruh campuran *fly ash* terhadap stabilitas tanah yaitu semakin banyak campuran *fly ash* yang di berikan maka semakin baik sifat mekanis tanah yang artinya daya dukung tanah semakin meningkat.
3. Dari pengujian (CBR) *Soaked* dan *unsoaked* , *DS, ATL, Proctor Modified* yang dilakukan pada sampel tanah asli dan tanah yang ditambahkan *fly ash* dengan persentase 4%, 8%, 16% diperoleh harga CBR *soaked* sebesar 2,160%, 3,704%, 7,716%, dan 15,07%. Dan CBR *unsoaked* sebesar 4,938%, 5,247%, 9,259%, dan 15,432%. Untuk *DS* nilai sudut geser dalam (φ) yaitu 15,71°, 33,29°, 36,02°, 36,89°. Untuk nilai *ATL* LL yaitu 44,20%, 37,61%, 36,37%, 35,20%, untuk PL yaitu 20,09%, 20,29%, 21,12%, 21,91% dan untuk IP yaitu 24,11%, 16,82%, 15,25%, 13,39%. Dan Untuk pengujian *Proctor Modified* diperoleh w_{opt} sebesar 18,80%, 17,10%, 15,70%, 14,90%, dan untuk γ_d yaitu 1,62 gr/cm^3, 1,69 gr/cm^3, 1,74 gr/cm^3, 1,76 gr/cm^3.

5.2. Saran

1. Perbanyak jumlah sampel penelitian dengan persentase campuran *fly ash* yang selisih tiap sampelnya sedikit untuk mengetahui perbandingan perubahan hasil yang terjadi dan titik yang lebih optimum.

2. Diperlukan lebih banyak penelitian dengan penambahan stabilisator lain untuk mencapai hasil yang lebih baik.
3. Kehati-hatian dalam melakukan pengujian, terutama menggunakan instrumen yang harus diikuti dengan benar untuk mendapatkan hasil yang maksimal dan lebih valid.

DAFTAR PUSTAKA

Auliah, Armi, 2009, Lempung Aktif Sebagai Adsorben Ion Fosfat Dalam Air, Jurnal Ilmiah Kimia dan Pendidikan Kimia.

Apriyanti, Yayuk dan Roby Hambali, 2014, Pemanfaatan Fly Ash untuk Peningkatan Nilai CBR Tanah Dasar, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung.

Arifin, B., 2019, Penggunaan Abu Batu Bara PLTU Mpanau Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu.

Bowles J., 1984, Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Bowles, E. J. & Henlim, J. K., 1991, Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah). Penerbit Erlangga, Jakarta.

Chen, F. H., 1975, 1988, Foundation of Expansive Soils, American Elsevier Science Publication, New York.

Craig, B. M., 1991, Mekanika Tanah, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Das, B.M., 1995, The Principle of Geotechnical Engineering (Mekanika Tanah), Penerbit Erlanga, Jakarta.

Fitriyana, Lisa, 2019, Pengaruh Feldspar Dan Ampas Tebu Terhadap Propertis Tanah Ekspansif, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Gustin, Kwani Eka, Machfud Ridwan, 2017, Pengaruh Penambahan Limbah Bata Ringan Pada Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Wiyung Surabaya Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR), Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.

Hapsari, Nurul Aini Dwi dan Mitha Hadi Amelyna, 2019, Pengaruh Penambahan Kapur dan Abu Sekam Padi untuk Stabilisasi Tanah Ekspansif, Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Hardiyatmo, G. C., 2002, Mekanika Tanah Jilid 1. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.

Hizkia, Gultom, 2019, Kajian Stabilisasi Tanah lempung Akibat Penambahan Semen Prtland 3% dan Fly Ash dengan Pengujian CBR Test dan Kuat Tekan Bebas, Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.

Husnah, Novreta Ersy Darfia, Septian Eka Prayino, 2019, Stabilisasi Tanah Lempung dengan campuran Semen dan Fly Ash, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Abdurrab.

Ingles, O. G. dan Metclaf, J. B., 1972, Soil Stabilization, Butterworths, Sydney.

Irwansah, Rio, Aprianto, Abubakar Alwi, 2020, Pengaruh Penambahan Material Berbutir Sebagai Bahan Stabilisasi Timbunan, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak.

Karlinasari, Rinda, 2019 Perbaikan Tanah Lunak Berdasarkan Waktu Dan Biaya Konstruksi Studi Kasus Jalan Tol Pemalang – Batang, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Kusuma, Rama Indera, Enden Mina, dan Taufik Rahman, 2016, Stabilisasi Tanah dengan Menggunakan Fly Ash dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat TekanBebas, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Ageng Tirtayasa.

Manoppo, Fabian, 2013, Perilaku Tanah Expansif Terhadap Daya Dukung, Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Muntohar, A. S., 2014, Perbaikan Tanah, LP3M UMY, Yogyakarta.

Punmia, D. B. C., 1981, Soil Mechanics and Foundation, Standartd Book House, Delhi.

Prakoso, Akbar Wahyu dan Agung Rizaldi Awi Putra, 2020, Stabilisasi Tanah Lempung dengan Penambahan Fly Ash, Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Pratikso, 2014, Topik Khusus Geoteknik, Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung, Semarang.

Subiyantoro. S., 2001, Mengenal Lebih Jauh Tentang Garam, BPP Banyuwangi, Jawa Timur.

Sudjianto, Agus Tugas, 2016, Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Daya Dukung Tanah Bekas Timbunan Sampah (Landfill), Program Studi Teknik Sipil Universitas Widyagama Malang.

Sutanto, Rachman, 2005, Dasar-dasar Ilmu Tanah Konsep dan Kenyataan, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.

Terzaghi, K., 1991, Mekanika Tanah, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Verhoef, PNW., 1994, GeologiUntuk Teknik Sipil, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Wiqoyah, Qunik, 2006, Pengaruh Kadar Kapur, Waktu Perawatan dan Perendaman Terhadap kuat Dukung Tanah Lempung, Publikasi Ilmiah UMS, Surakarta.