

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGARUH BAHAN STABILISASI TANAH
LEMPUNG EKSPANSIF DENGAN ABU GERGAJI KAYU DAN
ABU ECENG GONDOK TERHADAP DAYA DUKUNG
FONDASI DANGKAL**

**(Studi Kasus : Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan,
Provinsi Jawa Tengah)**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan Pendidikan
Program Sarjana (S1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik**

Universitas Islam Sultan Agung



Disusun Oleh :

Lora Annisa Sabilla

30.2017.00.096

Lusy Noveliyana

30.2017.00.097

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

2021

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS PENGARUH BAHAN STABILISASI TANAH LEMPUNG
EKSPANSIF DENGAN ABU GERGAJI KAYU DAN ABU ECENG GONDOK
TERHADAP DAYA DUKUNG FONDASI DANGKAL

(Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogana,
Privinsi Jawa Tengah)

Yang diajukan oleh :

Lora Annisa Sabilla

30.2017.00.096

Lusy Noveliyana

30.2017.00.097

Telah disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. H. Soedarsono, MSi

Tanggal : 23-07-2021

Dosen Pembimbing II



Lisa Fitriyana, ST.,M.Eng

Tanggal : 23-07-2021

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



M. Rusli Ahyar, ST.,M.Eng

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PENGARUH BAHAN STABILISASI TANAH LEMPUNG
EKSPANSIF DENGAN ABU GERGAJI KAYU DAN ABU ECENG GONDOK
TERHADAP DAYA DUKUNG FONDASI DANGKAL**

**(Studi Kasus : Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan,
Provinsi Jawa Tengah)**

Oleh :



Lora Annisa Sabilla

30.2017.00.096

Lusy Noveliyana

30.2017.00.097

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 23-07-2021

Tim Penguji

1. Dr. Ir. H. Soedarsono, MSi
2. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng
3. Dr. Abdul Rochim, ST., MT

Tanda Tangan

Universitas Islam Sultan Agung

Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Ketua,



M. Rusli Anyar, ST., M.Eng



UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
JURUSAN TEKNIK SIPIL

Sekretariat : Lantai 1 Gedung Fakultas Teknik Kampus UNISSULA Semarang
Jalan Raya Kaligawe KM. 4 PO. BOX 1054 Telepon. 089608181018 Semarang 50112

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No : 17/A.2/SA-T/III/2021

Pada hari ini tanggal 05 – 03 – 2021 berdasarkan surat keputusan rektor Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang Perihal Penunjukan dosen pembimbing dan asisten dosen pembimbing :

1. Nama : Dr. Ir. H. Soedarsono, MSi
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing I
2. Nama : Lisa Fitriyana, ST., M.Eng
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing II

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

Lora Annisa Sabilla

Lusy Noveliyana

30.2017.00.096

30.2017.00.097

Judul : ANALISIS PENGARUH BAHAN STABILISASI TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DENGAN ABU GERGAJI KAYU DAN ECENG GONDOK TERHADAP DAYA DUKUNG FONDASI DANGKAL

Dengan tahapan sebagai berikut :

No.	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1.	Penunjukan dosen pembimbing	05-03-2021	-
2.	Proposal	26-03-2021	ACC
3.	Pengumpulan data	28-03-2021	-
4.	Analisis data	28-03-2021	-
5.	Penyusunan laporan	31-03-2021	-
6.	Selesai laporan	21-07-2021	ACC

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

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. H. Soedarsono, MSi

Lisa Fitriyana, ST., M.Eng



Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

M. Rashi Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Lora Annisa Sabilla

Nama : Lusy Noveliyana

NIM : 30201700096

NIM : 30201700097

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : “ANALISIS PENGARUH BAHAN STABILISASI TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DENGAN ABU GERGAJI KAYU DAN ABU ECENG GONDOK TERHADAP DAYA DUKUNG FONDASI DANGKAL” benar bebas dari plagiat, apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana adanya.

Yang Membuat Pernyataan

Semarang, Juli 2021

Yang Membuat Pernyataan



Lora Annisa Sabilla



Lusy Noveliyana



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Lora Annisa Sabilla

Nama : Lusy Noveliyana

NIM : 30201700096

NIM : 30201700097

Judul : ANALISA PENGARUH BAHAN STABILISASI TANAH LEMPUNG
EKSPANSIF DENGAN ABU GERGAJI KAYU DAN ABU ECENG
GONDOK TERHADAP STABILISASI TANAH

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikira dan pemaparan hasil pemikiran 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 ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

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

Demikian pernyataan ini saya buat.

Yang Membuat Pernyataan



Lora Annisa Sabilla

Semarang, Juli 2021
Yang Membuat Pernyataan



Lusy Noveliyana

MOTTO

Q.S Al-Insyirah (94 : 6-8)

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا (6) فَإِذَا فَرَغْتَ فَانصَبْ (7) وَإِلَىٰ رَبِّكَ فَارْغَبْ (8)

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lainnya, dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.”

Q.S Ali ‘Imron (3 : 110)

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

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

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT, alhamdulillah atas segala rahmat dan karunia-Nya yang diberikan kepada saya hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Mama tercinta, Mama Elis (Setya Sululistyani) dan Papa tercinta, Papa Edi (Joko Edi Puryanto) yang selalu memberikan dukungan secara moriil dan materiil serta do'a yang tak terhingga.
2. Adik tersayang, Dafa Andhika Fa'Rido
3. Saudara dan Saudariku (Mbak Devi, Mba Fira, Mba Ayu, Mas Udin, Dek Alfi) terkasih yang selalu mendukung dan mendengarkan keluh kesah saya.
4. Bapak Yadi, Mas Rihlosusanto dan Mas Ghulam yang telah membantu saya dalam mencari sample tanah.
5. Partner TA Lusy Noveliyana yang sudah berjuang Bersama saya dan sabar menghadapi saya.
6. Laboratorium Geoteknologi dan jajaranya (Bapak Ripto dan Bapak Tardi) yang telah membantu dan membimbing saya selama penelitian tugas akhir ini berlangsung.
7. Seluruh dosen dan karyawan Fakultas Teknik Unissula yang telah membrikan ilmu, pengajaran, serta fasilitas selama berkuliah.
8. Yudha Andika Wijaya dan Irwan Yulianto Prasetyo yang telah membantu saya selama masa penelitian tugas akhir, pengelolaan data, serta mendengarkan keluh kesah saya.
9. Sahabat – sahabatku geng z (Habib, Althaf, Rizal, Danang, Andi, Dyah, Alin, Ema, Uli) yang selalu mendukung dari kejauhan. Serta Isnah yang selalu memberikan tumpangan tempat untuk mengerjakan revisina.
10. Teman Teman Teknik Sipil 2017 dan Seluruh KMFT Unissula yang tidak dapat saya sebutkan satu – persatu

Lora Annisa Sabilla

30201700096

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT, alhamdulillah atas segala rahmat dan karunia-Nya yang diberikan kepada saya hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Bapak tercinta, Bapak Zaenuddin yang selalu memberikan dukungan secara moriil dan materiil serta do'a yang tak terhingga.
2. Ibu tercinta, Ibu Fatonah yang selalu memberikan dukungan secara moriil dan materiil serta do'a yang tak terhingga.
3. Kakak tersayang Rio Adi dan Kakak Ipar tersayang Evie Pradipta.
4. Saudara dan Saudariku terkasih yang selalu mendukung saya.
5. Partner TA Bunda Lora Annisa Sabilla yang sudah berjuang Bersama saya dan sabar menghadapi saya.
6. Segenap keluarga besar Laboratorium Geoteknik (Ibu Lisa Fitriyana, Bapak Ripto, Bapak Tardi dan Aslab Irwan Yulianto kawan kami) yang telah membantu kami selama penelitian dan mengolah data.
7. Kawan-kawanku yang baik hati (Mas Yudha Andhika, Lana, Isnah, Isna) yang sudah mendengar keluh kesah dan mendukung saya. Serta (Depia, Siska, Yasinta) yang selalu mendukung dari kejauhan.
8. Teman-teman Teknik Sipil 2017 dan Seluruh KMFT Unissula yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu.

Lusy Noveliyana

30201700097

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT kami ucapkan karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“ANALISIS PENGARUH BAHAN STABILISASI TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DENGAN ABU GERGAJI KAYU DAN ABU ECENG GONDOK TERHADAP DAYA DUKUNG FONDASI DANGKAL”**. Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng., selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Ir. H. Soedarsono, Msi., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing kami dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik dan saran, serta dorongan semangat.
4. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing kami dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik dan saran, serta dorongan semangat.
5. Seluruh dosen dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Orang tua dan seluruh keluarga dari penulis yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan.
7. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari karena keterbatasan ilmu pengetahuan, kemampuan, dan pengalaman yang dimiliki maka dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat kami harapkan untuk menjadikannya lebih baik.

Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat kepada semua pihak yang membutuhkannya. Aamiin.

Semarang, Juli 2021



Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	iii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
MOTTO	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMABANG DAN NOTASI	xxii
DAFTAR SINGKATAN	xxiii
ABSTRAK	xxiv
ABSTRACT	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Peta Lokasi	4
1.7 Kajian Kajian	5
1.8 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tanah	7
2.2 Tanah Lempung	9

2.3	Tanah Ekspansif	11
2.4	Materi Penyusun Tanah	12
2.5	Klasifikasi Tanah	13
	2.5.1 Klasifikasi Tanah AASHTO	13
	2.5.2 Klasifikasi Tanah USCS	17
2.6	Sifat Fisik Tanah	20
	2.6.1 Kadar Air (w)	20
	2.6.2 Berat Jenis Tanah (Gs)	21
	2.6.3 Analisa Batuan Tanah (<i>Sieve Analysis</i>)	22
	2.6.4 Batas – Batas <i>Atterberg</i>	26
2.7	Sifat Mekanika Tanah	28
	2.7.1 Pemadatan Tanah	29
	2.7.2 Kuat Geser Tanah	31
2.8	Stabilisasi Tanah	33
	2.8.1 Abu Gergaji Kayu Sebagai Bahan untuk Stabilisasi	35
	2.8.2 Abu Eceng Gondok Sebagai Bahan untuk Stabilisasi	36
2.9	Daya Dukung Tanah Untuk Pondasi Dangkal	38
2.10	Penelitian Terdahulu	39
BAB III METODE PENELITIAN		43
3.1	Pengertian Umum	43
3.2	Studi Literatur	46
3.3	Teknik Pengumpulan Data	46
	3.3.1 Persiapan Pengujian di Laboratorium	48
	3.3.1.1 Tanah	48
	3.3.1.2 Air	49
	3.3.1.3 Abu Gergaji Kayu	49
	3.3.1.4 Abu Eceng Gondok	50
	3.3.2 Lokasi Penelitian	50
	3.3.3 Persiapan Alat dan Prosedur Penelitian	50
	3.3.3.1 Kadar Air	50

3.3.3.2	<i>Atteberg Limit</i> (Batas – Batas Konsistensi)	51
3.3.3.3	Analisa Saringan (<i>Sive Analysis</i>)	55
3.3.3.4	<i>Direct Shear</i>	59
3.3.3.5	Berat Jenis Tanah (Gs)	60
3.3.3.6	<i>Proctor Standart</i>	62
3.4	Daya Dukung Tanah Untuk Pondasi Dangkal	64
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		66
4.1	Hasil Penelitian	66
4.1.1	Sifat Fisik Tanah	66
4.1.1.1	Kadar Air.....	66
4.1.1.2	<i>Atterberg Limit</i>	69
4.1.1.3	Analisa Saringan (<i>Sive Analysis</i>)	82
4.1.1.4	Berat Jenis Tanah (Gs)	86
4.1.2	Sifat Mekanika Tanah	91
4.1.2.1	<i>Direct Shear</i>	91
4.1.2.2	<i>Proctor Standart</i>	101
4.1.3	Daya Dukung Tanah Untuk Pondasi Dangkal	116
BAB V PENUTUP		121
5.1	Kesimpulan	121
5.2	Saran	122
DAFTAR PUSTAKA		123

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Tanah aashto	16
Tabel 2.2	Klasifikasi tanah USCS	18
Tabel 2.3	Sistem Klasifikasi USCS	19
Tabel 2.4	Koreksi suhu berat jenis tanah.....	22
Tabel 2.5	Ukuran Ayakan Standar	24
Tabel 2.6	Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah.....	26
Tabel 2.7	Macam Tanah dan Metode Stabilisasi yang cocok untuk stabilisasi dan keawetan tanah dasar.....	34
Tabel 2.8	Penelitian Terdahulu	40
Tabel 3.1	Komposisi Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok ...	43
Tabel 3.2	Daftar Benda Uji Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok	46
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Kadar Air Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Gergaji Kayu ditambah Abu Eceng Gondok	67
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan <i>Liquid Limit</i>	70
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan <i>Plastic Limit</i>	75
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Indeks Plastisitas Dengan Campuran Abu Gergaji Kayu	75
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan Indeks Plastisitas Dengan Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok.....	77
Tabel 4.6	Hubungan Potensi Pengembangan dan IP.....	81
Tabel 4.7	Data Pengujian <i>Grain Size</i> Sampel Tanah Asli (0%)	82
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan <i>Grain Size</i> Tanah Asli (0%).....	83
Tabel 4.9	Data Hidrometer Sampel Tanah Asli (0%)	84
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan Hidrometer Sampel Tanah Asli (0%)	85
Tabel 4.11	Hasil Grafik <i>Sieve Analysis</i>	86
Tabel 4.12	Data Hasil Percobaan Piknometer Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	86

Tabel 4.13	Hasil Perhitungan Piknometer Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	87
Tabel 4.14	Data Hasil Percobaan Piknometer Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok	88
Tabel 4.15	Data Hasil Perhitungan Piknometer Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok	89
Tabel 4.16	Berat Spesifik Mineral.....	90
Tabel 4.17	Hasil Perhitungan <i>Direct Shear</i> Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok	92
Tabel 4.18	Hasil Penggambaran Grafik <i>Direct Shear</i> Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	97
Tabel 4.19	Hasil Penggambaran Grafik <i>Direct Shear</i> Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok	98
Tabel 4.20	Data Hasil Percobaan Proktor Standar Dengan Campuran Abu Gergaji Kayu	101
Tabel 4.21	Data Hasil Percobaan Proktor Standar Dengan Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok.....	102
Tabel 4.22	Hasil Perhitungan Proktor Standar Tanha Asli	106
Tabel 4.23	Hasil Perhitungan Proktor Standar Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	106
Tabel 4.24	Hasil Perhitungan Proktor Standar Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok.....	107
Tabel 4.25	Hasil Proktor Standar Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	112
Tabel 4.26	Hasil Proktor Standar Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok	113
Tabel 4.27	Data Menghitung Daya Dukung Pondasi Dangkal Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	116
Tabel 4.28	Data Menghitung Daya Dukung Pondasi Dangkal Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok	117

Tabel 4.29	Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi Dangkal Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu.....	118
Tabel 4.30	Pengaruh Penambahan Abu Gergaji Kayu Sebagai Bahan Stabilisator Terhadap Daya Dukung Pondasi Dangkal (q_{ult})	118
Tabel 4.31	Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi Dangkal Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok	119
Tabel 4.32	Pengaruh Penambahan Abu Gergaji Kayu ditambah Abu Eceng Gondok Sebagai Bahan Stabilisator Terhadap Daya Dukung Pondasi Dangkal (q_{ult}).....	119



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Lokasi Tempat Pengambilan sample Tanah Desa Nuso, Kelurahan Ploserejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah	4
Gambar 2.1	<i>Single silica tetrahedral</i>	10
Gambar 2.2	<i>Isometrik silica sheet</i>	10
Gambar 2.3	<i>Single alumunium octahedral</i>	11
Gambar 2.4	<i>Isometrik oktahedral sheet</i>	11
Gambar 2.5	Rentang dari Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI)	17
Gambar 2.6	Grafik Kadar Air Tanah	21
Gambar 2.7	Penurunan Batas Cair	28
Gambar 2.8	Alat Uji Pemadatan Proktor Standar	30
Gambar 2.9	Grafik Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering	31
Gambar 2.10	Skema Uji Geser Langsung	32
Gambar 2.11	Abu Gergaji Kayu	36
Gambar 2.12	Abu Eceng Gondok	37
Gambar 2.13	Pondasi Dangkal	39
Gambar 3.1	Bagan Alur Penelitian	46
Gambar 3.2	Sampel Tanah	49
Gambar 3.3	Proses Pembakaran Gergaji Kayu	49
Gambar 3.4	Proses Pembakaran Eceng Gondok	50
Gambar 3.5	Cassagrande	52
Gambar 3.6	Susunan Saringan dan <i>Sieve Shaker</i>	56
Gambar 3.7	<i>Hyrometer Jar</i> dan <i>ASTM Soil Hydrometers</i>	57
Gambar 3.8	Piknometer	60
Gambar 3.9	Pondasi Dangkal yang Direncanakan	64
Gambar 4.1	Grafik Kadar Air Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	68
Gambar 4.2	Grafik Kadar Air Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok	68

Gambar 4.3	Grafik Perbandingan Kadar Air (w)	69
Gambar 4.4	Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel Tanah Asli	71
Gambar 4.5	Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu 4%	71
Gambar 4.6	Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu 6%	72
Gambar 4.7	Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu 8%	72
Gambar 4.8	Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 4%+2%	73
Gambar 4.9	Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 6%+2%	74
Gambar 4.10	Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 8%+2%	74
Gambar 4.11	Grafik Indeks Plastisitas Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	76
Gambar 4.12	Grafik Indeks Plastisitas Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu + Abu Eceng Gondok	78
Gambar 4.13	Grafik Perbandingan Indeks Plastisitas (IP)	79
Gambar 4.14	Sistem Klasifikasi USCS	80
Gambar 4.15	Sistem Klasifikasi AASHTO	81
Gambar 4.16	Grafik <i>Sieve Analysis</i>	87
Gambar 4.17	Grafik Berat Jenis Tanah Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	88
Gambar 4.18	Grafik Berat Jenis Tanah Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok.....	89
Gambar 4.19	Grafik Perbandingan Berat Jenis Tanah	90
Gambar 4.20	Grafik <i>Direct Shear</i> Sampel Tanah Asli	93
Gambar 4.21	Grafik <i>Direct Shear</i> Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu 4%	94

Gambar 4.22	Grafik <i>Direct Shear</i> Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu 6%	94
Gambar 4.23	Grafik <i>Direct Shear</i> Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu 8%	95
Gambar 4.24	Grafik <i>Direct Shear</i> Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 4%+2%	95
Gambar 4.25	Grafik <i>Direct Shear</i> Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 6%+2%	96
Gambar 4.26	Grafik <i>Direct Shear</i> Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 8%+2%	97
Gambar 4.27	Grafik Nilai Kohesi Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	98
Gambar 4.28	Grafik Nilai Sudut Geser Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	98
Gambar 4.29	Grafik Nilai Kohesi Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Eceng Gondok	99
Gambar 4.30	Grafik Nilai Sudut Geser Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok	99
Gambar 4.31	Grafik Perbandingan Nilai Kohesi Tanah	100
Gambar 4.32	Grafik Perbandingan Nilai Sudut Geser Tanah	100
Gambar 4.33	Grafik Wopt Sampel Tanah Asli	109
Gambar 4.34	Grafik Wopt Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu 4%	109
Gambar 4.35	Grafik Wopt Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu 6%	110
Gambar 4.36	Grafik Wopt Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu 8%	110
Gambar 4.37	Grafik Wopt Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 4%+2%	111
Gambar 4.38	Grafik Wopt Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 6%+2%	111
Gambar 4.39	Grafik Wopt Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 8%+2%	112
Gambar 4.40	Grafik Wopt Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	113
Gambar 4.41	Grafik γ_K Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	113

Gambar 4.42	Grafik w_{opt} Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok	114
Gambar 4.43	Grafik γ_k Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok	114
Gambar 4.44	Grafik Perbandingan Kadar Air Optimum (w_{opt})	115
Gambar 4.45	Grafik Perbandingan Berat Volume Kering Tanah (γ_k)	115
Gambar 4.46	Grafik Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi Dangkal Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	118
Gambar 4.47	Grafik Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi Dangkal Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu ditambah Abu Eceng Gondok	119
Gambar 4.48	Grafik Hasil Perhitungan Daya Dukung Pondasi Dangkal	120



DAFTAR LAMBANG DAN NOTASI

Ca	[-]	Kalsium
Mg	[-]	Magnesium
K	[-]	Kalsium
Na	[-]	Natrium
C2S	[-]	Dikalsium Silikat
w	[%]	Kadar Air
LL	[%]	Liquid Limit
PL	[%]	Plastic Limit
PI	[%]	Plasticity Index
σ	[kg/cm ²]	Tegangan Normal
σ_s	[kg/cm ²]	Tegangan Geser
c	[kg/cm ²]	Kohesi
ϕ	[°]	Sudut Geser
G _s	[-]	Berat Spesifik Butiran
T	[C°]	Suhu
t	[-]	Koreksi Suhu
HAP	[-]	Harga Air Piknometer
w _{opt}	[%]	Kadar Air Optimum
γ_b	[%]	Berat Volume Basah
γ_k	[%]	Berat Volume Kering
n	[%]	Kadar Pori
e	[-]	Angka Pori
ZAV	[-]	Zero Air Void
q _{ult}	[t/m ²]	Daya Dukung Pondasi Dangkal
q _{ijin}	[t/m ²]	Nilai Daya Dukung yang diijinkan
q	[t/m ²]	Nilai Daya Dukung Terbagi Rata

DAFTAR SINGKATAN

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Official
USCS	: Unified Soil Classification System
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CBR	: California Bearing Ratio
SF	: Safety Factor
F	: Fines
G	: Gravel
S	: Sand



ABSTRAK

Oleh :

Lora Annisa Sabilla¹⁾, Lusy Noveliyana¹⁾, Soedarsono²⁾, Lisa Fitriyana²⁾

Tanah memiliki peran penting dalam konstruksi yaitu sebagai kekuatan konstruksi dasar suatu bangunan. Pada Desa Plosorejo Kecamatan Tawangharjo Kabupaten Grobogan dikenal dengan tanahnya yang ekspansif. Tanah ekspansif pada umumnya akan mengembang dan menyusut apabila terjadi perubahan kadar air dan akan beresiko pada bangunan di atasnya. Untuk mencegah terjadinya kerusakan bangunan diperlukan stabilisasi tanah yang bertujuan menurunkan resiko mengembang dan menyusutnya tanah tersebut.

Penelitian ini menggunakan metode stabilisasi tanah secara kimiawi dengan penambahan abu gergaji kayu dan abu eceng gondok dengan presentase campuran abu gergaji kayu sebesar 4%, 6%, 8% serta presentase campuran abu gergaji kayu ditambah abu eceng gondok sebesar 4%+2%, 6%+2%, 8%+2%. Pengujian tanah yang dilakukan meliputi uji kadar air, batas-batas konsistensi, analisa saringan, berat jenis, geser langsung dan proktor standar.

Hasil yang didapatkan dari pengujian di laboratorium pada uji kadar air langsung mengalami penurunan dari 29,183% menjadi 26,830% pada campuran 8% dan 26,618% pada campuran 8%+2%. Dari hasil uji geser langsung juga menunjukkan penurunan nilai kohesi tanah dari 0,4257 kg/cm² menjadi 0,3855 kg/cm² pada campuran 8% dan 0,3623 kg/cm² pada campuran 8%+2%. Sedangkan untuk hasil sudut geser dalam tanah berbanding terbalik menjadi semakin meningkat dari 24,92° menjadi 35,78° pada campuran 8% dan 36,63° pada campuran 8%+2%. Kemudian untuk hasil perhitungan daya dukung pondasi dangkal nilainya mengalami kenaikan dari 65,231 ton/m² menjadi 117,104 ton/m² pada campuran 8% dan 119,925 ton/m² pada campuran 8%+2%.

Kata kunci : Ekspansif, Stabilisasi, Abu Gergaji Kayu, Abu Eceng Gondok, Daya Dukung Pondasi Dangkal.

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA

²⁾ Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA

ABSTRACT

By :

Lora Annisa Sabilla¹⁾, Lusy Noveliyana¹⁾, Soedarsono²⁾, Lisa Fitriyana²⁾

Soil has an important role in construction, namely as the basic construction strength of a building. In Plosorejo Village, Tawangharjo Subdistrict, Grobogan District, it is known for its expansive land. Expansive soil in general will expand and shrink if there is a change in water content and will be at risk to the building above it. To prevent damage to buildings, soil stabilization is needed which aims to reduce the risk of swelling and shrinking of the soil.

This study used a chemical soil stabilization method with the addition of wood saw ash and water hyacinth ash with a percentage of wood saw ash mixture of 4%, 6%, 8% and a percentage of mixture of wood saw ash plus water hyacinth ash of 4%+2%, 6%+2%, 8%+2%. The soil tests carried out included water content test, atterberg limit, sieve analysis, specific gravity, direct shear and standard proctors.

The results obtained from laboratory tests on direct moisture content decreased from 29,183% to 26,830% in the mixture of 8% and 26,618% in the mixture of 8%+2%. The results of the direct shear test also showed a decrease in the value of soil cohesion from 0,4257 kg/cm² to 0,3855 kg/cm² in the mixture 8% and 0,3623 kg/cm² in the mixture 8%+2%. Meanwhile, the inversely proportional shear angle results increased from 24,92° to 35,78° in the mixture 8% and 36,63° in the mixture 8%+2%. Then for the calculation of the capacity of shallow foundation the value has increased from 65,231 t/m² to 117,104 t/m² in the mixture 8% and 119,925 t/m² in the mixture 8%+2%.

Keywords : Expansive, Stabilization, Saw Ash, Water Hyacinth Ash, Capacity of Shallow Foundation

¹⁾ Student of Civil Engineering Faculty UNISSULA

²⁾ Lecture of Civil Engineering Faculty UNISSULA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tanah merupakan suatu material yang tersusun dari agregat (butiran), material – material padat tak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dari bahan – bahan yang lapuk (partikel padat) disertai dengan cairan dan gas yang mengisi rongga – rongga datar partikel padat menurut (Das, 1995) dalam bukunya prinsip – prinsip rekayasa geoteknik mekanika tanah jilid 1. Tanah dibedakan menjadi beberapa jenis diantaranya, tanah batu kerikil (*gravel soil*) dan tanah pasir (*sand soil*) terdiri dari pecahan – pecahan batuan dengan berbagai ukuran dan bentuk, tanah lempung (*clay soil*) merupakan tanah berbutir halus, tanah lanau (*silt soil*) merupakan peralihan antara lempung dan pasir halus. Peranan tanah dalam ilmu teknik sipil sangatlah penting, karena kekuatan konstruksi dasar bangunan, jalan dan beban lalu lintas berada pada tanah yang memiliki fungsi sebagai penyangga konstruksi. Akan tetapi, sering dijumpai beberapa kasus dimana lokasi memiliki daya dukung tanah yang kurang baik, sehingga sulit untuk membangun sebuah konstruksi.

Sifat karakteristik pada tanah berbeda – beda disatu lokasi dengan lokasi yang lain. Tidak semua tanah memiliki daya dukung tanah yang baik, banyak tanah yang mengandung mineral dan bahan organik tetapi tidak kuat, sehingga tidak mampu menahan beban yang ada di atasnya. Kerusakan konstruksi pada tanah diatas bisa disebabkan karena tanah aslinya, permasalahan tersebut diantaranya penurunan, penyusutan dan pengembangan tanah. Tanah yang sering menyebabkan kerusakan konstruksi diatas adalah jenis tanah ekspansif (*ekspansive soil*).

Tanah ekspansif merupakan masalah utama dibidang geoteknik yang dapat menimbulkan kerusakan parah terhadap kinerja dan umur layanan infrastruktur. Tanah ekspansif merupakan tanah yang berpotensi mengalami pengembangan (peningkatan volume) bila terekspos terhadap air, *clays shales* dan tanah lempung dengan kadar *montmorillonite* yang tinggi (Pratikso, 2017). Masalah utama yang ditimbulkan tanah ekspansif adalah perubahan

volume akibat berubahnya kadar air dalam tanah sehingga kondisi tanah dapat mengembang dan menyusut, yang dapat mengakibatkan penurunan tidak seragam, penurunan daya dukung tanah, dan penurunan pada bangunan di atasnya (*settlement*).

Stabilisasi tanah adalah perbaikan tanah yang memungkinkan tanah untuk menjadi lebih baik. Metode stabilisasi tanah ekspansif bertujuan untuk menurunkan nilai indek plastisitas dan potensi mengembang, dengan mengurangi presentase butiran halus atau kadar lempungnya. Metode stabilisasi ini juga dapat dilakukan dengan cara pemadatan dengan alat – alat mekanis, atau dapat juga dilakukan secara kimiawi, misalnya dengan cara menggunakan penambahan bahan campuran. Metode stabilisasi tanah pada penelitian ini dilakukan secara kimiawi dengan menggunakan penambahan abu gergaji kayu dan abu enceng gondok sebagai bahan stabilisatornya, yang diharapkan dengan penambahan abu gergaji kayu dan abu enceng gondok dapat berpengaruh terhadap daya dukung tanah pada fondasi dangkal suatu struktur bangunan yang akan berdiri di lokasi tanah ekspansif.

Kandungan didalam abu gergaji kayu, seperti kalsium dan magnesium yang merupakan material penyusun kapur, diharapkan dapat seperti kapur yang dapat menstabilisasikan tanah lempung ekspansif. Enceng gondok memiliki kandungan kimia kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalsium (K), natrium (Na), dan dikalsium silikat (C_2S) yang berhubungan dengan stabilisasi tanah lempung ekspansif. (Hadi & Mataram, 2019)

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan permasalahan di atas, maka dapat diuraikan rumusan permasalahan dalam tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Apakah jenis tanah yang digunakan di Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah termasuk jenis tanah ekspansif?
2. Bagaimana pengaruh penambahan abu gergaji kayu + abu eceng gondok terhadap stabilisasi tanah ekspansif?

3. Bagaimana pengaruh penambahan abu gergaji terhadap stabilisasi tanah ekspansif?
4. Bagaimana hasil stabilisasi tanah dengan penambahan abu gergaji kayu dan eceng gondok apabila diaplikasikan terhadap daya dukung tanah pada fondasi dangkal?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dari stabilisasi tanah menggunakan abu gergaji kayu dan abu eceng gondok adalah :

1. Mengetahui jenis tanah di Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah.
2. Mengetahui perbedaan tanah asli dan tanah campuran abu gergaji kayu dan abu gergaji kayu + abu eceng gondok terhadap stabilisasi tanah
3. Mengetahui presentase kadar ekspansif dan stabilitas tanah setelah dicampur abu gergaji kayu dan abu eceng gondok
4. Menghitung daya dukung tanah yang sudah distabilisasi terhadap pengaplikasian pada fondasi dangkal.

1.4. Batasan Masalah

Dalam penelitian Tugas Akhir ini dilakukan batasan sebagai berikut :

1. Penelitian ini adalah penelitian perbaikan tanah yang dibatasi hanya pada stabilisasi tanah dengan cara pencampuran dengan abu gergaji kayu dan abu eceng gondok.
2. Tanah yang diteliti merupakan tanah yang diambil dari kedalaman 1 m dari permukaan tanah di Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah.
3. Pengujian sifat fisik tanah yang dilakukan meliputi uji kadar air, uji berat jenis, uji berat volume, dan uji *atterberg limits*.
4. Metode uji pemadatan yang dilakukan adalah *proctor standart*
5. Mendapatkan hasil perbandingan pengujian pada tanah asli dan tanah campuran, serta mengetahui pengaruh penambahan abu gergaji kayu

dan abu eceng gondok terhadap daya dukung tanah pada fondasi dangkal.

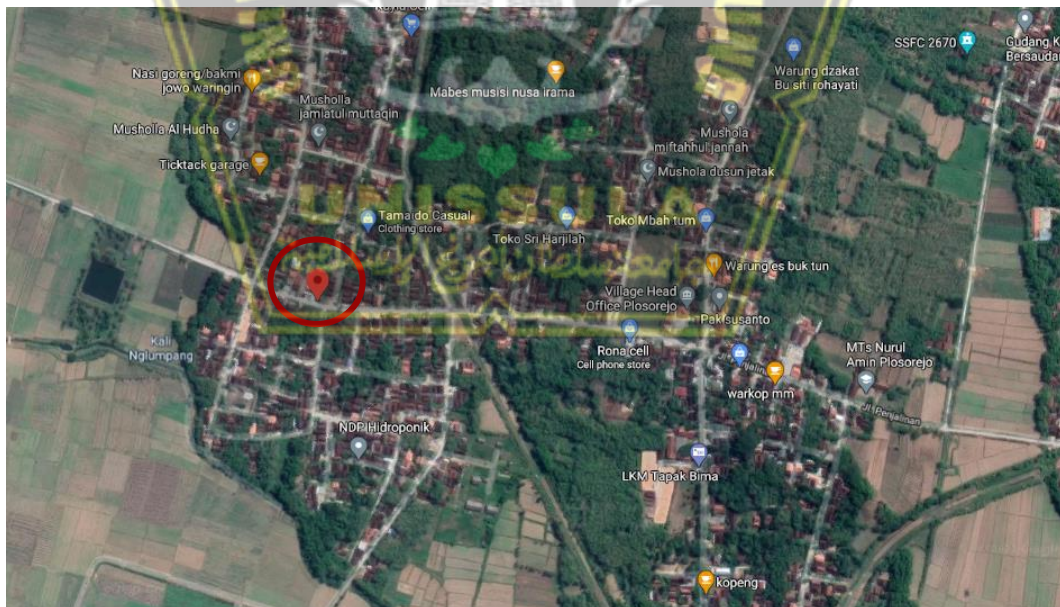
1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan abu gergaji kayu dan abu eceng gondok terhadap perilaku sample tanah.
2. Dapat memberikan informasi mengenai kondisi dan sifat tanah yang diteliti.
3. Dapat dijadikan acuan untuk pertimbangan bagi pihak yang akan melakukan penelitian tentang stabilisasi tanah ekspansif dengan penambahan abu gergaji kayu dan abu eceng gondok

1.6. Peta Lokasi

Lokasi yang tanahnya di ambil untuk kebutuhan analisis berada di Desa Nuso, Kelurahan Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah.



Gambar 1.1 Peta Lokasi Tempat Pengambilan sample Tanah Desa Nuso, Kelurahan Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah (*Google Earth*)

1.7. Keaslian Kajian

Pernyataan keaslian kajian pembuatan tugas akhir ini, bahwa tulisan yang tertulis dalam pembuatan tugas akhir ini adalah asli karya penulis, kecuali bagian – bagian yang merupakan acuan yang disebutkan sumbernya, baik dalam teks karangan maupun daftar pustaka.

1.8. Sistematika Penulisan

Dalam mempermudah penyusunan Tugas Akhir (TA) ini, penyusun memberikan laporan dan sistematika sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini merupakan pendahuluan yang menguraikan tentang latar belakang dilakukan penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, peta lokasi pengambilan sample, keaslian kajian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKAN

Pada bab ini berisi tinjauan pustaka yang menguraikan teori – teori yang berkaitan dengan pokok pembahasan yang ditinjau berdasarkan literature, hasil pengamatan, pendapat para ahli untuk suatu kasus yang sama, serta penggunaan pedoman rumus atau perhitungan yang berlaku dalam analisis perhitungan permasalahan terkait.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai langkah – langkah pengujian, bahan penelitian, tempat penelitian, persiapan alat dan pelaksanaan penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini memaparkan dan menganalisis data – data yang didapatkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Data penelitian dibuat berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan penulis, dan rumus yang dipakai untuk menghitung hasil sebagian diuraikan di dalam bab II tinjauan pustaka dan bab III metode pelaksanaan.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan akhir penelitian dan saran – saran yang berhubungan dengan penelitian.

Pada bagian akhir skripsi ini berisi tentang daftar pustaka dan lampiran – lampiran. Daftar pustaka berisi tentang daftar buku, jurnal, dan referensi yang digunakan dalam penelitian. Lampiran berisi tentang kelengkapan – kelengkapan skripsi dan analisis data.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Dalam ruang lingkup teknik sipil, semua konstruksi dasar bangunan, jembatan, dan beban lalu lintas semua bertumpu pada tanah, tanah memiliki peran yang penting sebagai fondasi utama dari suatu konstruksi selain itu juga sebagai penyalur beban dari konstruksi di atasnya. Tanah merupakan lapisan paling atas dari bumi yang memiliki ciri khas dan sifat – sifat yang berbeda antara tanah di suatu lokasi dengan lokasi lainnya

Tanah merupakan bahan padat (mineral atau organik) yang terletak di permukaan bumi yang telah dan sedang serta terus mengalami perubahan yang dipengaruhi oleh faktor – faktor seperti iklim, organisme, topografi, bahan induk, dan waktu (Dokuchaev, 1870)

Tanah membagi bahan – bahan yang menyusun kerak bumi secara garis besar menjadi dua kategori : tanah (*soil*) dan batuan (*rock*), sedangkan batuan merupakan agregat mineral yang satu sama lainnya diikat oleh gaya – gaya kohesif yang permanen dan kuat (Therzaghi, 1987)

Menurut (Des, 1995), dalam pengertian teknik secara umum, tanah merupakan sebgai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral – mineral padat yang tidak terikat secara kimia antara satu sama lain dan dari bahan – bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang – ruang kosong di antara partikel – partikel padat tersebut.

Secara umum tanah dibedakan menjadi dua yaitu tanah *kohesif* dan tanah *non kohesif*. Apabila butiran – butiran tanahnya terpisah setelah dikeringkan dan apabila dalam keadaan basah akibat gaya tarik permukaan di dalam air, misalnya tanah berpasir maka tanah disebut *non kohesif*. Tanah *non kohesif* tidak memiliki garis batas antara keadaan plastis dan tidak plastis, karena jenis tanah *non kohesif* tidak plastis untuk semua nilai kadar air. Tetapi dalam beberapa kondisi tertentu tanah *non kohesif* dengan kadar air yang cukup tinggi dapat bersifat sebagai suatu cairan kental (Bowles, 1984).

Tanah yang dalam keadaan basah akibat gaya tarik permukaan air merupakan tanah *non kohesif*, contohnya pada tanah berpasir. Sedangkan tanah *kohesif* adalah kebalikannya merupakan tanah dengan karakteristik apabila pembebasan dan pengeringannya yang menyusun butiran tanahnya bersatu apabila suatu gaya diperlakukan untuk memisahkan dalam keadaan kering, contohnya tanah lempung.

Bowles (1984), menjelaskan bahwa tanah merupakan campuran partikel – partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

1. Batuan dasar (*bedrock*) adalah batuan yang berada pada tempat asalnya, biasanya terbentuk secara meluas dalam arah horizontal dan arah vertical. Batuan ini umumnya tertutup oleh tanah dengan berbagai kedalaman.
2. Berangkal (*boulders*) adalah potongan batuan yang besar, pada umumnya memiliki ukuran dapat lebih besar dari 250 mm hingga 300 mm dan ukuran 150 mm hingga 250 mm fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles/pebbles*).
3. Kerikil (*gravel*) adalah istilah umum yang digunakan untuk potongan – potongan batuan yang berukuran 5 mm hingga 150 mm. dapat berupa batuan pecah / *split* bila terbuat dari pabrik, atau berupa kerikil alami yang terdapat secara alami.
4. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,074 mm hingga 5 mm, yang berkisaran kasar berukuran 3 mm hingga 5 mm sampai halus berukuran < 1 mm.
5. Lanau (*silt*) adalah partikel batuan berukuran 0002 mm hingga 0,0074 mm.
6. Lempung (*clay*) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan penyebab utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
7. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang tidak bergerak dan berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

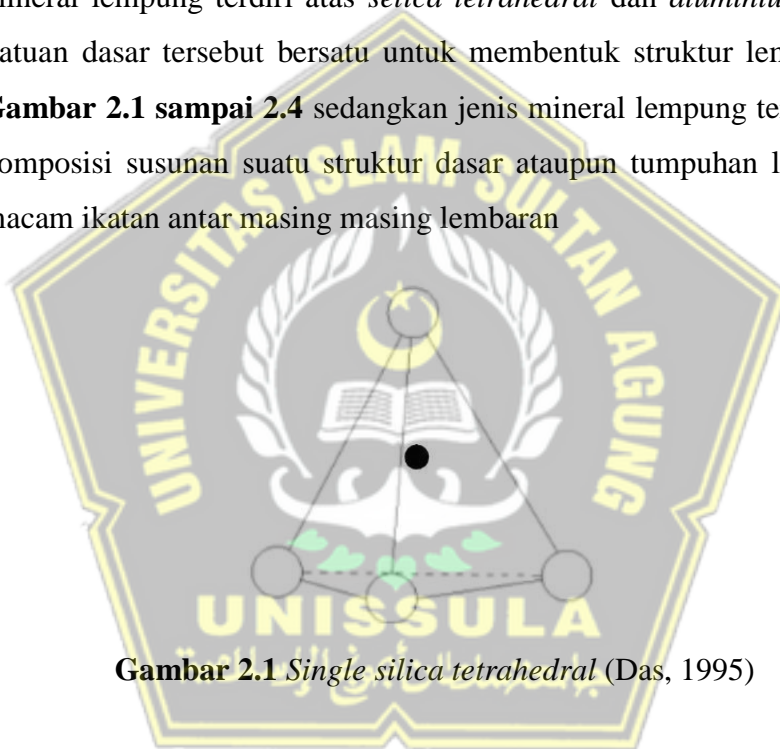
2.2 Tanah Lempung

Menurut (Terzaghi, 1987) mendefinisikan tanah lempung sebagai tanah dengan ukurana *mikrokonis* samapi dengan *sub mikrokonis* yang berasal dari pelapukan unsur – unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering, sedangkan dalam kadar air yang sedang akan bersifat plastis, namun pada kadar air yang lebih tinggi tanah lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak. (Das, 1995) juga menjelaskan bahwa tanah lempung merupakan tanah yang dikategorikan sebagai tanah yang kohesif (sanag lunak), karena terdiri dari butiran – butiran yang sangat kecil. Tanah lempung sebagaian besar terdiri dari partikel *mikrokopis* dan *sub mikrokopis*, yang terbentuk lempengan – lempengan pipih dan terdiri dari partikel - partikel mika, mineral – mineral lempung dan mineral yang sangat halus lainnya.

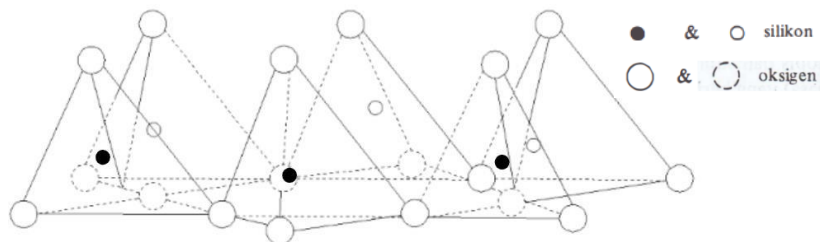
Tanah lempung menurut (Hardiyatmo, 2002) adalah kelompok artikel berukuran koloid dengan ukuran butiran halus lebih kecil 0,002, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut tinggi dan proses konsolidasi lambat. (Kerr, 1959 dalam Hardiyatmo, 2002) menjelaskan ada sekitar 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lmpung di antaranya *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, *polygorskite*, *chlorite*, *vermiculite*, dan *holloysite*. (Bowles, 1984) mengatakan bahwa tanah lempung merupakan partikel mineral yang berukuran lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm. partikel tersebut merupakan sumber utama dari kohesi di dalam tanah yang kohesif, sedangkan menurut (Chen, 1975 dalam Nadya & Kulsum, 2019) mengatakan bahwa suatu mineral lempung tidak dapat dibedakan melalui ukuran partikelnya saja, seperti contoh partikel *quartz* dan *feldspar*, walaupun terdiri dari partikel – partikel yang sangat kecil namun tidak dapat disebut sebagai tanah lempung, karena umumnya partikel – partikel tersebut tidak dapat menyebabkan terjadinya sifat plastis dari tanah. Perubahan sifat fisik dan mekanis tanah lempung dikendalikan oleh kelompok mineral yang mendominasi tanah tersebut.

Konsistensi dari tanah kohesif dan tanah lempung lainnya sangatlah dipengaruhi oleh kadar air. Indeks plastisitas dan batas cair dapat digunakan untuk menentukan karakteristik pengembang. Tanah lempung dapat mengalami perubahan volume seiring dengan perubahan kadar air, ketika tanah lempung dalam keadaan kering maka dapat terjadi penyusutan dan retak – retak. Dan apabila kadar air berubah maka akan terjadi pengembangan. Selain itu, pengaruh terhadap beban konstruksi juga dapat mempengaruhi volume tanah lempung.

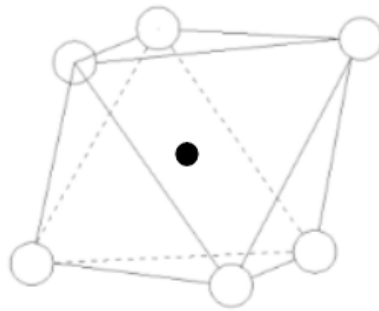
Menurut (Das Braja, 1995) menjelaskan satuan struktur dasar pada mineral lempung terdiri atas *selica tetrahedral* dan *aluminium oktahedral*. Satuan dasar tersebut bersatu untuk membentuk struktur lembaran seperti **Gambar 2.1 sampai 2.4** sedangkan jenis mineral lempung tergantung pada komposisi susunan suatu struktur dasar ataupun tumpukan lembaran serta macam ikatan antar masing masing lembaran



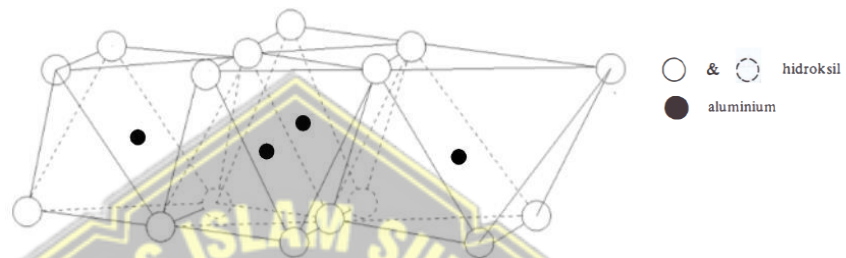
Gambar 2.1 *Single selica tetrahedral* (Das, 1995)



Gambar 2.2 *Isometrik selica sheet* (Das, 1995)



Gambar 2.3 *Single aluminium octahedral* (Das, 1995)



Gambar 2.4 *Isometrik oktahedral sheet* (Das, 1995)

2.3 Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif merupakan tanah atau batuan yang kandungan lempungnya memiliki potensi kembang – susut akibat perubahan kadar air sehingga menyebabkan perubahan volume air. Jenis tanah ini merupakan tanah yang bermasalah dalam suatu proyek konstruksi. Perubahan volume tanah akibat kadar air yang rendah dapat mengakibatkan penurunan pada bangunan atasnya terlebih apabila penurunannya tidak seragam. Penurunan dapat terjadi pada masa konstruksi maupun selama operasional bangunan tersebut.

Tanah ekspansif identik dengan kandungan mineral dan lempung yang terdapat didalamnya, semakin banyak persentase mineral dan lempungnya maka semakin besar potensi proses mengembangnya. Mengacu pada batas – batas *atterberg* dengan perilaku tanah dalam merespons air, tanah ekspansif memiliki rentang batas cair dengan batas plastis yang besar indeks plastisitasnya yang tinggi.

Menurut (Hardiyanto, 2002) menjelaskan tanah lempung ekspansif merupakan tanah dengan sifat kembang susut tinggi. Tipe – tipe gerakan

pengembang tanah ekspansif terdapat 2 jenis gerakan yaitu gerakan pengembang vertikal, dimana jika kadar air dalam tanah tinggi maka akan mengurangi kekuatan daya dukung tanah sehingga dapat menyebabkan tekanan tanah lateral / tekanan tanah aktif menjadi tinggi yang berakibat pada keruntuhan bangunan.

Faktor – faktor yang mempengaruhi besarnya pengembangan tanah ekspansif adalah jenis dan jumlah lempung, struktur tanah, kepadatan, perubahan kadar air, metode pemadatan, konsentrasi elektrolit dalam air dan tekanan di permukaan tanah.

Karakteristik tanah ekspansif dipengaruhi oleh faktor mikroskopik dan faktor *makroskopis*. Yang dimaksud faktor *mikroskopik* adalah mineralogi tanah dan perilaku kimiawi tanah, sedangkan faktor *makroskopis* adalah properti tanah secara fisik (plastisitas dan berat volume tanah). (Chen, 1975) juga menjelaskan bahwa penyebab dari tanah ekspansif yang mengalami kembang susut antara lain *mineralogy* tanah, perilaku kimiawi tanah, dan jumlah *exchangeable cation* (*cation exchange capacity*) serta besarnya *specific surface* dari partikel tanah adalah faktor mikroskopik tanah ekspansif itu sendiri.

2.4 Material Penyusun Tanah

Menurut (Herry Gusmara, 2016) Tanah berkembang dari bahan mineral yang berasal dari induknya dan bahan organik yang berasal dari makhluk hidup yang berada di sekitarnya. Bahan mineral pada tanga sangatlah beragam dari yang berukuran kasar seperti pasir, kerikil, dan batu hingga berukuran halus seperti debu dan liat. Tanah yang mengandung bahan organik tinggi umumnya dicirikan dengan struktur tanah bagus, aerasi yang baik dan mampu menyediakan hara. Adapun komponen – komponen penyusun tanah yaitu :

1. Partikel mineral (*mineral partikel*): sebanyak 45%
2. Udara (*air*): sebanyak 25%
3. Air (*water*): sebanyak 25%
4. Bahan organik (*organic matter*): sebanyak 5%

Empat komponen penyusun tanah, yaitu partikel padat mineral, bahan organik, air, dan udara. Partikel padat mineral terdiri atas batuan dan mineral primer, lapukan buatan, dan mineral sekunder. Sedangkan bahan organik terdiri dari rombakan jasad, baik tumbuhan, ataupun penghuni tanah tersebut seperti akar, dan zat humik.

Tanah juga dibedakan menjadi 2 (dua) kelompok besar yaitu terdiri dari hasil pelapukan secara fisik dan kimia, dan yang berasal dari batuan – batuan bahan organik. Jika pelapukan terjadi pada tempatnya (tidak berpindah pindah), maka disebut tanah residu (*in situ*). Sedangkan tanah yang berpindah tempat disebut tanah angkutan (*transported soil*).

Tanah residual dapat terjadi di daerah iklim sedang atau setengah kering yang biasanya bersifat kaku, stabil, serta tidak meluas kebagian tanah yang lebih dalam tetapi bisa meluas sampai kedalaman beberapa meter apabila terjadi di daerah yang beriklim lembab, panas serta terpapar sinar matahari yang cukup lama. Sehingga pada kondisi seperti ini tanah sulit untuk melakukan pekerjaan konstruksi.

2.5 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah merupakan ilmu yang mempelajari tentang bagaimana cara membedakan sifat – sifat tanah satu sama lain, dan mengelompokkan tanah kedalam kelas tertentu berdasarkan keasaman sifat yang dimilikinya (Hardjowigeno, 2003). Sistem klasifikasi berguna untuk menggolongkan tanah berdasarkan klasifikasi dan sifat fisik tanah secara terperinci.

Ada beberapa macam sistem klasifikasi tanah yang dapat digunakan sebagai hasil pengembangan dari sistem klasifikasi yang sudah ada. Seperti sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) yang umumnya digunakan untuk memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas – batas *atterberg* dan sistem klasifikasi tanah USCS (*Unified Soil Classification system*).

2.5.1 Klasifikasi Tanah AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dikembangkan pada

tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini telah mengalami perbaikan beberapa kali, yang digunakan pada masa sekarang diajukan oleh *Commitee on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* pada tahun 1945 (*American Society for Testing and Materials (ASTM) Standard No. D – 3282, AASHTO metode M145*).

Sistem klasifikasi AASHTO digunakan untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, *subbase*, dan *subgrade*. Pada saat ini, sistem klasifikasi tanah yang digunakan terbagi dalam 7 (tujuh) kelompok besar terdiri dari A-1 sampai A-7. Dimana A-1, A-2, A-3 merupakan berbutir (*granular*) yang lolos ayakan dalam saringan nomer 200 sebesar 35% ataupun kurang. Sedangkan kelompok tanah A-4, A-5, A-6, A-7 merupakan tanah yang lebih dari 35% dan butiran tanahnya lolos ayakan nomer 200. Butiran – butiran kelompok A-4 sampai A-7 diklasifikasikan dalam tanah lanau dan lempung. Sistem ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut :

1. Ukuran Butir,

Kerikil : tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan nomer 10 (2 mm).

Pasir : tanah yang lolos ayakan nomer 10 mm (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan nomer 200 (0,075 mm).

Lanau dan lempung : merupakan bagian tanah yang lolos ayakan nomer 200

2. Plastisitas

Plastisitas adalah kumpulan bulir – bulir tanah halus untuk mengalami perubahan bentuk tanpa terjadi perubahan volume dan retak – retak atau remuk. Tergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat atau padat. Keplastisan suatu tanah umumnya ditunjukkan dari nilai PI (Indeks Plastisitas), yaitu selisih nilai LL (Batas Cair) dan PL (Batas

Plastis) suatu tanah. Nama berlanau dipakai apabila bagian – bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 10 atau kurang. Sedangkan nama berlempung dipakai apabila bagian – bagian halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.

Apabila dalam sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklarifikasikan tanah, maka data dari uji dicocokkan dengan angka – angka yang diberikan dalam **Tabel 2.1** hingga ditemukan angka yang sesuai menurut (Das, 1995)



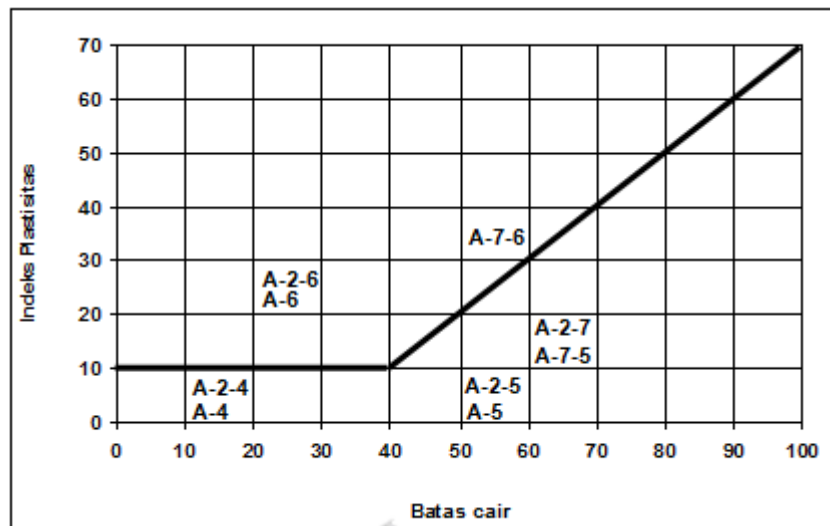
Tabel 2.1 Klasifikasi Tanah AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							Tanah Lanau - Lempung (lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
Klasifikasi Kelompok	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5*
Analisis Ayakan (% lolos)	≤ 50	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
No. 10	≤ 30	≤ 50	≤ 51	....	....	....	....	....	....	....	....
No. 40	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Sifat Fraksi yang Lolos Ayakan No. 40 Batas Cair (LL) Indeks Elastisitas (PI)	.... ≤ 6	....	.... NP	≤ 41 ≤ 10	≥ 41 ≤ 10	≤ 40 ≥ 11	≥ 40 ≥ 11	≥ 40 ≤ 10	≤ 41 ≤ 10	≤ 40 ≥ 11	≥ 41 ≥ 11
Tipe Material yang Paling Dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah Berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai Bahan Dasar Tanah	Baik sekali sampai baik							Sedang sampai jelek			

Keterangan : * Untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30\%$

** Untuk A-7-6, $PI > LL - 30\%$ Sumber :

Das, 1995



Gambar 2.5 Rentang dari Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) (Craig, 1991)

2.5.2 Klasifikasi Tanah USCS

Sistem Klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) dikembangkan oleh Casagrande pada tahun 1942, dimanfaatkan sebagai pembuatan dalam pekerjaan lapangan terbang oleh *The Army Corps of Engineers* Selma perang dunia ke II (Das, 1995). Analisa USCS (*Unified Soil Classification System*) didasarkan pada sifat tekstur tanah dan sistem ini menempatkan tanah dalam dua kelompok :

1. Tanah Berbutir Kasar (*coarse – grained soils*), terdiri dari pasir dan kerikil dengan ukuran kurang dari 50% tanah yang lolos saringan nomer 200 ($F_{200} < 50$). Simbol kelompok tanah ini dimulai dengan huruf G untuk kerikil (*gravel*) atau tanah Berkerikil (*gravelly soil*) dan S untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*)
2. Tanah berbutir halus (*fine – grained – soil*), lebih dari 50% lolos saringan nomer 200, yaitu tanah yang berlanau dan berlempung. simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau anorganik (*anorganic silt*), huruf C ununtuk lempung anorganik (*anorganic clay*), atau O untuk

lanau organik dan lempung organik, dan Pt digunakan untuk gambar (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi.

3. Tanah organic (*gambus/ humus*), secara laboratorium dapat ditentukan jika perbedaan batas cair tanah contoh yang belum dioven dengan yang telah dioven sebesar $> 25\%$

Simbol lain yang dapat digunakan untuk klasifikasi tanah, huruf W untuk gradasi baik (*Well – Graded*), P untuk gradasi buruk (*Poorly – Graded*), H untuk plastisitas tinggi (*High – Plastticity*) $LL > 50$, dan L untuk plastisitas rendah (*Low – Plastticity*) $LL < 50$.

Parameter – parameter yang digunakan dalam metode USCS antara lain :

1. Jenis ukuran butiran kerikil lewat ayakan nomer 3 tertahan ayakan nomer 4, dan pasir lewat ayakan nomer 4 tertahan nomer 200, lanau dan lempung lewat ayakan nomer 200
2. Koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c)
3. Batas – batas *Atteberg*. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI)

Tabel 2.2 Klasifikasi tanah USCS

Jenis Tanah	Prefiks	Sub Kelompok	Sufiks
Kerikil	G	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C		
Organik	O	$LL < 50\%$	L
Gambut	Pt	$LL > 50\%$	H

Sumber : Bowles, 1991

Tabel 2.3 Sistem Klasifikasi USCS

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi	
Tanah Berbutir Kasar $\geq 50\%$ Butiran Tertahan Saringan No. 200	Kerikil 505 \geq Fraksi Kasar Tertahan saringan No. 4	Kerikil Bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Kerikil dengan Butiran Halus	GP	Kerikil bergradasi buruk dan campuran krikil - pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Pasir $\geq 50\%$ Fraksi Kasar Lolos Saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			Pasir dengan butiran halus	SP	Pasir bergradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
	SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau	SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau	
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung	SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan No. 200	Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus, berlanau atau berlempung	
			CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lanau berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (<i>lean clays</i>)	
			OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
		Lanau dan Lempung batas cair $\geq 50\%$	MH	lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	
CH			lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (<i>fat clays</i>)		
OH			Lempung Organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi		
Tanah - tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	Gambut (<i>Peat</i>), <i>muck</i> , dan tanah - tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		

Klasifikasi berdasarkan persentase butiran halus : Kurang dari 5% lolos saringan No. 200 : GM, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan No. 200 : GM, GC, SM, SC, 5% - 12% lolos saringan No. 200 : Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol doble

Kriteria Klasifikasi

$Cu = \frac{D_{100}}{D_{10}} > 4$
 $CC = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3

Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW

Batas - batas *atterberg* dibawah garis A atau $PI < 4$
 Bila batas *atterberg* berada didaerah diagram plastisitas, maka dipakai doble simbol

Batas - batas *atterberg* di bawah garis A atau $PI > 7$

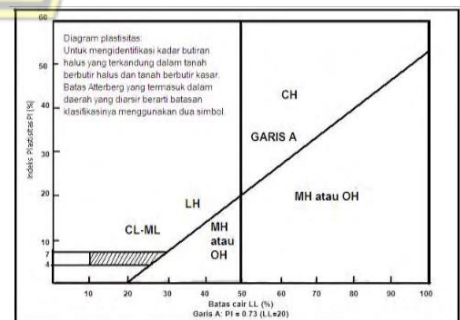
$Cu = \frac{D_{100}}{D_{10}} > 6$
 $CC = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3

Tidak Memenuhi kedua kriteria untuk SW

Batas - batas *atterberg* di bawah garis A atau $PI < 4$
 Bila bats *atterberg* berada didaerah arsis dari diagram plastisitas, maka dipakai doble simbol

Batas - batas *atterberg* dibawah garis A atau $PI > 7$

Diagram Plastisitas :
 Untuk mengklasifikasi kadar butiran yang terkandung dalam tanah butiran halus dan kasar. Batas *Atterberg* yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan simbol



Batas Cair LL (%)
 Garis A : $PI = 0,73 (LL - 20)$

2.6 Sifat Fisik Tanah

Sifat fisik tanah merupakan unsur lingkungan yang berpengaruh terhadap tersedianya air, udara tanah, dan unsur hara pada tanaman. Sifat fisik tanah juga berhubungan dengan bentuk/ kondisi tanah asli, seperti diantaranya tekstur, struktur, bobot tanah, porositas, stabilitas, konsistensi, warna tanah, serta suhu pada tanah.

2.6.1 Kadar Air (w)

Kadar air tanah merupakan perbandingan antara berat air yang dikandung didalam tanah yang terdiri dari berat basah (*wet basis*) dan berat kering (*dry basis*) dengan berat total sample tanah, kadar air didalam tanah dinyatakan dengan persen sedangkan jumlah air yang ditahan oleh tanah dinyatakan dengan berat/ volume (Hardiyatmo, 2002). Hilangnya berat air tanah lalu dibagi dengan berat air yang menguap dengan berat kering tanah setelah dikeringkan didalam oven lalu dikalikanya dengan 100%, merupakan persentase mencari sebuah kadar air.

Ada beberapa metode yang digunakan untuk menentukan kadar air salah satu yang digunakan adalah *Over Drying Methode*, metode ini dapat dilakukan dilaboratorium. Dengan mengambil beberapa sampel tanah yang diletakkan dalam cawan kemudian dioven selama 24 jam dengan suhu 105°C - 100°C agar tanah kering sempurna. Dengan suhu lebih dari 110°C kemungkinan dapat menghancurkan kristalisasi struktur partikel lempung ikatan kimia (IS: 2720 Part II – 1969 dalam dalam Nadya & Kulsum, 2019)

Kadar air (w) merupakan perbandingan nilai antara berat air yang dikandung tanah dan berat kering tanah, dinyatakan dalam persen. Kadar air (w) dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$w = \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

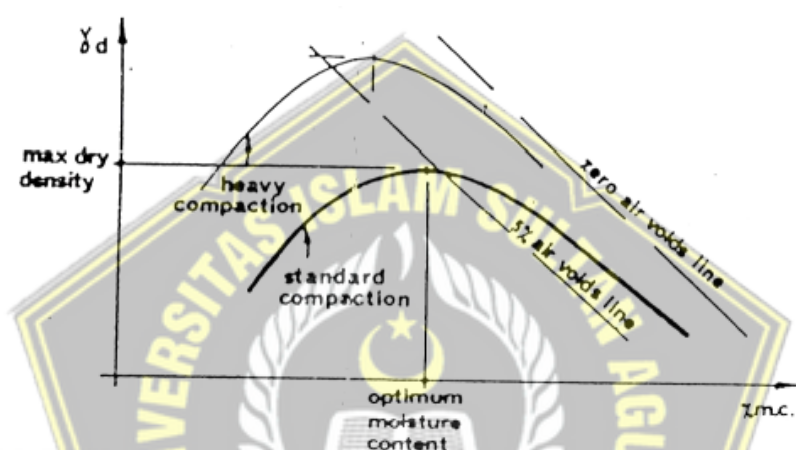
w = Kadar air yang dinyatakan dalam persen

w_1 = Berat cawan (gram)

w_2 = Berat cawan + tanah basah (gram)

w_3 = Berat cawan + tanah kering (gram)

kepadatan tanah kering terhadap hasil uji pemadatan tanah di laboratorium tergantung dari kandungan air yang ada di dalam tanah yang dipadatkan. Untuk tanah dengan energi pemadatan tertentu akan diperolehhanya suatu kadar air yang menghasilkan kepadatan kering maksimum. Kadar air pada kondisi tersebut merupakan kadar air optimum.



Gambar 2.6 Grafik Kadar Air Tanah (Simantu, 2001)

2.6.2 Berat Jenis Tanah (Gs)

Berat jenis tanah (*specific gravity*) merupakan perbandingan antara berat butir dan berat air sulingan dengan suhu tertentu dan volume yang sama. Berat jenis tanah umumnya dihitung untuk mengetahui kualitas sebuah tanah di suatu titik, nilai dari berat jenis tanah dapat bervariasi tergantung pada komposisi mineral tanah tersebut, berat jenis juga tidak memiliki dimensi (Hardiyatmo, 2002)

Berat jenis tanah umumnya digunakan untuk penghubung antara berat tanah dengan volume tanah, oleh sebab itu dengan mengetahui *void ration*, derajat kejenuhan (*degree of saturation*), dan berat jenis maka dapat dihitung *unit weight* dari tanah basah.

Pengujian berat jenis tanah dapat menggunakan bolot *picnometer*, dengan sample tanah yang lolos saringan nomer 40.

Nilai Berat jenis butiran dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut dengan koreksi suhu seperti di **Table 2.5** :

$$Hp = (b - a) t_1 \dots\dots\dots (2.2)$$

$$Gs = \frac{c - a}{Hp - (d - c)t_2} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana : Gs = Berat spesifikasi butiran

a = Berat piknometer (gram)

b = Berat piknometer + aquadest (gram)

c = Berat piknometer + sample tanah (gram)

d = Berat piknometer + aquadest + sample tanah (gram)

Hp = Harga air piknometer

t₁ = Temperatur awal (°C)

t₂ = Temperatur setelah ± 24 jam (°C)

Tabel 2.4 Koreksi suhu berat jenis tanah

Suhu (°C)	1/10 derajat									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
28	1,00374	1,00376	1,00379	1,00382	1,00384	1,00387	1,00399	1,00392	1,00396	1,00398
29	1,00400	1,00403	1,00406	1,00408	1,00411	1,00414	1,00416	1,00419	1,00422	1,00425
30	1,00428	1,00430	1,00433	1,00436	1,00439	1,00442	1,00445	1,00448	1,00450	1,00453
31	1,00456	1,00459	1,00459	1,00464	1,00467	1,00470	1,00473	1,00476	1,00478	1,00482
32	1,00485	1,00488	1,00491	1,00494	1,00497	1,00500	1,00503	1,00506	1,00509	1,00512

Sumber : Laboratorium Universitas Islam Sultan Agung

2.6.3 Analisa Batuan Tanah (*Sieve Analysis*)

Sifat – sifat suatu tanah dapat tergantung pada ukuran butirannya, sangat penting melakukan analisis ukuran butir untuk mengidentifikasi gradasi tanah tersebut. Besar kecilnya suatu butiran – butiran yang terkandung dalam tanah menjadi dasar pemberian nama dan klasifikasi tanah, dengan itu uji analisa butiran adalah pengujian yang sering dilakukan.

Analisa butiran tanah atau biasa disebut *sieve analysis* merupakan berat butir tanah pada suatu ukuran saringan yang dinyatakan dalam bentuk persen, analisa batuan tanah dapat dilakukan dengan 2 (dua) cara, dengan analisa ayakan (*Grain Size*), dan analisa hidrometer.

1. Analisa Ayakan (*Grain Size*)

Uji analisis ayakan merupakan tanah berbutir kasar (*coarse grained soils*) dengan ukuran butiran $> 0,075$ mm yang tertahan oleh saringan nomer 200, sedangkan tanah butir halus (*fine grained soils*) ukuran butiran $< 0,075$ mm yang lolos dari saringan nomer 200. Untuk mendistribusikan ukuran – ukuran butiran tanah yang beragam dapat dilakukan dengan cara menyaring, lalu berat tanah yang tertinggal pada setiap saringan ditimbang.

Analisa ayakan bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran tanah kasar, dan mengklasifikasikan tanah berbutir kasar berdasarkan nilai koefisien keseragaman (Cu) serta kurva distribusi ukuran butiran. Serta tanah yang tertinggal pada setiap saringan kemudian ditimbang, lalu dihitung persentasi terhadap serta kumulatif tanah. Langkah – langkah yang digunakan untuk perhitungan sebagai berikut:

- a. Berat sampel semula = A gram
 Berat sample setelah dicuci = B gram
 Berat lumpur = berat sample lolos saringan nomer 200
 = A – B
- b. Jumlah berat tanah yang tertinggal dalam saringan \emptyset 4,76 mm sampai \emptyset 0,075 mm = C gram
 Kehilangan berat = (B – C) gram

- c. Kadar Lumpur
 Dengan α = berat tanah yang tertinggal dalam alas saringan (pan)
- d. Persentase Tanah yang Tertinggal
 $= \frac{\text{Berat tanah yang tertinggal}}{A} \times 100\%$
- e. Kumulatif Persen Tanah yang Tertinggal
 = Jumlah + Persentase tanah di atasnya
- f. Persen Finer
 = (100% – kumulatif Persen)

Tabel 2.5 Ukuran Ayakan Standar

Nomer Saringan	Ukuran Lubang Saringan (mm)
4	4,750
10	2,000
20	0,850
40	0,425
60	0,180
80	0,125
100	0,150
200	0,075
Pan	

Sumber : ASTM D – 1140 dalam Soil Mechanics Laboratory, 2018

2. Analisa Hidrometer

Merupakan distribusi ukuran butir tanah yang lolos saringan nomer 200 berdasarkan sedimentasi tanah dalam air, bertujuan untuk mengetahui pembagain ukuran butir tanah yang berbutir halus, sehingga dapat diketahui perbandingan dengan sifat tanah yang ditentukan dari uji batas – batas *Atterberg* dan untuk menentukan aktivitas tanah.

Kecepatan mengendap tiap butiran tanah akan berbeda – beda, tergantung dari ukuran butir tanah tersebut. Ukuran butir yang besar dan berat akan melakukan sedimentasi

(menendap) terlebih dahulu dengan kecepatan mengendap lebih besar dari butiran yang ringan.

$$N = \frac{R \times G_s}{W_d \times (G_s - 1)} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana : N = Persentase
 R = Bacaan Hidrometer yang sudah dikoreksi
 ($R_h \pm C$)
 R_h = Bacaan Hidrometer yang belum dikoreksi
 C = Nilai – nilai koreksi
 G_s = Berat jenis tanah
 W_d = Berat butiran tanah dalam larutan

$$Z_r = H + \frac{1}{2} \left(h - \frac{V_h}{A} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana : Z_r = Kedalaman efektif (cm)
 H = Tinggi pembacaan (cm)
 h = panjang hydrometer (cm)
 V_h = Volume hidrometer (cm³)
 A = Luas penampang gelas ukur (cm²)

$$D = M \sqrt{\frac{Z_r}{t}} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$M = \sqrt{\frac{30 \times \mu}{(G_s - G_{sair}) \times g}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana : D = diameter efektif (cm)
 Z_r = Kedalaman efektif (cm)
 t = Waktu pengendapan (menit)
 g = Percepatan grafitasi (gr/cm²)

G_s = Berat jenis

G_{sair} = Berat jenis air

μ = Viskositas air ($\text{gr.cm}^2.\text{detik}$)

2.6.4 Batas – batas Atterberg

Atterberg diciptakan oleh Albert Atterberg seorang kimiawi swedia, yang kemudian diperbaharui oleh Arthur Casagrande. pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat konsistensi tanah, tingkatan plastisitas tanah terbagi menjadi 4 (empat) tingkatan berdasarkan nilai indeks plastisitasnya antara 0% hingga 17% (Hardiyatmi, 2002). Batasan dapat dilihat pada **Table 2.5** sebagai berikut :

Tabel 2.6 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

PI	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 Hardiyanto 2002

.Plastisitas merupakan kemampuan tanah untuk menyesuaikan perubahan bentuk akibat berubahnya volume tanah yang tetap tanpa terjadi retakan atau remukan. Plastisitas terjadi akibat adanya kandungan partikel mineral lempung yang terdapat di dalam tanah. Setiap tingkatan memiliki kepadatan yang berbeda – beda begitu juga dengan properti teknisnya

Gambaran untuk batas – batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air yang terdapat dalam tanah. Batasan tersebut meliputi batas plastis (*plastic limit*), batas cair (*liquid limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*).

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

Batas Plastis adalah jumlah kadar air yang terkandung dalam tanah ketika partikel dalam tanah tersebut mulai hancur saat

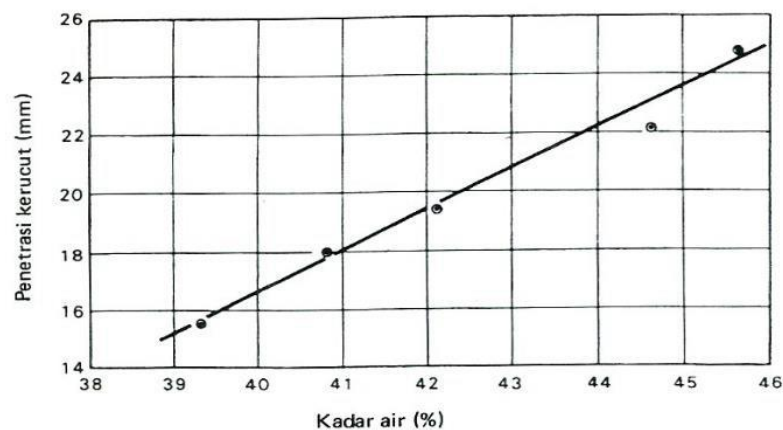
digulung, berbentuk seperti benang dengan ukuran diameter 1/8 inc (3,2 mm) sampai timbul retakan. Tanah yang digunakan untuk pengujian *plastic limit* adalah tanah yang telah dihancurkan dengan saringan nomer 40, batas plastis merupakan batas yang paling rendah dari tingkat plastisitas pada tanah, kadar air dalam tanah pada batas plastis dinyatakan dalam bentuk persen (%).

Pengujian batas plastis bertujuan mengetahui kadar air suatu jenis tanah pada keadaan batas antara keadaan plastis dan keadaan semi padat.

2. Batas Cair (*Liquid Limit – LL*)

Atterberg menggunakan batas cair untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah dengan berbutir halus pada kadar air yang bervariasi, tanah dapat dibedakan menjadi solid, semi – solid, plastis, dan cair. Setiap tingkatan mempunyai kepadatan dan tingkah laku tanah yang berbeda – beda begitu juga dengan properti teknisnya. *Liquid limit* adalah jumlah kadar air ketika suatu partikel tanah memiliki kuat geser yang rendah yang dapat mengalir ketika dibentuk pada keadaan tertentu.

Kadar air *liquid limit* diperoleh dari ketukan pada tanah yang diperlukan untuk menutup sebuah goresan, misalkan didalam sebuah mangkok dengan jarak 0,5 inc (12,7 mm) setelah dilakukan 25 kali ketukan didefinisikan sebagai batas cair (*liquid limit*). Dapat dilakukan beberapa kali percobaan dengan kandungan air yang berbeda – beda. Grafik penentuan batas cair dapat dilihat pada **Gambar 2.6**



Gambar 2.7 Penurunan Batas Cair (Craig, 1991)

3. Batas Susut (*Shrinkage Limit – SL*)

Shrinkage limit adalah batasan kadar air (dinyatakan dalam bentuk persen %) yang tidak akan terjadi perubahan volume pada massa tanah, apabila kadar airnya dikurangi. Pengujian batas susut dilakukan dengan alat yang berbentuk mangkuk porselin dengan diameter 1,75 inc (44,4 mm) dan tinggi 0,5 inc (12,7 mm). Volume dari sample tanah yang sudah mengering kemudian ditentukan dengan cara menggunakan air raksa.

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

Perbedaan kuantitatif kadar air antara dua batas cair (*liquid limit*) dan batas plastis (*plastic limit*) disebut indek plastis (PI). Indek plastisitas dapat dihitung menggunakan persamaan $IP = LL - PL$. persamaan dapat digunakan kecuali *liquid limit* dan *plastic limit* tidak dapat ditetapkan perbedaanya; tekstur tanah sangat berpasir, sehingga *plastic limit* tidak dapat ditentukan; dan *liquid limit* (LL) \geq *plastic limit* (PL) dapat dinyatakan tanah tersebut tidak plastis (NP).

2.7 Sifat Mekanik Tanah

Sifat mekanik tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah pada saat dikenai suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknik mekanis.

2.7.1 Pemadatan Tanah

Pemadatan tanah merupakan sebuah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga reduksi volume udara, dan tidak terjadi perubahan volume air yang cukup berarti pada tanah. Tingkat pemadatan didapatkan dari berat volume kering yang didapatkan, apabila air ditambahkan pada saat proses pemadatan maka air tersebut berfungsi sebagai unsur pembasah atau pelumas pada partikel – partikel tanah. Dengan ditambahkan air partikel – partikel akan lebih mudah bergerak dan bergeser satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat.

Penambahan kadar air secara berkala justru cenderung menurunkan berat volume dari tanah, hal itu disebabkan karena air menempati ruang – ruang pori dalam tanah yang sebetulnya dapat ditempati oleh partikel – partikel padat dari tanah. Kadar air maksimum dicapai apabila berat volume kering maksimum telah tercapai.

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertimbangkan kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel (Bowles, 1984). (Krebs & Walker dalam Wijaya Seta, 2006) juga menjelaskan bahwa ukuran kepadatan tanah adalah berat isi kering (γ_d), dengan perbandingan antara berat butiran tanah dibandingkan dengan volumenya.

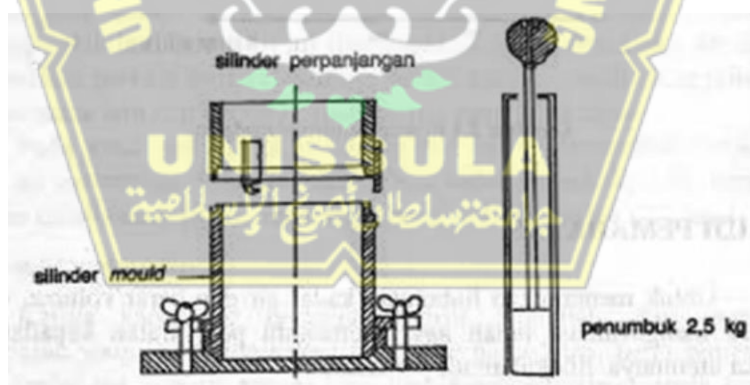
Adaun faktor – faktor yang memengaruhi pada saat pemadatan berlangsung menurut (Hardiyatmo, 2002) yang pertama kadar air, tipe tanah dan gradasi, energi pada saat pemadatan (*compaction effort*) dan unit berat kering (*dry unit weight*)

Terdapat 4 (empat) tujuan pemadatan tanah menurut (Hardiyatmo, 2002) yaitu :

1. Meningkatkan nilai kuat geser pada tanah

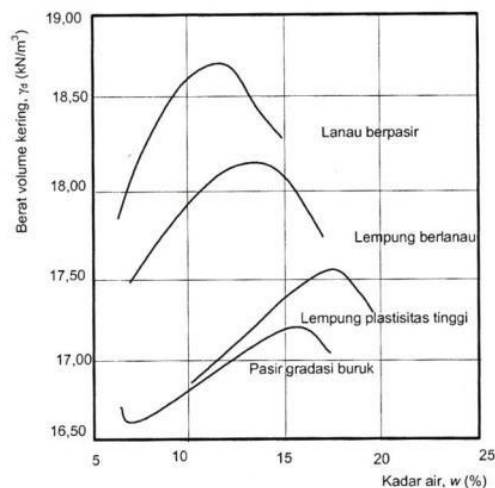
2. Mengurangi permeabilitas
3. Mengurangi sifat tanah yang mudah mampat (kompreibilitas)
4. Mengurangi adanya perubahan volume yang diakibatkan perubahan kadar air.

Pengujian pemadatan bertujuan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan berat isi tanah dengan cara memadatkan didalam cetakan silinder *mould* berukuran tertentu dengan menggunakan alat penumbuk 2,5 kg atau 5,5 lb dan tinggi jatuh 30 cm atau 12 inc. Sample tanah yang akan dipadatkan dibagi menjadi 3 (tiga) lapisan, dan setiap lapisanya ditumbuk sebanyak 25 kali untuk pengujian *standard proctor*. Sedangkan pada uji *modified procor*, menggunakan silinder *mould* dengan alat penumbuk sebesar 4,54 kg dan tinggi jatuh penumbuk 45,72 cm. Sampel pada saat pengujian dibagi menjadi 5 (lima) lapisan dan masing – masing lapisanya ditumbuk 25 kali. Alat yang digunakan dalam uji proctor dapat dilihat pada **Gambar 2.6** dibawah ini.



Gambar 2.8 Alat Uji Pemadatan Proktor Standar (Hardiyatmo, 2002)

Pada saat dilakukan pengujian pemadatan tanah, kemungkinan angka yang diperoleh pada grafik hubungan kadar air dan berat volume kering dapat dilihat pada **Gambar 2.8** sebagai berikut.



Gambar 2.9 Grafik Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering (Hardiyatmo, 2002)

Pengujian pemadatan juga juga dapat dilakukan dengan CBR (*California State Highway*). Istilah CBR menunjukan suatu perbandingan *ration* antara beban yang diperlukan untuk menekan piston logam kedalam tanah untuk mencapai penurunan/ penetrasi tertentu dengan bahan yang diperlukan pada penekanan piston terhadap material batu pecah di California pada penetrasi yang sama (Canonica, 1991).

Kekuatan nilai CBR akan semakin kecil jika semakin tinggi kadar airnya, namun hal ini tidak berarti bahwa sebaiknya tanah dipadatkan dengan kadar air yang rendah untuk mendapatkan nilai CBR yang tinggi, karena kadar air tidak tahaun konstan pada nilai serendah itu.

2.7.2 Kuat Geser Tanah

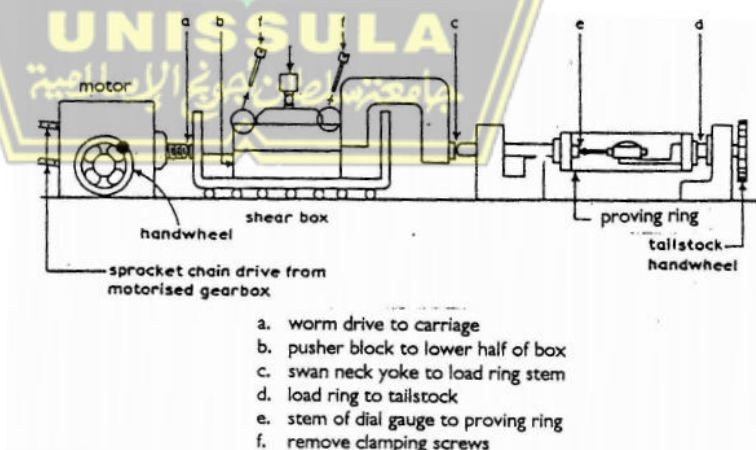
Kuat geser tanah merupakan gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir – butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Kuat geser tanah yang bersifat korosi tergantung pada macam tanah dan kepadatan butirannya, sedangkan yang mempunyai sifat gesekan (*frictional*) akan sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang geser (Pratikos, 2017).

Jika tanah tidak memiliki kekuatan geser yang cukup untuk menahan atau memikul tegangan geser yang terjadi, maka akan

timbul pergeseran tanah (keruntuhan pada tanah). Keruntuhan tersebut terjadi bukan disebabkan hancurnya butir – butir tanah tetapi karena adanya gerak relatif antar butir – butir tanah tersebut (Priska & Sartje Monintja dkk, 2013)

Pengujian kuat geser tanah dapat dilakukan dengan pengujian geser langsung (*direct shear test*), pengujian triaksial (*triaxial compression test*), dan pengujian tekan bebas (*unconfined compression test*). Hasil percobaan kuat geser tanah akan memperoleh nilai c (kohesi) dan ϕ (sudut geser).

salah satu uji kuat geser yang umum digunakan adalah pengujian geser langsung (*direct shear test*), pengujian dilakukan dengan menempatkan sample tanah pada sebuah cincin/kotak geser (*shear box*) yang terbuat dari logam dengan dua buah batu pori, yang diletakkan di atas dan bawah benda uji tanah tersebut. Kotak geser tersebut terbagi menjadi 2 (dua) bagian tepat di tengah – tengah tinggi tabung, diatas dan dibawah sample tanah terdapat piringan logam. kemudian diberi beban secara vertical (N) melalui plat beban dengan sertahap. Pergeseran tersebut akan menimbulkan gaya geser (T) diukur secara bersamaan dengan perpindahan geser (Δl).



Gambar 2.10 Skema Uji Geser Langsung (Isti Qomariyah, 2017)

2.8 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan proses untuk memperbaiki sifat – sifat tanah dengan menambahkan bahan campuran atau memodifikasi struktur lapisan tanah agar dapat menaikan daya dukung tanah, mempertahankan kekuatan geser dan mengurangi terjadinya deformasi tanah. Menurut (Bowles, 1991).

Jika tanah yang terdapat dilapangan mempunyai sifat – sifat yang tidak diinginkan seperti lunak, *compressible*, kembang susut yang besar, sehingga kondisi tanah diatas tidak dapat didirikan suatu konstruksi bangunan, jalan, atau beban lalu lintas yang bertumpu pada tanah, maka untuk memperbaiki sifat – sifat tanah tersebut agar dapat digunakan dengan baik dan aman sebagai pendukung konstruksi adalah dengan cara stabilisasi tanah. Hal –hal yang dapat dipertimbangkan, bila tanah di lapangan tidak memenuh syarat untuk didirikanya suatu konstruksi, sebagai berikut :

1. Membongkar material dilokasi dan menggantikan dengan material yang sesuai
2. Merubah atau memperbaiki sifat – sifat tanah di lapangan.

Stabilisasi tanah umunya terbagi menjadi dua, yaitu stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi mekanis dapat dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang memiliki gradasi berbeda untuk memperoleh material yang sesuai dengan syarat. Pencampuran dapat dilakukan dilokasi proyek atau di tempat pengambilan bahan timbunan (*borrow area*). Stabilisasi mekanis dapat juga dilakukan dengan cara mengambil tanah buruk lalu digantikanya dengan material granuler dari tempat lain. Sedangkan stabilisasi kimiawi dilakukan dengan cara mencampurkan tanah dengan menggunakan bahan – bahan campuran dengan perbandingan tertentu.

Tabel 2.7 Macam Tanah dan Metode Stabilisasi yang cocok untuk stabilisasi dan keawetan tanah dasar.

Item	Macam Tanah	Metode Stabilisasi
Perbaikan stabilisasi	Granular Kasar	Pemadatan, tanah – aspal, tanah – semen, <i>cement – treated base</i> , semen modifikasi tanah, stabilisasi mekanis. Tanah – kapur atau kapur modifikasi tanah, jika tanah mengandung bahan reaktif.
	Granular Halus	Pemadatan, tanah – aspal, tanah semen, semen modifikasi tanah, stabilisasi mekanis. Tanah – kapur, atau kapur modifikasi tanah jika tanah mengandung bahan halus yang aktif, atau jika ditambah <i>pozzolam</i>
Untuk tanah berlanau dan berlempung termasuk reduksi <i>resilient</i> tanah elastis pada tanah anatar lanau dan lempung (juga tanah micaceous) pencegah erosi tanah dasar semua tipe tanah terkait masalah pimping (pemompa) pada perkerasan beton	Tanah sangat berlanau	Pemadatan, tanah – aspal, tanah – semen, semen modifikasi tanah, stabilisasi mekanis dengan atau tanpa semen, tanah – kapur jika rekasinya seperti yang dikehendaki
	Tanah berlempung plastisitas rendah.	Pemadatan tanah – kapur, dan kapur modifikasi tanah atau kombinasu semen dan kapur.
	Lempung plastisitas tinggi	
	Tanah – tanah berlempung plastisitas rendah	Mengontrol kadar air dan kepadatan agar menghasilkan sedikit perubahan volume dari kondisi awal sampai akhir masa layanan. Dengan menggunakan tanah –

Control kadar air (termasuk kembang		semen, semen modifikasi tanha, atau campuran yang melibatkan keduanya.
susut; juga pemadatan akibat lalulintas)	Lempung plastisitas tinggi	Mengontrol kadar air dan kepadatan dalam porsi lebih rendah dari tanah dasar ditambah tanha – kapur atau kapur modifikasi tanah dengan tebal secukupnya.

Sumber : Johnson, 1965 dalam Fitriingsih, 2017

Beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilkan tanah adalah sebagai berikut :

1. Meningkatkan kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan tahanan geser yang terjadi.
3. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan – perubahan kimiawi atau fisik pada tanah.
4. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah)
5. Mengganti tanah yang buruk

2.8.1 Abu Gergaji Kayu Sebagai Bahan untuk Stabilisasi

Pengolahan kayu menghasilkan salah satu limbah yang berupa serbuk atau sisa gergaji kayu. Abu gergaji kayu merupakan sisa dari hasil pembakaran gergaji kayu yang tersusun dari maerial berbutir halus. Pada penelitian terdahulu penggunaan beberapa jenis abu yang dipergunakan sebagai bahan stabilisator tanah sudahlah banyak, misalnya abu sekam padi. Abu sekam padi merupakan matrial yang banyak mengandung silica dan material pozzolan yang dapat mengeras sendirinya. (Widhiarto et al. 2015). Partikel abu gergaji kayu rata – rata hampir sama dengan beberapa partikel abu pada umumnya, tersusun dari material berbutir halus yang memiliki kemampuan untuk menyerap sedikit air secara kelompok, namun hampir bersifat lolos air pada setiap partikelnya. Dilihat dalam hal konsistensinya sifat abu lebih baik jika dibandingkan dengan sifat ekspansif

tanah, sehingga dalam penelitian ini abu gergaji kayu diharapkan dapat dijadikan bahan stabilisator. (Zaenuri & Romadhon, 2019)

Abu gergaji kayu sebagai bahan stabilisasi tanah lempung ekspansif memiliki beberapa kandungan yaitu silica, mineral kalsium dan magnesium, mineral tersebut merupakan material penyusun kapur (Kustantrika 2017). *Silica* pada abu gergaji kayu berfungsi sebagai pengikat partikel – partikel lempung pada tanah, karena kandungan silica pada abu gergaji kayu akan mengalami reaksi *pozzolan* apabila terhidrasi, dimana *pozzolan* ini berguna untuk pengganti semen dalam tanah nantinya. Selain itu abu gergaji kayu memiliki ukuran yang sangat halus sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi (*filter*) pada rongga – rongga tanah. Hal tersebut akan mengakibatkan perubahan – perubahan sifat mekanik tanah seperti menambahnya tekana geser pada tanah (ϕ).

Menurut (Karaseran, 2015) penggunaan arang tempurung dapat memperbaiki sirkulasi air dan udara dalam tanah, sebagai media yang dapat mengikat unsur karbon, dan dapat mengurangi kembang susut pada tanah karena mereduksi nilai indeks plastisitas tanah. Berdasarkan penelitian di atas maka abu gergaji kayu digunakan menjadi bahan stabilisasi pada penelitian ini.



Gambar 2.11. Abu Gergaji Kayu

2.8.2 Abu Eceng Gondok Sebagai Bahan untuk Stabilisasi

Eceng gondok adalah jenis gulma yang pertumbuhannya sangatlah pesat, hal ini sangat mengganggu dikarenakan sifat

eceng gondok yang menutupi permukaan air dapat menyebabkan berkurangnya kandungan oksigen. (Yonathan, et al., 2013). Selain itu gulma air juga memiliki dampak negatif lain berupa terjadinya pendangkalan di waduk atau bendungan, penyumbatan saluran irigasi, mempercepat proses kehilangan air melalui proses evapotranspirasi, dan mempersulit transportasi perairan. Penggunaan eceng gondok sebagai bahan stabilisasi tanah diharapkan dapat mengurangi populasi eceng gondok di kawasan perairan.

Eceng gondok yang memiliki pengaruh buruk terhadap lingkungan telah banyak digunakan untuk berbagai penelitian selama beberapa tahun terakhir seperti pengaruh terhadap kuat tekan beton, stabilitas campuran aspal panas, dan pengaruh karakteristik beton.

Kandungan kimia dari abu eceng gondok mempunyai kesamaan dengan unsur pembentuk semen. Dalam keadaan kering eceng gondok memiliki kandungan kimia berupa selulosa 64%, pentose 15,61%, lignin 7,69%, silica 5,56% dan abu 12%. (Kriswiyanti, 2009). Kandungan silica pada abu eceng gondok diharapkan memiliki sifat yang sama dengan silica pada semen, sehingga mampu mengikat mineral lempung menjadi padat, sehingga mengurangi kembang susut tanah lempung ekspansif, yang diharapkan dapat mempengaruhi daya dukung tanah pada fondasi dangkal.



Gambar 2.12 Abu Eceng Gondok

2.9 Daya Dukung Tanah Untuk Fondasi Dangkal

Daya dukung tanah ialah tekanan maksimum yang bisa dipikul oleh tanah tersebut akibat pembebanan tanpa terjadi kelongsoran atau keruntuhan, apabila beban diatas fondasi ditambah maka fondasi tersebut akan terjadi penurunan yang dapat mengakibatkan keruntuhan. Daya dukung yang aman tidak berlaku apabila penurunan berada dalam batas – batas yang diijinkan, oleh karena itu analisis penurunan wajib dicoba sebab umumnya bangunan peka terhadap penurunan yang berlebihan. Kapasitas nilai daya dukung dari suatu tanah didasarkan pada ciri tanah dasar serta dipertimbangkan terhadap kriteria penurunan serta stabilisasi yang diisyaratkan termasuk faktor aman terhadap keruntuhan.

Perencanaan suatu fondasi memerlukan perhitungan kekuatan tanah untuk mengetahui berapa besar daya dukung tanah bagi tata letak struktur bangunan. Dengan demikian beban konstruksi sudah diantisipasi sejak dini, agar konstruksi bangunan yang direncanakan tidak melampaui daya dukung tanah yang diijinkan.

Fondasi adalah suatu bagian dasar bangunan konstruksi yang berhubungan langsung dengan tanah atau batuan, berfungsi untuk menahan bangunan diatasnya dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke tanah dasar tanpa mengakibatkan keruntuhan geser tanah dan penurunan tanah fondasi yang berlebihan. Adapun persyaratan dalam membangaun fondasi, memiliki SF (*safety factor*) ≤ 3 agar aman terhadap kemungkinan keruntuhan geser. Jika SF = 3, maka keruntuhan tanah yang diijinkan dalam mendukung suatu fondasi mempunyai nilai tiga kali dari daya dukung batasanya.

Kekuatan daya dukung tanah dikenal dengan beberapa kondisi. Pada saat kondisi seimbang disebut dengan istilah *ultimate bearing capacity* (q_{ult}) atau daya dukung batas. Sedangkan untuk kondisi aman, disebut *allowable bearing capacity* (q_{ijin}) atau daya dukung ijin, dengan *safety factor* ≤ 3 yang dikehendaki.

Terdapat dua macam fondasi yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dangkal biasa disebut fondasi tapak (*spread foundation*) dengan

beberapa bentuk: lajur (*continuous*), persegi/ segi – empat (*square*), dan melingkar (*round/ circular*). Dengan bentuk yang berbeda – beda perhitungan daya dukung tanah batas (q_{ult}) juga berbeda.

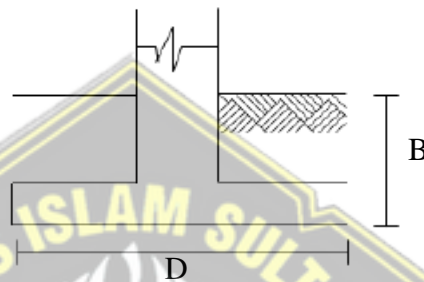
Menurut (Terzaghi, 1943) suatu fondasi dangkal ditentukan dari :

$$D_f \leq B \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan :

D_f = kedalaman fondasi dangkal dari permukaan tanah (m)

B = lebar fondasi (m)



Gambar 2.13 Fondasi Dangkal

Disebut fondasi dangkal karena kedalaman masuknya ke tanah relatif dangkal, hanya beberapa meter masunya ke dalam tanah. Salah satu tipe yang sering digunakan adalah fondasi menerus yang biasa pada rumah – rumah, dibuat dari beton atau pasangan batu, meneruskan beban dari dinding dan kolom bangunan ke tanah keras.

2.10 Penelitian Terdahulu

Sudah banyak cara dilakukan untuk menstabilisasikan tanah, dan juga penelitian mengenai stabilisasi tanah terutama pada tanah – tanah yang tidak memenuhi persyaratan. Dengan adanya penelitian terdahulu yang sesuai dengan permasalahan yang sedang dibahas di penelitian ini menjadi salah satu data pendukung dalam penelitian ini. Dengan itu, kami melakukan kajian terhadap hasil – hasil dari penelitian sebelumnya yang berupa tesis dan jurnal – jurnal di internet. Agar dapat mempermudah untuk melihat penelitian terdahulu, dapat dilihat pada **Tabel 2.8** dibawah.

Tabel 2.8 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Peneliti	Masalah Penelitian	Kesimpulan Penelitian	Penerbit
1.	PEMANFAATAN BUBUK ARANG KAYU SEBAGAI BAHAN STABILISASI TERHADAP KUAT DUKUNG TANAH LEMPUNG SUKODANO DENGAN VARIASI PERAWATAN	1. Meriza Sengeoris	Disaat musim penghujan tanah menjadi sangat becek serta jalan mudah rusak dan terjadi keretakan pada bangunan di atasnya.	1. Hasil uji kepadatan tanah (<i>Standard Proctor</i>) dengan sertambahnya persentase campuran dan lamanya perawatan nilai berat volume kering maksimum mengalami penurunan sedangkan nilai kadar air optimum mengalami kenaikan. 2. Hasil uji CBR mengalami kenaikan seiring sertabanya persentase campuran	Electronic Theses and Dissertations (Universitas Muhammadiyah Surakarta) 2016
2	PEMANFATAN ABU LIMBAH GERGAJI KAYU SEBAGAI CAMPURAN PEMBUATAN BETON	1. Melvin Junius 2. Christianto Tjondro 3. Handko Sugiharto	Pengaruh penggunaan abu gergaji kayu (<i>wood ash</i>) sebagai bahan campuran beton terhadap <i>workability</i>	1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton dengan <i>wood ash</i> memiliki <i>workability</i> yang lebih rendah dibandingkan beton yang tanpa word ash	Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil

				<p>2. Dari segi kekuatan beton dengan <i>wood ash</i> memiliki kuat tekan dan kuat tarik yang masih berada dibawah kekuatan normal tapi memiliki perkembangan kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan beton normal</p>	
3.	<p>SATABILISASI TANAH EXPANSIF DENGAN TAMBAHAN LIMBAH BATU BARA DAN BUBUK ARANG KAYU DI DAERAH KOKAP</p>	<p>1. Redi Rinaldi 2. Adwiyah Asyifa</p>	<p>Untuk mengurangi kembang susut dan meningkatkannya daya dukung tanah di daerah kokap, kulon progo.</p>	<p>1. Nilai CBR optimum sebesar 267,8% didapatkan dari 7,6% bubuk arang kayu dan 30% limbah batu bata (dari tanah asli 1,74% menjadi 6,4%) 2. Nilai pengembang (<i>swelling</i>) sebesar 3% 3. Disimpulkan bahwa penambahan limbah batu bata dan bubuk arang kayu dapat menstabilikan tanah lempung ekspansif.</p>	Eprints.uty.ac.id 2019

4.	PENGARUH PENMABAHAN SERBUK ECENG GONDOK TERHADAP KUAT TEKAN BETON	1. Surya Hadi 2. Unizar Mataram	Penambahan serbuk eceng gondok diharapkan menghasilkan beton dengan nilai kuat tekan yang lebih tinggi.	1. Kuat tekan beton normal 30,38 MPa, penambahan serbuk eceng gondok 2%, 4%, dan 6% diperoleh nilai kuat tekan 21,99 MPa, 18,16 MPa, dan 14,11 MPa 2. Semakin tinggi penambahan serbuk eceng gondok kuat tekan beton semakin kecil	Media Bina Ilmiah, 2019
5.	ANALISIS PENAMBAHAN FLY ASH TERHADAP DAYA DUKUNG FONDASI DANGKAL PADA TANAH LEMPUNG EKSPANSIF	1. Puspa Dewi Ainul Mala 2. Machfud Ridwan	Mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan <i>fly ash</i> pada tanah lempung terhadap kuat tekan bebas (<i>qu</i>) serta daya dukung fondasi dangkal tanah ekspansif.	1. Daya dukung fondasi dangkal tanah asli didapat sebesar 66,253 t/m ² ditambah <i>fly ash</i> 5% didapatkan nilai 80,948 t/m ² , <i>fly ash</i> 10% didapataka nilai 102, 038 t/m ² 2. Disimpulkan bahwa semakain banyak penambahan <i>fly ash</i> pada tanah lempung ekspensif maka semakin baik daya dukungnya.	Rekayasa Teknik SIpil, Jurnal Mahasiswa. 2017

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Pengertian Umum

Metodologi adalah Langkah – Langkah yang digunakan untuk mencapai suatu tujuan penelitian dengan susunan yang sistematis. Langkah yang digunakan memiliki tujuan, yaitu agar proses pembuatan laporan mendapatkan hasil penelitian yang sesuai dengan syarat dan efisiensi yang diinginkan.

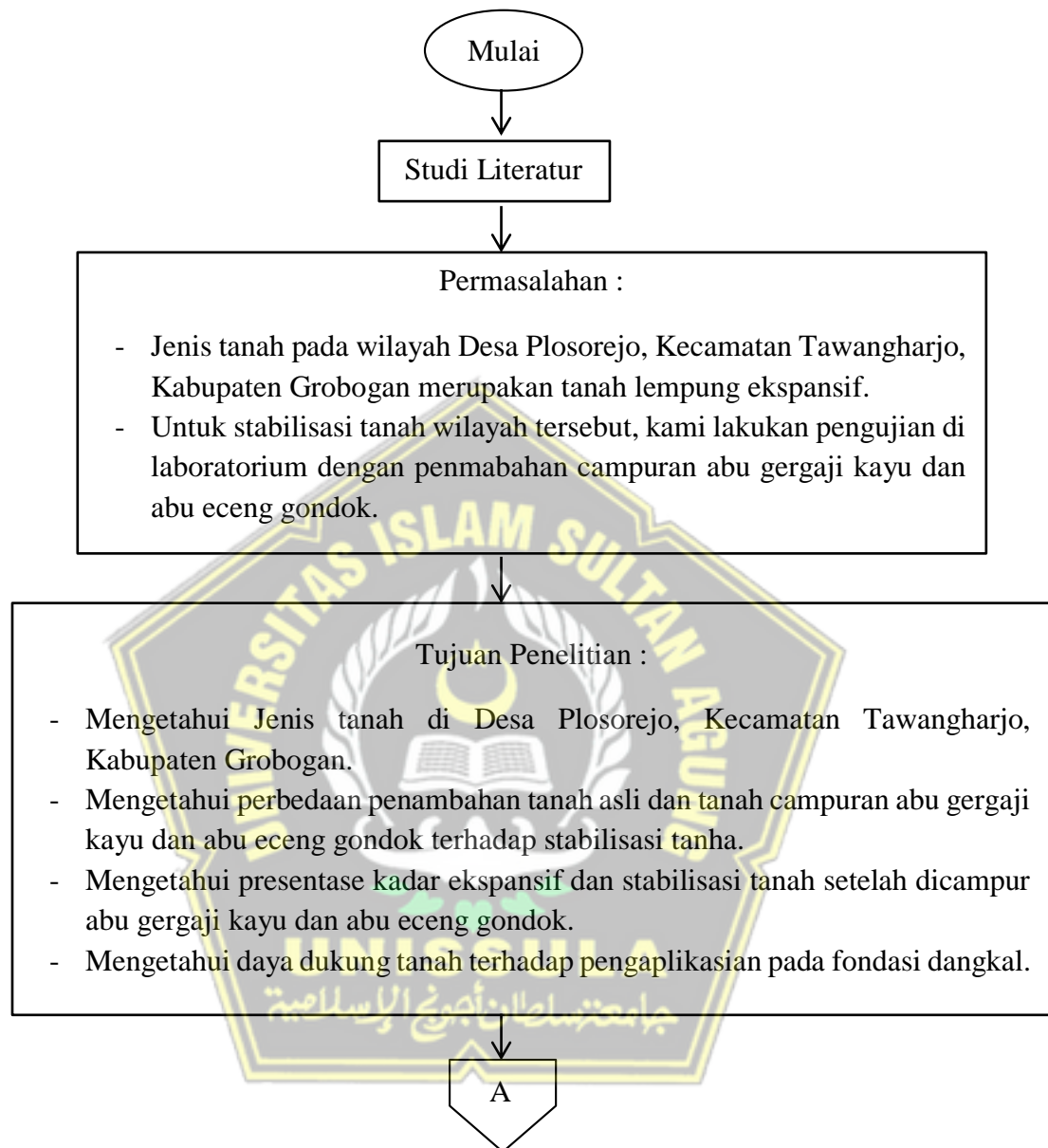
Tugas akhir ini membahas mengenai Pengaruh Abu Eceng Gondok Terhadap Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Dengan Penambahan Abu Gergaji Kayu yang berlokasi di Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah. Penelitian ini kami lakukan untuk memperbaiki stabilitas tanah lempung ekspansif dengan penambahan abu gergaji kayu dan abu eceng gondok. Komposisi campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok dapat dilihat dalam **Tabel 3.1** berikut ini.

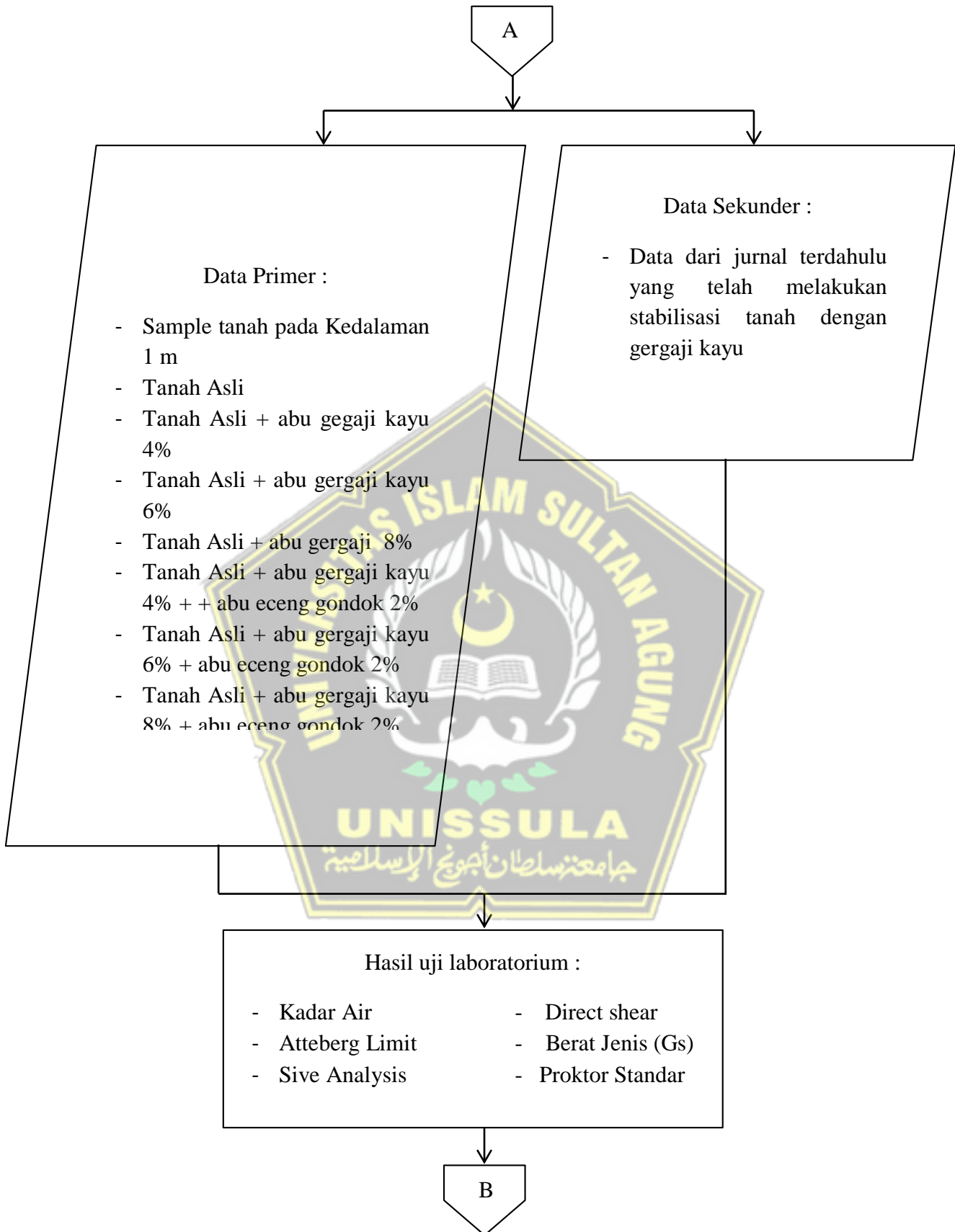
Table 3.1 Komposisi Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

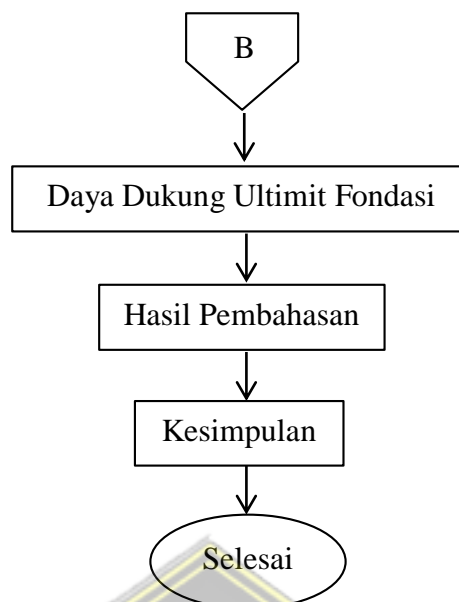
Campuran Abu Gergaji Kayu Campuran Abu Eceng Gondok	Abu Gergaji Kayu + 0%	Abu Gergaji Kayu + 4%	Abu Gergaji Kayu + 6%	Abu Gergaji Kayu + 8%
Abu Eceng Gondok + 0%	1 Sampel	1 Sampel	1 Sampel	1 Sampel
Abu Eceng Gondok + 2%	-	1 Sampel	1 Sampel	1 Sampel

Banyaknya jumlah komposisi campuran abu eceng gondok dan abu gergaji kayu seperti **Tabel 3.1.** berdasarkan pada penelitian – penelitian terdahulu.

Alur bagan metodologi dari mulai hingga selesai pada Tugas Akhir ini dapat dilihat dalam **Gambar 3.1** berikut ini.







Gambar 3.1 Bagan Alur Penelitian

3.2 Studi Literatur

Jenis penelitian yang digunakan merupakan metode studi literatur. Studi literatur itu sendiri merupakan rangkaian kegiatan yang berkaitan dengan metode pengumpulan data, membaca dan mencatat, mencari jurnal, buku panduan, serta mengolah bahan penelitian (Zed, 2008:3) dalam (Eka Diah Kartiningrum, 2015). Studi literatur ini menjadi dasar teori dan acuan yang digunakan dalam menganalisis suatu permasalahan dalam kasus dan melihat bagaimana perilaku tanah terhadap bangunan atau struktur yang akan dibangun di atasnya.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari mencari informasi pada jurnal – jurnal atau literatur terdahulu yang terkait dengan stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan abu gergaji kayu.

Tabel 3.2 Daftar Benda Uji Campuran Tanah, Abu Eceng Gondok dan Abu Gergaji Kayu

Jenis Data	Sumber Data	Tipe Analisis	Kegunaan
Data Primer	Sample tanah kedalaman 1 m di Desa Plosorejo, Kec. Tawangharjo, Kab. Grobogan. Pengujian dilakukan di laboratorium.	Kadar Air	Mencari kadar air awal untuk tanah asli ; tanah campuran abu eceng gondok masing – masing 4%, 6% dan 8% ; serta campuran abu eceng gondok dan abu gergaji kayu masing – masing 2%+4%, 2%+6% dan 2%+8%.
		<i>Atterberg Limit</i>	Mengetahui konsistensi tanah berdasarkan kadar air untuk tanah asli ; tanah campuran abu gergaji kayu masing – masing 4%, 6% dan 8% ; serta tanah campuran abu eceng gondok dan abu gergaji kayu masing – masing 2%+4%, 2%+6% dan 2%+8%.
		<i>Sieve Analysis</i>	Menganalisis gradasi butiran tanah (asli).
		<i>Direct Shear</i>	Mengetahui kekuatan geser tanah untuk tanah asli ; tanah campuran abu gergaji kayu masing – masing 4%, 6% dan 8% ; serta tanah campuran abu eceng gondok dan abu gergaji kayu masing – masing 2%+4%, 2%+6% dan 2%+8%.

	Berat Jenis (Gs)	Mencari berat jenis tanah untuk tanah asli ; tanah campuran abu gergaji kayu masing – masing 4%, 6% dan 8% ; serta tanah campuran abu eceng gondok dan abu gergaji kayu masing – masing 2%+4%, 2%+6% dan 2%+8%.
	<i>Proctor Standard</i>	Mententukan kadar air optimum yang digunakan untuk mendapatkan tanah (W_{opt}), berat volume basah tanah optimum (γ_{basah}), berat volume kering optimum (γ_{dry}) dan presentase pori (<i>porosity</i>) untuk tanah asli ; tanah campura abu gergaji kayu masing – masing 4%, 6% dan 8% ; serta tanah campuran abu eceng gondok dan abu gergaji kayu masing – masing 2%+4%, 2%+6% dan 2%+8%.

Bedasarkan **Tabel 3.2** pembahasan prosedur tipe analisis dapat dilihat seperti berikut ini.

3.3.1 Persiapan Pengujian di Laboratorium

3.3.1.1 Tanah

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari wilayah Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah, seperti pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Sampel Tanah

3.3.1.2 Air

Air yang digunakan dalam penelitian menggunakan air yang terdapat pada Laboratorium Geoteknik Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

3.3.1.3 Abu Gergaji Kayu

Abu gergaji kayu yang digunakan dalam penelitian sebagai bahan stabilisasi tanah merupakan limbah gergaji kayu yang dibakar hingga menjadi abu. Limbah gergaji kayu kami dapatkan dari rumah produksi meuble Bapak Edi asal Desa Mlangsen, Blora.



Gambar 3.3 Proses Pembakaran Gergaji Kayu

3.3.1.4 Abu Eceng Gondok

Abu eceng gondok yang digunakan dalam penelitian sebagai bahan stabilisasi tanah merupakan eceng gondok kering yang dibakar hingga menjadi abu. Eceng gondok kering kami beli dari penjual daerah Tempuran, Demak.



Gambar 3.4 Proses Pembakaran Eceng Gondok

3.3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Geoteknik Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

3.3.3 Persiapan Alat dan Prosedur Penelitian

3.3.3.1 Kadar Air

Pengujian kadar air merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara berat air yang terkandung tanah dengan berat kering butiran tanah yang dinyatakan dalam persen.

Alat – alat yang digunakan pada pengujian ini :

- a. Cawan
- b. Timbangan Digital dengan ketelitian 0,01 gram
- c. Oven dengan temperature suhu 105° - 110° C

Proses pelaksanaan pengujian kadar air yaitu, sebagai berikut:

1. Menimbang berat cawan aluminium kosong, (contoh : a gram).
2. Mengambil sampel secukupnya, kemudian diletakkan dalam cawan lalu ditimbang beratnya. Berat cawan + sampel tanah basah = b gram.
3. Selanjutnya masukkan ke dalam oven selama 24 jam.
4. Setelah 24 jam keluarkan cawan + sampel dari oven.
5. Setelah temperaturnya turun, sampel dapat ditimbang, (contoh : c gram).
6. Maka kadar air =

$$W = \frac{b-c}{c-a} \times 100\% \dots \dots \dots (3.1)$$

3.3.3.2 Atteberg Limit (Batas – Batas Konsistensi)

1. Liquid Limit (Batas Cair)

Pengujian *liquid limit* (LL) bertujuan untuk mengetahui kadar air tanah pada batas antara kondisi cair dan kondisi plastis.

Maka nilai *liquid limit* :

$$LL = \frac{\text{Jumlah Nilai Kadar Air}}{\text{Jumlah Percobaan}} \dots \dots \dots (3.2)$$

Alat – alat yang digunakan pada praktikum ini :

- a. Cassagrande dan coletnya
- b. Saringan no. 40 (Ø 0,425 mm)
- c. Cawan kecil
- d. Cawan besar
- e. Timbangan digital
- f. Oven



Gambar 3.5 Cassagrande

Proses pelaksanaan pengujian *liquid limit* ini aalah sebagai berikut :

1. Ambil sampel tanah secukupnya, kemudian di oven selama ± 24 jam. Setelah ini sampel ditumbuk dan diayak dengan saringan no. 40 (\varnothing 0,425 mm).
2. Ambil Sebagian sampel yang sudah lolos saringan lalu dicampurkan dengan aquades, dicampurkan secara merata dengan colet.
3. Setelah tercampur masukkan sampel ke cassagrande yang sudah disetel dengan tinggi jatuh ± 1 cm.
4. Sampel yang sudah diletakkan dalam cassagrande diratakan, lalu digaris bagian tengahnya dengan colet agar terbagi menjadi dua bagian.
5. Putar engkol pemutar dan hitung berapa kali ketukan. Putaran dilakukan dengan kecepatan ± 2 putaran tiap detik
6. Pemutar berhenti setelah tanah menutup sekitar 2 cm.

7. Percobaan ini dilakukan sebanyak 4 kali dengan kadar kandungan aquades yang berbeda. Diperkirakan sampel tanah akan menutup sepanjang 2 cm diatas 25 kali ketukan (sebanyak 2 sampel) dan dibawah 25 kali (sebanyak 2 sampel).

Pada setiap percobaan diperlukan sampel tanah secukupnya untuk mencari kadar airnya.

Cara menggambar grafik dari hasil percobaan *liquid limit* adalah, sebagai berikut :

1. Dari hasil data diatas, dibuat grafik – grafik dengan jumlah ketukan adalah sumbu absis dan presentase kadar air adalah sumbu ordinatnya.
2. Dibuat titik – titik dari setiap data percobaan, kemudian keempat titik – titik tersebut dihubungkan dengan garis lurus sehingga memotong sumbu tegak pada ketukan ke 25.
3. Titik potong pukulan ke-25 dan garis lurus ditarik mendatar, maka ada ditemukan presentase kadar airnya.
4. Titik kadar air itu adalah batas cair tanah tersebut.

2. *Plastic Limit (Batas Cair)*

Pengujian *plastic limit* (PL) bertujuan untuk mengetahui kadar air minimum sampel tanah pada batas antara kondisi tanah plastis dan kondisi semi-padat (Mauritz, Albert Atteberg, 1913).

$$PL = \frac{\text{Jumlah Kadar Air}}{\text{Jumlah Percobaan}} \dots\dots\dots(3.3)$$

Alat – alat yang digunakan pada praktikum ini :

- a. Saringan no. 40 (\emptyset 0,425 mm)
- b. Cawan kecil
- c. Cawan besar
- d. Lempeng kaca
- e. Timbangan digital
- f. Oven

Proses pelaksanaan pengujian batas plastis ini yaitu, sebagai berikut :

1. Mengambil sampel tanah secukupnya, kemudian di oven selama ± 24 jam. Lalu sampel tanah ditumbuk dan diayak pada saringan no. 40 (\emptyset 0,425 mm).
2. Sampel tanah diambil sebagian, lalu diletakkan pada cawan yang agak besar kemudian diberi aquadest dan dicampurkan hingga rata.
3. Setelah sampel tercampur rata kemudian dipilin di atas lempeng kaca hingga berbentuk bulatan. Panjang dengan diameter ± 3 mm.
4. Jika besar sampel yang dipilin sudah sesuai, sampel tanah ditimbang dengan berat antara 5 – 10 gram agar bisa dicari kadar airnya.

3. Indeks Plastisita (IP)

Setelah mendapatkan nilai liquid limit dan plastic limit selanjutnya mencari nilai indeks plastisitas menggunakan perhitungan dibawah ini

$$IP = LL - PL \dots\dots\dots(3.4)$$

3.3.3.3 Analisa Saringan (*Sieve Analysis*)

1. *Grain Size*

Pengujian *grain size* bertujuan untuk mengetahui ukuran dari butiran tanah sampel.

Alat – alat yang digunakan pada praktikum ini, sebagai berikut :

1. Susunan saringan dari \varnothing 4,75 mm – \varnothing 0,075 mm
2. *Sieve shaker*
3. Cawan
4. Timbangan digital
5. Oven

Proses pelaksanaan pengujian *grain size* yaitu, sebagai berikut :

1. Ambil sampel tanah kering secukupnya lalu ditimbang, (contoh : a gram).
2. Sampel diletakkan dalam mangkok atau cawan besar yang diisi air, kemudian direndam ± 24 jam.
3. Sampel hasil rendaman dicuci dalam saringan no. 200 (\varnothing 0,074 mm) dan lumpur yang tertinggal ditempatkan pada wadah terpisah.
4. Sampel yang bersih dari lumpur di oven selama ± 24 jam, kemudian ditimbang (contoh: b gram).
5. Persiapkan susunan saringan pada *sieve shaker* dengan urutan diameter saringan paling bawah ke atas semakin besar. Dapat dilihat pada **Gambar 3.6.**
6. Sampel yang sudah ditimbang dituangkan pada saringan paling atas dan digetarkan selama ± 15 menit.

7. Setelah itu, sampel yang tertinggal pada masing – masing saringan ditaruh pada cawan dan ditimbang.

Perhitungan dan cara menggambar grafiknya :

1. Berat sampel semula = a gram
 Berat sampel setelah dicuci = b gram
 Berat lumpur = berat sampel yang lolos dari saringan no. 200
 = a – b gram

2. Jumlah berat tanah yang tertinggal dalam saringan Ø 4,76 mm sampai Ø 0,074 mm
 = c gram.

3. Kehilangan berat
 = (b – c) gram

4. Kadar lumpur
 = $\frac{(a-b)+\alpha}{a} \times 100\%$ (3.5)

Dengan α = berat tanah yang tertinggal dalam alas saringan.

5. Presentase tanah yang tertinggal :

$$\frac{\text{Berat Tanah Yang Tertinggal}}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(3.6)$$

6. Komulatif persen tanah yan tertinggal

= Jumlah – presentase tanah diatasnya.

7. *Present finner* = (100% - komulatif persen).

8. Grafik dapat Digambar dalam table dengan diameter saringan adalah absis dan *present finner* adalah ordinatnya.



Gambar 3.6 Susunan Saringan dan *Sieve Shaker*

2. *Hydrometer Analysis*

Pengujian *hydrometer analysis* bertujuan untuk mengetahui faktor – faktor yang mempengaruhi kecepatan mengendap, bentuk, ukuran dan berat berat butiran tanah.

Alat – alat yang digunakan pada praktikum ini :

- a. *Hydrometer jar*, seperti pada **Gambar 3.7**.
- b. *ASTM Soil Hydrometers*
- c. Cawan porselin dan penumbuk
- d. *Stopwatch*
- e. Oven



Gambar 3.7 *Hydrometer Jar* dan *ASTM Soil Hydrometers*

Proses pelaksanaan pengujian hydrometer yaitu, sebagai berikut :

1. Tanah yang lolos saringan no. 200 (\emptyset 0,074 mm) dioven selama ± 24 jam kemudian ditimbang.
2. Sampel ditumbuk, kemudian sampel direndam selama 24 jam dalam mangkok.
3. Lalu sampel dimasukkan dalam gelas ukur dan ditambah air hingga 1000 cc.
4. Gelas ukur dikocok supaya sampel dan air bercampur secara homogen.
5. Kemudian masukkan *soil hydrometer* dalam gelas ukur bersamaan dengan start stopwatch. Pembacaan 0 detik dilakukan pada saat hydrometer mulai stabil.
6. Pembacaan dilakukan pada detik ke 0, ¼, ½, 1, 5, 10, 30 dan seterusnya.

Alat *soil hydrometer* akan turun secara perlahan, hal ini menunjukkan bahwa lumpur semakin mengendap.

Perhitungan hydrometer :
Presentase butiran

$$N = \frac{\text{Selisih pembacaan}}{\text{Jumlah selisih pembacaan}} \times KL \dots\dots\dots (3.7)$$

Dimana :

KL = kadar lumpur atau berat lumpur

t = waktu (detik)

z = 24 - α (0,2)

α = banyak strip setiap pembacaan

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

3.3.3.4 Direct Shear

Pengujian *direct shear* bertujuan untuk mengetahui analisis kekuatan geser tanah secara langsung.

Alat – alat yang digunakan pada praktikum ini :

1. Peralatan *direct shear test*
2. Timbangan digital
3. Pisau atau alat pemotong
4. Ring pencetak

Proses pelaksanaan *direct shear test* adalah yaitu, sebagai berikut :

1. Peralatan *direct shear test* disiapkan, stopwatch dan dial diatur hingga menunjukkan nilai nol.
2. Sampel dimasukkan dalam cetakan dan ditaruh pada tempatnya.
3. Beban vertical dipasang untuk mendapatkan tegangan normal (σ_n). Berat masing – masing beban 8 kg, 16 kg dan 24 kg. percobaan dilakukan sebanyak tiga kali.
4. Alat pemutar diputar secara bersamaan dengan *stopwatch* dimulai. Putaran dilakukan secara teratur dan dalam kecepatan yang sama yaitu sekali putaran ± 2 detik agar mengetahui tegangan geser (σ_s).
5. Pada waktu keadaan sudah bergeser, jarum akan bergerak kemudian waktu pada *stopwatch* dicatat dan pada kedudukan tertinggi jarum.

Cara perhitungan Tegangan Normal (σ_n) dan Tegangan Geser (σ_s) yaitu, sebagai berikut :

1. Tegangan Normal (σ_n)

Tegangan normal yaitu perbandingan antara luas penampang sampel (F) dengan beban normal (P).

$$\sigma_n = \frac{P}{F} \dots \dots \dots (3.8)$$

2. Tegangan Geser (σ_s)

Tegangan geser berasal dari perbandingan antara angka penunjuk dial dikalikan dengan angka kalibrasi dibagi luas permukaan sampel (F).

$$\sigma_s = \frac{\text{Gaya Geser}}{F} \dots\dots\dots(3.9)$$

Cara penggambaran grafik untuk mendapatkan kohesi (c) dan sudut geser dalam tanah (\emptyset) adalah sebagai berikut :

1. Angka – angka dari hasil percobaan tersebut Digambar pada daerah koordinat. Tegangan normal (σ_n) sebagai absisnya dan tegangan geser (σ_s) sebagai ordinatnya.
2. Untuk mendapatkan nilai kohesi (c) perlu diukur jarak titik potong tiap garis lurus atau grafik terhadap sumbu ordinat ke titik pusat. Dalam pengukuran ini hasilnya akan dikali dengan skala yang dipakai.
3. Untuk mencari sudut geser dalam tanah (\emptyset) adalah dengan mengukur sudut potong dari garis horizontal terhadap garis grafik.

3.3.3.5 Berat Jenis Tanah (Gs)

Pengujian *specific gravity* bertujuan untuk mengetahui berat jenis tanah melalui perbandingan antara berat tanah sampel dengan berat air pada suhu tertentu dan volume yang sama.

Alat – alat yang digunakan pada praktikum ini :

- a. Piknometer, dapat dilihat pada **Gambar 3.9**.
- b. Timbangan digital
- c. Oven
- d. Thermometer
- e. Aquadest



Gambar 3.8 Piknometer

Proses pelaksanaan pengujian berat jenis tanah yaitu, sebagai berikut :

1. Mencari nilai air piknometer :

- a) Piknometer kosong ditimbang, (contoh : a gram).
- b) Piknometer diisi aquadest hingga penuh lalu ditimbang, (contoh : b gram).
- c) Ukur suhu dalam piknometer dengan thermometer, (contoh : T_1 °C)

Nilai air piknometer = $(b - c) t_1$; dimana t_1 = koreksi T_1

2. Mencari *specific gravity* (Gs) ;

- a) Sampel tanah kering diambil secukupnya, lalu dimasukkan dalam piknometer yang bersih dan kering lalu ditimbang, (contoh : c gram. Berat sampel = 20-25 gram).
- b) Kemudian piknometer dan sampel diisi dengan aquadest sampai dibawah leher piknometer, lalu dikocok hingga gelembung udara hilang dan diamkan hingga ± 24 jam.
- c) Setelah ± 24 jam piknometer diisi aquadest hingga penuh dan ditimbang, (contoh : d gram).

- d) Ukur Kembali suhu dalam piknometer, (contoh : T_2 °C).

Maka *specific gravity* (G_s) dapat dicari dengan rumus :

$$G_s = \frac{c-a}{Hp-(d-c)t_2} \dots\dots\dots (3.10)$$

3.3.3.6 Proctor Standart

Pengujian *proctor standart* bertujuan untuk menentukan kadar air optimum yang digunakan untuk memadatkan tanah (W_{opt}), berat volume basah tanah optimum (γ_{basah}), berat volume kering optimum (γ_k) dan presentase pori (*porosity*).

Maka berat volume tanah basah (γ_b) dapat dicari dengan rumus :

$$\gamma_b = \frac{\text{Berat Tanah Basah}}{\text{Volume Tanah Basah}} \dots\dots\dots (3.11)$$

Mencari berat volume tanah kering (γ_k) :

$$\gamma_k = \frac{\gamma_b}{1+w} \dots\dots\dots (3.12)$$

Mencari kadar pori (n) :

$$n = \left[1 - \left(\frac{\gamma_k}{G_s} \right) \right] \times \% \dots\dots\dots (3.13)$$

Mencari angka pori (e) :

$$e = \frac{n}{1-n} \dots\dots\dots (3.14)$$

Mencari *zero air void* (ZAV) :

$$ZAV = \frac{G_s \times \gamma_w}{1+(G_s \times w)} \dots\dots\dots (3.15)$$

Alat – alat yang digunakan pada praktikum ini :

- a. Peralatan proctor beserta penumbuknya
- b. Pisau merata
- c. Timbangan berat
- d. Timbangan digital
- e. Jangka sorong
- f. Gelas ukur

- g. Cawan
- h. Oven
- i. Saringan no. 4 (Ø 4,76 mm)

Proses pelaksanaan pengujian *proctor standart* yaitu, sebagai berikut :

1. Sebelum pengujian dilakukan tanah sampel dikeringkan terlebih dahulu.
2. Alat proktor dilepas masing – masing, diukur diameter dan tingginya lalu ditimbang, serta penumbuknya juga diukur tinggi dan beratnya.
3. Ambil ampel tanah kering dan diayak dengan saringan no. 4, kemudian bagi tanah menjadi 6 bagian masing – masing 2 kg.
4. Ambil sampel secukupnya kemudian campurkan dengan air hingga tercampur rata, lalu bagi menjadi 3 bagian yang sama.
5. Tiap bagian dimasukkan dalam alat proctor dan ditumbuk sebanyak 25 kali berturut – turut pada bagian 2 dan 3.
6. Setelah itu cincin proctor atau bagian atas dilepas perlahan dan tanah dalam tabung diratakan dengan pisau perata, lalu tanah beserta alat proctor ditimbang.
7. Ambil sedikit tanah dalam tabung (bagian atas dan bagian bawah) untuk dicari kadar airnya.
8. Percobaan diulangi lagi dengan sampel tanah selanjutnya dengan cara yang sama dan dengan jumlah penambahan air yang berbeda sampai batas maksimum (akan menghasilkan berat maksimum).
9. Menghitung kadar air (w), berat volume basah (γ_{basah}), berat volume kering (γ_{dry}), n , e dan ZAV.

10. Grafik Digambar dengan absis kadar air (w) dan ordinatnya ($\gamma_{\text{basah}}, \gamma_{\text{dry}}, ZAV$).

3.4 Daya Dukung Tanah Untuk Fondasi Dangkal

Dalam menganalisis pengaruh bahan stabilisasi tanah dengan campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok terhadap daya dukung fondasi dangkal dengan menggunakan metode Terzaghi seperti pada rumus ;

Fondasi dangkal berbentuk bujur sangkar :

$$q_u = 1,3 c' \cdot N_c' + D_f \cdot \gamma \cdot N_q' + 0,4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma' \dots\dots\dots(3.16)$$

Dimana ;

q_u = daya dukung ultimate (ton/m^2)

γ = berat volume tanah (kg/cm^3)

c = kohesi tanah (kg/cm^2)

c' = $\frac{2}{3} \times c$

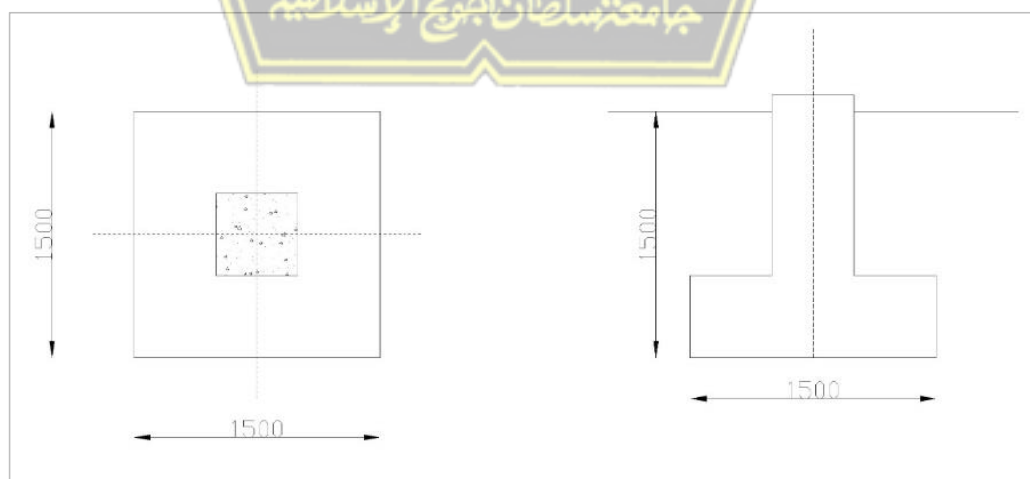
D_f = kedalaman fondasi (m)

B = lebar/diameter fondasi (m)

N_c', N_q', N_γ' = faktor daya dukung fondasi

$$q_{ijin} = \frac{q_{ult}}{F_s} (\text{ton/m}^2) \dots\dots\dots(3.17)$$

$$q = q_{ijin} \times A (\text{ton/m}^2) \dots\dots\dots(3.18)$$



Gambar 3.9 Fondasi Dangkal yang Direncanakan

Dimensi fondasi yang akan digunakan diasumsikan sebagai berikut :

- a. Fondasi dangkal berbentuk persegi dengan luas $2,25 \text{ m}^2$, dengan ukuran B dan L = 1,5 m dan kedalaman D = 1,5 m.
- b. Jenis keruntuhan yang diasumsikan yaitu terjadi keruntuhan geser umum.

Hasil yang didapatkan dari perhitungan yaitu nilai daya dukung fondasi dangkal. Hasil perhitungan tersebut dapat dianalisis dengan melihat pengaruh penambahan bahan stabilisasi tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok terhadap daya dukung ultimit fondasi dangkal bentuk persegi.



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini yaitu menganalisis Pengaruh Bahan Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok Terhadap Daya Dukung Fondasi Dangkal. Metode penelitian yang kami lakukan berdasarkan data dari hasil pengujian di laboratorium. Data hasil pengujian di laboratorium digunakan untuk menganalisis kepadatan tanah optimum yang dihasilkan dari stabilisasi tanah asli dan tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok. Presentase yang digunakan dalam uji coba dengan campuran abu gergaji kayu yaitu sebesar 4%, 6%, dan 8% serta tambahan 2% campuran eceng gondok di setiap masing – masing presentase campuran abu gergaji kayu. Presentase campuran tersebut kami pilih berdasarkan pengamatan dari penelitian terdahulu.

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Sifat Fisik Tanah

4.1.1.1 Kadar Air

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya kadar air awal yang terdapat dalam sampel tanah dengan kedalaman 1 m dari Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah. Dengan presentase pengujian tanah asli 0% dan tanah campuran abu gergaji kayu sebesar 4%, 6% dan 8% serta campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok sebesar 4% + 2%, 6% + 2% dan 8% + 2%.

Analisa Hasil Percobaan Data Kadar Air (Persamaan 3.1).

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

Dimana :

a = Berat cawan (gr)

b = Berat cawan + tanah basah (gr)

c = Berat cawan + tanah kering (gr)

w = Kadar air (%)

Contoh perhitungan kadar air tanah sampel 0% :

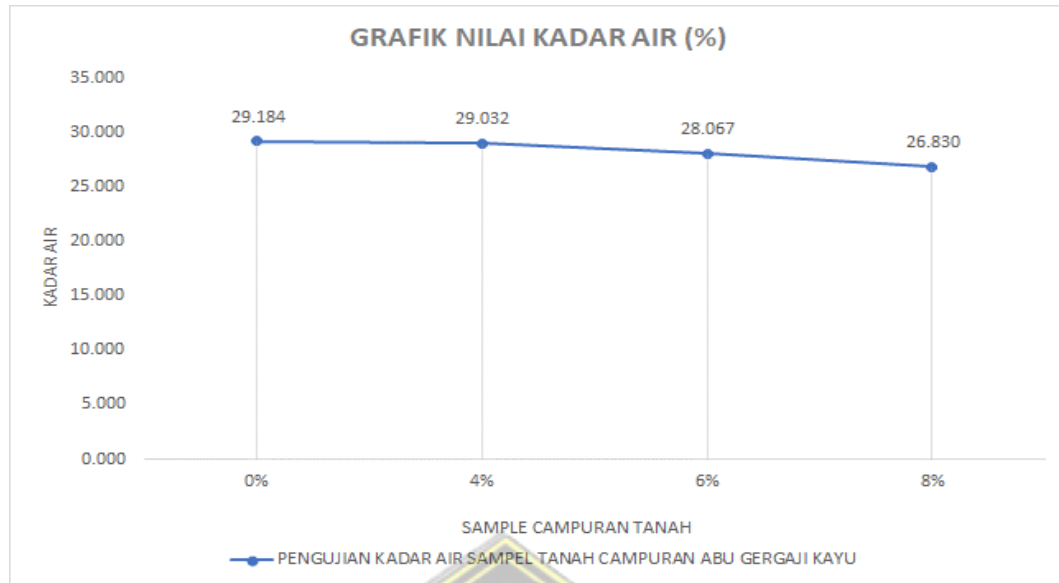
$$w = \frac{32,71-26,24}{26,24-4,07} \times 100\% = 29,184 \%$$

Hasil dari pengujian kadar air di laboratorium sampel tanah campuran abu gergaji kayu diperoleh data seperti dalam **Tabel 4.1**.

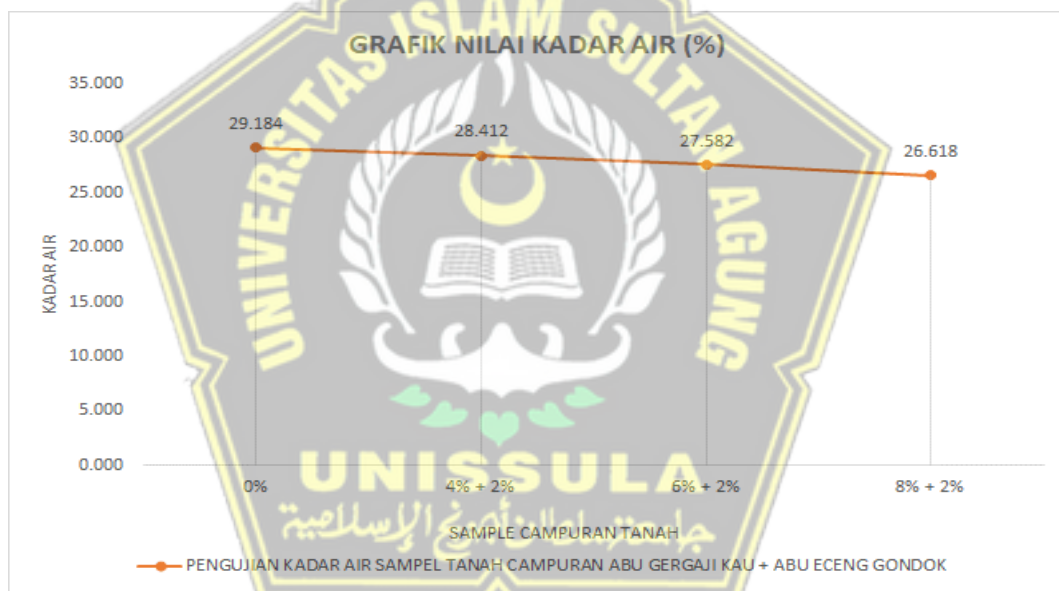
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kadar Air Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Gergaji Kayu + Abu Eceng Gondok

Sampel Tanah Campuran	No. Cawan	Berat Cawan (gr)	Berat Cawan + Tanah Basah (gr)	Berat Cawan + Tanah Kering (gr)	Kadar Air (W %)
0%	1	4.07	32.71	26.24	29.184
4%	2	4.14	30.14	24.29	29.032
6%	3	4.12	34.98	28.17	28.316
8%	4	4.10	38.75	31.42	26.830
4% + 2%	5	3.96	30.49	24.62	28.412
6% + 2%	6	3.86	25.23	20.61	27.582
8% + 2%	7	4.06	28.32	23.22	26.618

Grafik hasil perhitungan pengujian kadar air sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu gergaji kayu + abu eceng gondok dapat dilihat dalam **Gambar 4.1**. dan **Gambar 4.2**.

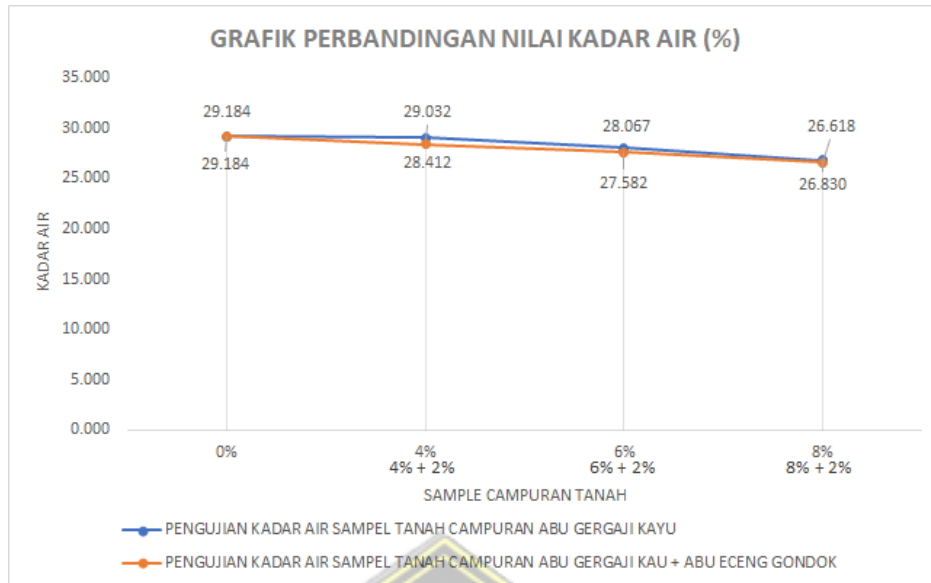


Gambar 4.1 Grafik Kadar Air Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu



Gambar 4.2. Grafik Kadar Air Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

Grafik perbandingan antara sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan campuran abu gergaji kayu + abu eceng gondok dapat dilihat pada **Gambar 4.3.**



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Kadar Air (w)

Dari **Gamabr 4.3** dapat dilihat bahwa pada tanah campuran abu gergaji kayu presentase 8% jumlah kadar air sebesar 26,830% dan pada tanah campuran abu gergaji kayu + abu eceng gondok presentase 8% + 2% jumlah kadar air sebesar 26,618%. Maka semakin kecil nilai kadar airnya semakin baik sifat property tanahnya. Hal ini disebabkan karena bahan campurana abu memiliki sifat sebagai pengisi rongga – rongga pada tanah lempung, sehingga butiran – butiran tanah menjadi lebih rapat.

4.1.1.2 Atterberg Limit

1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air tanah pada batas antara kondisi tanah cair dan kondisi plastis. Analisa hasil percobaan data *liquid limit* :

Contoh perhitungan kadar air menggunakan (persamaan 3.1).

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

$$w = \frac{19,15-13,46}{13,46-4,11} \times 100\% = 60,857\%$$

Analisa *liquid limit* menggunakan (persamaan 3.2).

$$LL = \frac{\text{Jumlah nilai } W}{\text{Jumlah Percobaan}}$$

$$LL = \frac{60,856 + 61,080 + 52,242 + 52,840}{4}$$

$$= 56,754\%$$

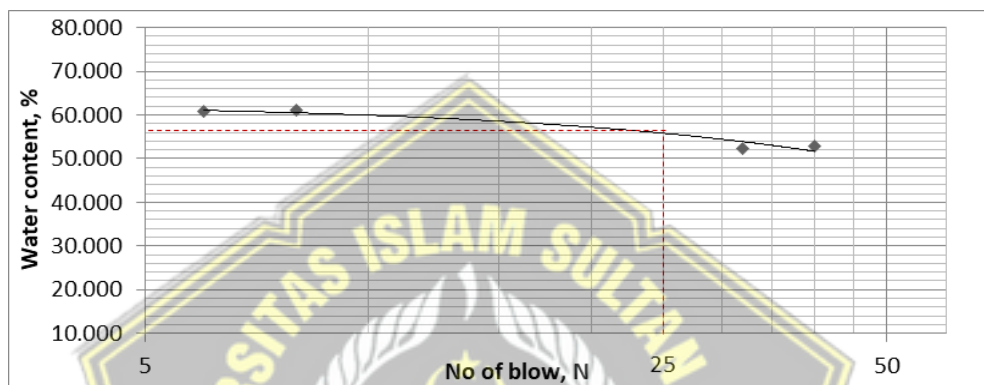
Dari hasil pengujian batas cair di laboratorium didapatkan data seperti yang tercantum pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan *Liquid Limit*

Sampel	Jumlah Ketukan	No. Cawan	Berat Cawan	Berat Cawan + Tanah Basah (gr)	Berat Cawan + Tanah Kering (gr)	w (%)	LL (%)
0%	6	1	4.11	19.15	13.46	60.856	56.754
	8	2	4.09	18.41	12.98	61.080	
	32	3	4.08	18.68	13.67	52.242	
	40	4	4.08	28.03	19.75	52.840	
4%	10	5	4.11	32.78	21.82	61.886	59.631
	14	6	4.06	25.87	17.76	59.197	
	29	7	4.06	24.40	17.04	56.703	
	34	8	4.12	28.52	19.30	60.738	
6%	20	10	4.17	25.08	16.98	63.232	60.515
	21	9	4.08	21.15	14.8	59.235	
	29	12	4.17	24.72	16.81	62.579	
	30	11	4.17	23.31	16.36	57.014	
8%	20	14	4.08	21.92	15.07	62.329	58.569
	22	13	4.11	17.29	12.85	50.801	
	30	16	4.08	26.99	18.36	60.434	
	31	15	4.04	24.37	16.69	60.711	
4% + 2%	15	1a	4.18	19.75	13.57	65.815	63.936
	16	1b	4.14	20.38	14.03	64.206	
	28	1c	4.15	22.10	15.15	63.182	
	39	1d	4.13	24.22	16.49	62.540	
6% + 2%	13	1e	4.15	17.11	11.80	69.412	64.746
	14	1f	4.14	25.35	16.94	65.703	

	29	lg	4.11	24.84	16.78	63.615	
	40	lh	4.13	23.12	15.98	60.253	
8% + 2%	13	li	4.05	16.78	11.47	71.563	69.087
	18	lj	4.06	24.58	16.07	70.858	
	29	lk	4.01	26.62	17.41	68.731	
	39	ll	4.01	25.37	16.94	65.197	

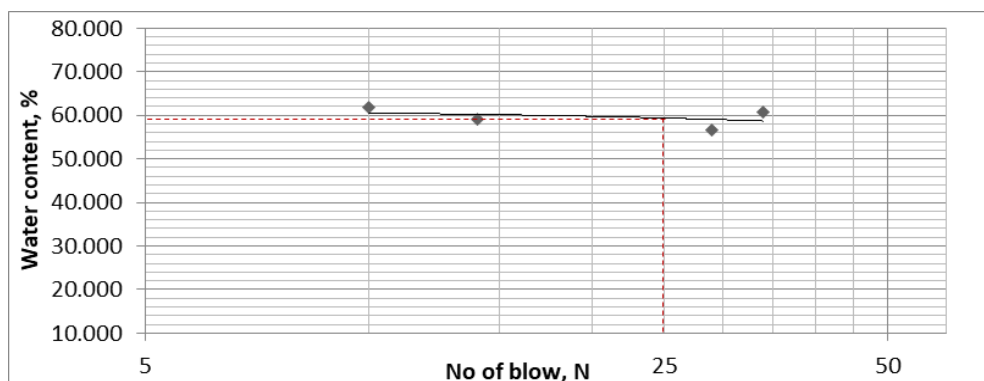
Berdasarkan hasil perhitungan **Tabel 4.2** diperoleh grafik dari sampel tanah asli yang dilampirkan pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4 Grafik *Liquid Limit* Sampel Tanah Asli

Dari grafik pada **Gambar 4.4**, besarnya kadar air pada jumlah pukulan ke-25 menunjukkan angka 56,75%. Maka batas cair dari sampel tanah asli adalah 56,75%.

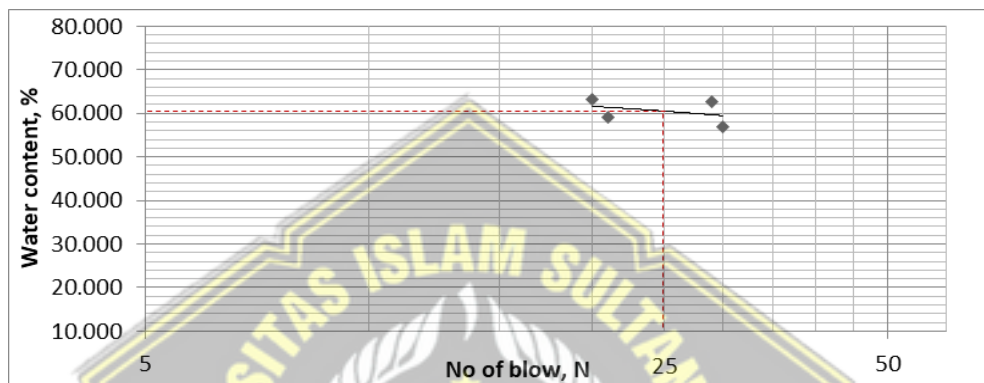
Berdasarkan hasil perhitungan **Tabel 4.2** diperoleh grafik dari sampel tanah campuran abu gergaji kayu 4% yang dilampirkan pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5 Grafik *Liquid Limit* Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu 4%

Dari grafik pada **Gambar 4.5**, besarnya kadar air pada jumlah pukulan ke-25 menunjukkan angka 59,63%. Maka batas cair dari sampel tanah campuran abu gergaji kayu 4% adalah 59,63%.

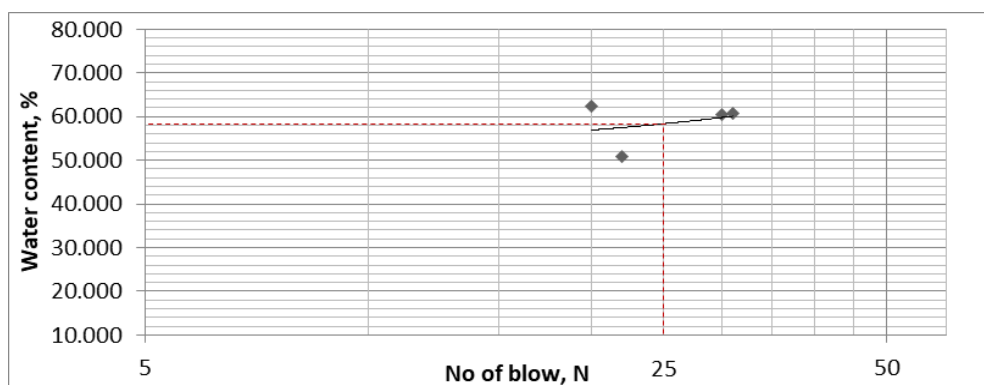
Berdasarkan hasil perhitungan **Tabel 4.2** diperoleh grafik dari sampel tanah campuran abu gergaji kayu 6% yang dilampirkan pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6 Grafik *Liquid Limit* Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu 6%

Dari grafik pada **Gambar 4.6**, besarnya kadar air pada jumlah pukulan ke-25 menunjukkan angka 60,52%. Maka batas cair dari sampel tanah campuran abu gergaji kayu 6% adalah 60,52%.

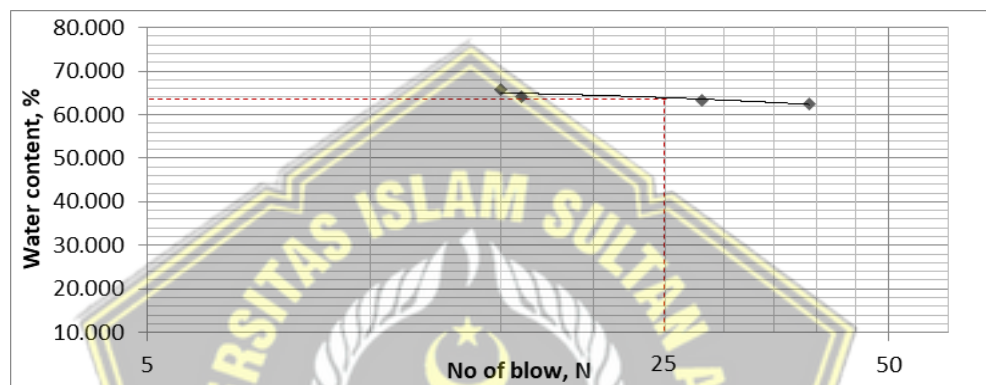
Berdasarkan hasil perhitungan **Tabel 4.2** diperoleh grafik dari sampel tanah campuran abu gergaji kayu 8% yang dilampirkan pada **Gambar 4.7**.



Gambar 4.7 Grafik *Liquid Limit* Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu 8%

Dari grafik pada **Gambar 4.7**, besarnya kadar air pada jumlah pukulan ke-25 menunjukkan angka 58,57%. Maka batas cair dari sampel tanah campuran abu gergaji kayu 8% adalah 58,57%.

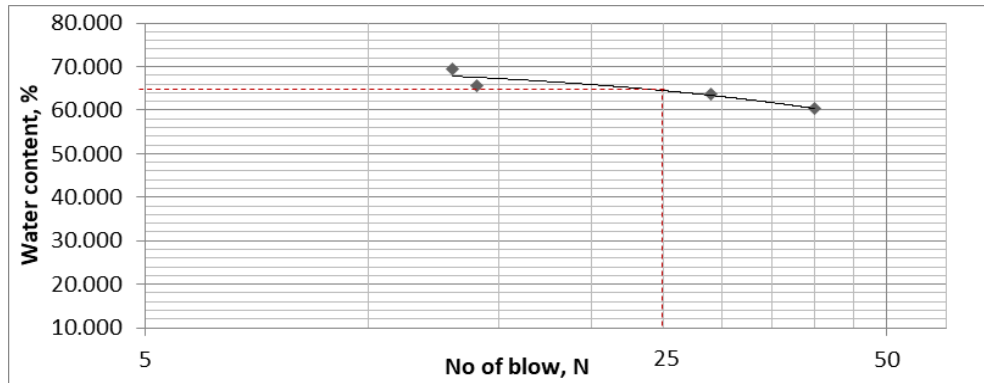
Berdasarkan hasil perhitungan **Tabel 4.2** diperoleh grafik dari sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok 4% + 2% yang dilampirkan pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4.8 Grafik *Liquid Limit* Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 4%+2%

Dari grafik pada **Gambar 4.8**, besarnya kadar air pada jumlah pukulan ke-25 menunjukkan angka 63,94%. Maka batas cair dari sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok 4% + 2% adalah 63,94%.

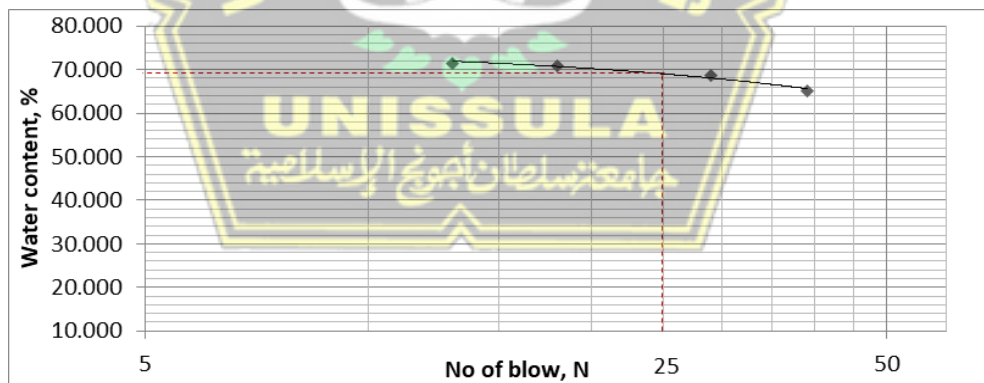
Berdasarkan hasil perhitungan **Tabel 4.2** diperoleh grafik dari sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok 6% + 2% yang dilampirkan pada **Gambar 4.9**.



Gambar 4.9 Grafik *Liquid Limit* Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 6%+2%

Dari grafik pada **Gambar 4.9**, besarnya kadar air pada jumlah pukulan ke-25 menunjukkan angka 64,75%. Maka batas cair dari sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok 6% + 2% adalah 64,75%.

Berdasarkan hasil perhitungan **Tabel 4.2** diperoleh grafik dari sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok 8% + 2% yang dilampirkan pada **Gambar 4.10**.



Gambar 4.10 Grafik *Liquid Limit* Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 8%+2%

Dari grafik pada **Gambar 4.10**, besarnya kadar air pada jumlah pukulan ke-25 menunjukkan angka 69,09%. Maka batas cair dari sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok 8% + 2% adalah 69,09%.

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air minimum sampel tanah pada batas antara kondisi tanah plastis dan kondisi semi-padat.

Perhitungan kadar air menggunakan (persamaan 3.1)

$$w_{0\%} = \frac{7,18-6,60}{6,60-4,14} \times 100\% \rightarrow w_{0\%} = 23,577 \%$$

Analisa *plastic limit* menggunakan (persamaan 3.3)

$$PL = \frac{\text{Jumlah Kadar Air}}{\text{Jumlah Percobaan}}$$

$$PL = \frac{23,577 + 22,326}{2} \\ = 22,951\%$$

Dari hasil pengujian batas cair di laboratorium didapatkan data seperti yang tercantum pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan *Plastic Limit*

Sampel	No. Cawan	Berat Cawan (gr)	Berat Cawan + Tanah Basah (gr)	Berat Cawan + Tanah Kering (gr)	w(%)	PL (%)
0%	1 PL	4.14	7.18	6.60	23.577	22.951
	1	4.11	6.74	6.26	22.326	
4%	2 PL	4.11	7.42	6.78	23.970	24.433
	2	4.12	7.13	6.53	24.896	
6%	3 PL	4.19	7.2	6.58	25.941	24.747
	3	4.16	7.36	6.75	23.552	
8%	4 PL	4.14	7.3	6.45	36.797	36.195
	4	4.14	7.34	6.50	35.593	
4% + 2%	5 PL	4.18	8.14	7.14	33.784	31.225
	5	4.00	7.86	7.00	28.667	
6% + 2%	6 PL	4.18	8.52	7.35	36.909	31.996
	6	3.90	7.56	6.78	27.083	
8% + 2%	7 PL	4.18	8.64	7.59	30.792	34.788
	7	4.11	7.76	6.74	38.783	

Setelah nilai *Liquid Limit* dan *Plastic Limit* didapatkan, selanjutnya mencari nilai Indeks Plastisitas dengan contoh perhitungan di bawah ini menggunakan (persamaan 3.4):

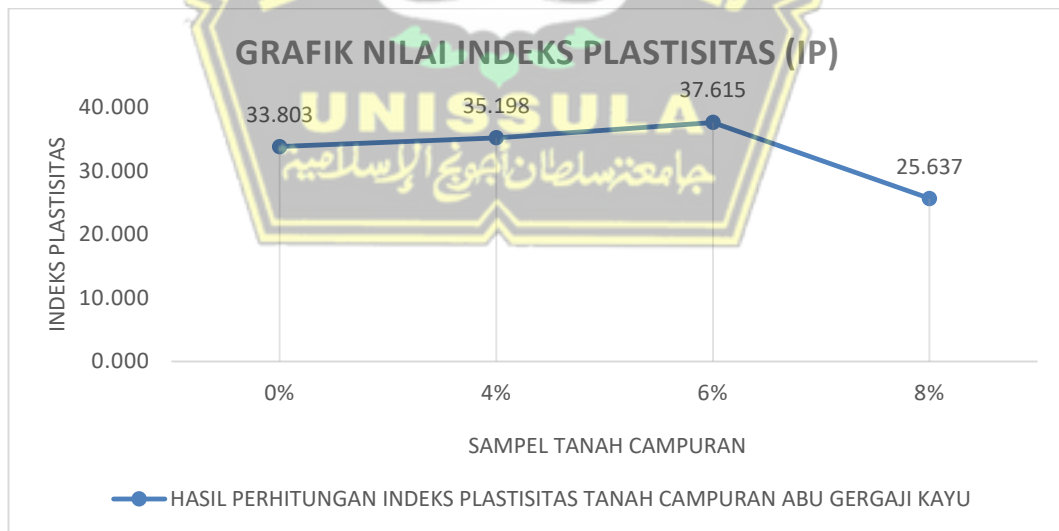
$$\begin{aligned} IP_{0\%} &= LL - PL \\ &= 56,754\% - 22,951\% \\ &= 33,803\% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan dari Indeks Plastisitas sampel tanah campuran abu gergaji kayu dapat dilihat dalam **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Indeks Plastisitas dengan Campuran Abu Gergaji Kayu

Sample Tanah Abu Gergaji Kayu	LL	PL	IP
0%	56.745	22.951	33.803
4%	59.631	24.433	35.198
6%	62.362	24.747	37.615
8%	61.832	36.195	25.637

Berdasarkan data hasil **Tabel 4.4** Diperoleh grafik Indeks Plastisitas seperti pada **Gambar 4.11**.



Gambar 4.11 Grafik Indeks Plastisitas Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu

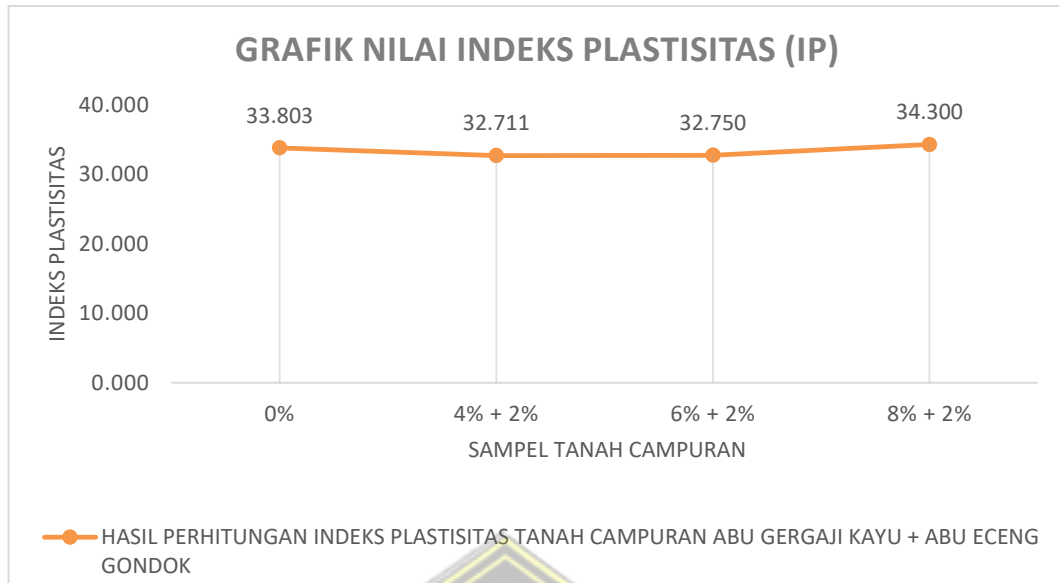
Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.11** Dapat dilihat bahwa presentase campuran abu gergaji kayu 8% memiliki jumlah partikel lempung yaitu paling sedikit sebesar 25,637%. Hal ini dapat dinyatakan bahwa apabila nilai indeks plastisitas semakin rendah, maka karakteristik tanah lempung berkurang dan stabilisasi tanah semakin baik.

Untuk hasil perhitungan dari Indeks Plastisitas sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok dapat dilihat dalam **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Indeks Plastisitas dengan Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

Sampel Tanah ampuran Abu Gergaji Kayu + Abu Eceng Gondok	LL	PL	IP
0%	56.754	22.951	33.803
4% + 2%	63.936	31.225	32.711
6% + 2%	64.746	31.996	32.750
8% + 2%	69.087	34.788	34.300

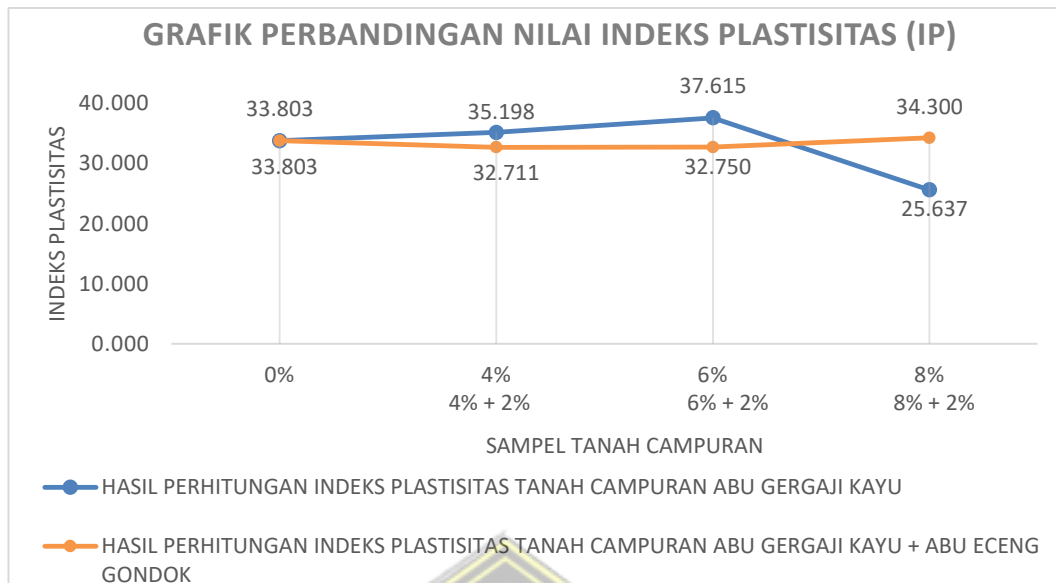
Berdasarkan hasil dari **Tabel 4.5** Diperoleh grafik Indeks Plastisitas seperti pada **Gambar 4.12**.



Gambar 4.12 Grafik Indeks Plastisitas Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu + Abu Eceng Gondok

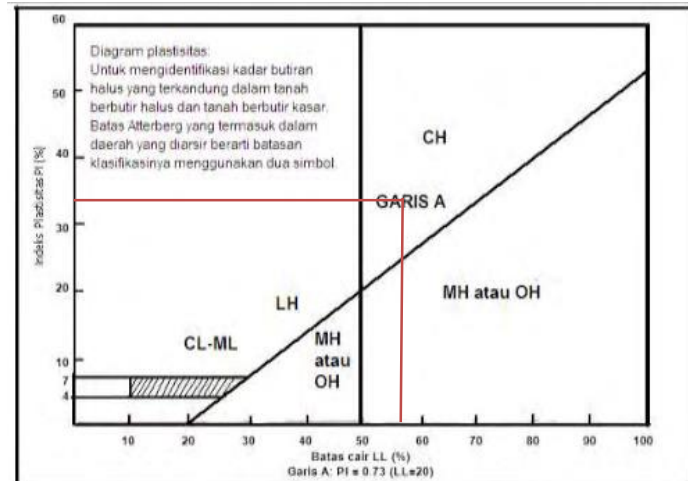
Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.12** Dapat dilihat bahwa presentase campuran 4%+2% adalah campuran dengan nilai indeks plastisitas terendah sebesar 32,711%. Apabila nilai indeks plastisitas semakin rendah, maka karakteristik tanah lempung berkurang dan stabilisasi tanah semakin baik.

Grafik perbandingan antara sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan campuran abu gergaji kayu ditambah abu eceng gondok dapat dilihat pada **Gambar 4.13**.



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Indeks Plastisitas (IP)

Untuk mengetahui potensi pengembangan tanah pada Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah membutuhkan data hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium dengan menggunakan analisis batas – batas *Atterberg*. Dari hasil pengujian didapatkan hasil pengujian bahwa sampel tanah asli memiliki besar nilai batas cair (*liquid limit*) = 56,75%, batas plastis (*plastic limit*) = 22,95%, dan indeks plastisitas (IP) = 33,80%. Dari hasil pengujian batas – batas *atterberg* kemudian disesuaikan dengan table sistem klasifikasi *USCS* maka tanah pada Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah diklasifikasikan sebagai tanah lanau dan lempung dengan batas cair $\geq 50\%$ yang termasuk dalam golongan CH (Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk). Pengolongan jenis tanah *USCS* dapat dilihat pada **Gambar 4.14**.

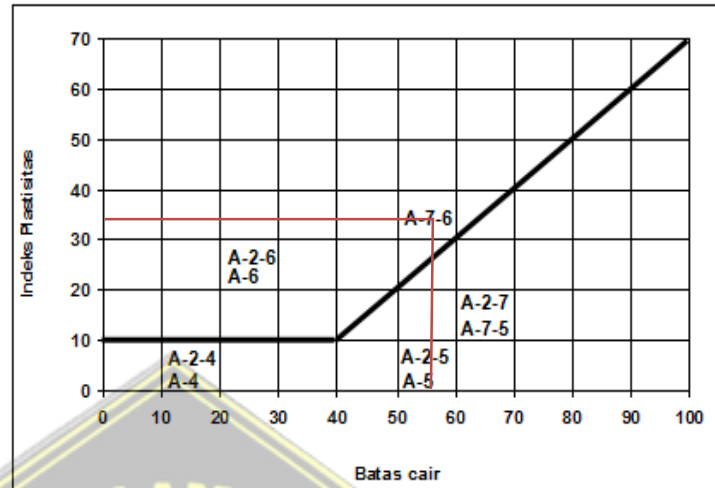


Gambar 4.14 Sistem Klasifikasi USCS

Sedangkan dari sistem AASHTO dari hasil pengujian sample tanah pada Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Fines (F) = 68,56%, dikarenakan sampel yang lolos saringan No.200 lebih besar 35%, jadi jenis tanah tersebut masuk dalam kategori tanah lanau – lempung
2. Batas Cair (LL) = 56,754%, dengan nilai LL \geq 56,754% kemungkinan dapat dikategorikan dalam A-7-5 atau A-7-6 dengan batas cair \geq 41%.
3. Indeks Plastisitas (IP) = 33,803%, pada A-7-5 atau A-7-6 memiliki batas cair \geq 11%. Untuk menentukan klasifikasi tanah masuk kedalam kategori A-7-5 atau A-7-6 dapat ditentukan dari :
 - a. Tanah A-7-5, apabila nilai $IP \leq (LL - 30\%)$
 - b. Tanah A-7-6, apabila nilai $IP > (LL - 30\%)$
 Nilai $LL - 30\% = 26,754\%$, sehingga $IP > (LL - 30\%)$ jadi tanah dikategorikan pada A-7-6.

Apabila dilihat dari grafik plastisitas sistem klasifikasi AASHTO, diperoleh seperti pada **Gambar 4.15**



Gambar 4.15 Sistem Klasifikasi AASHTO
(Craig, 1991)

Berdasarkan data tersebut maka dapat diketahui klasifikasi derajat pengembangannya menurut Chen, 1975. Chen telah mengklasifikasikan hubungan potensi pengembangan tanah lempung pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4.6 Hubungan Potensi Pengembangan dan IP

Indeks Pengembangan (IP)	Potensi Pengembangan
>35	Sangat tinggi
20 – 55	Tinggi
10 – 35	Sedang
0 – 15	Rendah

Sumber : (Chen,1975)

Dari **Tabel 4.6** dapat diketahui bahwa dengan besar nilai indeks palstisitas 33,80% masuk kedalam klasifikasi indeks pengembangan antara 20 – 55 dengan potensi pengembangan tinggi.

4.1.1.3 Analisa Saringan (*Sieve Analysis*)

Pada pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui gradasi butiran-butiran dari sampel tanah asli dengan kedalaman 1 m. Hasil pengujian *sieve analysis* di laboratorium didapatkan data sebagai berikut ;

1. *Grain Size*

Pengujian *grain size* bertujuan untuk mengetahui ukuran dari butiran tanah sampel. Hasil dari pengujian *grain size* di laboratorium dapat dilihat pada **Tabel 4.7** Berikut :

Berat semula = 200 gram, berat tersaring = 63,83 gram

Tabel 4.7 Data Pengujian *Grain Size* Sampel Tanah Asli (0%)

No. Saringan	Ø Saringan (mm)	No. Cawan	Berat Cawan (gr)	B. C + Sample	Berat Sampel (gr)
4	4.76	1	6.82	8.74	1.92
10	2	2	6.43	31.78	25.35
20	0.85	3	6.86	21.73	14.87
40	0.425	4	6.91	17.74	10.83
60	0.25	5	6.80	10.97	4.17
80	0.18	6	6.48	8.60	2.12
100	0.15	7	6.33	7.46	1.13
200	0.075	8	6.52	9.01	2.49
pan	0	9	6.15	7.10	0.95
JUMLAH					63.83

Data tanah dari hasil percobaan *Grain Size* sampel tanah asli (0%) :

- a. Berat sampel semula (A) = 200 gram
 Berat sampel tercuci (B) = 63,83 gram
 Berat lumpur (A-B) = 136,17 gram
- b. Jumlah tanah yang tertinggal dalam saringan (C)
 = 62,88 gram

$$\begin{aligned} \text{c. Kehilangan berat (B-C)} &= 63,83 - 62,88 \\ &= 0,95 \text{ gram} \end{aligned}$$

d. Perhitungan kadar lumpur menggunakan
(persamaan 3.5) :

$$\begin{aligned} \text{Kadar lumpur} &= \frac{(200-63,83)+0,95}{200} \times 100\% \\ &= 68,56\% \end{aligned}$$

e. Presentase tanah tertinggal menggunakan
(persamaan 3.6) :

$$\begin{aligned} \text{Contoh perhitungan} &= \frac{1,92}{200} \times 100\% \\ &= 0,96\% \end{aligned}$$

f. Komulatif persen tanah

$$\begin{aligned} \text{Contoh perhitungan} &= 0 + 0,96\% \\ &= 0,96\% \end{aligned}$$

g. Present finner = (100% - 0,96%)
= 99,04%

Hasil perhitungan *grain size* tanah asli (0%) dapat dilihat pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan *Grain Size* Tanah Asli (0%)

No. Saringan	Ø Saringan (mm)	No. Cawan	Berat Sample Tertinggal dalam Saringan (gr)	Presentase Tertinggal (%)	Kumulatif Persen (%)	Precent Finner (%)
4	4.76	1	1.92	0.96	0.96	99.04
10	2	2	25.35	12.67	13.63	86.37
20	0.85	3	14.87	7.44	21.07	78.93
40	0.425	4	10.83	5.42	26.48	73.52
60	0.25	5	4.17	2.09	28.57	71.43
80	0.18	6	2.12	1.06	29.63	70.37
100	0.15	7	1.13	0.57	30.19	69.81
200	0.075	8	2.49	1.25	31.44	68.56
pan	0	9	0.95	0.48	31.91	68.09
Jumlah			63.83			

2. Hydrometer Analysis

Pengujian *hydrometer analysis* bertujuan untuk mengetahui faktor – faktor yang mempengaruhi kecepatan mengendap, bentuk, ukuran serta berat butiran tanah. Hasil dari pengujian hydrometer dapat dilihat pada **Tabel 4.9**.

Tabel 4.9 Data Hidrometer Sampel Tanah Asli (0%)

Waktu (menit)	Pembacaan Strip
0	60
0.25	60
0.5	60
1	59
5	55
10	50
30	30
45	16
60	6
90	2
130	0

Analisa hasil percobaan data hydrometer sampel tanah asli (0%)

Contoh perhitungan :

a. Selisih pembacaan

$$\begin{aligned}
 &= (\text{strip pertama} - \text{strip kedua}) \times 0,2 \\
 &= (60 - 60) \times 0,2 = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } Z &= 24 - \alpha(0,2) \\
 &= 24 - 60(0,2) = 12
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. } D &= (106 \cdot 10^{-7} \cdot z/t)^{1/2} \\
 &= (106 \cdot 10^{-7} \cdot 12/0)^{1/2} = 0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

d. Menghitung Presentase menggunakan

(persamaan 3.7) :

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{\text{Selisih pembacaan}}{\text{Jumlah selisih pembacaan}} \times \text{Kadar Lumpur} \\
 &= \frac{0}{12} \times 68,56\% \\
 &= 0\%
 \end{aligned}$$

e. Present komulatif

$$= 0\% + 0\% = 0\%$$

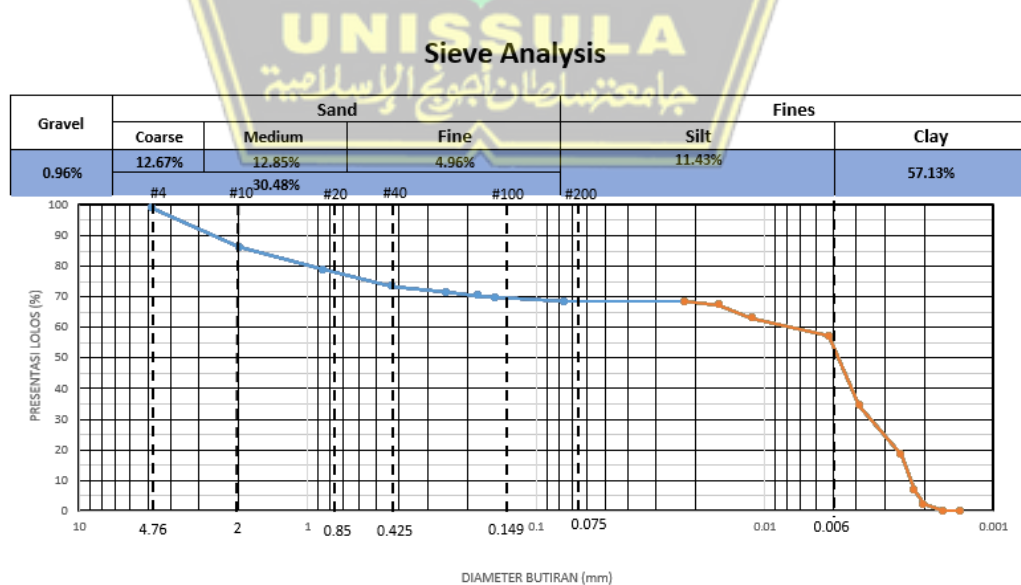
f. Presentase finner

$$= 68,56\% - 0\% = 68,56\%$$

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Hidrometer Sampel Tanah Asli (0%)

Waktu (menit)	Pembacaan Strip	Selisih Pembacaan	N (%)	Z	Komulatif Presentase (%)	Precent Finner (%)	D (mm)
0	60	0	0.00	12	0.00	68.56	0.000
0.25	60	0	0.00	12	0.00	68.56	0.023
0.5	60	0.2	1.14	12	1.14	67.42	0.016
1	59	0.8	4.57	12.2	5.71	62.85	0.011
5	55	1	5.71	13	11.43	57.13	0.005
10	50	4	22.85	14	34.28	34.28	0.004
30	30	2.8	16.00	18	50.28	18.28	0.003
45	16	2	11.43	20.8	61.70	6.86	0.002
60	6	0.8	4.57	22.8	66.27	2.29	0.002
90	2	0.4	2.29	23.6	68.56	0.00	0.002
130	0	0	0.00	24	68.56	0.00	0.001
Jumlah		12					

Grafik dari perhitungan *sieve analysis* untuk tanah asli dilampirkan pada **Gambar 4.16**.



Gambar 4.16 Grafik Sieve Analysis

Dari grafik **Gambar 4.16**, dapat disesuaikan dengan table klasifikasi tanah AASHTO bahwa tanah dari Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah termasuk klasifikasi tanah lanau – lempung (lebih dari 35% dari seluruh tanah lolos ayakan no. 200). Butiran – butiran yang terkandung meliputi *gravel* (krikil) sebanyak 0,96%, *sand* (pasir) sebanyak 30,48%, *silt* (lanau) sebanyak 11,43% dan kandungan *clay* (lempung) sebanyak 57,13%. Dapat dilihat lebih jelas pada **Table 4.11**.

Tabel 4.11 Hasil Grafik Sieve Analysis

Gravel	Sand			Fines	
	Coarse	Medium	Fine	Silt	Clay
0,96%	12,67%	12,85%	4,96%	11,43%	57,13%
	30,48%			68,56%	

4.1.1.4 Berat Jenis Tanah (Gs)

Uji ini dilakukan untuk mencari berat jenis butiran tanah (Gs) pada sampel tanah kedalaman 1 m dari Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah. Hasil pengujian berat jenis tanah di laboratorium sampel tanah dengan campuran abu gergaji kayu didapatkan data seperti pada

Tabel 4.15.

Tabel 4.12 Data Hasil Percobaan Piknometer Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu

No. Pikonometer	Sample Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	Piknometer				Suhu		Koreksi Suhu	
		Berat Piknometer	Berat Pikno + Aquades	Berat Pikno + Sample	Berat Pikno + Aquades + Sample	T ₁ (C°)	T ₂ (C°)	t ₁	t ₂
1	0%	28.00	78.30	48.10	89.20	29	30.5	1.004	1.0044
2	4%	29.40	79.30	48.20	88.40	29	30	1.004	1.0043
3	6%	30.20	80.20	50.30	90.60	29	30	1.004	1.0043
4	8%	29.10	79.90	49.30	90.00	29	30	1.004	1.0043

Analisa hasil percobaan data piknometer

Contoh perhitungan berat jenis tanah sampel 0%

- a. Mencari harga air piknometer menggunakan (persamaan 2.2)

$$\begin{aligned} \text{HAP} &= (b - a) t_1 \\ &= (78,30 - 28,00) 1,004 \\ &= 50,501 \end{aligned}$$

- b. Mencari G_s menggunakan (Persamaan 2.3)

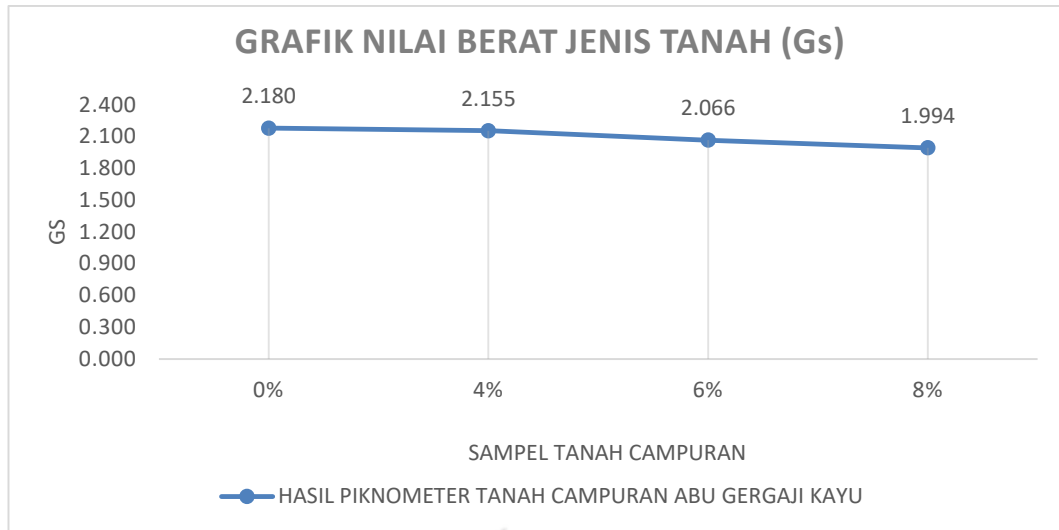
$$\begin{aligned} G_s &= \frac{c-a}{Hp-(d-c)t_2} \\ &= \frac{48,10-28,00}{50,501-(89,20-48,10)1,0044} \\ &= 2,180 \end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan piknometer sampel tanah dengan campuran abu gergaji kayu dapat dilihat pada **Tabel 4.16**.

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Piknometer Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu

No Pikno meter	Piknometer					HAP	G _s
	Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	Berat Pikno meter	Berat Pikno + Aquades	Berat Pikno + Sampel	Berat Pikno + Sample + Aquades		
1	0%	28.00	78.30	48.10	89.20	50.501	2.180
2	4%	29.40	79.30	48.20	88.40	50.100	2.155
3	6%	30.20	80.20	50.30	90.60	50.200	2.066
4	8%	29.10	79.90	49.30	90.00	51.003	1.994

Grafik hasil perhitungan pengujian berat jenis sampel tanah campuran abu gergaji kayu dapat dilihat pada **Gambar 4.17**.



Gambar 4.17 Grafik Berat Jenis Tanah Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu

Sedangkan hasil pengujian berat jenis tanah di laboratorium sampel tanah dengan campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok diperoleh data seperti pada **Tabel 4.17**.

Tabel 4.14 Data Hasil Percobaan Piknometer Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

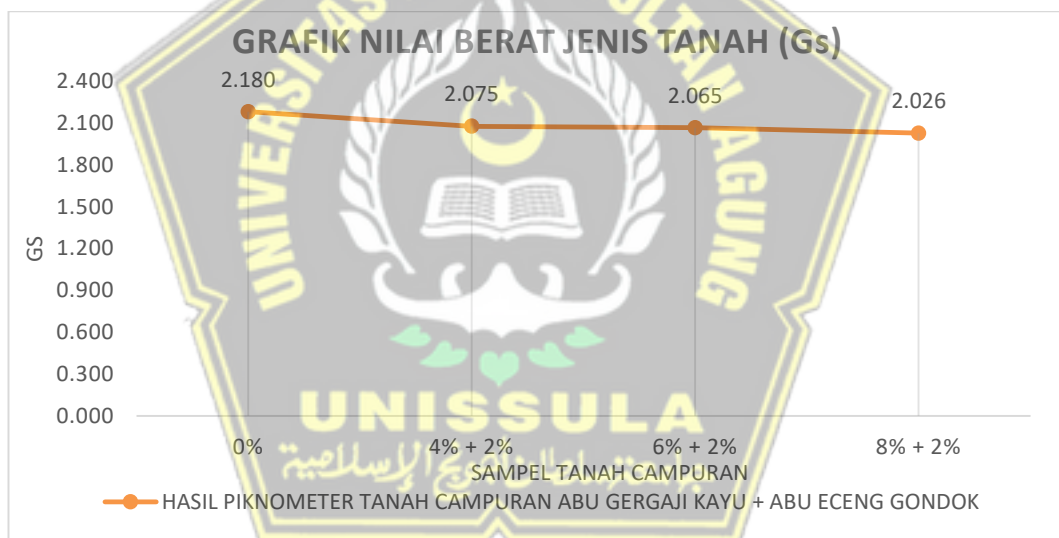
No. Piknometer	Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu + Eceng Gondok	Piknometer				Suhu		Koreksi Suhu	
		Berat Piknometer	Berat Piknometer + Aquades	Berat Piknometer + Sampel	Berat Piknometer + Aquades + Sample	T ₁ (°)	T ₂ (°)	t ₁	t ₂
1	0%	28.00	78.30	48.10	89.20	29	30.5	1.004	1.0044
5	4% + 2%	33.40	83.60	54.00	94.30	29	30	1.004	1.0043
6	6% + 2%	27.00	77.00	47.50	87.60	29	30	1.004	1.0043
7	8% + 2%	29.90	80.40	49.20	90.20	29	30	1.004	1.0043

Hasil dari perhitungan piknometer sampel tanah dengan campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok dilampirkan pada **Tabel 4.18**.

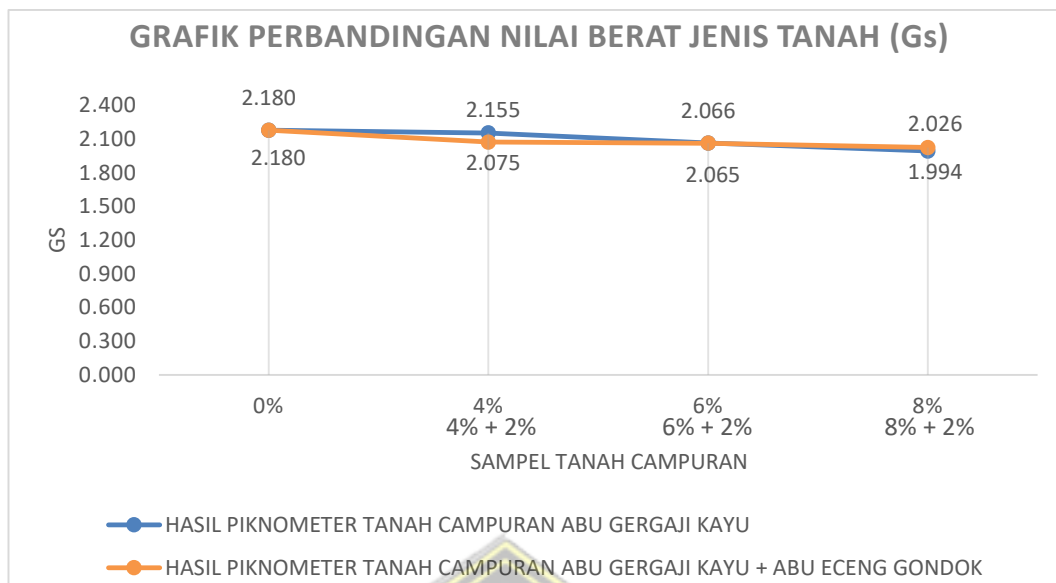
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Piknometer Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

No. Piknometer	Piknometer					HAP	Gs
	Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu + Eceng Gondok	Berat Piknometer	Berat Pikno + Aquades	Berat Pikno + Sample	Berat Pikno + Aquades + Sampel		
1	0%	28.00	78.30	48.10	89.20	50.501	2.180
5	4% + 2%	33.40	83.60	54.00	94.30	50.401	2.075
6	6% + 2%	27.00	77.00	47.50	87.60	50.200	2.065
7	8% + 2%	29.90	80.40	49.20	90.20	50.702	2.026

Grafik hasil perhitungan pengujian berat jenis sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok dapat dilihat pada **Gambar 4.18**.



Gambar 4.18 Grafik Berat Jenis Tanah Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Berat Jenis Tanah

(Pratikso, 2017) menjelaskan bahwa harga berat jenis tanah hasil pengujian di laboratorium dapat menunjukkan jenis material yang terdapat dalam tanah tersebut, seperti terlihat pada **Tabel 4.19**.

Tabel 4.16 Berat Spesifik Mineral

Mineral	Berat Spesifik (Gs)
<i>Kaolinite</i>	2,6
<i>Illite</i>	2,8
<i>Montmorillonite</i>	2,65 – 2,80
<i>Halloysite</i>	2,0 – 2,55
<i>Potassium feldspar</i>	2,57

Sumber : Pratikso, 2017

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengujian berat jenis tanah di laboratorium, didapatkan hasil Gs tanah asli sebesar 2,180. Jika dilihat dalam **Tabel 4.19** maka mineral yang terkandung dalam tanah tersebut *Halloysite*. Mineral *Halloysite* merupakan salah satu mineral tanah lempung, sehingga dapat disimpulkan

bahwa tanah di Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah merupakan jenis tanah lempung.

Sedangkan penyebab turunnya nilai berat jenis tanah adalah karena nilai berat jenis bahan campuran berupa abu gergaji kayu dan abu eceng gondok lebih kecil dari nilai berat jenis tanah itu sendiri. Sehingga menyebabkan penurunan nilai berat jenis setiap penambahan presentase bahan campuran.

4.1.2 Sifat Mekanika Tanah

4.1.2.1 *Direct Shear*

Uji ini dilakukan untuk mengetahui besarnya kekuatan geser dan kohesi sampel tanah hasil pemadatan proctor dengan variasi volume air yang berbeda-beda.

Data yang diperoleh dari hasil uji *direct shear* berikut ini:

Berat ring = 0,19455 kg ; Diameter ring = 6,4 cm

Koreksi beban :

8 kg = 7,964 kg

16 kg = 16,155 kg

24 kg = 24,119 kg

Analisa hasil percobaan data *direct shear*

Contoh perhitungan :

a. **Tegangan Normal (σ_n)** dengan (persamaan 3.8) :

$$\sigma_n = \frac{P}{F}$$

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

$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 6,4^2$$

$$= 32,154 \text{ cm}^2$$

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

$$= \frac{7,964 + 0,19455}{32,1536}$$

$$= 0,254 \text{ kg/cm}^2$$

b. Tegangan Geser (σ_s) dengan (persamaan 3.9) :

$$\begin{aligned}\sigma_s &= \frac{\text{Gaya Geser}}{F} \\ &= \frac{\text{Dial} \times 0,375}{\text{Luas Penampang}} \\ &= \frac{46 \times 0,375}{32,154} \\ &= 0,536 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan *direct shear* sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok dapat dilihat pada **Tabel 4.12**.

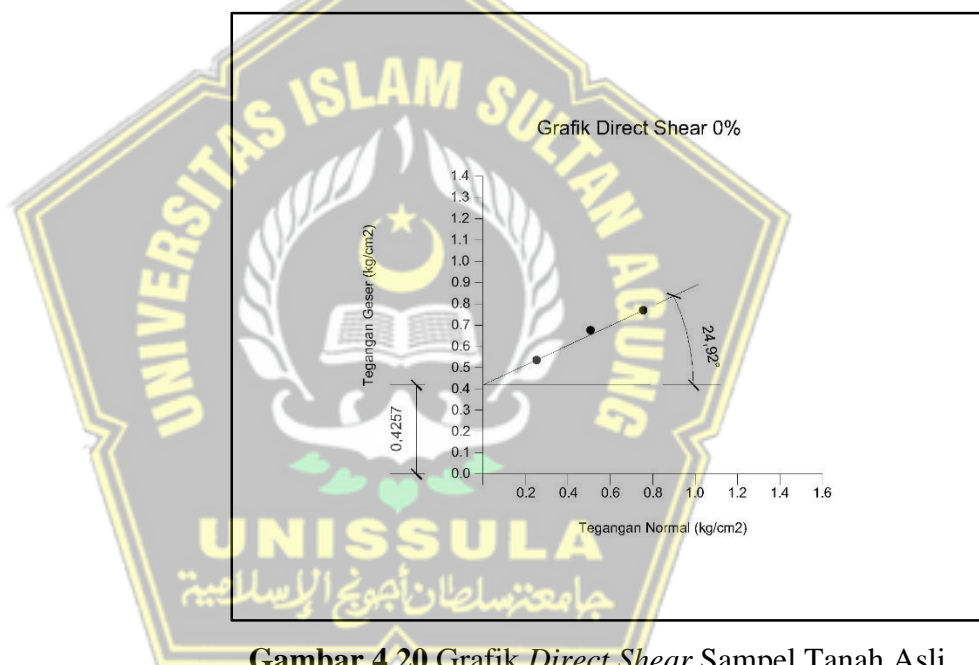
Tabel 4.17 Hasil Perhitungan *Direct Shear* Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

Sample	Percobaan	Beban	Koreksi Beban	Pembacaan Dial	Waktu (detik)	Tegangan Normal	Tegangan Geser
0%	1	8	7.964	46	26.38	0.254	0.536
	2	16	16.155	58	29.67	0.508	0.676
	3	24	24.119	66	33.88	0.756	0.770
4%	1	8	7.964	46	19.54	0.254	0.536
	2	16	16.155	63	25.98	0.508	0.735
	3	24	24.119	73	21.37	0.756	0.851
6%	1	8	7.964	45	26.56	0.254	0.525
	2	16	16.155	69	22.13	0.508	0.805
	3	24	24.119	74	20.64	0.756	0.863
8%	1	8	7.964	47	11.29	0.254	0.548
	2	16	16.155	68	10.79	0.508	0.793
	3	24	24.119	78	17.17	0.756	0.910
4%+2%	1	8	7.964	45	18.00	0.254	0.525
	2	16	16.155	64	21.73	0.508	0.746
	3	24	24.119	73	20.09	0.756	0.851
6%+2%	1	8	7.964	44	13.12	0.254	0.513
	2	16	16.155	70	15.79	0.508	0.816
	3	24	24.119	74	16.95	0.756	0.863
8%+2%	1	8	7.964	46	17.90	0.254	0.536
	2	16	16.155	66	15.83	0.508	0.770
	3	24	24.119	78	20.75	0.756	0.910

Besar nilai kohesi dan sudut geser dapat ditentukan dengan membuat grafik perbandingan antara tegangan

normal dan tegangan geser yang diakibatkan variasi beban yang berbeda – beda sesuai dengan hasil perhitungan dalam **Tabel 4.12**. Titik dibuat dari angka tegangan normal yang dihasilkan dari pengujian dengan berat beban berbeda – beda. Setelah titik dihasilkan, buat garis yang melalui ketiga titik tersebut dan didapat nilai kohesi serta sudut geser yang sesuai dengan kondisi tanah yang diuji. Masing – masing sampel tanah campuran memiliki presentase campuran yang berbeda – beda.

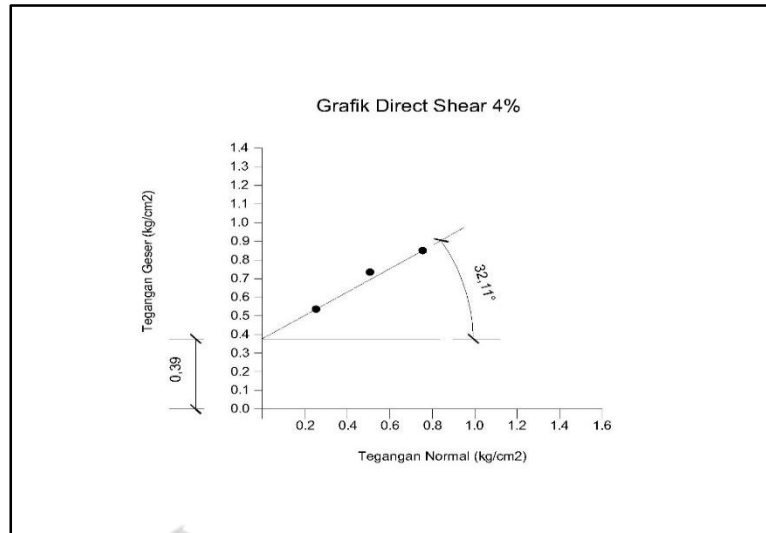
Grafik *direct shear* sampel tanah asli dapat dilihat pada **Gambar 4.20**.



Gambar 4.20 Grafik *Direct Shear* Sampel Tanah Asli

Dari **Gambar 4.20**, didapatkan sudut geser sampel tanah asli sebesar $24,92^\circ$ dan kohesi sebesar $0,4257 \text{ kg/cm}^2$.

Grafik *direct shear* sampel tanah campuran abu gergaji kayu 4% dapat dilihat pada **Gambar 4.21**.

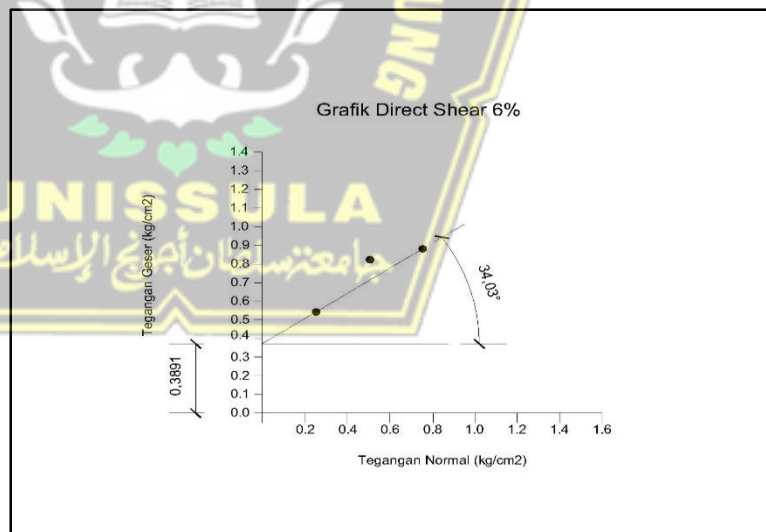


Gambar 4.21 Grafik *Direct Shear* Sampel Tanah

Campuran Abu Gergaji Kayu 4%

Dari **Gambar 4.21**, didapatkan sudut geser sampel tanah campuran abu gergaji 4% sebesar $32,11^\circ$ dan kohesi sebesar $0,39 \text{ kg/cm}^2$.

Grafik *direct shear* sampel tanah campuran abu gergaji kayu 6% dapat dilihat pada **Gambar 4.22**.

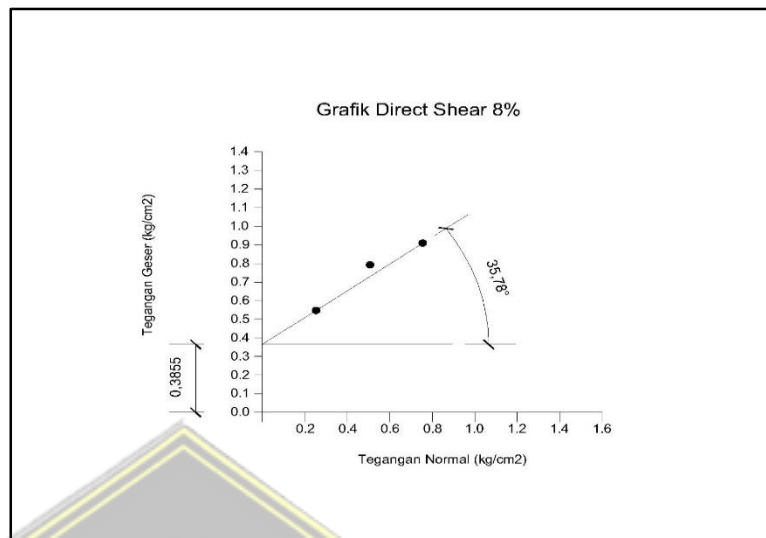


Gambar 4.22 Grafik *Direct Shear* Sampel Tanah

Campuran Abu Gergaji Kayu 6%

Dari **Gambar 4.22**, didapatkan sudut geser sampel tanah campuran abu gergaji kayu 6% sebesar $34,03^\circ$ dan kohesi sebesar $0,389 \text{ kg/cm}^2$.

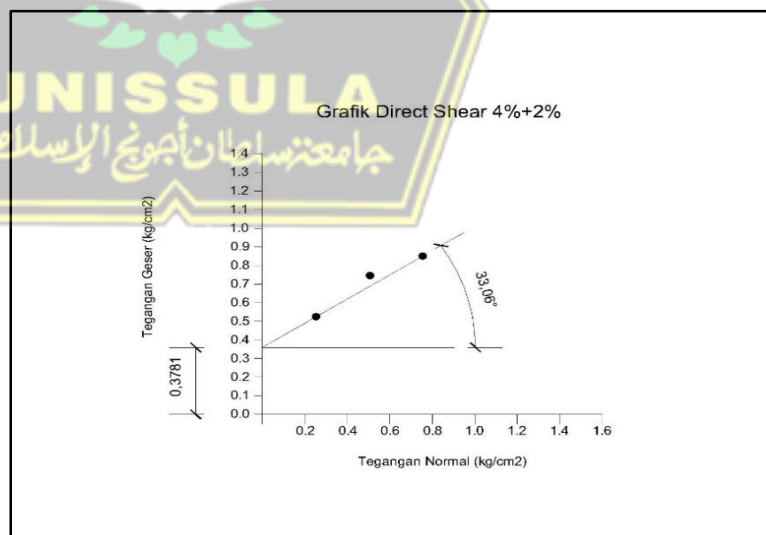
Grafik *direct shear* sampel tanah campuran abu gergaji kayu 8% dapat dilihat pada **Gambar 4.23**.



Gambar 4.23 Grafik *Direct Shear* Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu 8%

Dari **Gambar 4.23**, didapatkan sudut geser sampel tanah campuran abu gergaji kayu 8% sebesar 35,78° dan kohesi sebesar 0,385 kg/cm².

Grafik *direct shear* sampel tanah campuran abu gergaji kayu 4%+2% dapat dilihat pada **Gambar 4.24**.

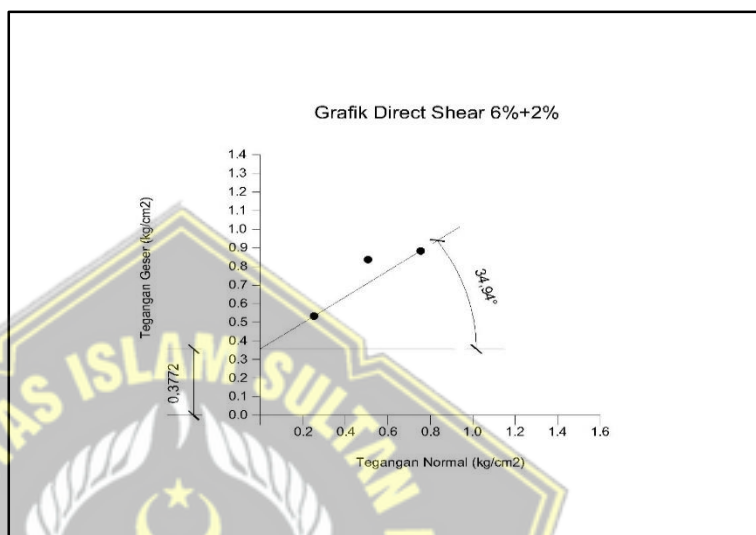


Gambar 4.24 Grafik *Direct Shear* Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

4%+2%

Dari **Gambar 4.24**, didapatkan sudut geser sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok 4%+2% sebesar $33,06^\circ$ dan kohesi sebesar $0,378 \text{ kg/cm}^2$.

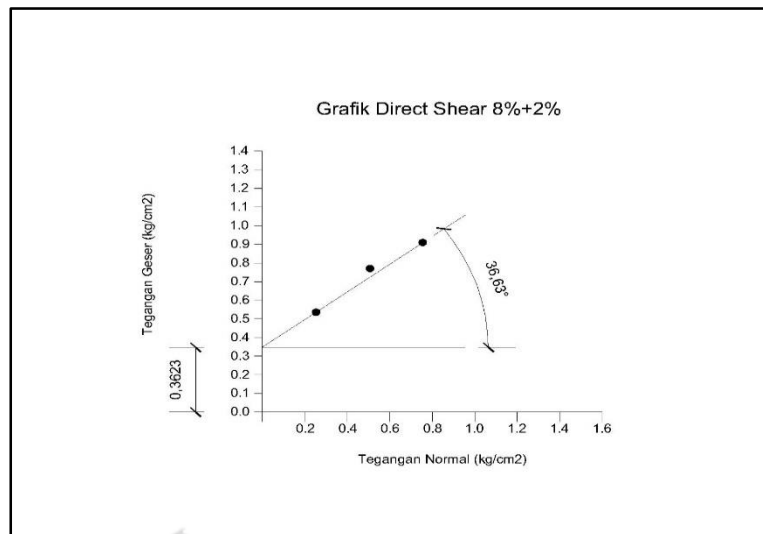
Grafik *direct shear* sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok 6%+2% dapat dilihat pada **Gambar 4.25**.



Gambar 4.25 Grafik *Direct Shear* Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 6%+2%

Dari **Gambar 4.25**, didapatkan sudut geser sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok 6%+2% sebesar $34,94^\circ$ dan kohesi sebesar $0,377 \text{ kg/cm}^2$.

Grafik *direct shear* sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok 8%+2% dapat dilihat pada **Gambar 4.26**.



Gambar 4.26 Grafik *Direct Shear* Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 8%+2%

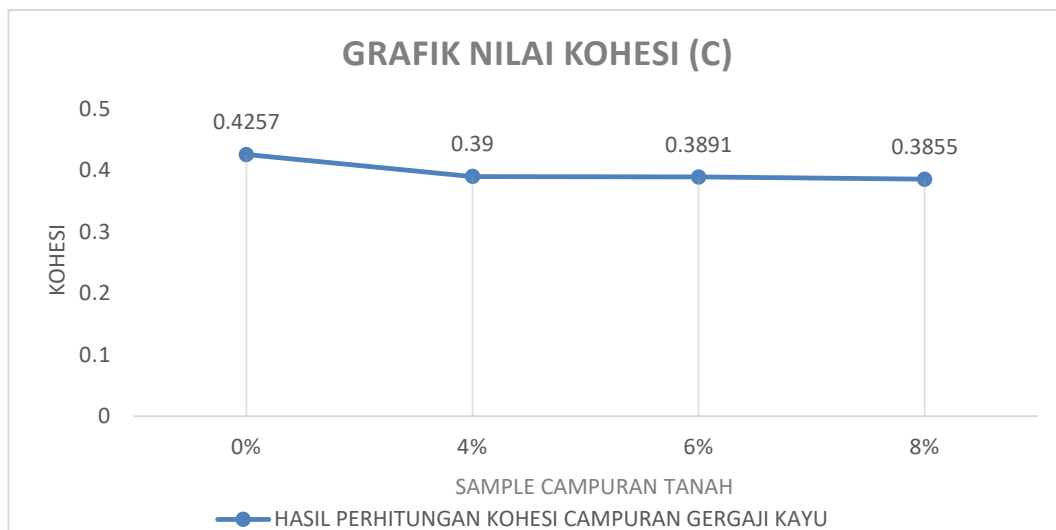
Dari **Gambar 4.26**, didapatkan sudut geser sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok 8%+2% sebesar $36,63^\circ$ dan kohesi sebesar $0,362 \text{ kg/cm}^2$.

Hasil grafik *Direct Shear* sampel tanah campuran abu gergaji kayu dapat dilihat pada **Tabel 4.13**.

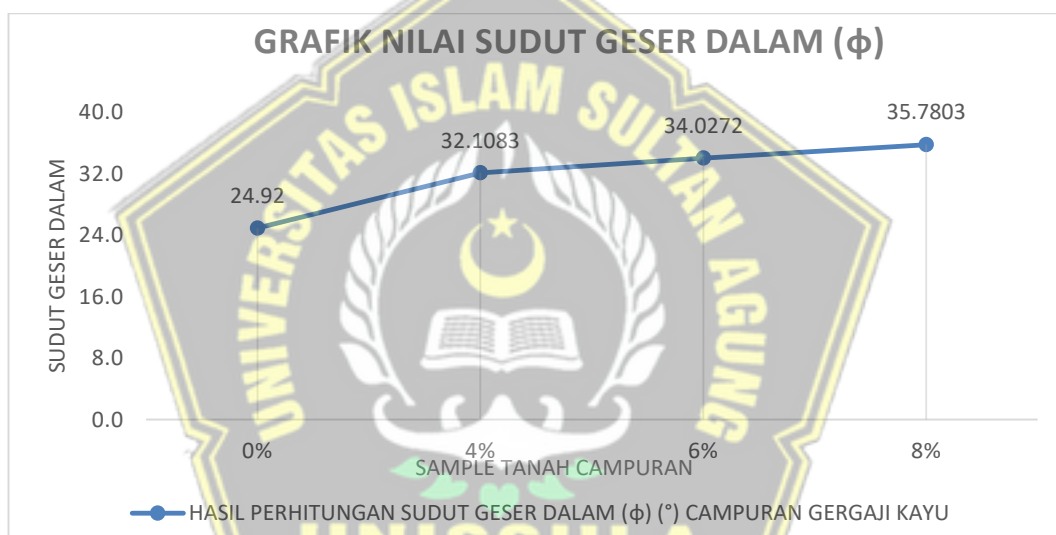
Tabel 4.18 Hasil Penggambaran Grafik *Direct Shear* Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu

No	Sample	Kohesi (kg/cm^2)	Sudut Geser Dalam ($^\circ$)
1	0%	0.4257	24,92
2	4%	0.3900	32,11
3	6%	0.3891	34,03
4	8%	0.3855	35,78

Dari hasil **Tabel 4.13** dapat dibuat grafik nilai kohesi dan grafik nilai sudut geser seperti yang terlampir pada **Gambar 4.27** dan **Gambar 4.28**.



Gambar 4.27 Grafik Nilai Kohesi Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu



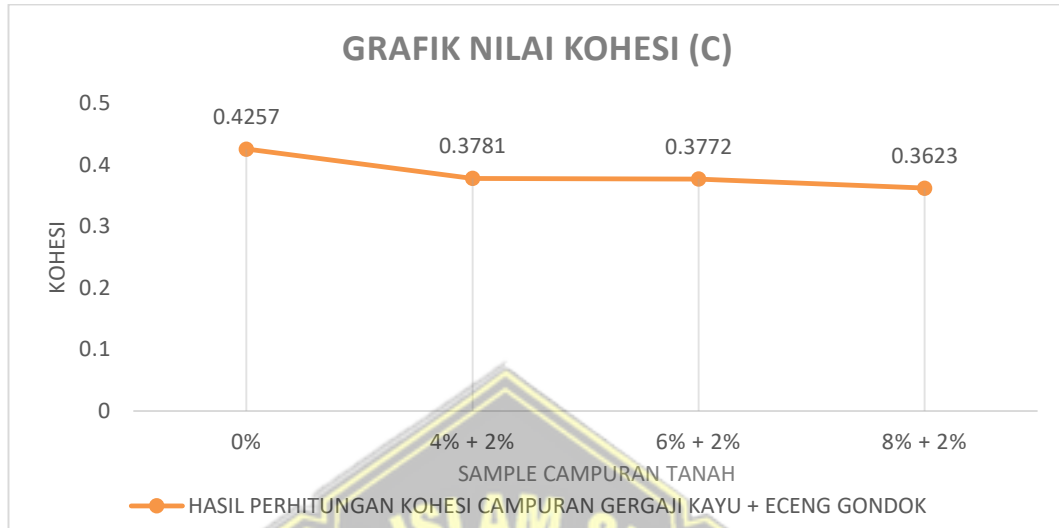
Gambar 4.28 Grafik Nilai Sudut Geser Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu

Hasil grafik *Direct Shear* sampel tanah campuran abu gergaji kayu dapat dilihat pada **Tabel 4.14**.

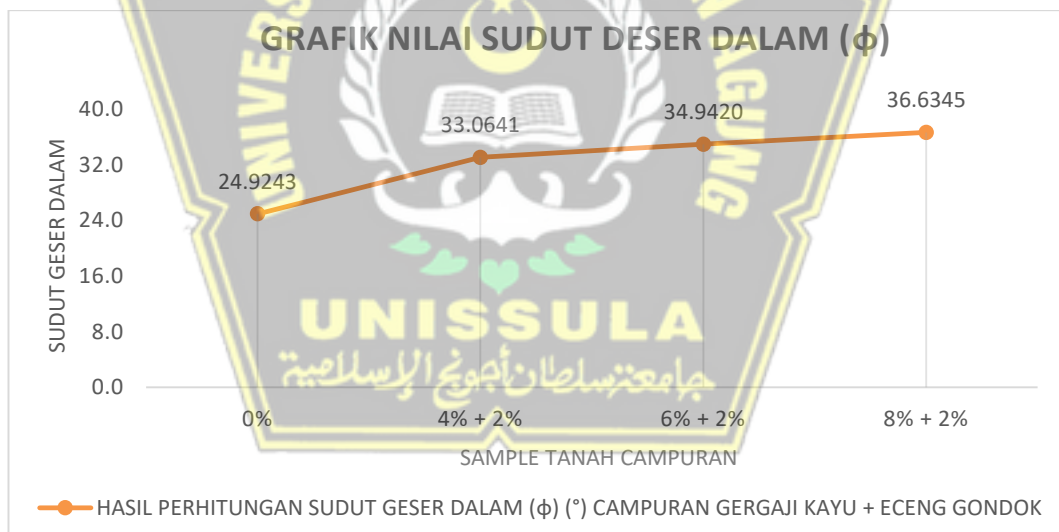
Tabel 4.19 Hasil Penggambaran Grafik *Direct Shear* Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

No	Sample	Kohesi (kg/cm ²)	Sudut Geser Dalam (°)
1	0%	0.4257	24,92
2	4% + 2%	0.3781	33,06
3	6% + 2%	0.3772	34,94
4	8% + 2%	0.3623	36,63

Dari hasil **Tabel 4.14** dapat dibuat grafik nilai kohesi dan grafik nilai sudut geser seperti yang terlampir pada **Gambar 4.29.** dan **Gambar 4.30**

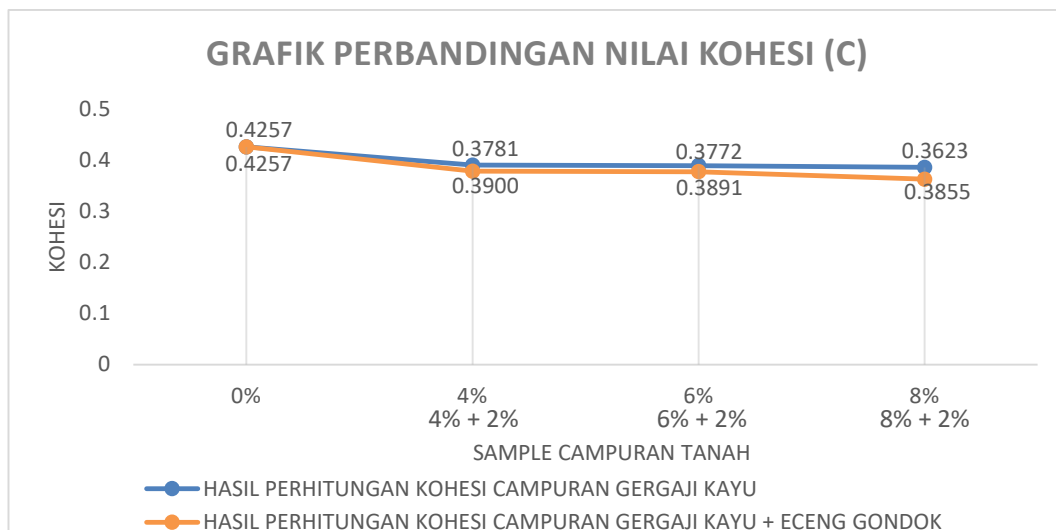


Gambar 4.29 Grafik Nilai Kohesi Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok



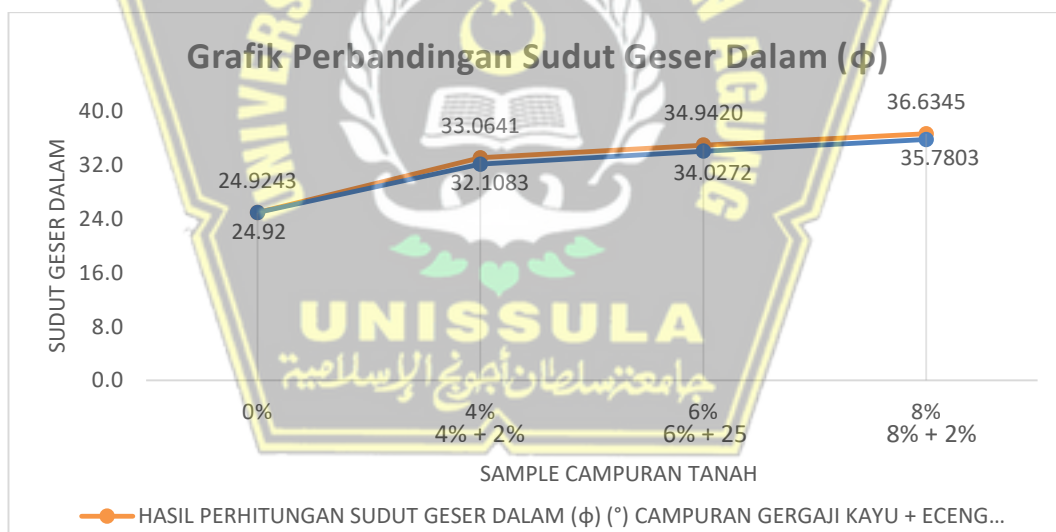
Gambar 4.30 Grafik Nilai Sudut Geser Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

Perbandingan hasil nilai kohesi dari pengujian antara sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu gergaji kayu yang ditambah abu eceng gondok dapat dilihat dalam **Gambar 4.31.**



Gambar 4.31 Grafik Perbandingan Nilai Kohesi Tanah (C)

Perbandingan hasil nilai sudut geser dari pengujian antara sampel tanah campuran abu gergaji kayu dan abu gergaji kayu yang ditambah abu eceng gondok dapat dilihat dalam **Gambar 4.32**.



Gambar 4.32 Grafik Perbandingan Nilai Sudut Geser Tanah (ϕ)

Berdasarkan hasil dari pengujian *Direct Shear* didapatkan nilai kohesi optimum pada presentase campuran abu gergaji kayu 8% yaitu sebesar 0,3855 kg/cm². Sedangkan pada sudut geser nilainya bertambah dari nilai semula pada tanah asli sebesar 24,92° menjadi 35,78° pada tanah campuran abu gergaji kayu dan sebesar

36,63° pada tanah campuran abu gergaji kayu ditambah abu eceng gondok. Hal ini disebabkan karena semakin banyak campuran yang ditambahkan maka semakin besar nilai sudut geser dalamnya. Apabila semakin besar nilai sudut geser dalamnya maka semakin kuat tanah tersebut. Bahan campuran berbentuk butiran halus yang termasuk dalam kategori *granular* sehingga dapat mengisi rongga – rongga pada pasir. Sedangkan nilai kohesi berbanding terbalik dengan nilai sudut geser dalam.

4.1.2.2 Proctor Standart

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui kadar air optimum (w_{opt}), berat volume basah (γ_b), berat volume kering (γ_k), dan prosentase pori/ porosity. Pada percobaan proctor ini menggunakan 7 sampel dengan kadar air yang berbeda – beda. Dari hasil pengujian tersebut di laboratorium didapatkan data seperti pada **Tabel 4.20** dan **Tabel 4.21**.

Tabel 4.20 Data Hasil Percobaan Proktor Standar Dengan Campuran Abu Gergaji Kayu

Sampel	Percobaan	Volume Air (ml)	Berat Alat + Tanah	No. Cawan	Berat Cawan (gr)	B.C. + Tanah Basah (gr)	B.C. + Tanah Kering (gr)
0%	1	200	7365	1	6.19	35.73	31.92
				6	6.40	26.66	24.05
	2	280	7413	2	6.83	33.45	28.70
				7	6.81	30.66	27.55
	3	360	7517	3	6.45	30.80	25.85
				8	6.82	26.38	22.72
	4	440	7471	4	6.96	16.36	14.38
				9	6.87	29.95	24.97
	5	520	7479	5	6.50	21.86	18.30
				10	6.81	34.55	27.90
4%	1	250	7447	1	4.10	25.99	22.74
				6	6.98	22.00	19.80
	2	330	7571	2	3.98	21.89	18.43
				7	3.92	17.31	14.94

	3	410	7630	3	3.99	20.78	17.34	
				8	3.96	16.20	13.44	
	4	490	7703	4	7.81	21.62	18.49	
				9	6.25	18.70	15.22	
	5	570	7656	5	10.12	31.86	26.28	
				10	3.70	21.95	17.17	
6%	1a	250	7571	1a	6.25	23.32	20.18	
				1f	7.99	24.76	21.73	
	1b	330	7589	1b	4.28	20.39	17.65	
				1g	4.10	22.40	18.99	
	1c	410	7686	1c	8.04	18.93	16.66	
				1h	10.36	27.51	23.83	
	1d	490	7725	1d	6.86	30.97	24.96	
				1i	10.41	22.34	19.52	
	1e	570	7649	1e	6.38	21.97	18.20	
				1j	10.30	28.24	23.33	
	8%	1	250	7494	1	4.05	22.96	19.92
					6	4.25	29.23	25.28
2		330	7599	2	6.48	22.78	19.61	
				7	4.18	22.81	19.30	
3		410	7679	3	4.18	22.43	18.24	
				8	6.45	21.93	18.48	
4		490	7649	4	10.36	27.58	23.10	
				9	4.16	21.19	16.85	
5		570	7623	5	4.05	21.23	16.44	
				10	4.08	22.12	17.42	

Tabel 4.21 Data Hasil Percobaan Proktor Standar Dengan Campuran Abu Gergaji Kayu + Abu Eceng Gondok

Sampel	Percobaan	Volume Air (ml)	Berat Alat + Tanah	No. Cawan	Berat Cawan (gr)	B.C. + Tanah Basag (gr)	B.C + Tanah Kering (gr)
4% + 2%	1a	200	7224	1a	3.97	22.15	19.74
				1f	6.13	26.25	23.03
	1b	280	7424	1b	3.88	22.40	18.88
				1g	4.25	27.07	22.98
	1c	360	7450	1c	3.92	22.26	18.60
				1h	4.25	29.12	24.34
	1d	440	7545	1d	3.95	21.50	17.63
				1i	4.15	21.59	17.77
	1e	520	7477	1e	3.90	24.76	20.12
				1j	4.17	32.40	25.13

6% + 2%	1	250	7499	1	10.37	26.92	24.19
				6	6.35	20.92	18.43
	2	330	7564	2	4.25	16.73	14.28
				7	4.35	19.95	17.02
	3	410	7674	3	6.41	18.20	15.74
				8	4.12	19.23	16.04
	4	490	7667	4	4.24	22.01	18.01
				9	3.97	21.75	17.47
	5	570	7638	5	6.08	24.51	19.89
				10	6.37	25.61	20.43
8% + 2%	1a	250	7558	1a	6.41	21.07	18.37
				1f	4.14	22.42	18.94
	1b	330	7603	1b	4.10	15.90	13.72
				1g	4.39	22.26	18.77
	1c	410	7685	1c	4.30	17.20	14.31
				1h	7.99	19.49	16.92
	1d	490	7670	1d	6.28	17.29	14.56
				1i	4.43	19.83	16.20
	1e	570	7668	1e	4.26	25.42	19.72
				1j	13.16	29.92	25.27

Note : - Tabel dengan latar putih menggunakan alat 1

- Tabel dengan latar biru menggunakan alat 2

- Tabel dengan latar hijau menggunakan alat 3

Data Alat 1

Berat alas = 3579 g Tinggi alas = 1,1 cm

Berat Tabung 1 = 2630 g Tinggi tabung 1 = 12 cm

Berat Tabung 2 = 1320 g Tinggi tabung 2 = 6,3 cm

Berat penumbuk = 2500 gram

Diameter alas = 10 cm

Diameter tabung 1 = 10 cm

Diameter tabung 2 = 10 cm

Data Alat 2

Berat alas = 3800 g Tinggi alas = 1,1 cm

Berat Tabung 1 = 2468 g Tinggi tabung 1 = 12 cm

Berat Tabung 2 = 1041 g Tinggi tabung 2 = 6,3 cm

Berat penumbuk = 2500 gram

Diameter alas = 10 cm

Diameter tabung 1 = 10 cm

Diameter tabung 2 = 10 cm

Data Alat 3

Berat alas = 3833 g Tinggi alas = 1,1 cm

Berat Tabung 1 = 2592 g Tinggi tabung 1 = 12 cm

Berat Tabung 2 = 1070 g Tinggi tabung 2 = 6,3 cm

Berat penumbuk = 2500 gram

Diameter alas = 10 cm

Diameter tabung 1 = 10 cm

Diameter tabung 2 = 10 cm

Perhitungan hasil percobaan data proctor standar :

Contoh perhitungan dengan Alat I :

Digunakan contoh perhitungan dengan sampel tanah asli (0%) :

$$\begin{aligned} \text{a. Volume Alat} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot t \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (10)^2 \cdot 12 = 942 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Berat Tanah Basah} &= (\text{berat proctor} + \text{tanah}) - \text{berat proctor (Alas + 1)} \\ &= 7365 - (2630 + 3579) \\ &= 1156 \text{ gram} \end{aligned}$$

c. Perhitungan berat volume basah (γ_b) menggunakan (persamaan 3.11)

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Berat tanah basah}}{\text{Volume tanah basah}} \\ &= \frac{1156}{942} = 1,227 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

d. Kadar air (w) menggunakan (persamaan 3.1)

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

Dimana :

a = berat cawan (gram)

b = berat cawan + tanah basah (gram)

c = berat cawan + tanah kering (gram)

Contoh pada penambahan air 200 cc :

$$W1_{\text{atas}} = \frac{35,75-31,92}{31,92-6,19} \times 100\% = 14,808\%$$

$$W2_{\text{bawah}} = \frac{26,66-24,05}{24,05-6,40} \times 100\% = 14,788\%$$

$$W_{\text{rata-rata}} = \frac{14,808+14,788}{2} = 14,798\%$$

e. Perhitungan berat jenis tanah kering (γ_k) menggunakan persamaan (3.12)

$$\begin{aligned} &= \frac{\gamma b}{1+w} \\ &= \frac{1,227}{1+14,798} = 1,069 \text{ gm/cm}^3 \end{aligned}$$

f. Perhitungan kadar pori / *porosity* (n) menggunakan (persamaan 3.13)

$$= \left[1 - \left(\frac{\gamma^k}{G_s} \right) \right] \times 100\%$$

dimana G_s tanah asli = 2,1802 gr/cm³

$$\begin{aligned} n &= \left[1 - \left(\frac{1,069}{2,1802} \right) \right] \times 100\% \\ &= 50,968\% \end{aligned}$$

g. Angka Pori / Void Ratio (e) menggunakan (persamaan 3.14)

$$\begin{aligned} &= \frac{n}{1-n} \\ &= \frac{50,968}{1-50,968} = 1,039 \end{aligned}$$

h. Perhitungan *zero air void* (ZAV) menggunakan (persamaan 3.15)

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

Dimana :

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

$$G_s = 2,1802 \text{ gr/cm}^3$$

$$ZAV = \frac{2,1802 \times 1}{1+(2,1802 \times 0,148)} = 1,648$$

Setelah seluruh data diolah sesuai dengan contoh perhitungan di atas, maka didapatkan hasil perhitungan seperti pada **Tabel 4.22**, **Tabel 4.23** dan **Tabel 4.24**

Tabel 4.22 Hasil Perhitungan Proktor Standar Tanah Asli

Sampel	Percobaan	W (%)	W rata – rata (%)	γ_b (gr/cm ³)	γ_k (gr/cm ³)	N (%)	e	ZAV
0%	1	14.808	14.798	1.227	1.069	50.968	1.039	1.648
		14.788						
	2	21.719	18.357	1.278	1.080	50.468	1.019	1.557
		14.995						
	3	25.515	24.267	1.389	1.117	48.749	0.951	1.426
		23.019						
	4	26.685	27.099	1.340	1.054	51.653	1.068	1.370
		27.514						
	5	30.169	30.851	1.348	1.030	52.741	1.116	1.303
		31.532						

Tabel 4.23 Hasil Perhitungan Proktor Standar Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu

Sampel	Percobaan	W(%)	W rata – rata (%)	γ_b (gr/cm ³)	γ_k (gr/cm ³)	N (%)	e	ZAV	
4%	1	17.436	17.298	1.252	1.067	50.490	1.020	1.570	
		17.161							
	2	23.945	17.671	1.383	1.176	45.456	0.833	1.561	
		11.398							
	3	25.768	27.441	1.446	1.135	47.357	0.900	1.354	
		29.114							
	4	29.307	34.052	1.523	1.136	47.271	0.896	1.243	
		38.796							
	5	34.530	35.008	1.473	1.091	49.359	0.975	1.228	
		35.486							
	6%	1a	21.581	21.817	1.446	1.187	42.559	0.741	1.424
			22.052						
1b		20.494	21.697	1.465	1.204	41.742	0.717	1.427	
		22.901							

	1c	26.334	26.827	1.568	1.236	40.169	0.671	1.329
		27.320						
	1d	33.204	32.080	1.609	1.218	41.032	0.696	1.243
		30.955						
	1e	31.895	34.789	1.529	1.134	45.114	0.822	1.202
		37.682						
8%	1	19.1556	18.969	1.135	0.954	52.169	1.091	1.447
		18.7827						
	2	24.1432	23.679	1.246	1.008	49.471	0.979	1.355
		23.2143						
	3	29.8009	29.240	1.331	1.030	48.350	0.936	1.260
		28.6783						
	4	35.1648	34.682	1.299	0.965	51.623	1.067	1.179
		34.2002						
	5	38.6602	36.946	1.272	0.929	53.434	1.147	1.148
		35.2324						

Tabel 4.24 Hasil Perhitungan Proktor Standar Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu + Abu Eceng Gondok

Sampel	Percobaan	W(%)	W rata – rata (%)	γ_b (gr/cm ³)	γ_k (gr/cm ³)	N (%)	e	ZAV
4%+2%	1a	15.282	17.168	1.077	0.920	55.678	1.256	1.530
		19.053						
	1b	23.467	22.652	1.290	1.052	49.317	0.973	1.411
		21.837						
	1c	24.932	24.362	1.317	1.059	48.945	0.959	1.378
		23.793						
	1d	28.289	28.168	1.471	1.148	44.673	0.807	1.310
		28.047						
	1e	28.607	31.646	1.346	1.022	50.720	1.029	1.252
		34.685						
6%+2%	1	19.754	20.183	1.369	1.139	44.815	0.812	1.457
		20.613						
	2	24.427	23.776	1.438	1.162	43.717	0.777	1.385
		23.125						

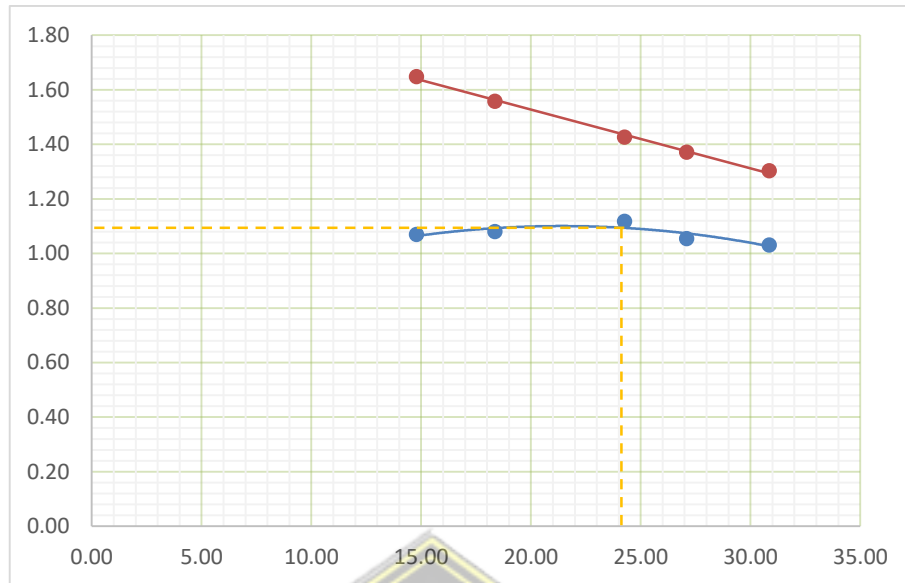
	3	26.367	26.564	1.555	1.229	40.489	0.680	1.333
		26.762						
	4	29.049	30.376	1.548	1.187	42.505	0.739	1.269
		31.704						
	5	33.454	35.148	1.517	1.122	45.638	0.840	1.196
		36.842						
8%+2%	1a	22.575	23.044	1.203	0.978	51.750	1.073	1.381
		23.514						
	1b	22.661	23.465	1.251	1.013	50.005	1.000	1.373
		24.270						
	1c	28.871	28.825	1.338	1.038	48.750	0.951	1.279
		28.779						
	1d	32.971	31.906	1.322	1.002	50.543	1.022	1.231
		30.841						
	1e	36.869	37.634	1.320	0.959	52.677	1.113	1.150
		38.398						

Note : - Tabel dengan latar putih menggunakan alat 1

- Tabel dengan latar biru menggunakan alat 2

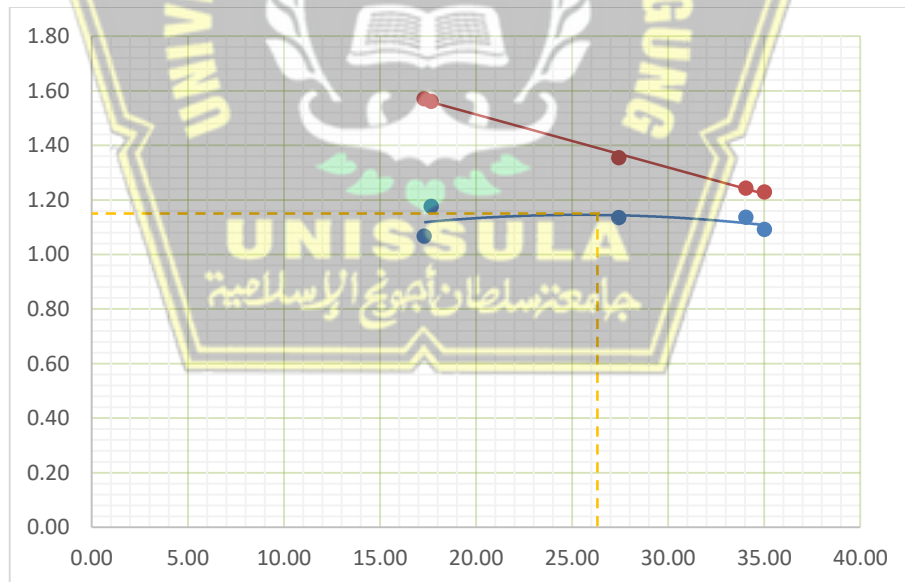
- Tabel dengan latar hijau menggunakan alat 3

Untuk menentukan besarnya volume kadar air suatu tanah dengan berat keringnya, maka dilakukan suatu pemadatan tanah yang disesuaikan dengan kondisi aslinya. Pemadatan tanah dilaboratorium dilakukan dengan variasi kadar air yang berbeda – beda supaya mendapatkan hasil kondisi optimum (w_{opt}). Dari data hasil percobaan pada **Tabel 4.22**, **Tabel 4.23** dan **Tabel 4.24** didapatkan grafik – grafik seperti, **Gambar 4.33** menunjukkan grafik kondisi optimum pemadatan tanah pada tanah asli.



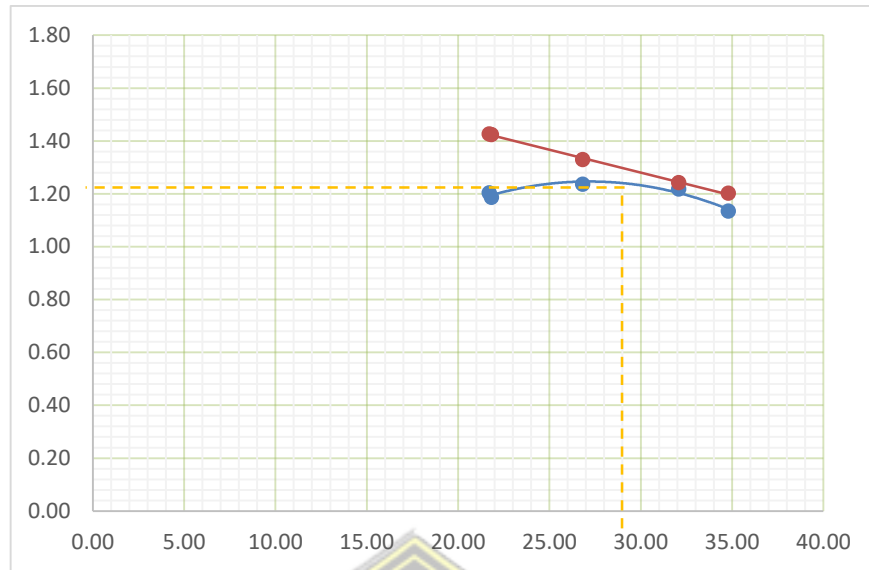
Gambar 4.33 Grafik Wopt Sampel Tanah Asli

Gambar 4.34 menunjukkan grafik kondisi optimum pemadatan tanah pada tanah campuran abu gergaji kayu 4%.



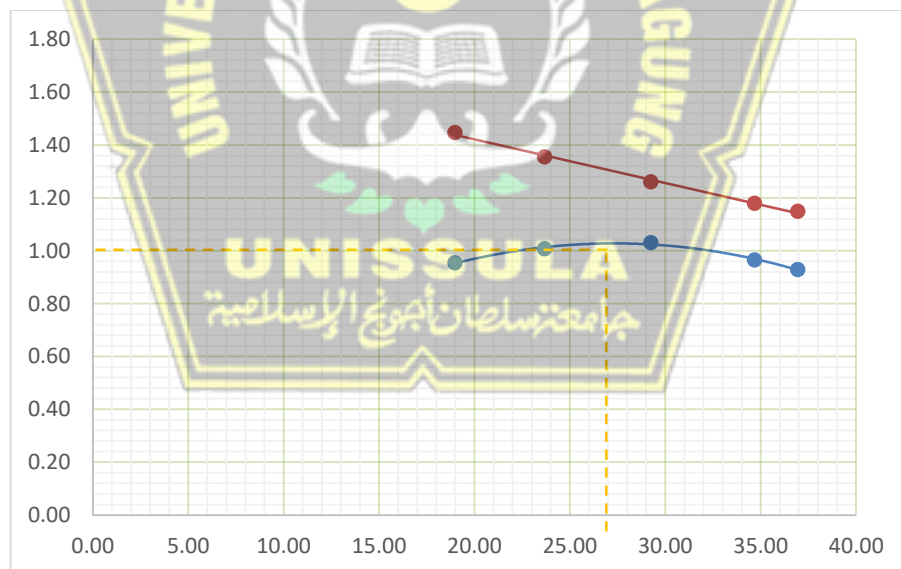
Gambar 4.34 Grafik Wopt Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu 4%

Gambar 4.35 menunjukkan grafik kondisi optimum pemadatan tanah pada tanah campuran abu gergaji kayu 6%.



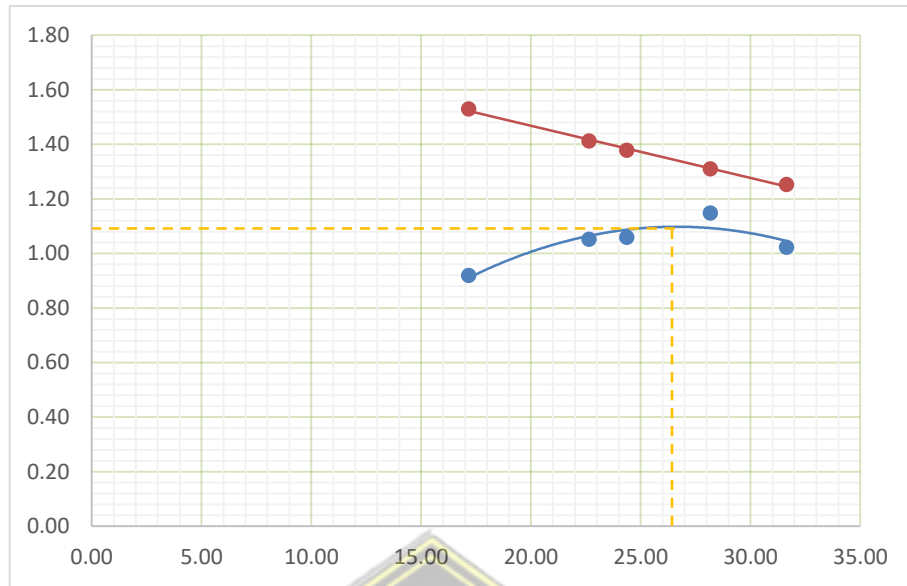
Gambar 4.35 Grafik Wopt Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu 6%

Gambar 4.36 menunjukkan grafik kondisi optimum pemadatan tanah pada tanah campuran abu gergaji kayu 8%.



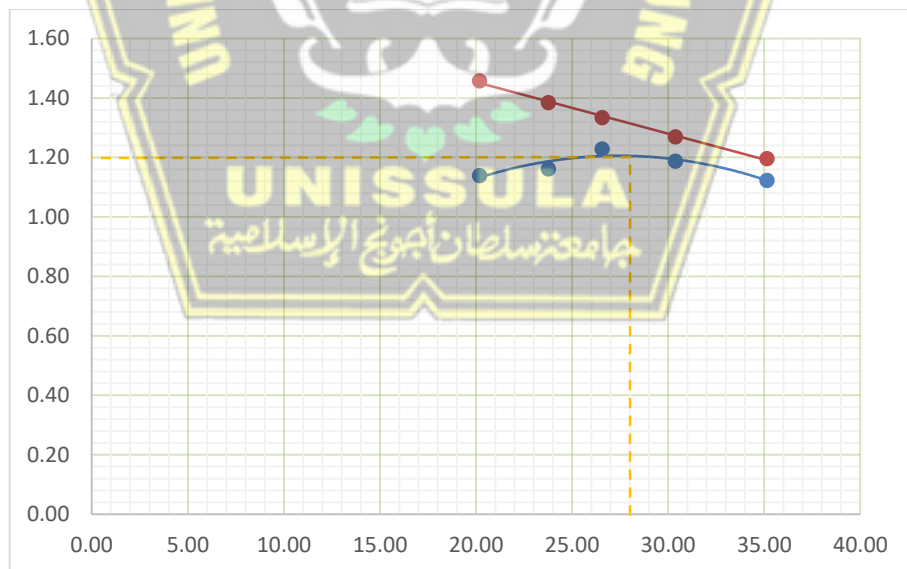
Gambar 4.36 Grafik Wopt Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu 8%

Gambar 4.37 menunjukkan grafik kondisi optimum pemadatan tanah pada tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok 4%+2%.



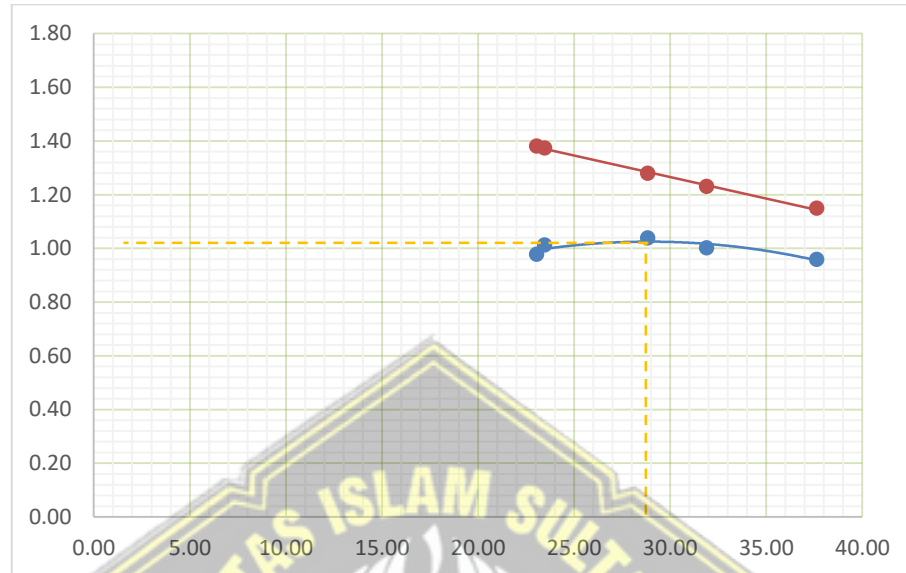
Gambar 4.37 Grafik Wopt Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 4%+2%

Gambar 4.38 menunjukkan grafik kondisi optimum pemadatan tanah pada tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok 6%+2%.



Gambar 4.38 Grafik Wopt Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 6%+2%

Gambar 4.39 menunjukkan grafik kondisi optimum pematatan tanah pada tanah campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok 8%+2%.



Gambar 4.39 Grafik Wopt Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok 8%+2%

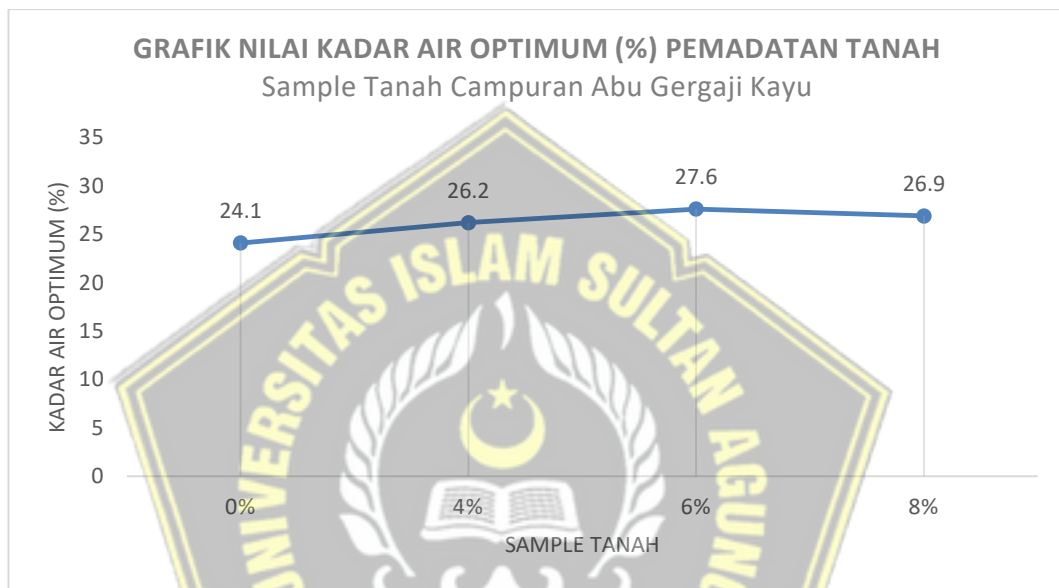
Berdasarkan hasil grafik tersebut, maka sampel tanah di Desa Plosorejo, Kecamatan Tawangharjo, Kabupaten Grobogan memiliki kadar air optimum (wopt) dan volume berat kering maksimum (γ_k) seperti pada **Tabel 4.25** dan **Tabel 4.26**.

Tabel 4.25 Hasil Proktor Standar Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu

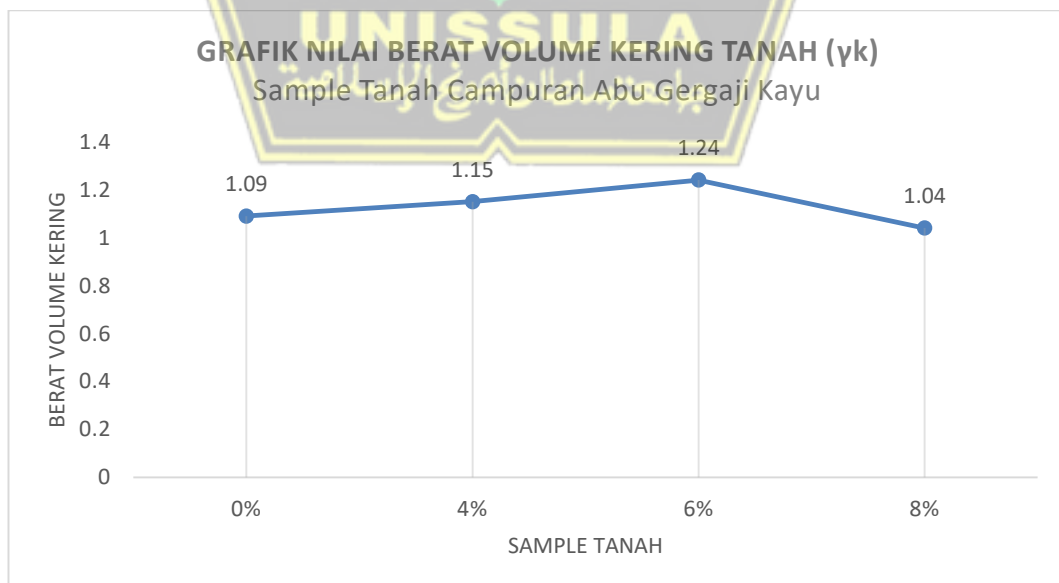
No.	Sample	W _{opt} (%)	γ _k (gr/cm ³)
1.	0%	24,1	1,09
2.	4%	26,2	1,15
3.	6%	27,6	1,24
4.	8%	26,9	1,04

Tabel 4.26 Hasil Proktor Standar Sampel Tanah
Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

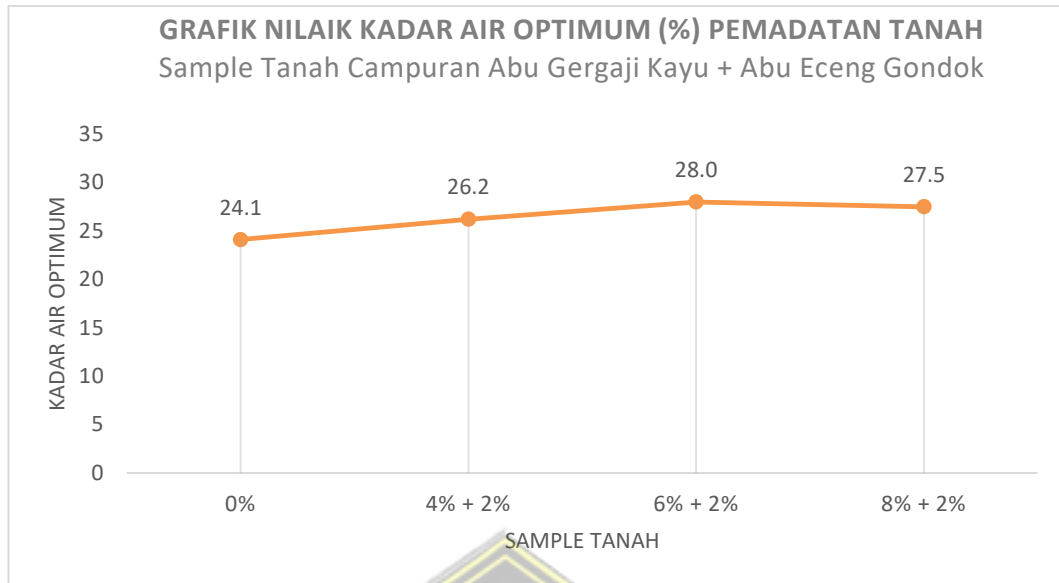
No.	Sample	W_{opt} (%)	γ_k (gr/cm ³)
1.	0%	24,1	1,09
2.	4% + 2%	26,2	1,10
3.	6% + 2%	28,0	1,20
4.	8% + 2%	27,5	1,03



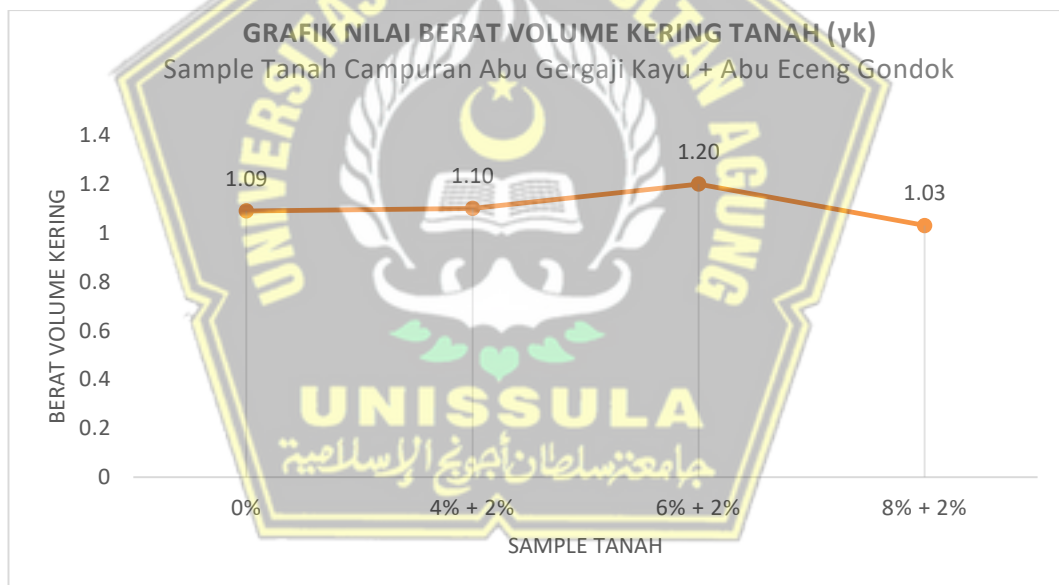
Gambar 4.40 Grafik W_{opt} Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu



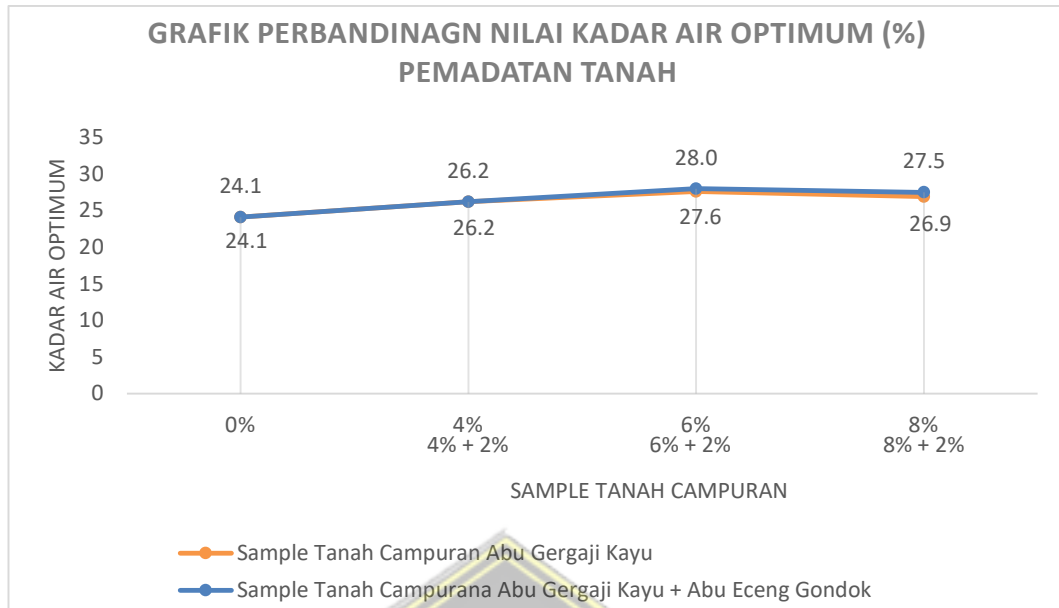
Gambar 4.41 Grafik γ_k Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu



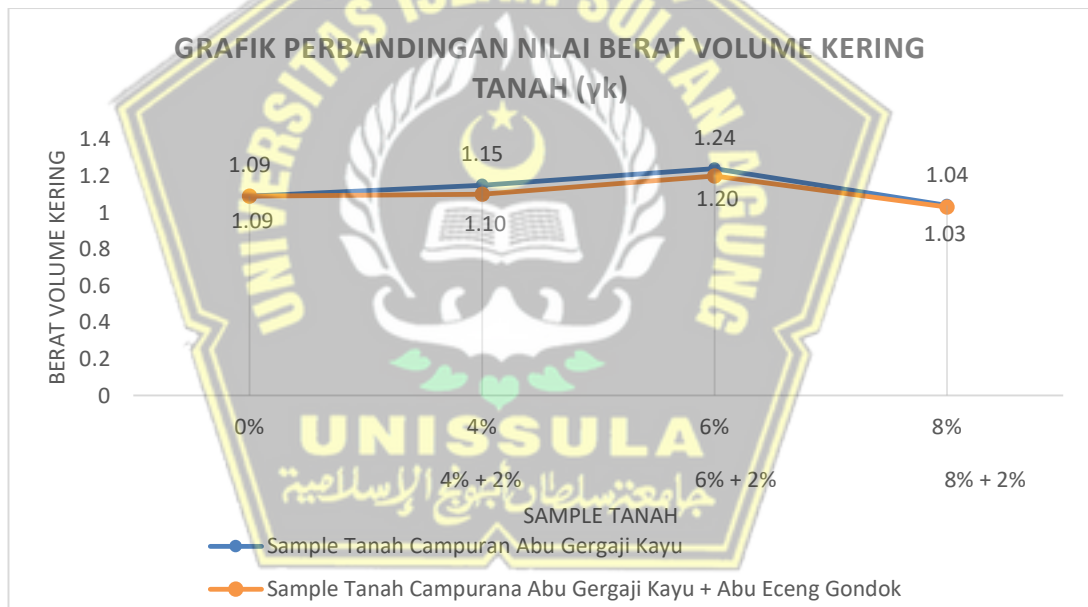
Gambar 4.42 Grafik w_{opt} Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok



Gambar 4.43 Grafik γ_k Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok



Gambar 4.44 Grafik Perbandingan Kadar Air Optimum (w_{opt})



Gambar 4.45 Grafik Perbandingan Berat Volume Kering Tanah (γ_k)

Dari **Gambar 4.45** dapat diketahui pada presentase tanah campuran 6% γ_{kmax} sebesar 1,24 gr/cm^3 dan kadar air optimum sebesar 27,60%. Sedangkan pada presentase tanah campuran 6% + 2% γ_{kmax} sebesar 1,20 gr/cm^3 dan kadar air optimum sebesar 28,00%.

Pada presentase campuran selanjutnya mengalami penurunan berat volume kering dan kadar air, disebabkan adanya penambahan kadar air yang meningkat dengan usaha pemadatan yang sama justru menurunkan berat volume kering tanah. Hal ini dikarenakan air tersebut menempati rongga – rongga pori dalam tanah.

4.1.3 Daya Dukung Tanah Untuk Fondasi Dangkal

Daya dukung tanah adalah tekanan maksimum yang mampu diterima oleh tanah tanpa terjadi keruntuhan. Apabila beban diatas fondasi ditambah maka fondasi akan turun yang akhirnya mengalami keruntuhan (*Braja M. Das, 1985*). Untuk mengetahui perhitungan daya dukung fondasi dangkal pada penelitian ini, direncanakan dengan menggunakan fondasi keruntuhan geser local yang berbentuk bujur sangkar dengan dimensi lebar 1,5 m dan kedalaman fondasi 1,5 m.

Berikut pada **Tabel 4.27** dan **Tabel 4.28** adalah data yang diperlukan untuk menghitung daya dukung fondasi dangkal.

Tabel 4.27 Data Menghitung Daya Dukung Fondasi Dangkal Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu

Sampel	Kohesi (c) t/m ²	Sudut Geser Dalam (ϕ) (°)	Nc'	Nq'	N γ '	γ_k
0%	4.257	24,92	14.80	5.60	2.25	1.09
4%	3.900	32.11	21.16	9.82	5.51	1.15
6%	3.891	34.03	23.72	11.67	7.22	1.24
8%	3.855	35.78	26.77	13.97	9.41	1.04

Tabel 4.28 Data Menghitung Daya Dukung Fondasi Dangkal Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

Sampel	Kohesi (c) t/m ²	Sudut Geser Dalam (φ) (°)	Nc'	Nq'	Nγ'	γ _k
0%	4.257	24,92	14.80	5.60	2.25	1.09
4% + 2%	3.781	33.0641	22.39	10.69	6.32	1.10
6% + 2%	3.772	34.94	25.18	12.75	8.35	1.20
8% + 2%	3.623	36.63	28.51	15.32	10.9	1.03

Contoh perhitungan daya dukung fondasi dangkal dengan rumus Terzaghi dengan sampel tanah asli (0%),

a. Perhitungan daya dukung ultimate menggunakan (persamaan 3.16) :

$$q_{ult} = 1,3 \times c' \times Nc' + Df \times \gamma \times Nq' + 0,4 \gamma \times B \times N\gamma'$$

(Nc' ; Nq' ; Nγ' = nilai faktor daya dukung Terzaghi)

$$\begin{aligned} q_{ult} &= 1,3 \times 2,838 \times 14,8 + 1,5 \times 1,097 \times 5,6 + 0,4 \times \\ &1,09 \times 1,5 \times 2,25 \\ &= 65,231 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

b. Perhitungan beban yang diijinkan menggunakan (persamaan 3.17) :

$$q_{ijin} = \frac{q_{ult}}{F_s} \quad (F_s = 3)$$

$$q_{ijin} = \frac{65,231}{3} = 21,744 \text{ t/m}^2$$

c. Perhitunagn nilai beban terbagi rata menggunakan (persamaan 3.18) :

$$q = q_{ijin} \times A$$

$$(A = s \times s = 1,5 \times 1,5 = 2,25 \text{ m}^2)$$

$$\begin{aligned} q &= 21,744 \times 2,25 \\ &= 48,923 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Setelah seluruh data diolah sesuai dengan contoh perhitungan di atas, maka didapatkan hasil perhitungan seperti pada **Tabel 4.29**.

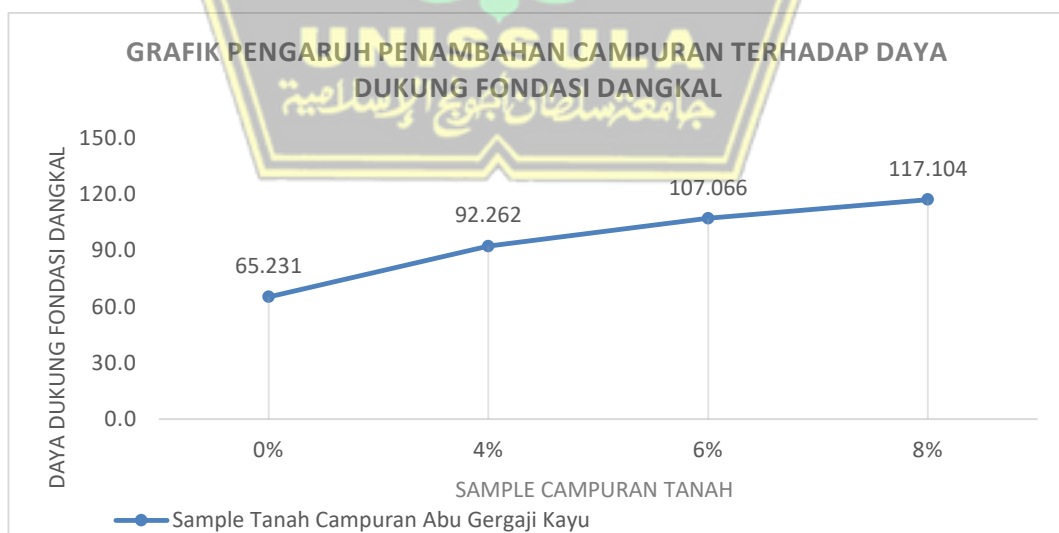
Tabel 4.29 Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi Dangkal Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu

Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji kayu	q_{ult} (ton/m ²)	q_{ijin} (ton/m ²)	q (ton/m ²)
0%	65.231	21.7435	48.923
4%	92.262	30.7541	69.1967
6%	107.066	35.6888	80.300
8%	117.104	39.0345	87.8277

Tabel 4.30 Pengaruh Penambahan Abu Gergaji Kayu Sebagai Bahan Stabilisator Terhadap Daya Dukung Fondasi Dangkal (q_{ult})

Sample Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu	q_{ult} (ton/m ²)	Peningkatan
0%	65.231	0
4%	92.262	29%
6%	107.066	14%
8%	117.104	9%

Berikut dapat dilihat grafik hasil perhitungan daya dukung fondasi dangkal tanah campuran abu gergaji kayu pada **Gambar 4.46**.



Gambar 4.46 Grafik Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi Dangkal Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu

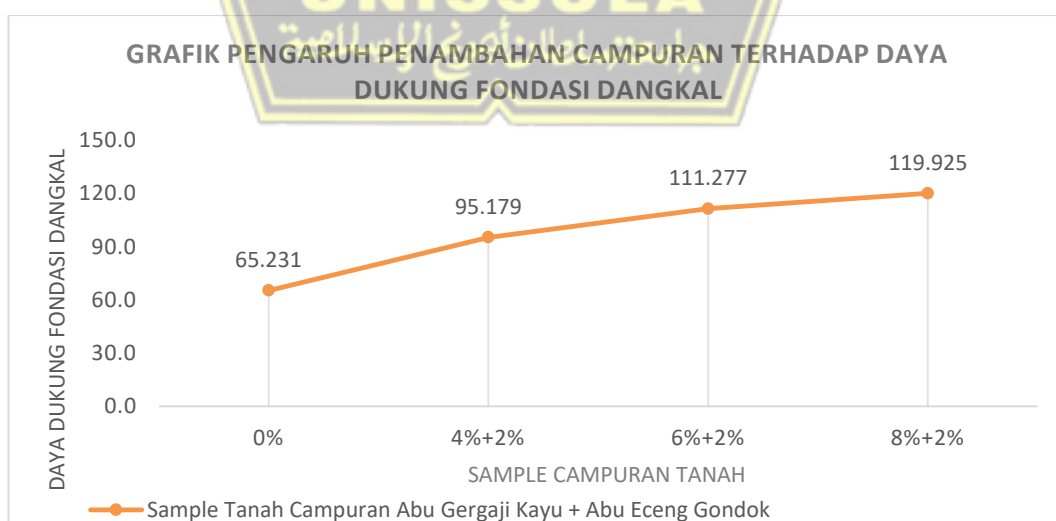
Tabel 4.31 Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi Dangkal Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu dan Abu Eceng Gondok

Sampel Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu + Abu Eceng Gondok	q_{ult} (ton/m ²)	q_{ijin} (ton/m ²)	q (ton/m ²)
0%	65.231	21.744	48.923
4%+2%	95.179	31.7262	71.3841
6%+2%	111.277	37.0924	83.4578
8%+2%	119.925	39.975	89.9438

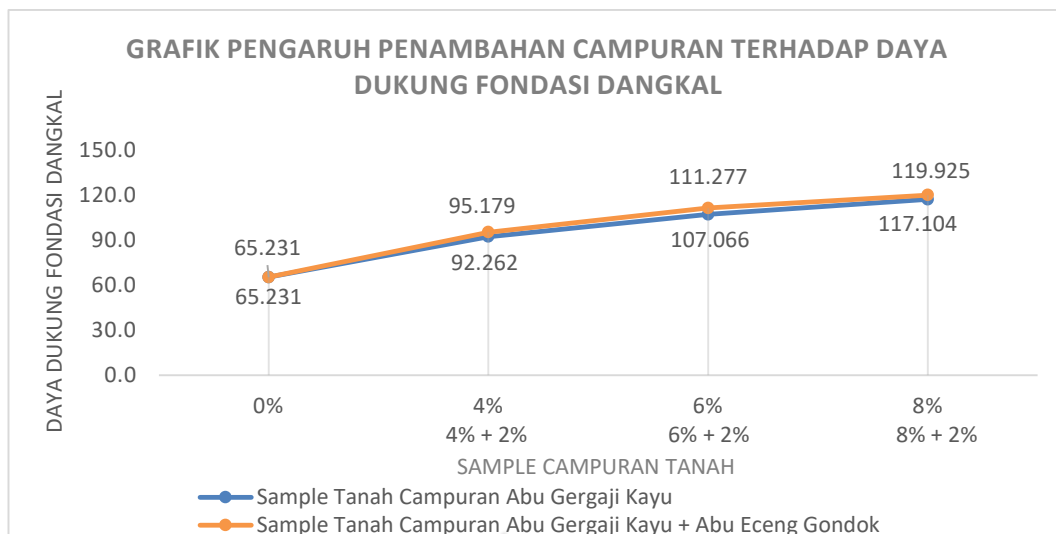
Tabel 4.32 Pengaruh Penambahan Abu Gergaji Kayu ditambah Abu Eceng Gondok Sebagai Bahan Stabilisator Terhadap Daya Dukung Fondasi Dangkal (q_{ult})

Sample Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu + Abu Eceng Gondok	q_{ult} (ton/m ²)	Peningkatan
0%	65.231	0
4%+2%	95.179	31%
6%+2%	111.277	14%
8%+2%	119.925	7%

Berikut dapat dilihat grafik hasil perhitungan daya dukung fondasi dangkal tanah campuran abu gergaji kayu ditambah abu eceng gondok pada **Gambar 4.47**.



Gambar 4.47 Grafik Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi Dangkal Tanah Campuran Abu Gergaji Kayu ditambah Abu Eceng Gondok



Gambar 4.48 Grafik Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi Dangkal

Dari **Gambar 4.48** dapat diketahui bahwa nilai daya dukung fondasi dangkal pada tanah asli mengalami kenaikan berturut-turut seiring dengan penambahan campuran abu. Nilai daya dukung fondasi dangkal (q_{ult}) pada presentase 0% sebesar 65,231 ton/m² menjadi sebesar 119,925 ton/m² pada presentase 8% + 2%. Peningkatan nilai daya dukung fondasi dangkal terjadi karena nilai sudut geser juga mengalami peningkatan, nilai sudut geser mempengaruhi nilai faktor daya dukung terzaghi (n_c' , n_q' , n_γ') sehingga nilai daya dukung fondasi dangkal mengalami peningkatan dari 0% hingga 8% pada campuran abu gergaji kayu dan 8% + 2% pada campuran abu gergaji kayu + abu eceng gondok.

Dilihat dari **Tabel 4.29** dan **Tabel 4.31** Hasil beban terbagi rata (q) kurang dari q_{ult} yang artinya keruntuhan daya dukung tidak akan terjadi. Dengan demikian penambahan campuran abu pada tanah lempung ekspansif memiliki pengaruh dalam perbaikan tanah pada nilai daya dukung fondasi dangkal.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pengujian sampel tanah dalam Tugas Akhir ini, maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Dari hasil pengujian batas – batas *atterberg* dapat disesuaikan dengan tabel sistem USCS bahwa tanah asli Desa Plosorejo diklasifikasikan sebagai tanah lanau dan lempung dengan batas cair $\geq 50\%$. Hal ini dapat dilihat dari hasil *liquid limit* tanah asli sebesar 56,75%
2. Berdasarkan hasil pengujian *Direct Shear* didapatkan hasil nilai kohesi dari presentase 0% hingga presentase 8% dan 8%+2% mengalami penurunan. Sedangkan pada nilai sudut geser dalamnya berbanding terbalik mengalami kenaikan. Maka dapat dinyatakan bahwa semakin banyak bahan campuran semakin besar nilai sudut geser dalamnya dan semakin baik tanah tersebut serta daya dukungnya semakin kuat.
3. Dilihat dari uji proktor standar, didapatkan hasil dari sampel tanah asli w_{opt} sebesar 24,1% dengan hasil γ_k sebesar 1,09 gr/cm³. Kemudian pada tanah campuran abu gergaji kayu 6% w_{opt} sebesar 27,60% dan γ_{kmax} sebesar 1,24 gr/cm³. Sedangkan pada tanah campuran abu gergaji kayu ditambah abu eceng gondok 6%+2% dengan w_{opt} sebesar 28,00% dan γ_{kmax} sebesar 1,20 gr/cm³.
4. Dilihat dari hasil perhitungan nilai daya dukung fondasi dangkal (q_{ult}) pada tanah asli sebesar 65,231 ton/m². Setelah diberi bahan stabilisator (q_{ult}) menjadi 117,104 ton/m² pada presentase 8%. Sedangkan pada bahan campuran abu gergaji kayu + abu eceng gondok (q_{ult}) menjadi 119,925 ton/m² pada presentase 8%+2%. Dapat dinyatakan bahwa semakin tinggi nilai sudut geser dalamnya, nilai daya dukung fondasi dangkal semakin naik dan semakin baik tanah tersebut.

5.2 Saran

1. Melakukan pengujian di laboratorium dengan lebih teliti dan berhati-hati supaya penggunaan alat dapat sesuai dengan prosedur dan mendapatkan hasil pengujian yang valid.
2. Perbanyak jumlah presentase penambahan bahan campuran abu gergaji kayu dan abu eceng gondok agar dapat melihat kemungkinan perubahan hasil yang dapat terjadi.



DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. (1991). *Analisa dan Desain Pondasi Edisi 3*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E. (1984). *Sifat-Sifat Fisik dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.
- Chen, F. (1975). *Foundation of Expansive Soil*. New York: American Elsevier Science Publication.
- Craig, R. F., & Susilo, B. (1991). *Mekanika Tanah Edisi 4*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah Jilid 1 (Perinsip-perinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- Dokuchaev. (1870). *Mekanika Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Gusmara, H., & dkk. (2016). *Dasar - Dsasar Ilmu Tanah* Universitas Bengkulu. Bengkulu.
- Hadi, S., & Mataram, U. (2019). Pengaruh Penambahan Serbuk Eceng Gondok Terhadap Kuat Tekan Beton. *Media Bina Ilmiah, Vol 14, No. 1*, 1949-1956.
- hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardjowigeno, S. (2003). *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis Edisi Revisi 2*. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Karaseran, A. J. (2015). Pengaruh Bahan Campuran Arang Tempurung Terhadap Konsolidasi Sekunder Pada Lempung Ekspansif. *Jurnal Sipil Statik, 3 No.8(2337-6732)*, 543-553.
- Kriswiyanti, E., & Endah. (2009). Kinetika Hidrolisa Selulosa Dari Eceng Gondok Dengan Mrtode Arkenol Untuk Variable Perbandingan Berat Eceng Gondok Dan Volume Pemasakan. *Jurnal Ekuilibrium, Vol. 7*, 77-80.
- Kustantrika, I. W. (2017). Stabilisasi Tanah Rawa Menggunakan Limbah Gergaji Kayu dan Serbuk Limbang Botol Kaca Terhadap Peningkatan Nilai CBR. *Jurnal Forum Mekanika, (6) NO.1(2356-1491)*, 1-60.

- Laboratory, T. S. (2018). *Panduan Praktikum Mekanika Tanah*. Fakultas Teknik. Universitas Sebelah Marat. Surakarta.
- Pratikso. (2017). *Mekanika Tanah I*. Semarang: Unissula Press.
- Priska, Monintja, S., & dkk. (2013). Hubungan kuat Geser Pada Tanah Dengan Hasil Percobaan Dynamic Cone Penetrometer Pada Ruas Jalan Wori-Lampung. *Jurnal Sipil Statik*, 1(5), 358-367.
- Qomariyah, I. (2017). *Analisis Peningkatan Tahanan Geser Tanah Lunak Akibat adanya Cerucuk*. Surabaya.
- Rahmawati, N., & Amalia, K. (2019). *Stabilisasi Tanah Lempung Exspansif Dengan Penambahan Kapur dan Garam*. Tugas Akhir. Universitas Islam Sultan Agung. Semarang.
- Seta, W. (2006). Perilaku Tanah Ekspansif Yang Dicampur Dengan Pasir Untuk Subgrade. *Tesis Magister Universitas Diponegoro*, (IV)-1.
- Terzghi, K. (1987). Soil Mechanics and Engineering Practice. In R. B. Pecl, *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Yonathan, A., P, A. R., & dkk. (2013). Produksi Biogas dari Eceng Gondok (eicchornia crassipes). *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, Vol 2, No. 2, 211-215.



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

Nomor : 17 / A.2 / SA - T / III / 2021

Lampiran : - -

Perihal : Bimbingan Tugas Akhir

Kepada : Yth. :

- 1 Dr. Ir. H. Soedarsono, Msi (Dosen Pembimbing I Tugas Akhir)
- 2 Lisa Fitriyana, ST, M. Eng (Dosen Pembimbing II Tugas Akhir)

Dosen Fakultas Teknik Prodi Teknik Sipil UNISSULA

Assalamu'alaikum Wr Wb.

Bersama Surat ini kami menghadapkan mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memenuhi syarat untuk mengerjakan Tugas Akhir (TA) :

No	Nama	NIM
1	Lora Annisa Sabila	30201700096
2	Lussy Noveliyana	30201700097

Maka dengan ini kami mohon kepada Bapak / Ibu untuk memberikan Bimbingan Tugas Akhir (TA) kepada mahasiswa tersebut diatas.

Wassalamu'alaikum Wr Wb.

Semarang, 16 Januari 2021

Ketua Program Studi Teknik Sipil


M. Rusli Ahyar, ST, M. Eng

NIK. 210216089

LEMBAR BIMBINGAN


TUGAS AKHIR




Nama : 1. Lora Annisa Sabilla (30201700096)

2. Lusy Noveliyana (30201700097)

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. H. Soedarsono, MSi

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	19/4-2020	<p>— Penelitian → Membahas antara daya dukung tanah asli (ekspansi) dan tanah yg sudah diciptakan dan — Subur Ekspansi — Subur Insirikan — Hal ini daya dukung tanah</p>	
2		<p>— Pembelian Study Pustaka Bag 2 sdr</p>	

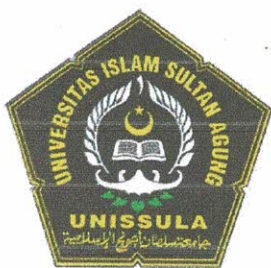
— or Pembelian
 (lebih detail)
 — Lusy use



NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
3	21/06-2021	<p>— Skala ke level penelitian yg sejeng' — debut sama</p> <p>— sama level kebratan sample yg ada di analisis</p> <p>— 12/06/2021</p> <p>21/06/2021</p> <p><i>[Signature]</i></p>	

LEMBAR BIMBINGAN


TUGAS AKHIR



Nama : 1. Lora Annisa Sabilla (30201700096)

2. Lusy Noveliyana (30201700097)

Dosen Pembimbing II : Lisa Fitriyana, ST., M.Eng

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
		<ul style="list-style-type: none">- perbaiki latar belakang sejarah- sy syng tunda- perbaiki kruson masalah, tujuan, & Gtara masalah- perbaiki metaal peneliti- Lajut Gas II	



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK


Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM :
Hari / Tanggal : Jumat / 23 Juli 2021
Judul TA :
:

NO	
1	- Periksa kembali hasil sudut besar - periksa kembali penulisan pada laporan
2	...............
3	...............
4	...............
5	...............

DOSEN PENGUJI


(Dr. Ir. H. Soedarsono, Msi)



SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM :
Hari / Tanggal : Jumat / 23 Juli 2021
Judul TA :

NO	
1	* Penulisan jabatan akademik dosen pembimbing di cek ulang * Sumber pada gambar tidak perlu ditulis "sumber" langsung saja ditulis dalam kurung (.....)
2	* Tambahkan gambar abu gergaji kayu dan abu reng gondok pada BAB II. * Penulisan bagan alur penelitian disesuaikan dengan ketentuan yang berlaku. * Penulisan rumus mengacu pada persamaan berapa diberi keterangan.
3	* Tambahkan contoh perhitungan plastis limit pada BAB IV
4	
5	

DOSEN PENGUJI

(Lisa Fitriyana, ST, M.Eng)



SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM :
Hari / Tanggal : Jumat / 23 July 2021
Judul TA :
:

NO	
1	<p>1. Bentuk Acara , sabatan akademik pak sar = Lektor kepala .</p> <p>2. Lembar bebas plagiasi & keastian dibuat kelompok .</p> <p>3. ABSTRAK pada paragraf 1 ditambahkan tujuan studi .</p>
2	<p>pada bagian kurva gradasi presentase tiap tanah tidak = 100% .</p> <p>dicek kembali .</p> <p>hasil phi sudut geser salama hasilnya meragukan (tidak sesuai dengan kurva gradasi yg dimana tanah berbutir halus) dicek kembali</p>
3	<p>Daftar pustaka yg tertulis banyak yg tidak rampak di BAB I- BAB IV (tidak boleh) harus sesuai di narasi ada di daftar pustaka ada .</p>
4	<p>1. kata " pondasi " diubah semula ke " fondasi "</p> <p>2. bentuk acara dijadikan 1 halaman saja , rubah spasinya .</p>
5	

DOSEN PENGUK

(Dr. Abdul Rochim, ST., MT)



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

DOSEN PENGUJI
SEMINAR TUGAS AKHIR

Hari Jum'at
Tanggal 23 Juli 2021
Jam 10.00 WIB

Judul Tugas Akhir

Analisis Pengaruh Bahan Stabilisasi Tanah Lempung ekspansif Dengan Abu Gergaji Kayu
Dan Abu Enceng Gondok Terhadap Daya Dukung Pondasi Dangkal

1	Lora Annisa Sabilla	30201700096	1
2	Lusy Noveliyana	30201700097	2

NO	NAMA	TANDA TANGAN
1	Dr. Ir. H. Soedarsono,MSI	1
2	Lisa Fitriyana,ST,M.Eng ✓	2
3	Dr. Abdul Rochim,ST,MT	3

Semarang, 23 Juli 2021
Ketua Program Studi Teknik Sipil

M. Rusli Ahyar, ST, M. Eng
NIK. 210216089



Nomor : 10 / A.2 / SA - T / VII / 2021

Pada hari ini, Jum'at Tanggal 23 Juli 2021 telah dilaksanakan

Seminar Tugas Akhir, dengan peserta sebagai berikut :

1 Nama	Lora Annisa Sabilla	30201700096
2 Nama	Lusy Noveliyana	30201700097

Judul TA Analisis Pengaruh Bahan Stabilisasi Tanah Lempung ekspansif Dengan Abu Gergaji Kayu
Dan Abu Enceng Gondok Terhadap Daya Dukung Pondasi Dangkal
0

Dengan Hasil

: baik dan ada beberapa revisi dari dosen penguji

Demikian Berita Acara Seminar Tugas Akhir ini dibuat untuk diketahui dan digunakan seperlunya.

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. H. Soedarsono,MSI

Dosen Pembimbing II

Lisa Fitriyana,ST,M.Eng

Dosen Pembimbing

Dr. Abdul Rochim,ST,MT

Mengetahui,
Setua Program Studi Teknik Sipil

Rhsli Wajar,ST,M.Eng

ANALISIS PENGARUH BAHAN STABILISASI TANAH LEMPUNG EKSPANSIF DENGAN ABU GERGAJI KAYU DAN ABU ECENG GONDOK TERHADAP DAYA DUKUNG FONDASI DANGKAL

ORIGINALITY REPORT

24%

SIMILARITY INDEX

23%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

7%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	media.neliti.com Internet Source	1%
2	repository.untag-sby.ac.id Internet Source	1%
3	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	1%
4	repository.unhas.ac.id Internet Source	1%
5	eprints.ums.ac.id Internet Source	1%
6	edoc.site Internet Source	1%
7	Submitted to Higher Education Commission Pakistan Student Paper	1%
8	repository.ub.ac.id Internet Source	1%

9	docplayer.info Internet Source	<1 %
10	repositori.unud.ac.id Internet Source	<1 %
11	digilib.polban.ac.id Internet Source	<1 %
12	eprints.undip.ac.id Internet Source	<1 %
13	e-journal.uajy.ac.id Internet Source	<1 %
14	www.kajianpustaka.com Internet Source	<1 %
15	eprints.polsri.ac.id Internet Source	<1 %
16	sinta.unud.ac.id Internet Source	<1 %
17	de.scribd.com Internet Source	<1 %
18	www.coursehero.com Internet Source	<1 %
19	Submitted to Universitas Islam Indonesia Student Paper	<1 %
20	eprints.ubhara.ac.id Internet Source	<1 %

21	wslide.com Internet Source	<1 %
22	repository.its.ac.id Internet Source	<1 %
23	eprints.binus.ac.id Internet Source	<1 %
24	ejournal.unsrat.ac.id Internet Source	<1 %
25	qdoc.tips Internet Source	<1 %
26	eprints.uns.ac.id Internet Source	<1 %
27	www.sipil.itm.ac.id Internet Source	<1 %
28	Vella Maulina Kris Putri, Agata Iwan Candra, Ahmad Ridwan. "Pengaruh Penambahan Abu Kayu Dan Abu Bambu Terhadap Kepadatan Tanah Lempung", Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil, 2020 Publication	<1 %
29	repository.usd.ac.id Internet Source	<1 %
30	www.alatuji.com Internet Source	<1 %

digilib.unila.ac.id

31

Internet Source

<1 %

32

repository.usu.ac.id

Internet Source

<1 %

33

Submitted to Universitas Diponegoro

Student Paper

<1 %

34

docobook.com

Internet Source

<1 %

35

zh.scribd.com

Internet Source

<1 %

36

digilib.unimed.ac.id

Internet Source

<1 %

37

adoc.tips

Internet Source

<1 %

38

ar.scribd.com

Internet Source

<1 %

39

ejurnal.binawakya.or.id

Internet Source

<1 %

40

archive.org

Internet Source

<1 %

41

www.slideshare.net

Internet Source

<1 %

42

edoc.pub

Internet Source

<1 %



43	andisaputra98.web.ugm.ac.id Internet Source	<1 %
44	zaialqudri26.blogspot.com Internet Source	<1 %
45	ojs.uma.ac.id Internet Source	<1 %
46	e-journal.polnes.ac.id Internet Source	<1 %
47	Submitted to Universitas Pendidikan Indonesia Student Paper	<1 %
48	digilib.unhas.ac.id Internet Source	<1 %
49	adoc.pub Internet Source	<1 %
50	ejournal.unsri.ac.id Internet Source	<1 %
51	lib.unnes.ac.id Internet Source	<1 %
52	rizkiwirsa.wordpress.com Internet Source	<1 %
53	bpsdm.pu.go.id Internet Source	<1 %
54	blogs.unpad.ac.id	

Internet Source

<1 %

55

eprints.umm.ac.id

Internet Source

<1 %

56

esron07.blogspot.com

Internet Source

<1 %

57

scholar.unand.ac.id

Internet Source

<1 %

58

vdocuments.site

Internet Source

<1 %

59

repositori.umsu.ac.id

Internet Source

<1 %

60

repository.uma.ac.id

Internet Source

<1 %

61

tr.scribd.com

Internet Source

<1 %

62

publikasiilmiah.ums.ac.id

Internet Source

<1 %

63

d-hadiana-r-forsipilenginering.blogspot.com

Internet Source

<1 %

64

www.e-jurnal.ukrimuniversity.ac.id

Internet Source

<1 %

65

anzdoc.com

Internet Source

<1 %



66	eprints.walisongo.ac.id Internet Source	<1 %
67	jamesthoengsal.blogspot.com Internet Source	<1 %
68	kabar-terhangat.blogspot.com Internet Source	<1 %
69	sipil.studentjournal.ub.ac.id Internet Source	<1 %
70	file.upi.edu Internet Source	<1 %
71	fyyfaacivil.blogspot.com Internet Source	<1 %
72	gisyabirrulwallidayn.blogspot.com Internet Source	<1 %
73	stt-pln.e-journal.id Internet Source	<1 %
74	vdocuments.mx Internet Source	<1 %
75	eprints.unm.ac.id Internet Source	<1 %
76	syahrulciv.blogspot.com Internet Source	<1 %
77	idoc.pub Internet Source	<1 %

78	faisolhezim1994.blogspot.com Internet Source	<1 %
79	jurnal.untan.ac.id Internet Source	<1 %
80	www.pu.go.id Internet Source	<1 %
81	Submitted to Sultan Agung Islamic University Student Paper	<1 %
82	core.ac.uk Internet Source	<1 %
83	digilib.esaunggul.ac.id Internet Source	<1 %
84	journal.unilak.ac.id Internet Source	<1 %
85	konsultasiskripsi.com Internet Source	<1 %
86	laporantekniksipil.wordpress.com Internet Source	<1 %
87	mafiadoc.com Internet Source	<1 %
88	Submitted to Badan PPSDM Kesehatan Kementerian Kesehatan Student Paper	<1 %
89	baturisit.blogspot.com Internet Source	<1 %

		<1 %
90	www.elrinalria.com Internet Source	<1 %
91	sipil.ft.uns.ac.id Internet Source	<1 %
92	imamzuhri.blogspot.com Internet Source	<1 %
93	jurnal.pnj.ac.id Internet Source	<1 %
94	publikasi.unitri.ac.id Internet Source	<1 %
95	Submitted to Unika Soegijapranata Student Paper	<1 %
96	eprints.uty.ac.id Internet Source	<1 %
97	estd.perpus.untad.ac.id Internet Source	<1 %
98	ml.scribd.com Internet Source	<1 %
99	repository.ump.ac.id Internet Source	<1 %
100	Submitted to Universitas Airlangga Student Paper	<1 %

101	Submitted to Universitas Sam Ratulangi Student Paper	<1 %
102	documents.mx Internet Source	<1 %
103	www.neliti.com Internet Source	<1 %
104	zincns.blogspot.com Internet Source	<1 %
105	Fatoni Batari Agung Larasati, Herny Februariyanti. "SISTEM REKOMENDASI PRODUCT EMINA COSMETICS DENGAN MENGGUNAKAN METODE CONTENT - BASED FILTERING", Jurnal Manajemen Informatika dan Sistem Informasi, 2021 Publication	<1 %
106	ejournal.unib.ac.id Internet Source	<1 %
107	repository.upi.edu Internet Source	<1 %
108	Nursafa Nursafa, Erna Rusliana Muhamad Saleh, Mustamin A. Masuku. "The Differences Addition of Cristal Sugar Ratio on Red Peanut Jam in Local North Maluku", Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan, 2020 Publication	<1 %

109	Internet Source	<1 %
110	eprints.upnjatim.ac.id Internet Source	<1 %
111	etheses.uin-malang.ac.id Internet Source	<1 %
112	fr.scribd.com Internet Source	<1 %
113	journal.unpar.ac.id Internet Source	<1 %
114	legalstudies71.blogspot.com Internet Source	<1 %
115	repository.unpar.ac.id Internet Source	<1 %
116	ur.zlibcdn2.com Internet Source	<1 %
117	Submitted to Universitas PGRI Palembang Student Paper	<1 %
118	abikhalidblog.files.wordpress.com Internet Source	<1 %
119	bsantosa.staff.gunadarma.ac.id Internet Source	<1 %
120	jurnal.unsyiah.ac.id Internet Source	<1 %

121	komingsanjaya25.blogspot.com Internet Source	<1 %
122	lib.ui.ac.id Internet Source	<1 %
123	unsri.portalgaruda.org Internet Source	<1 %
124	www.bioline.org.br Internet Source	<1 %
125	www3.epa.gov Internet Source	<1 %
126	M Abror, M Koko Ardiansyah. "The Effect of Pruning and Several Kinds of Growing Media Fertigation Hydroponic Systems Against Protection and Production of Melons (Cucumis Melo L.)", Nabatia, 2016 Publication	<1 %
127	chyroc.cn Internet Source	<1 %
128	dokumen.tips Internet Source	<1 %
129	dspace.uii.ac.id Internet Source	<1 %
130	journal.uny.ac.id Internet Source	<1 %

131	mybrain11.blogspot.com Internet Source	<1 %
132	repository.ar-raniry.ac.id Internet Source	<1 %
133	repository.mahardhika-library.id Internet Source	<1 %
134	repository.polimdo.ac.id Internet Source	<1 %
135	repository.uinjkt.ac.id Internet Source	<1 %
136	sv.20file.org Internet Source	<1 %
137	teras.unimal.ac.id Internet Source	<1 %
138	Andi Kurniawan. "Hubungan Power Tungkai Dan Power Lengan Terhadap Hasil Spike Dalam Permainan Bola Voli", MAENPO, 2018 Publication	<1 %
139	Yayuk Apriyanti, Hidayatussa'diah Hidayatussa'diah, Ferra Fahriani. "PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH ABU CANGKANG SAWIT (POFA) TERHADAP NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) UNTUK STABILISASI TANAH LEMPUNG", FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil), 2021 Publication	<1 %

140 www.repository.trisakti.ac.id <1 %
Internet Source

141 "Proceedings of STCCE 2021", Springer
Science and Business Media LLC, 2021 <1 %
Publication

142 Erwin Erwin, Afif Bintoro, Rusita Rusita.
"Keragaman Vegetasi di Blok Pemanfaatan
Hutan Pendidikan Konservasi Terpadu (HPKT)
TAHURA Wan Abdul Rachman, Provinsi
Lampung", Jurnal Sylva Lestari, 2017 <1 %
Publication

143 faiezblo.blogspot.com <1 %
Internet Source

Exclude quotes Off
Exclude bibliography Off

Exclude matches Off

