

TUGAS AKHIR

EVALUASI PERUBAHAN NILAI CBR TANAH LEMPUNG LUNAK DENGAN PENAMBAHAN MORTAR BUSA

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan

Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung



Disusun Oleh :

Aqim Setia Aji
30202100037

Andrianto Fatih Amin
30202100031

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN
EVALUASI PERUBAHAN NILAI CBR TANAH LEMPUNG LUNAK
DENGAN PENAMBAHAN MORTAR BUSA



Aqim Setia Aji
NIM : 30202100037



Andrianto Fatih Amin
NIM : 30202100031

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Agustus 2025

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Dr. Abdul Rochim, ST., MT**
NIDN : 0608067601
2. **Lisa Fitriyana, ST., M.Eng**
NIDN : 0631128901

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas Islam Sultan Agung Semarang

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

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 40 / A.3 / SA – T / VIII / 2025

Pada hari ini tanggal Agustus 2025 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukkan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pendamping:

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

Dengan ini menyampaikan bahwa mahasiswa tersebut yang dibawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Aqim Setia Aji
NIM : 30202100037

Andrianto Fatih Amin
NIM : 30202100031

Judul : Evaluasi Perubahan Nilai CBR Tanah Lempung Lunak Dengan Penambahan Mortar Busa.

Dengan Tahapan Sebagai Berikut:

No.	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1.	Penunjukkan Dosen Pembimbing	15/04/2025	ACC
2.	Seminar Proposal	17/07/2025	
3.	Pengumpulan Data	19/07/2025	
4.	Analisis Data	12/08/2025	
5.	Penyusunan Laporan	15/08/2025	
6.	Selesai Laporan	20/08/2025	

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

Dosen Pembimbing Utama

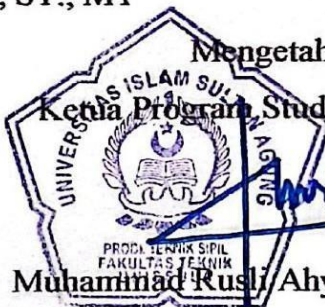
Dosen Pembimbing Pendamping

Dr. Abdul Rochim, ST., MT

Lisa Fitriyana, ST., M. Eng

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : Aqim Setia Aji

NIM : 30202100037

NAMA : Andrianto Fatih Amin

NIM : 30202100031

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

EVALUASI PERUBAHAN NILAI CBR TANAH LEMPUNG LUNAK DENGAN PENAMBAHAN MORTAR BUSA

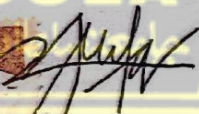
Benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Agustus 2025

Yang Mengetahui,

Yang Mengetahui,



Aqim Setia Aji

Andrianto Fatih Amin

NIM : 30202100037

NIM : 30202100031

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : Aqim Setia Aji
NIM : 30202100037

NAMA : Andrianto Fatih Amin
NIM : 30202100031

JUDUL TUGAS AKHIR : **EVALUASI PERUBAHAN NILAI CBR
TANAH LEMPUNG LUNAK DENGAN
PENAMBAHAN MORTAR BUSA**

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Agustus 2025

Yang Mengetahui,

Yang Mengetahui,



Aqim Setia Aji

Andrianto Fatih Amin

NIM : 30202100037

NIM : 30202100031

MOTTO

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

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

(Q.S Ali Imran : 110)

“Tujuan Pendidikan itu untuk mempertajam kecerdasan, memperkuat kemauan, serta memperhalus perasaan.”

(Tan Malaka)

لَا يَكْلِفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.” (Q.S Al Baqarah : 286)

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.” (Q.S Al Insyirah : 5)

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Suraji dan Ibu saya Elly Yati, Terimakasih atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT. yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Ibu Ir. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng. yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terima kasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
5. Keluarga saya, Adik saya Afix Zulfikri yang telah mensupport saya.
6. Sahabat sekaligus partner laporan tugas akhir saya Samsul Ma'arif, terima kasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Bapak Sutardi dan Satria Hanung P, yang telah membantu kami selama masa penelitian dan mengolah data.
8. Teruntuk Pacar Saya, Elivstakiky Febriyanti, terimakasih atas dukungan dan cintanya yang telah menemani Saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini, semoga kita selalu bersama dalam meraih mimpi-mimpi kita.

Aqim Setia Aji

NIM : 30202100037

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya, Bapak Kartamin dan Ibu Ikah Atikah, terimakasih atas semua cinta, dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a yang telah mengantarkanku hingga titik ini.
2. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT. yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Ibu Ir. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terima kasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
5. Kakak saya Anggini Maulidah, terimakasih atas dukungan moral maupun material, serta nasihat dan semangat yang telah diberikan.
6. Keluarga saya, Kedua Adik Saya Fatkha Maulana Sayyid Amin, dan Zulfan Fakhri Amin yang telah mensupport saya.
7. Sahabat sekaligus partner laporan tugas akhir saya Akim Setia Aji terima kasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Bapak Sutardi dan Satria Hanung P, yang telah membantu kami selama masa penelitian dan mengolah data.
9. Kepada teman-teman Pondok Pesantren Al-Fattah Terboyo Semarang yang turut memberikan dukungan dan do'a.
10. Teman-teman Fakultas Teknik Sipil Angkatan 2021 dan Teman-teman saya diluar kampus yang turut memberikan semangat.
11. Teruntuk Pacar Saya, Myra Talitha Wibisono, terimakasih atas dukungan dan cintanya yang telah menemani Saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini, semoga kita selalu Bersama dalam meraih mimpi-mimpi kita.

Andrianto Fatih Amin

NIM : 30202100031

KATA PENGANTAR

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

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

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

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

Semarang, Agustus 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
ABSTRAK.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Keaslian Kajian.....	3
1.7. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pengertian Tanah	5
2.2. Tanah Lempung Lunak	6
2.3. Material Penyusun Tanah.....	7
2.4. Klasifikasi Tanah	8
2.4.1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan sistem USCS	8
2.4.2. Klasifikasi Tanah AASHTO	11
2.5. Sifat Fisik Tanah	12
2.5.1. Kadar Air (w).....	12
2.5.2. Berat Jenis Tanah (Gs).....	12
2.5.3. Analisa Saringan.....	13
2.5.4. Batas – Batas Atterberg	14
2.5.5. CBR (<i>California Bearing Ratio</i>).....	15
2.6. Sifat Mekanika Tanah	16
2.6.1. Pemadatan Tanah.....	16

2.6.2. Kuat Geser Tanah	17
2.7. Mortar Busa	17
2.8. Stabilisasi Tanah Menggunakan <i>Mortar Foam</i>	18
2.9. Daya Dukung Tanah.....	19
2.10. Penelitian Sebelumnya Yang Serupa	20
BAB III METODELOGI PENELITIAN	24
3.1. Lokasi dan Subjek Penelitian.....	24
3.2. Desain Penelitian.....	24
3.3. Metode Penelitian	25
3.4. Alat (<i>Instrumen</i>) dan Bahan.....	25
3.4.1. Menyiapkan Alat.....	25
3.4.2. Menyiapkan Bahan	29
3.5. Teknik Pengumpulan Data.....	29
3.6. Teknik Analisis Data.....	30
3.7. Bagan Alur.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1. Hasil Penelitian	32
4.2. <i>Physical Properties</i> Tanah Asli	32
4.3. Analisa Stabilisasi dengan Mortar Busa di Laboratorium.....	33
4.3.1. <i>Grainsize</i>	33
4.3.2. <i>Atterberg Limits</i>	40
4.3.3. <i>Direct Shear</i>	45
4.3.4. <i>Proctor Standart</i>	50
4.3.5. <i>California Bearing Ratio (CBR)</i>	56
4.4. Akhir Pembahasan	67
BAB V PENUTUP	69
5.1. Kesimpulan	69
5.2. Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	xx

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Simbol USCS	9
Tabel 2.2. Klasifikasi Tanah	10

Tabel 2.3. Kelompok Klasifikasi AASHTO.....	11
Tabel 2.4. Klasifikasi Tanah Dengan Sistem AASHTO	11
Tabel 2.5. Penelitian Sebelumnya Yang Serupa.....	20
Tabel 3.1. Mix Design.....	30
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Tanah Asli.....	32
Tabel 4.2. Hasil Perhitungan <i>Hydrometer Analysis</i> Tanah Asli	33
Tabel 4.3. Hasil Perhitungan <i>Hydrometer Analysis</i> Tanah + MB 10%.....	34
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan <i>Hydrometer Analysis</i> Tanah + MB 15%.....	34
Tabel 4.5. Hasil Perhitungan <i>Hydrometer Analysis</i> Tanah + MB 20%.....	35
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan <i>Hydrometer Analysis</i> Tanah + MB 25%.....	35
Tabel 4.7. Hasil Perhitungan <i>Sieve Analys</i> Tanah Asli.....	36
Tabel 4.8. Hasil Perhitungan <i>Sieve Analys</i> Tanah + Mortar Busa 10%.....	37
Tabel 4.9. Hasil Perhitungan <i>Sieve Analys</i> Tanah + Mortar Busa 15%.....	37
Tabel 4.10. Hasil Perhitungan <i>Sieve Analys</i> Tanah + Mortar Busa 20%.....	38
Tabel 4.11. Hasil Perhitungan <i>Sieve Analys</i> Tanah + Mortar Busa 25%.....	38
Tabel 4.12. Hasil Perhitungan <i>Grainsize</i>	39
Tabel 4.13. Hasil Perhitungan Batas Cair.....	40
Tabel 4.14. Hasil Batas Plastis	43
Tabel 4.15. Hasil Indeks Plastisitas	44
Tabel 4.16. Hasil Perhitungan Penembakan Langsung Sampel	46
Tabel 4.17. Hasil Penggambaran <i>Direct Shear</i>	49
Tabel 4.18. Hasil Pengujian <i>Proctor Standart</i>	50
Tabel 4.19. Nilai Perhitungan <i>Proctor Standart</i> TA + MB.....	52
Tabel 4.20. Hasil <i>Proctor Standart</i> Tanah Asli dengan Campuran	54
Tabel 4.21. Hasil Pengujian CBR Sampel Tanah Campuran MB.....	56
Tabel 4.22. Data Penetrasi Sampel Tanah Campuran MB.....	58
Tabel 4.23. Harga CBR Tanah Asli dengan Campuran MB.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Bagan Plastisitas	10
Gambar 2. 2. Mortar Busa	18
Gambar 3. 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Tanah.....	23
Gambar 3. 2. Bagan Alur penelitian	31
Gambar 4. 1. Grafik Gradasi Butiran	39
Gambar 4. 2. Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel Tanah Asli	41
Gambar 4. 3. Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel Tanah Campuran MB 10%.....	41
Gambar 4. 4. Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel Tanah Campuran MB 15%.....	42
Gambar 4. 5. Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel Tanah Campuran MB 20%	42
Gambar 4. 6. Grafik <i>Liquid Limit</i> Sampel Tanah Campuran MB 25%.....	42
Gambar 4. 7. Grafik ATL Tanah Asli dan Campuran MB	44
Gambar 4. 8. Grafik <i>Direct Shear</i> Tanah Asli	47
Gambar 4. 9. Grafik <i>Direct Shear</i> Tanah Campuran MB 10%.....	47
Gambar 4. 10. Grafik <i>Direct Shear</i> Tanah Campuran MB 15%.....	47
Gambar 4. 11. Grafik <i>Direct Shear</i> Tanah Campuran MB 20%.....	48
Gambar 4. 12. Grafik <i>Direct Shear</i> Tanah Campuran MB 25%.....	48
Gambar 4. 13. Grafik Nilai Kohesi TA dan Campuran MB	49
Gambar 4. 14. Grafik W_{opt} Tanah Asli	53
Gambar 4. 15. Grafik W_{opt} Tanah Campuran MB 10%.....	53
Gambar 4. 16. Grafik W_{opt} Tanah Campuran MB 15%.....	53
Gambar 4. 17. Grafik W_{opt} Tanah Campuran MB 20%.....	54
Gambar 4. 18. Grafik W_{opt} Tanah Campuran MB 25%.....	54
Gambar 4. 19. Grafik <i>Proctor Standart</i> dengan Campuran MB	55
Gambar 4. 20. Grafik Y_d Max 100%.....	55
Gambar 4. 21. Grafik Hasil Penetrasi Tanah Asli	60
Gambar 4. 22. Grafik Hasil Penetrasi 10%	60
Gambar 4. 23. Grafik Hasil Penetrasi 15%	61
Gambar 4. 24. Grafik Hasil Penetrasi 20%	61
Gambar 4. 25. Grafik Hasil Penetrasi 25%	62
Gambar 4. 26. Grafik Nilai CBR Tanah Asli	64

Gambar 4. 27. Grafik Nilai CBR Sampel 10%	64
Gambar 4. 28. Grafik Nilai CBR Sampel 15%	65
Gambar 4. 29. Grafik Nilai CBR Sampel 20%	65
Gambar 4. 30. Grafik Nilai CBR Sampel 25%	66
Gambar 4. 31. Grafik Perubahan Nilai CBR Sampel 100%	66
Gambar 4. 32. Grafik Perubahan Nilai CBR Sampel 95%	67



DAFTAR LAMBANG DAN NOTASI

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

DAFTAR SINGKATAN

USCS	:	<i>Unified Soil Classification System</i>
CBR	:	<i>California Bearing Ratio</i>
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
AASHTO	:	American Association of State Highway and Transportation
G	:	Gravel
S	:	Sand
F	:	Fines
MB	:	Mortar Busa



EVALUASI PERUBAHAN NILAI CBR TANAH LEMPUNG LUNAK DENGAN PENAMBAHAN MORTAR BUSA

Abstrak

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

Pengujian penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Unissula dengan metode pengujian yang mencampurkan tanah dengan Mortar Busa dalam berbagai persentase, yaitu 0%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Jenis pengujian yang dilaksanakan mencakup pengujian berat jenis, kadar air, analisis saringan, *Atterberg limit*, *Proctor standart*, serta *California Bearing Ratio* (CBR).

Merujuk pada hasil pengujian laboratorium, penambahan Mortar Busa berpengaruh positif terhadap daya dukung tanah. Semakin tinggi persentase Mortar Busa yang ditambahkan, semakin baik sifat mekanis tanah, yang ditunjukkan dengan peningkatan daya dukung tanah. Hasil pengujian CBR *unsoaked* pada sampel tanah asli serta tanah dengan campuran Mortar Busa pada berbagai persentase (0%, 10%, 15%, 20%, dan 25%) menunjukkan peningkatan nilai CBR *unsoaked* secara bertahap, yaitu 5,6%, 13,1%, 13,4%, 14,3%, dan mencapai 15,5% pada campuran Mortar Busa 25%.

Kata Kunci: Mortar Busa, CBR, Klasifikasi Tanah, Lempung, Daya Dukung Tanah, Stabilitas Tanah

EVALUATION OF CBR VALUE CHANGES OF SOFT CLAY SOIL WITH THE ADDITION OF FOAM MORTAR

Abstract

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

The research test was carried out at the Unissula laboratory using a testing method that mixed soil with Foam Mortar in various percentages, namely 0%, 10%, 15%, 20%, and 25%. The types of tests carried out include specific gravity, moisture content, sieve analysis, Atterberg limit, Proctor standard, and California Bearing Ratio (CBR).

Referring to the results of laboratory tests, the addition of Mortar Foam has a positive effect on the bearing capacity of the soil. The higher the percentage of Foam Mortar added, the better the mechanical properties of the soil, as indicated by an increase in the bearing capacity of the soil. The results of the unsoaked CBR test on samples of original soil and soil with various percentages of Foam Mortar (0%, 10%, 15%, 20%, and 25%) shows a gradual increase in the unsoaked CBR value, namely 5.6%, 13.1%, 13.4%, 14.3%, and reaching 15.5% in a 25% Foam Mortar mixture.

Keywords: *Foam Mortar; CBR; Soil Classification; Clay, Soil Carrying Capacity; Soil Stability*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

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

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

Tanah lunak subgrade pada konstruksi jalan akan menimbulkan permasalahan jika tidak dilakukan perbaikan terhadap daya dukungnya. Karena daya dukung yang baik subgrade akan dapat memikul beban yang terdapat diatasnya. Perilaku timbunan terhadap beban yang diterimanya akan mempunyai pengaruh terhadap penurunan. Kondisi penurunan pada subgrade juga dipengaruhi keadaan cuaca disekitarnya, yang kadang kala terjadi genangan air (banjir). Alternatif yang dilakukan antara lain dengan melakukan perkuatan terhadap tanah lunak subgrade. Salah satunya dengan menambahkan lapisan perkuatan mortar busa.

Mortar busa adalah material ringan yang terdiri dari campuran semen, pasir dan *foam* dengan densitas 0,8 Mpa untuk lapisan bawah dan *subgrade*. (Pratikso & Maizir, H., 2024) Tanah di Kabupaten Semarang sebagian besar berjenis lempung, termasuk di Desa Sekaran, Kecamatan Gunung Pati. Hal ini kerap menjadi salah satu faktor penyebab kerusakan jalan raya di daerah Semarang. Kerusakan yang ada termasuk jalan retak sampai lubang besar meski perbaikan jalan telah dilakukan baru – baru ini. *Clay* mempunyai daya dukung tanah yang rendah ini perlu diberi perlakuan khusus untuk meningkatkan kapasitas kemampuan dukung tanah tersebut (Andiyarto, 2015). Ini mendorong kami untuk melakukan penelitian tentang efek mortar busa yang dicampur dengan tanah di Desa Sekaran, Kec. Gunung Pati, Kab. Semarang, Jawa Tengah.

Dalam penelitian ini, mortar busa akan digunakan sebagai material campuran (*stabilisator*) dalam meningkatkan karakteristik dan karakteristik tanah pada lempung lunak. Berdasarkan penjelasan tersebut, kami akan melakukan penelitian tentang **Penambahan Mortar Busa Untuk Meningkatkan CBR Tanah Lempung Lunak**.

1.2. Rumusan masalah

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

1. Bagaimana karakteristik tanah asli di Desa Sekaran, Kec. Gunung Pati, Kab. Semarang Jawa Tengah?
2. Bagaimana karakteristik tanah yang di campur dengan mortar busa?
3. Berapa nilai hasil uji CBR (*California Bearing Ratio*) tanah asli serta tanah yang telah dicampurkan dengan mortar busa?

1.3. Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisa karakteristik sampel tanah asli yang dipilih dari Desa Sekaran, Kec. Gunung Pati, Kab. Semarang, Jawa Tengah.
2. Mengetahui pengaruh campuran bahan mortar busa terhadap karakteristik tanah yang diambil.

3. Menentukan persentase hasil uji CBR pada tanah asli serta tanah yang telah dicampur dengan mortar busa.

1.4. Batasan Masalah

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

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

1.5. Manfaat penelitian

Manfaat yang didapat daripada penelitian ini yaitu:

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

1.6. Keaslian Kajian

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

1.7. Sistematika Penulisan

Struktur penyusunan dalam Tugas Akhir ini disajikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

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

BAB V HASIL PENUTUP

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

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Tanah

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

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

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

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

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

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

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

2.2. Tanah Lempung Lunak

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

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

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

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

2.3. Material Penyusun Tanah

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

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

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

2.4. Klasifikasi Tanah

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

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

USCS berdasarkan ASTM D 2487, digunakan dalam bidang teknik untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan ukuran partikel, ukuran butiran, dan tingkat plastisitasnya. Sistem ini pertama kali dikembangkan oleh Casagrande pada tahun 1942 untuk mendukung konstruksi lapangan terbang oleh Korps Zeni Angkatan Darat selama Perang Dunia II. Kemudian, pada tahun 1952, sistem ini mengalami penyempurnaan oleh Kantor Rekonstruksi Amerika Serikat. Saat ini, USCS banyak diterapkan oleh para insinyur di berbagai negara, termasuk Indonesia, yang telah mengadaptasi standar ASTM D 2487 ke dalam SNI 03-6371-2000 (Mulyono, 2022). Sistem ini mengelompokkan tanah menjadi 2 (dua) kategori utama, yaitu:

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

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

Tabel 2.1. Simbol USCS

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

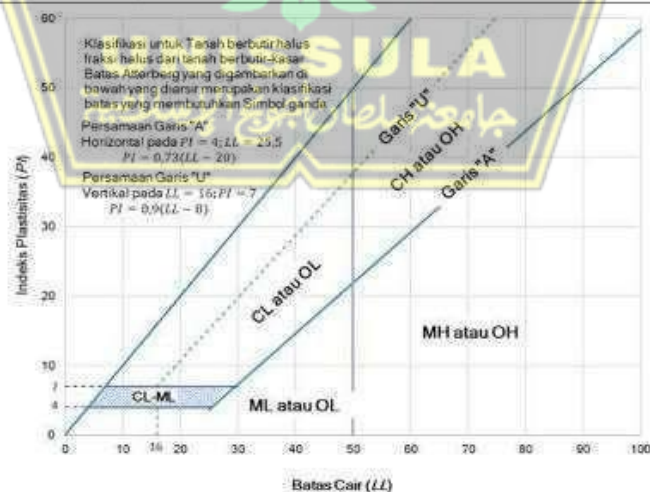
(Sumber : DAS, 1995)

Tabel 2.2. Klasifikasi Tanah

Kriteria untuk menetapkan Simbol-Simbol dan Nama-nama grup menggunakan pengujian Laboratorium ^a				Klasifikasi Tanah	
				Simbol	Nama Grup ^b
TANAH BERBUTIR KASAR	Kerikil	Kerikil bersih	$C_u \geq 4$ dan $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW	Kerikil bergradasi baik ^d
Lebih Dari 50% Material Tertahan Pada Saringan No. 200 (0,075 mm)	Lebih Dari 50% Material Tertahan Pada Saringan No. 4 (4,75 mm)	Butiran halus < 5% ^e	$C_u < 4$ dan/atau $1 \leq C_c \leq 3^c$	GP	Kerikil bergradasi jelek ^d
		Kerikil dengan butir halus $\leq 12\%$	Butiran halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH	GM	Kerikil kelanauan (<i>silty gravel</i>) ^{e,f,g}
		Kerikil dengan butir halus $> 12\%$ ^e	Butiran halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH	SC	Kerikil lempungan (<i>clayey gravel</i>) ^{e,f,g}
	Pasir	Pasir bersih	$C_u \geq 6$ dan $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW	Pasir bergradasi baik ^h
	Lebih Dari 50% Material Lolos Pada Saringan No. 4 (4,75 mm)	Butiran halus < 5% ⁱ	$C_u < 6$ dan/atau $1 \leq C_c \leq 3^c$	SP	Pasir bergradasi jelek ^h
		Pasir dengan butir halus $\leq 12\%$ ⁱ	Butiran halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH	SM	Pasir kelanauan (<i>silty sand</i>) ^{e,i,j,h}
		Kerikil dengan butir halus $> 12\%$ ⁱ	Butiran halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH	SC	Pasir lempungan (<i>clayey sand</i>) ^{e,i,j,h}
TANAH BERBUTIR HALUS	Lempungan Lempung Batas cair < 50	Non-Organik	$PI > 7$, saat di Plot pada/atau di atas garis "A" ^j	CL	Lempung kurus ^{KLM}
		Non-Organik	$PI < 4$, saat di Plot di bawah garis "A" ^j	ML	Lanau ^{KLM}
		Organik	Batas cair - kering $< 0,75$ Batas cair - Tidak kering oven	OL	Lempung organik ^{KLM,O} Lanau Organik ^{KLM,O}
	Lempungan Lempung Batas cair ≥ 50	Non-Organik	PI saat di Plot pada/atau di atas garis "A" ^j	CH	Lempung gemuk ^{KLM}
		Non-Organik	PI saat di Plot di bawah garis "A" ^j	MH	Lanau elastis ^{KLM}
		Organik	Batas cair - kering $< 0,75$ Batas cair - Tidak kering oven	OH	Lempung organik ^{KLM,O} Lanau organik ^{KLM,O}
TANAH ORGANIK YANG TINGGI	Secara primer terdiri dari zat-zat organik, berwarna gelap dan berbau organik (<i>organic odor</i>)			PT	Gambut

(Sumber : DAS, 1995)

Sumber: (ASTM D 2487)



Gambar 2.1. Bagan Plastisitas

(Sumber : DAS, 1995)

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

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

Tabel 2.3. Kelompok Klasifikasi AASHTO

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

(Sumber :DAS, 1995)

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

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

Sumber: (Samtani & Nowatski, 2006)

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

(Sumber :DAS, 1995)

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

1. Ukuran partikel-partikel tanah

- a) Kerikil : Bagian yang melewati ayakan 75 mm (3 in) tertahan di ayakan No. 10. (2mm).
- b) Pasir : Fraksi yang melewati ayakan No. 10 (2 mm) dan disimpan dalam saringan No. 200 (0,075 mm).
- c) Lumpur dan Lanau : fraksi yang lolos ayakan no.200.

2. Plastisitas: Jika indeks plastisitas tanah yang baik yaitu ≤ 10 , maka tanah tersebut disebut tanah ber lumpur. tanah lempung yang mempengaruhi tanah berbutir halus mempunyai indeks plastis 11 atau lebih tinggi.

3. Batu besar (*boulder*) dan kerikil (*cobbles*) yang lebih besar dari 75 mm wajib dibedakan dari sampel tanah yang akan diklasifikasikan.

2.5. Sifat Fisik Tanah

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

2.5.1. Kadar Air (w)

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

Kadar air dihitung dengan rumus:

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

Keterangan:

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

2.5.2. Berat Jenis Tanah (Gs)

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

Rumus berat jenis tanah (Gs) adalah:

$$G_s = \frac{P_s}{P_w} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

- G_s = Berat Jenis Tanah (tanpa satuan, karna perbandingan massa dua jenis)
- P_s = Massa jenis partikel tanah (dalam satuan g/cm^3)
- P_w = Massa jenis air pada suhu 4°C (1 g/cm^3).

2.5.3. Analisa Saringan

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

a. Analisa Ayakan (*Grain Size*)

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

Prosedur perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Berat spesimen sebelum dicuci = A gram
2. Berat spesimen setelah dicuci = B gram
 Berat lumpur = berat spesimen yang lolos saringan no. 200 $A - B$
3. Volume Berat tanah yang tertahan pada saringan ukuran $\varnothing 4,76 \text{ mm}$ hingga $\varnothing 0,075 \text{ mm}$ = C gram

kehilangan volume = B – C gram

4. Kadar Lumpur dengan α = berat tanah yang tertahan pada alas saringan

5. Persentase tanah yang tertahan = $\frac{\text{berat sampel yang tertinggal}}{A} \times 100\%$

6. Kumulatif persentase tanah yang tertahan

= Jumlah + persentase tanah di atasnya

7. Persentase finer (lolos) = (100% – kumulatif persentase tanah tanah yang tertahan)

b. Analisa Hidrometer

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

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

$$\text{Presentase butiran } N = \frac{\text{Setelah pembacaan}}{\text{Jumlah selisih pembacaan}} \times \text{Kadar Lumpur}$$

Dengan Ketentuan:

KL = nilai kadar lumpur (berat lumpur)

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

t = waktu dalam detik

Z = 24 - α (0,2)

α = jumlah strip pada setiap pembacaan

2.5.4. Batas – batas *Atterberg*

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

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

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

tanah memiliki kekuatan geser paling rendah.

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

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

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

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

2.5.5. CBR (*California Bearing Ratio*)

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

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

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

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

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

$$\text{Nilai CBR} = \frac{\text{Nilai beban uji}}{\text{Nilai beban standar}} \times 100\%$$

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

2.6. Sifat Mekanika Tanah

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

2.6.1. Pemadatan Tanah

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

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

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

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

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

2.6.2. Kuat Geser Tanah

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

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

2.7. Mortar Busa

Mortar Busa ini adalah penggunaan yang optimal dari busa dan mortar berkekuatan tinggi (pasir, semen dan air), sehingga sangat ideal untuk fondasi tanah lunak atau perkerasan yang dikembangkan sebagai Pusat Jalan dan Jembatan (PUSJATAN) yang sekarang menjadi Bina Teknik Jalan dan Jembatan (BINTEK JATAN). Mortar Busa, kepadatan maksimum lapisan dasar adalah $0,8 \text{ t/m}^3$, UCS minimum adalah 2000 kg/cm^2 , dan kepadatan maksimum adalah $0,6 \text{ t/m}^3$, dan lapisan dasar bawah dengan UCS minimum 800 kPa. Mortar Busa juga memiliki sifat dapat memadat sendiri. (Wibowo Agus, 2022)



Gambar 2.2. Mortar Busa

(Sumber : dokumentasi pribadi, 2025)

2.8. Stabilisasi Tanah Menggunakan Mortar Busa

Mortar busa tersusun atas bahan – bahan agregat halus, semen, air dan *foam agent*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat tekan dan kuat tarik belah dari beton busa dengan variasi foam agent yang digunakan dan juga pengaruh dari agregat halus yang digunakan yaitu pasir abu batu. (Maria Deolinda Bere, Bertinus Simanihuruk, Hikma Dewita, 2021)

Merujuk Spesifikasi Khusus Interim Material Ringan Mortar Busa (Bina Marga, 2017), yang dimaksud dengan bahan material ringan mortar-busa adalah bahan adukan (mortar) yang merupakan campuran dari pasir, semen, air dan busa (foam) yang memiliki sifat memadat sendiri (*self compacted*) dan berfungsi sebagai bahan pengganti tanah; memiliki kekuatan tekan bebas (UCS) dan densitas kering material campuran.

Solusi penimbunan di atas tanah lunak di Indonesia sudah dilakukan dengan beberapa cara salah satunya adalah penggunaan material ringan sebagai timbunan di atas tanah lunak. Material ringan yang terdiri dari campuran pasir, air, semen, dan foaming agent merupakan salah satu alternatif solusi penimbunan di atas tanah lunak, dengan berat isi yang ringan yaitu $0,5 \text{ t/m}^3$ - $1,2 \text{ t/m}^3$ akan mengurangi tegangan tanah dasar , mengurangi besarnya penurunan dan memiliki stabilitas yang baik karena bersifat kaku seperti beton. Adapun mengetahui timbunan tersebut aman atau tidak, yaitu dengan mencari nilai *safety factor* atau faktor keamanan pada timbunan ringan tersebut . Umumnya lapisan tanah yang disebut lapisan tanah lunak

merupakan lanau (*silt*) dan lempung (*clay*). Tanah jenis ini memiliki sifat mekanik yang kurang baik. Selain itu, tanah lunak memiliki kadar air yang tinggi, kompresibilitas tinggi. (Nur Laeli, 2017)

2.9. Daya Dukung Tanah

Salah satu masalah yang kerap muncul pada tanah dasar yaitu ketidakseragaman daya dukung tanah itu sendiri plastis menjadi keadaan semi-plastis, sedangkan batas cair merupakan kadar air minimum yang menyebabkan tanah berubah dari keadaan plastis menjadi keadaan cair. (Utami et al., 2021)

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

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

2.10. Penelitian Sebelumnya yang Serupa

Tabel 2.5. Penelitian sebelumnya yang serupa

No.	Judul Penelitian		
1.	Analisis Perbaikan Timbunan Jalan di Atas Tanah Lunak Menggunakan Material Timbunan Ringan Mortar Busa.		
	Peneliti	1	Alfiady Reza Permana Putuarga, 2024
		2	Indrasurya B. Mochtar, 2024
		3	Dedy Mandarsyah, 2024
	Sumber	Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya (tesis S2)	
	Hasil	Lokasi studi di ruas Jalan Calang – Simpang Peut, Aceh, pada tanah gambut lunak. Penambahan lapisan mortar busa (tebal 0,5 m hingga 1,5 m) meningkatkan faktor keamanan sebesar 8,7 %–15,0 % dan mengurangi penurunan timbunan hingga 60 %–96 % tergantung ketebalan dan kemiringan lereng. Ketebalan optimal: 1,50 m pada lereng eksisting; biaya sekitar Rp 33,3 miliar/km.	
2.	Analisis Penurunan Subgrade Tanah Lunak Menggunakan Perkuatan Mortar Foam dengan Metode Numerik.		
	Peneliti	1	Ulfa Jusi, 2024
		2	Pratikso Pratikso, 2024
		3	Harnedi Maizir, 2024
Sumber	Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru & Universitas Islam Sultan Agung Semarang.		
Hasil	Simulasi Plaxis 2D memperlihatkan jika mortar busa setebal 20 cm diaplikasikan, penurunan subgrade (tanah lunak) terendah tercatat pada kondisi kering: $\pm 0,961$ mm; tergenang: $\pm 0,988$ mm. Perbedaan hanya sekitar 2,7 %, dan hasil penurunan tetap memenuhi standar (< 20 mm). Mortar busa terbukti secara signifikan mengurangi settlement pada subgrade jalan.		

3.	Analisis Perbaikan Timbunan Jalan di Atas Tanah Lunak Menggunakan Material Timbunan Ringan Mortar Busa.		
	Peneliti	1.	Alfiady Reza Permana Putuarga, 2024
	Sumber	Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya (tesis S2)	
	Hasil	Lokasi studi di ruas Jalan Calang – Simpang Peut, Aceh, pada tanah gambut lunak. Penambahan lapisan mortar busa (tebal 0,5 m hingga 1,5 m) meningkatkan faktor keamanan sebesar 8,7 %–15,0 % dan mengurangi penurunan timbunan hingga 60 %–96 % tergantung ketebalan dan kemiringan lereng. Ketebalan optimal: 1,50 m pada lereng eksisting; biaya sekitar Rp 33,3 miliar/km.	
4.	Evaluasi Stabilitas dan Penurunan antara Timbunan Ringan Mortar Busa Dibandingkan dengan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan, Bandung		
	Peneliti	1.	Hamdan Antamini, 2018
		2.	Benny Moestofa, 2018
	Sumber	Politeknik Negeri Jakarta	
	Hasil	Penggunaan timbunan ringan menghasilkan nilai penurunan sebesar 3,53 cm dan faktor keamanan (FK) 2,74, sedangkan untuk timbunan pilihan nilai penurunannya sebesar 13,79 cm dengan faktor keamanan (FK) 1,36. Akhirnya dapat disimpulkan bahwa penggunaan timbunan ringan di atas tanah lunak akan menghasilkan penurunan lebih kecil (50,36%) dibandingkan dengan timbunan pilihan.	

5.	<i>The Settlement Behavior Using Replacement Embankment with Mortar Foam and Geofoam using LISA FEA.</i>		
	Peneliti	1.	Aco Wahyudi Efendi, 2023
	Sumber	<i>Nusantara Civil Engineering Journal</i> , Vol.2 No. 2 (Balikpapan).	
	Hasil	Studi numerik dengan LISA FEA membandingkan mortar foam dan geofoam untuk menggantikan timbunan. Settlement material mortar foam sekitar 0,0961 m, lebih besar dari geofoam tetapi lebih kecil tekanan benefisial pada tanah asli dibanding sistem eksisting. Memberi wawasan bahwa mortar busa berpotensi sebagai opsi stabilisasi ringan dibanding timbunan tradisional.	



BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Subjek Penelitian

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



Gambar 3.1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Tanah
di Desa Sekaran, Kec. Gunung Pati, Kab. Semarang, Jawa Tengah.
(Sumber : Google Earth, 2025)

3.2. Desain Penelitian

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

3.3. Metode Penelitian

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

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

3.4. Alat (Instrumen) dan Bahan

3.4.1. Menyiapkan Alat

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

- Kadar Air

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

Alat yang dipakai:

1. Neraca
2. Cawan
3. Oven dengan suhu 105° - 110° C

- Berat Jenis Tanah (Gs)

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

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

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

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

Peralatan yang dipergunakan dalam praktikum :

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

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

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

Metode penggambaran dan perhitungan.

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

Dengan α : berat tanah yang tersisa pada dasar saringan.

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

- *Atterberg Limits* (Batas-batas Konsistensi)

- a. Batas Cair (*Liquid Limit*)

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

Peralatan yang dipergunakan dalam praktikum ini:

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

Prosedur Pengujian Batas Cair (*Liquid Limit*):

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

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

Ambil sampel dari setiap percobaan untuk dianalisis kadar airnya.

- *Direct Shear*

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

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

Prosedur pengujian *direct shear*, yaitu :

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

- *Proctor Standart*

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

Pada praktikum ini, alat yang digunakan mencakup sebagai berikut :

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

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

Alat yang dipergunakan pada praktikum ini:

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

3.4.2. Menyiapkan Bahan

Berikut ini merupakan bahan-bahan yang digubakan dalam penelitian :

- Tanah

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

- Air

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

- Mortar Busa

Mortar Busa yang dipergunakan sebagai material stabilisasi pada penelitian Tugas Akhir ini diperoleh dari.

Tabel 3.1. Mix Design

Kode	Mix Design	Berat Tanah	Berat Mortar Foam
A0	Tanah Asli + 0% MB	100 %	0 %
A10	Tanah Asli 90% + 10% MB	90 %	10 %
A15	Tanah Asli 85% + 15% MB	85 %	15 %
A20	Tanah Asli 80% + 20% MB	80 %	20 %
A25	Tanah Asli 75% + 25% MB	75 %	25 %

3.5. Teknik Pengumpulan Data

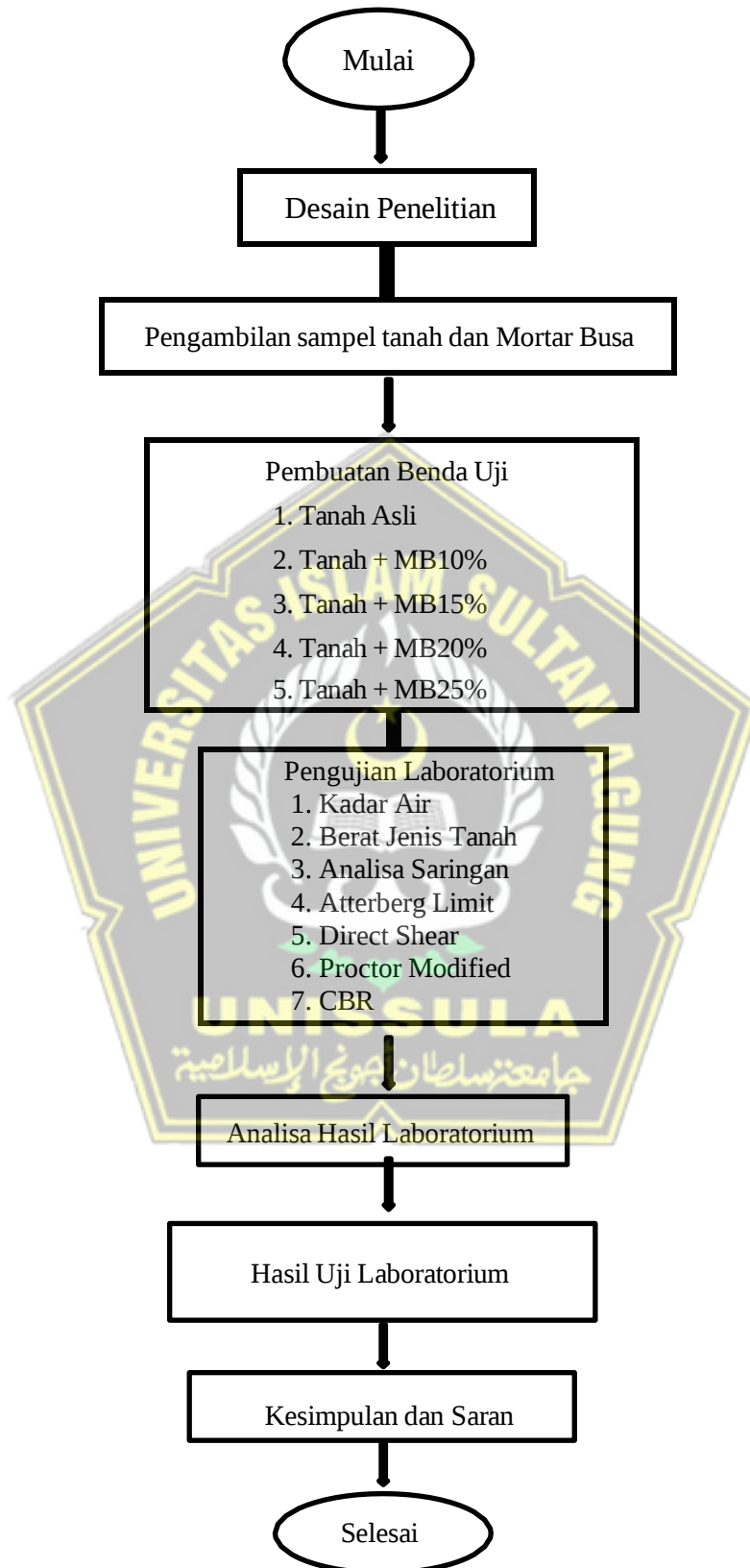
Data primer dan sekunder adalah dua metode yang dipergunakan dalam penelitian ini. Data primer didapat melalui observasi langsung, pengujian laboratorium, serta wawancara dengan pihak terkait. Sementara itu, data sekunder dikumpulkan dari berbagai literatur yang berisi informasi ilmiah mengenai Penambahan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

3.6. Teknik Analisis Data

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

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

3.7. Bagan Alur



Gambar 3.2 Bagan Alur Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Tugas akhir ini menganalisa tanah lempung yang distabilisasi dengan Mortar Busa. Sampel tanah lempung diambil di Desa Sekaran Gunungpati, Kabupaten Semarang., Jawa Tengah. Metode studi yang digunakan Tugas Akhir ini eksperimen (pengujian) yang lakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik UNISSULA. Dari data tersebut dapat di analisis sifat-sifat tanah yang distabilisasi dengan penambahan Mortar Busa. Kemudian data tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh daya dukung tanah yang distabilisasi (dicampurkan) dengan Mortar Busa dengan variasi 10%, 15%, 20%, 25% (bisa dilihat di **Tabel 3.1**).

4.2 *Physical Properties* Tanah Asli

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

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Tanah Asli

Sifat	Nilai	Satuan
Spesific Gravity (GS)	2,611	
Batas Cair (LL)	51,32	%
Batas Plastis (PL)	21,26	%
Indeks Plastisitas (IP)	30,07	%
Persenan Butiran Tanah Lolos Saringan No. 200	80	%
Kadar Air Optimum (w_{opt})	20	%
Berat Volume Kering Maksimum ($\gamma_{d\ max}$)	0,39	kN/m ³
Kohesi (c)	0.065	Kg/cm ²
Sudut Geser Dalam (ϕ)	18,58	(°)
Nilai CBR	4,1	%

Berdasarkan **Tabel 4.1** dan **Tabel 4.2** diatas dapat dijelaskan tanah asli merupakan tanah lempung lunak, bisa dilihat dari hasil persenan butiran tanah lolos saringan No. 200 sekitar 80%, nilai sudut geser (ϕ) 18,58%, dan nilai CBR 4,1%.

4.3 Analisa Stabilisasi dengan Mortar Busa di Laboratorium

Setelah didapatkan *Physical Properties*, maka tanah asli selanjutnya dilakukan stabilisasi dengan Mortar Busa di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik UNISSULA dengan beberapa metode berikut

4.3.1 Grain Size

a. Hidrometer Analysis

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

Tabel 4. 2 Nilai Perhitungan *Hidrometer Analysis* Tanah Asli

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentase Kumulatif (%)	Percent Finer (%)
0	47	0	24	0.00412	0.0	0.00	85.01
1/4	40	7	22.6	0.00400	12.7	12.66	72.34
1/2	37	3	23.4	0.00288	5.4	18.09	66.92
1	35	2	23.6	0.00204	3.6	21.70	63.30
2	34	1	23.8	0.00145	1.8	23.51	61.49
5	30	4	23.2	0.00091	7.2	30.75	54.26
10	24	6	22.8	0.00063	10.9	41.60	43.41
45	20	4	23.2	0.00052	7.2	48.83	36.17
75	15	5	23	0.00023	9.0	57.88	27.13
90	0	15	21	0.00020	27.1	85.01	0.00
120	0	0	24	0.00019	0.0	85.01	0.00
		47					

Tabel 4. 3 Nilai Perhitungan *Hidrometer Analysis* Tanah Campuran MB 10%

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentase Komulatif (%)	Percent Finer (%)
0	40	0	24	0.00412	0.0	0.00	70.37
1/4	37	3	23.4	0.00407	5.3	5.28	65.09
1/2	35	2	23.6	0.00289	3.5	8.80	61.57
1	32	3	23.4	0.00203	5.3	14.07	56.30
2	22	10	22	0.00139	17.6	31.67	38.70
5	20	2	23.6	0.00091	3.5	35.19	35.19
10	16	4	23.2	0.00064	7.0	42.22	28.15
45	10	6	22.8	0.00052	10.6	52.78	17.59
75	9	1	23.8	0.00024	1.8	54.54	15.83
90	8	1	23.8	0.00022	1.8	56.30	14.07
120	7	1	23.8	0.00019	1.8	58.06	12.31
		32					

Tabel 4. 4 Nilai Perhitungan *Hidrometer Analysis* Tanah Campuran MB 15%

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentase Komulatif (%)	Percent Finer (%)
0	60	0	24	0.00412	0.0	0.00	67.65
1/4	58	2	23.6	0.00408	2.3	2.26	65.40
1/2	47	11	21.8	0.00278	12.4	14.66	52.99
1	45	2	23.6	0.00204	2.3	16.91	50.74
2	28	17	20.6	0.00135	19.2	36.08	31.57
5	26	2	23.6	0.00091	2.3	38.34	29.32
10	18	8	22.4	0.00063	9.0	47.36	20.30
45	10	8	22.4	0.00051	9.0	56.38	11.28
75	4	6	22.8	0.00023	6.8	63.14	4.51
90	0	4	23.2	0.00021	4.5	67.65	0.00
120	0	0	24	0.00019	0.0	67.65	0.00
		60					

Tabel 4. 5 Nilai Perhitungan *Hidrometer Analysis* Tanah Campuran MB 20%

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentase Komulatif (%)	Percent Finer (%)
0	58	0	24	0.00412	0.0	0.00	62.52
1/4	56	2	23.6	0.00408	2.2	2.16	60.36
1/2	55	1	23.8	0.00290	1.1	3.23	59.28
1	45	10	22	0.00197	10.8	14.01	48.50
2	35	10	22	0.00139	10.8	24.79	37.72
5	30	5	23	0.00090	5.4	30.18	32.34
10	21	9	22.2	0.00063	9.7	39.88	22.63
45	13	8	22.4	0.00051	8.6	48.50	14.01
75	3	10	22	0.00023	10.8	59.28	3.23
90	0	3	23.4	0.00021	3.2	62.52	0.00
120	0	0	24	0.00019	0.0	62.52	0.00
		58					

Tabel 4. 6 Nilai Perhitungan *Hidrometer Analysis* Tanah Campuran MB 25%

Waktu (menit)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentase Komulatif (%)	Percent Finer (%)
0	58	0	24	0.00412	0.0	0.00	61.32
1/4	56	2	23.6	0.00408	2.1	2.11	59.21
1/2	55	1	23.8	0.00290	1.1	3.17	58.15
1	45	10	22	0.00197	10.6	13.74	47.58
2	35	10	22	0.00139	10.6	24.32	37.00
5	30	5	23	0.00090	5.3	29.60	31.72
10	21	9	22.2	0.00063	9.5	39.12	22.20
45	13	8	22.4	0.00051	8.5	47.58	13.74
75	3	10	22	0.00023	10.6	58.15	3.17
90	0	3	23.4	0.00021	3.2	61.32	0.00
120	0	0	24	0.00019	0.0	61.32	0.00
		58					

b. *Sieve Analysis*

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

Tabel 4. 7 Nilai Perhitungan *Sieve Analysis* Tanah Asli

Diameter saringan	No. Cawan	Brt. Cawan (gr)	Brt.Sampel+cwn yg tertinggal dalam saringan (gr)	Brt.Sampel yang tertinggal dalam saringan (gr)	Presentase sampel yang tertinggal (%)	Kumulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	A	4.09	4.09	0.00	0.00	0.00	100.00
2,000	B	4.01	4.01	0.00	0.00	0.00	100.00
0,850	C	4.08	18.02	13.94	6.97	6.97	93.03
0,425	D	4.40	8.34	3.94	1.97	8.94	91.06
0,250	E	8.12	10.56	2.44	1.22	10.16	89.84
0,180	F	4.12	5.93	1.81	0.91	11.07	88.94
0,150	G	4.01	5.84	1.83	0.92	11.98	88.02
0,075	H	4.19	10.22	6.03	3.02	15.00	85.01
0,000	I	4.16	149.17	170.01	85.01	100.00	0.00
				200.00	100.00		

Tabel 4. 8 Nilai Perhitungan *Sieve Analysis* Tanah Campuran MB 10%

Diameter saringan	No. Cawan	Brt. Cawan (gr)	Brt.Sampel+cwn yg tertinggal dalam saringan (gr)	Brt.Sampel yang tertinggal dalam saringan (gr)	Presentase sampel yang tertinggal (%)	Komulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	A	4.09	4.12	4.12	0.00	0.00	0.00
2,000	B	4.01	4.11	4.11	0.00	0.00	0.00
0,850	C	4.08	4.06	14.19	10.13	5.07	5.07
0,425	D	4.40	4.08	14.23	10.15	5.08	10.14
0,250	E	8.12	4.41	14.64	10.23	5.12	15.26
0,180	F	4.12	4.12	14.63	10.51	5.26	20.51
0,150	G	4.01	4.07	14.31	10.24	5.12	25.63
0,075	H	4.19	4.16	12.16	8.00	4.00	29.63
0,000	I	4.16	4.05	144.79	140.74	70.37	100.00
				200.00	100.00		

Tabel 4. 9 Nilai Perhitungan *Sieve Analysis* Tanah Campuran MB 15%

Diameter saringan	No. Cawan	Brt. Cawan (gr)	Brt.Sampel+cwn yg tertinggal dlm saringan (gr)	Brt.Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Presentase sampel yg tertinggal (%)	Komulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	A	4.12	4.12	0.00	0.00	0.00	100.00
2,000	B	4.17	4.17	0.00	0.00	0.00	100.00
0,850	C	4.19	8.46	4.27	2.14	2.14	97.87
0,425	D	4.19	18.03	13.84	6.92	9.06	90.95
0,250	E	4.31	13.47	9.16	4.58	13.64	86.37
0,180	F	3.80	12.75	8.95	4.48	18.11	81.89
0,150	G	4.11	16.86	12.75	6.38	24.49	75.52
0,075	H	5.59	21.32	15.73	7.87	32.35	67.65
0,000	I	4.41	139.71	135.30	67.65	100.00	0.00
				200.00	100.00		

Tabel 4. 10 Nilai Perhitungan *Sieve Analysis* Tanah Campuran MB 20%

Diameter saringan	No. Cawan	Brt. Cawan (gr)	Brt.Sampel+cwn yg tertinggal dlm saringan (gr)	Brt.Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Presentase sampel yg tertinggal (%)	Kumulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	A	4.12	4.12	4.12	0.00	0.00	0.00
2,000	B	4.02	4.02	5.12	1.10	0.55	0.55
0,850	C	4.25	4.25	14.08	9.83	4.92	5.47
0,425	D	4.15	4.15	13.11	8.96	4.48	9.95
0,250	E	4.25	4.25	13.08	8.83	4.42	14.36
0,180	F	4.26	4.26	24.36	20.10	10.05	24.41
0,150	G	4.06	4.06	8.62	4.56	2.28	26.69
0,075	H	3.87	3.87	25.46	21.59	10.80	37.49
0,000	I	4.63	4.63	129.66	125.03	62.52	100.00
				200.00	100.00		

Tabel 4. 11 Nilai Perhitungan *Sieve Analysis* Tanah Campuran MB 25%

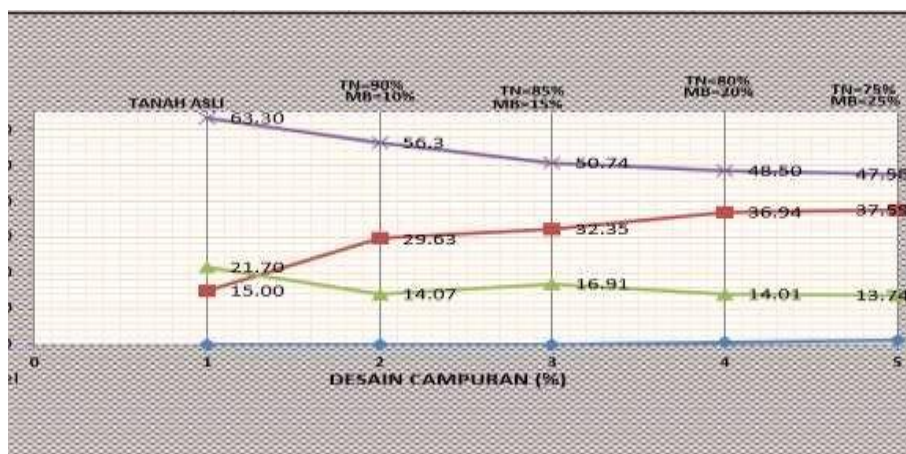
Diameter saringan	No. Cawan	Brt. Cawan (gr)	Brt.Sampel+cwn yg tertinggal dlm saringan (gr)	Brt.Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Presentase sampel yg tertinggal (%)	Kumulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	A	4.12	4.12	0.00	0.00	0.00	100.00
2,000	B	4.02	6.21	2.19	1.10	1.10	98.91
0,850	C	4.25	14.08	9.83	4.92	6.01	93.99
0,425	D	4.15	13.11	8.96	4.48	10.49	89.51
0,250	E	4.25	13.08	8.83	4.42	14.91	85.10
0,180	F	4.26	24.36	20.10	10.05	24.96	75.05
0,150	G	4.06	8.62	4.56	2.28	27.24	72.77
0,075	H	3.87	26.76	22.89	11.45	38.68	61.32
0,000	I	4.63	127.27	122.64	61.32	100.00	0.00
				200.00	100.00		

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

Tabel 4. 12 Hasil *Grain Size*

No.	Sampel	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Gravel (%)
1	Tanah Asli	63,30	21,70	15,00	0,00
2	Tanah Campuran MB 10%	56,30	14,07	29,63	0,00
3	Tanah Campuran MB 15%	50,74	16,91	32,35	0,00
4	Tanah Campuran MB 20%	48,50	14,01	36,94	0,55
5	Tanah Campuran MB 25%	47,58	13,74	37,59	1,10

Dari tabel diatas menunjukkan data perubahan dari setiap campuran dan untuk campuran menunjukkan nilai yang berbeda disebabkan pada proses pencampuran presentase gravelnya lebih sedikit dari campuran yang lain sehingga terjadi penurunan. Dari tabel tersebut dapat diperoleh grafik gradasi butiran seperti pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4. 1 Grafik Gradasi Butiran

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

4.3.2 Atterberg Limits

a. Batas Cair

Kadar air dalam tanah diukur melalui pengujian batas attertberg, yang merupakan batas antara keadaan cair dan plastis. Analisis hasil perhitungan data *liquid limit*

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

$$w = \frac{45,47-30,75}{30,75-4,17} \times 100\%$$

$$w = 55,37\%$$

Tabel 4. 13 Nilai Perhitungan Batas Cair

Sampel	Jumlah Ketukan	No. Cawan	Berat Cawan (gr) (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (gr) (b)	Berat Cawan + Tanah Kering (gr) (c)	w (%)	LL (%)
Tanah Asli 100%	11	1	4,17	45,47	30,75	55,38	51,32
	25	2	4,13	49,89	34,28	51,77	
	39	3	4,13	45,51	32,14	47,73	
	78	4	6,32	45,43	32,94	46,92	
Tanah Campuran MB 10%	10	1	4,31	67,41	45,47	53,30	48,76
	12	2	4,12	46,88	32,70	49,62	
	35	3	4,28	49,31	34,74	47,83	
	60	4	4,06	50,53	35,94	45,77	

Tanah Campuran MB 15%	15	1	4,05	42,17	18,23	49,78	46,97
	21	2	4,12	50,89	26,00	46,80	
	50	3	4,02	46,39	22,12	44,66	
	75	4	4,11	44,83	25,67	41,73	
Tanah Campuran MB 20%	15	1	4,12	44,97	32,27	45,12	42,09
	22	2	4,20	40,61	29,68	42,90	
	40	3	4,12	43,65	32,32	40,18	
	60	4	4,12	51,63	38,17	39,53	
Tanah Campuran MB 25%	15	1	4,20	43,17	31,57	42,38	40,31
	25	2	4,11	40,10	29,68	40,79	
	41	3	4,05	42,55	32,12	37,16	
	60	4	4,06	49,85	36,24	35,19	

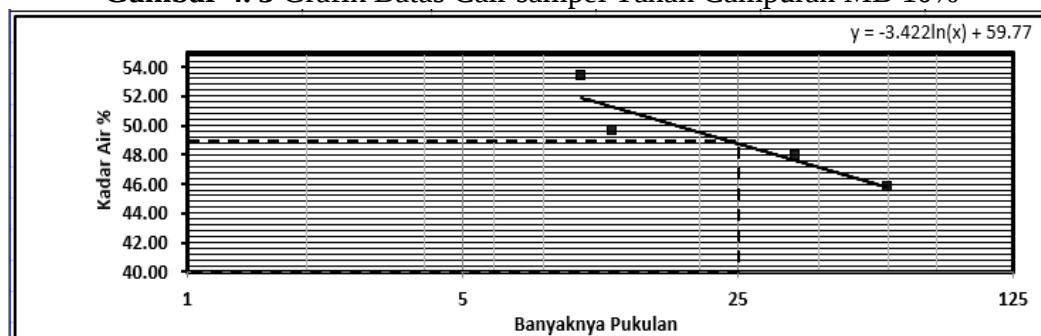
Berdasarkan hasil perhitungan batas air pada **Tabel 4.13**, maka dapat diperoleh grafik *liquid limit* untuk sampel tanah asli seperti **Gambar 4.2**.

Gambar 4. 2 Grafik Batas Cair sampel Tanah Asli



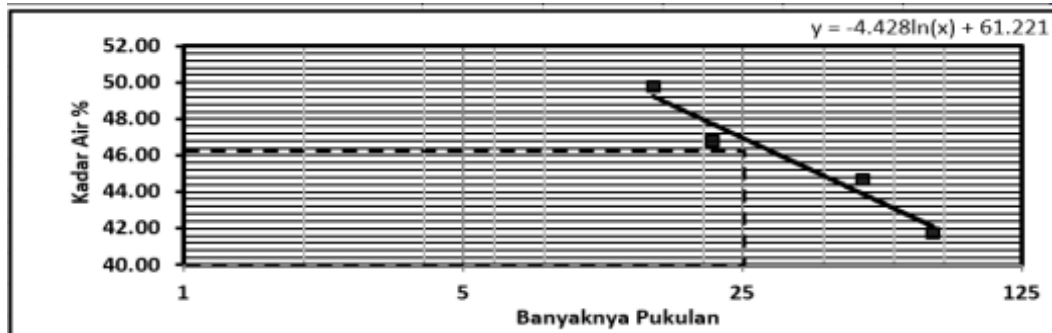
Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafik di **Gambar 4.2** adalah sebesar 51,32%.

Gambar 4. 3 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran MB 10%



Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafik di **Gambar 4.3** adalah sebesar 48,76%.

Gambar 4. 4 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran MB 15%



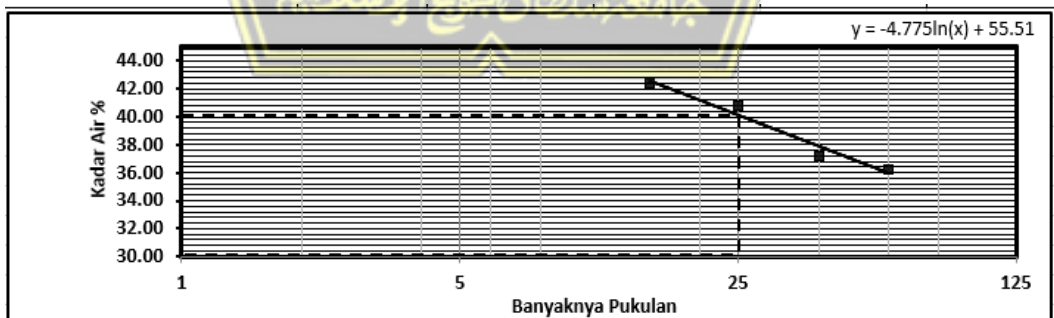
Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafik di **Gambar 4.4** adalah sebesar 46,97%.

Gambar 4. 5 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran MB 20%



Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafik di **Gambar 4.5** adalah sebesar 42,09%.

Gambar 4. 6 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran MB 25%



Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafik di **Gambar 4.6** adalah sebesar 40,31%.

b. Batas Plastis

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

Analisis hasil eksperimen data batas plastis

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

$$w = \frac{16,23-14,17}{14,17-4,48} \times 100\%$$

$$w = 21,26\%$$

Tabel 4. 14 Nilai Perhitungan Batas Plastis

Sampel	No. Cawan	Berat Cawan (gr) (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (gr) (b)	Berat Cawan + Tanah kering (gr) (c)	W (%)	PL(%)
Tanah Asli	5	4,48	16,23	14,17	21,26	30,07
Tanah Campuran MB 10%	5	4,12	15,49	13,00	28,04	20,71
Tanah Campuran MB 15%	5	4,09	17,91	14,77	29,40	17,57
Tanah Campuran MB 20%	5	4,29	12,52	10,59	30,63	11,46
Tanah Campuran MB 25%	5	4,12	12,53	10,51	31,61	8,70

Setelah diketahui batas cair dan batas plastisnya hasil perhitungan secara keseluruhan dapat dihitung nilai (*IP*) dan didapat hasil perhitungan seperti pada Tabel 4.16.

$$IP = LL - PL$$

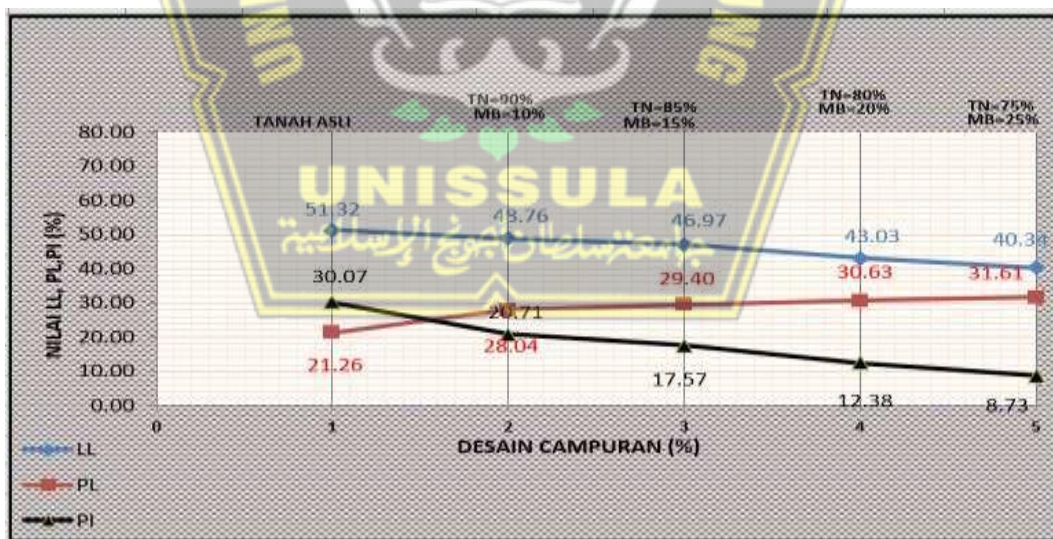
$$IP = 51,32 - 21,26$$

$$IP = 30,06\%$$

Tabel 4. 15 Hasil Indeks Plastisitas

Sampel	LL %	PL %	IP %
Tanah Asli	51.32	21.26	30.07
Tanah Campuran MB 10%	48.76	28.04	20.71
Tanah Campuran MB 15%	46.97	29.40	17.57
Tanah Campuran MB 20%	42.09	30.63	11.46
Tanah Campuran MB 25%	40.31	31.61	8.70

Gambar 4. 7 Grafik ATL Tanah Asli dan Campuran Mortar Busa



Pada **Gambar 4.7** terlihat bahwa tanah yang distabiliasi menggunakan mortar busa menunjukkan bahwa nilai IP tanah, semakin banyak diberikan campuran, nilai IP semakin menurun karena akibat dari peningkatan sifat tanah, yang berarti bahwa daya dukung tanah meningkat.

4.3.3 Direct Shear

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

Diameter ring	= 6,3 cm
Berat ring	= 0,0589 kg
Kalibrasi Proving Ring	= 0,54 kg/div
Koreksi Beban: 1 kg	= 0,97 kg
2 kg	= 1,95 kg
4 kg	= 3,90 kg

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

1. Tegangan normal (σ_n)

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

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

$$\sigma_n = \frac{\text{Berat beban} + \text{Berat ring}}{\text{Luas penampang}}$$

$$= \frac{0,97 + 0,0589}{31,156}$$

$$= 0,033 \text{ kg/cm}^2$$

2. Tegangan Geser (σ_s)

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

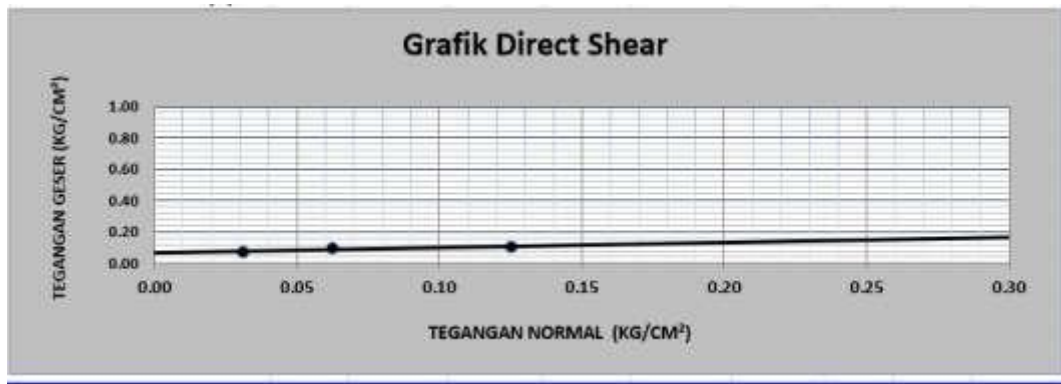
$$= \frac{29 \times 0,54}{31,156}$$

$$= 0,50 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 4. 16 Hasil Perhitungan Penembakan Langsung sampel Tanah Asli dan Campuran Mortar Busa

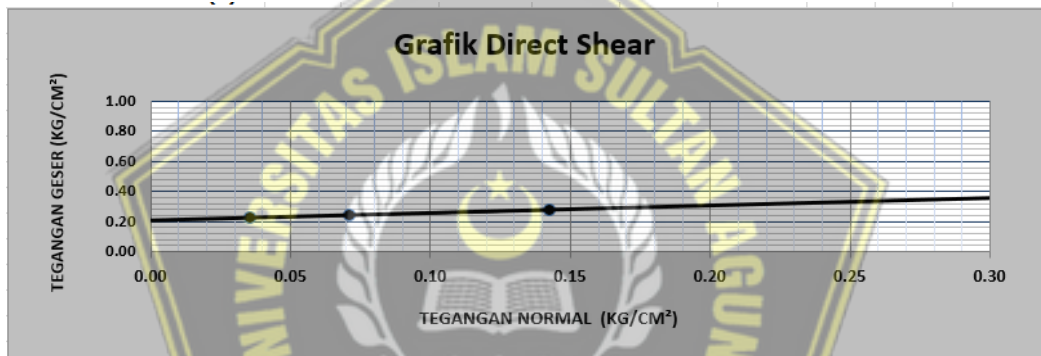
Sampel	No. Sampel	Beban (kg/cm ³)	Koreksi Beban (kg/cm ³)	Pembacaan Dial	Tegangan Normal (σ_n)	Tegangan Geser (σ_s)
Tanah Asli	1	1	0,97	4	0,0313	0,0693
	2	2	1,95	5,5	0,063	0,0953
	3	4	3,90	6	0,125	0,1040
Tanah Campuran 10%	1	1	0,98	10,5	0,0315	0,1820
	2	2	1,96	11	0,063	0,1906
	3	4	3,92	12,5	0,126	0,2166
Tanah Campuran 15%	1	1	0,90	12,5	0,0290	0,2166
	2	2	1,81	13	0,058	0,2253
	3	4	3,62	14,5	0,116	0,2513
Tanah Campuran 20%	1	1	1,11	13	0,0356	0,2253
	2	2	2,22	14	0,071	0,2426
	3	4	4,44	16	0,143	0,2773
Tanah Campuran 25%	1	1	1,05	13,5	0,0339	0,2340
	2	2	2,1	14,5	0,068	0,2513
	3	4	4,2	17	0,135	0,2946

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



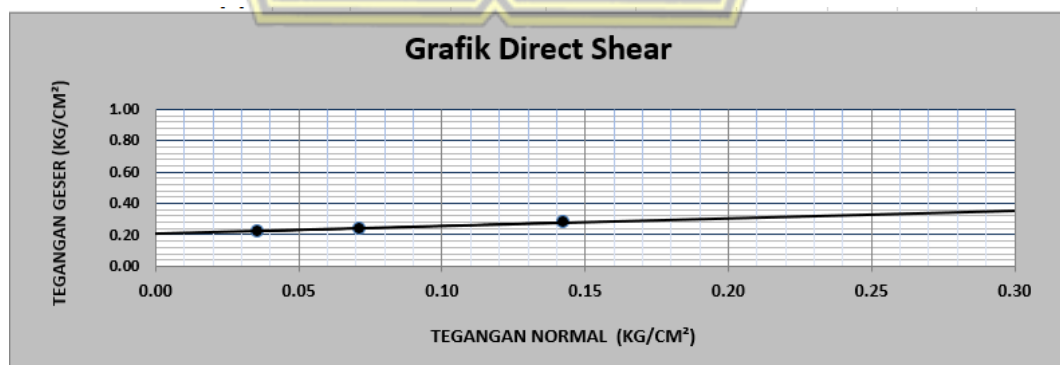
Gambar 4. 8 Grafik *Direct Shear* Tanah Asli

Berdasarkan **Gambar 4.8** grafik *Direct Shear* Tanah Asli tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,0693; 0,0953; 0,1040 dan diperoleh nilai tegangan normal 0,0313; 0,063; 0,125.



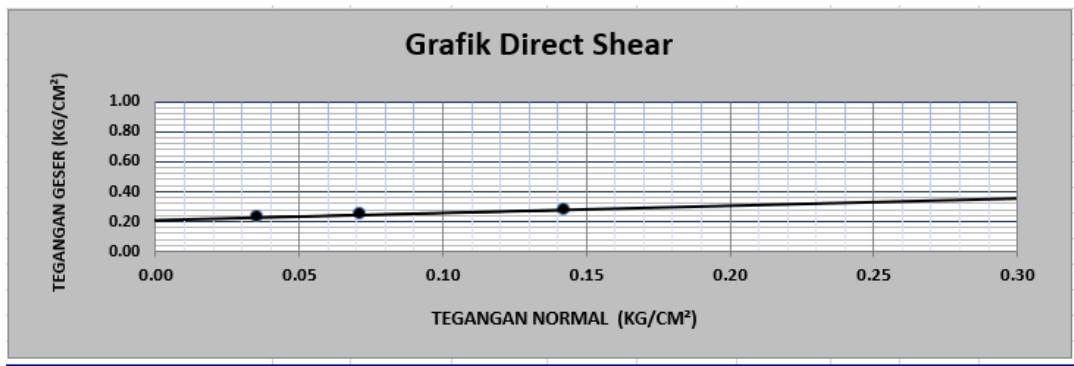
Gambar 4. 9 Grafik *Direct Shear* Tanah Campuran MB 10%

Berdasarkan **Gambar 4.9** grafik *Direct Shear* Tanah campuran 10% tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,1820; 0,1906; 0,2516 dan nilai tegangan normal 0,0315; 0,063; 0,126.



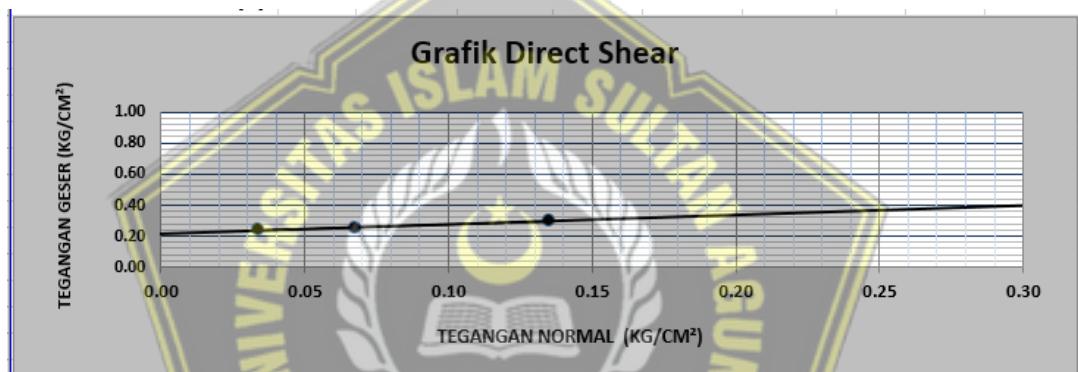
Gambar 4. 10 Grafik *Direct Shear* Tanah Campuran MB 15%

Berdasarkan **Gambar 4.10** grafik *Direct Shear* Tanah campuran 15% tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,2166; 0,2253; 0,2513 dan nilai tegangan normal 0,0290; 0,058; 0,116.



Gambar 4. 11 Grafik *Direct Shear* Tanah Campuran MB 20%

Berdasarkan **Gambar 4.11** grafik *Direct Shear* Tanah campuran 20% tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,2253; 0,2426; 0,2773 dan nilai tegangan normal 0,0356; 0,071; 0,143.



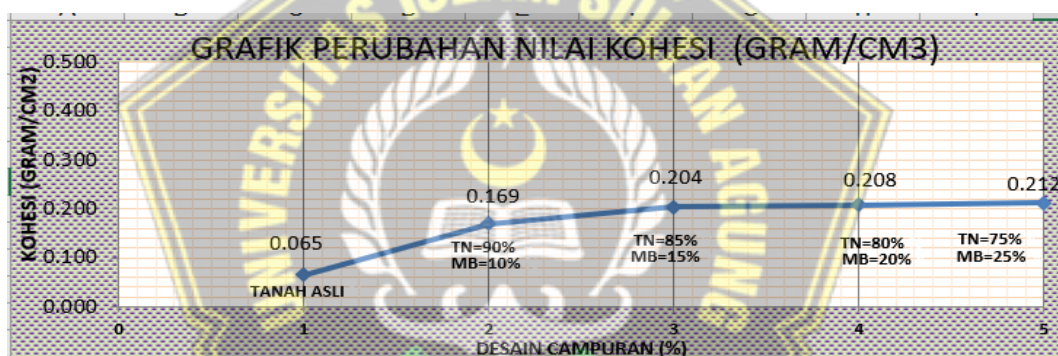
Gambar 4. 12 Grafik *Direct Shear* Tanah Campuran MB 25%

Berdasarkan **Gambar 4.12** grafik *Direct Shear* Tanah campuran 25% tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,2340; 0,2513; 0,2946 dan nilai tegangan normal 0,0356; 0,071; 0,143.

Tabel 4. 17 Hasil Penggambaran *Direct Shear*

No	Sampel	Kohesi (c) (Kg/cm ²)	Sudut Geser Dalam (ϕ)(°)
1	Tanah Asli	0,065	18,58
2	Tanah Campuran MB 10%	0,169	20,51
3	Tanah Campuran MB 15%	0,204	22,05
4	Tanah Campuran 20%	0,208	25,96
5	Tanah Campuran 25%	0,212	31,12

Dari **Tabel 4.17** hasil penggambaran *Direct Shear* tersebut diperoleh grafik nilai kohesi (c) dari tiap sampel seperti pada **Gambar 4.13**.



Gambar 4. 13 Grafik Nilai Kohesi Tanah Asli dan Campuran Mortar Busa Berdasarkan **Gambar 4. 13** diatas dapat diartikan maka semakin tinggi nilai kohesi dan sudut geser maka semakin baik daya dukung tanahnya. Nilai kohesi tanah yang tinggi ditemukan berdasarkan hasil uji *Direct shear* di presentase (Tanah Campuran MB 25%) yakni 0,212 kg/cm².dan pada sudut geser nilai yang paling tinggi yakni pada presentase (Tanah Campuran MB 25%) yakni 31,12%.

4.3.2 Proctor Standart

Percobaan *Proctor Standart* ini menggunakan tingkat air yang berbeda untuk setiap sampel untuk menentukan kadar air tanah ideal (W_{opt}), berat volume basah ideal (b), berat volume kering ideal (d_{opt}), dan persentase pori/pori pada tanah sampel.

Tabel 4.18 menampilkan data yang diperoleh dari hasil uji laboratorium.

Sampel	No.	Volume Air (cc)	Berat Alat + Tanah (gr)	No. Cawan	Berat Cawan (gr) (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (gr) (b)	Berat cawan + tanah Kering (gr) (c)
Tanah Asli	I	200	9762	1	4,51	49,55	44,14
	II	500	10105	2	4,15	86,44	73,32
	III	700	10386	3	4,29	91,80	76,54
	IV	900	10520	4	4,15	86,44	70,81
	V	1000	10050	5	4,29	91,80	74,14
Tanah Campuran MB 10%	I	300	10456	1	5,00	35,00	30,45
	II	900	10534	2	6,89	70,89	60,45
	III	1300	10680	3	4,12	72,52	59,80
	IV	1600	10543	4	4,30	87,19	70,52
	V	1900	10454	5	4,00	57,00	45,69
Tanah Campuran MB 15%	I	700	10687	1	4,02	50,82	44,06
	II	800	10745	2	4,13	44,85	38,46
	III	900	10798	3	4,10	55,42	46,98
	IV	1100	10567	4	4,17	33,03	27,76
	V	1300	10521	5	4,07	59,99	49,10
Tanah	I	800	10556	1	4,14	50,91	45,43
	II	900	10664	2	8,10	100,60	88,98
	III	1100	10723	3	4,43	64,72	56,54

Campuran MB 20%	IV	1300	10565	4	3,79	63,50	54,16
	V	1500	10434	5	4,27	66,15	56,12
Tanah Campuran MB 25%	I	800	10612	1	4,14	49,91	45,12
	II	900	10734	2	8,10	99,60	88,78
	III	1100	11123	3	4,43	42,69	38,12
	IV	1300	10734	4	3,79	63,50	55,23
	V	1500	10698	5	4,27	66,15	56,67

Data alat :

Berat alat= 6171 gram

Tinggi alat= 11,6 cm

Diameter alat = 15,2 cm

Analisis data tersebut kemudian dihitung seperti berikut :

1. Volume Alat

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

$$V = \frac{1}{4} \times 3,14 \times (15,2)^2 \times 11,60$$

$$V = 2103,85 \text{ cm}^3$$

2. Berat tanah basah

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

$$= 9762 - 6171$$

$$= 3591 \text{ gram}$$

3. Berat Volume Tanah Basah

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

$$\gamma_b = \frac{3591}{2103,85}$$

$$\gamma_b = 1,70 \text{ gr/cm}^3$$

4. Kadar Air (w)

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

$$w = \frac{49,55-44,14}{44,14-4,51} \times 100\%$$

$$w = 13,65\%$$

Dimana: a = Nilai Berat Cawan (gram)

b = Nilai Berat Cawan + Tanah Basah (gram)

c = Nilai Berat Cawan + Tanah Kering (gram)



5. Berat Volume Tanah Kering (γ_d)

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

$$\gamma_d = \frac{1,7}{1+0,136}$$

$$\gamma_d = 1,4 \text{ gr/cm}^3$$

6. Zero Air Void (ZAV)

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

$$ZAV = \frac{2,611 \times 1,7}{1+(2,611+0,136)}$$

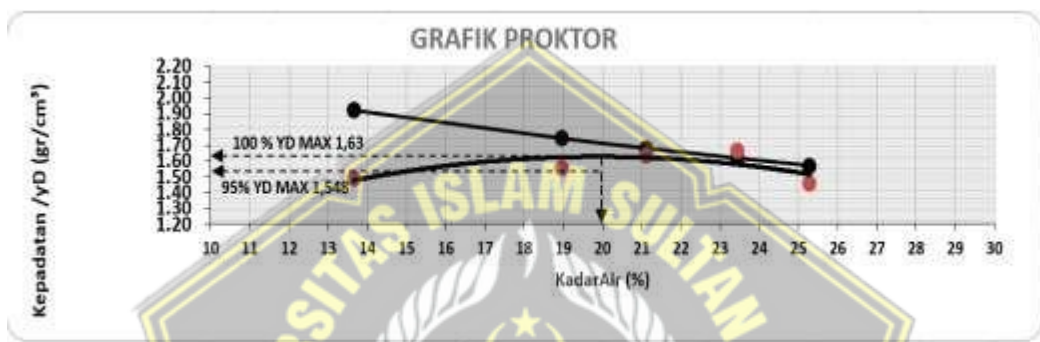
$$ZAV = 1,92 \text{ gr/cm}^3$$

Tabel 4. 19 Nilai Perhitungan *Proctor Standart*.

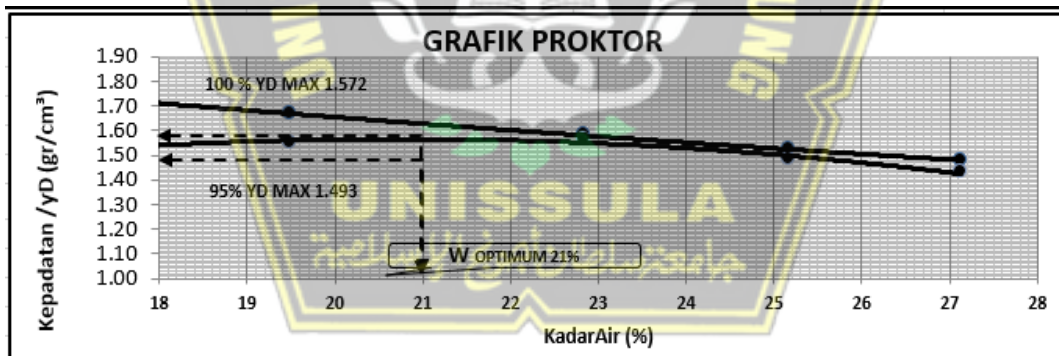
Sampel	No.	w (%)	GS (gr/cm ³)	γ_b (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	ZAV
Tanah Asli	I	13,65	2,611	1,70	1,49	1,2
	II	18,97	2,611	1,86	1,56	1,75
	III	21,12	2,611	1,99	1,64	1,68
	IV	23,45	2,611	2,05	1,66	1,62
	V	25,28	2,611	1,83	1,46	1,57
Tanah Campuran MB 10%	I	17,88	2,473	1,82	1,54	1,71
	II	19,49	2,473	1,85	1,55	1,67
	III	22,84	2,473	1,92	1,57	1,58
	IV	25,12	2,473	1,86	1,48	1,52
	V	27,13	2,473	1,82	1,43	1,48
Tanah Campuran MB 15%	I	16,88	2,413	1,89	1,62	1,71
	II	18,61	2,413	1,92	1,62	1,67
	III	19,68	2,413	1,94	1,62	1,64
	IV	22,34	2,413	1,83	1,50	1,57
	V	24,18	2,413	1,81	1,46	1,52
Tanah Campuran	I	13,27	2,351	1,83	1,61	1,79
	II	14,37	2,351	1,88	1,64	1,76
	III	15,70	2,351	1,91	1,65	1,72
	IV	17,35	2,351	1,83	1,56	1,67

MB 20%	V	19,34	2,351	1,77	1,48	1,62
Tanah Campuran MB 25%	I	11,69	2,326	1,80	1,61	1,83
	II	13,41	2,326	1,86	1,64	1,77
	III	13,56	2,326	2,04	1,80	1,77
	IV	16,08	2,326	1,86	1,60	1,69
	V	18,09	2,326	1,84	1,56	1,64

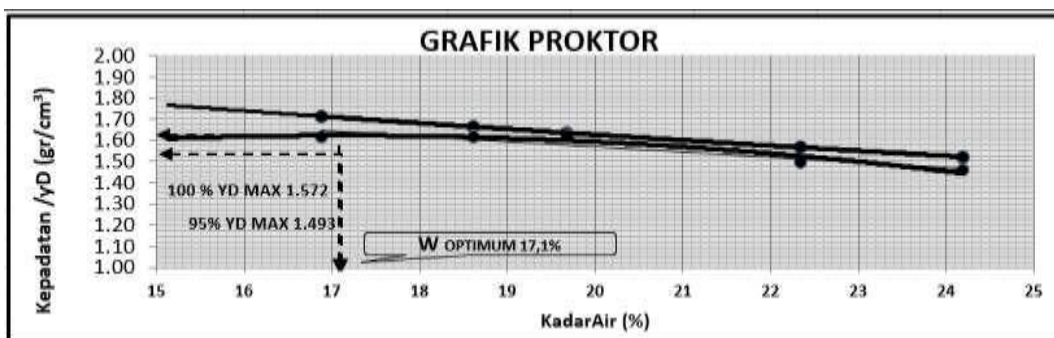
Dari **Tabel 4.19** menunjukkan hasil perhitungan secara keseluruhan untuk menunjukkan hasil perhitungan secara keseluruhan untuk tanah campuran Mortar Busa.



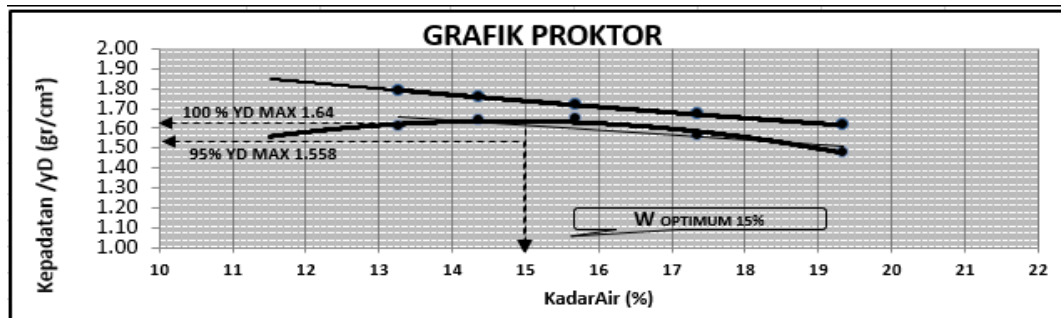
Gambar 4. 14 Grafik W_{opt} sampel Tanah Asli.



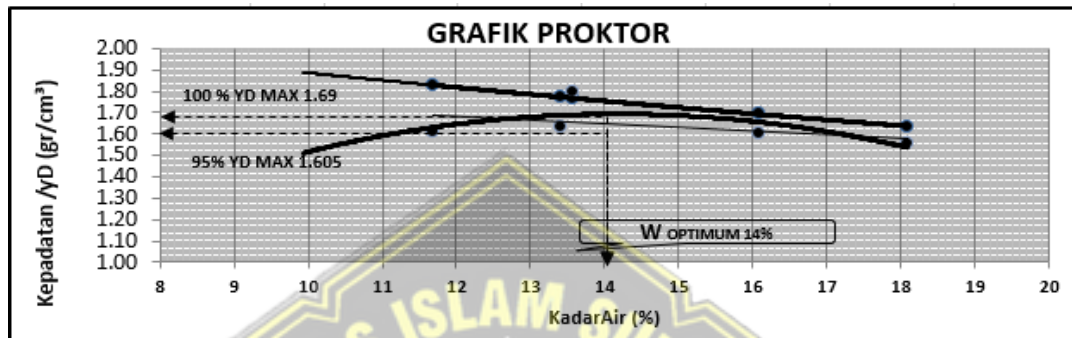
Gambar 4. 15 Grafik W_{opt} sampel Tanah Campuran MB 10%.



Gambar 4. 16 Grafik W_{opt} sampel Tanah Campuran MB 15%.



Gambar 4. 17 Grafik W_{opt} sampel Tanah Campuran MB 20%.

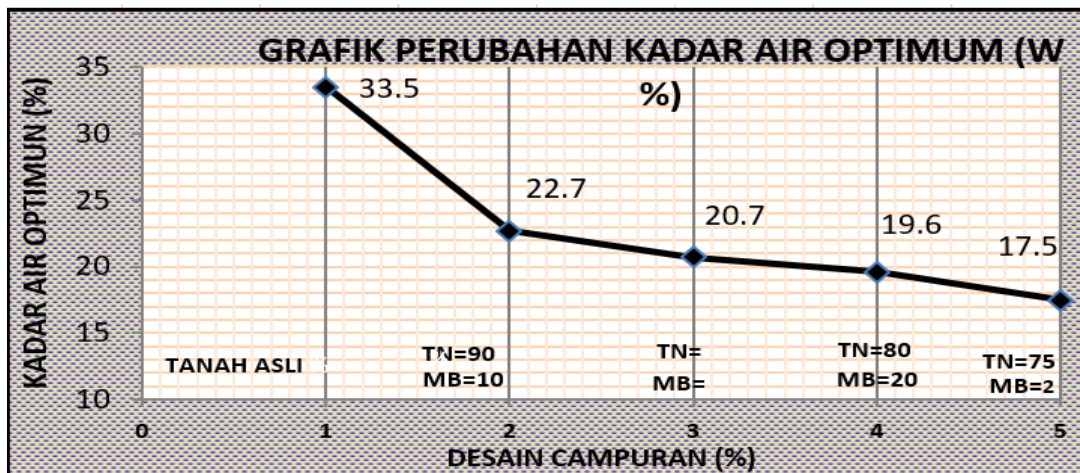


Gambar 4. 18 Grafik W_{opt} sampel Tanah Campuran MB 25%.

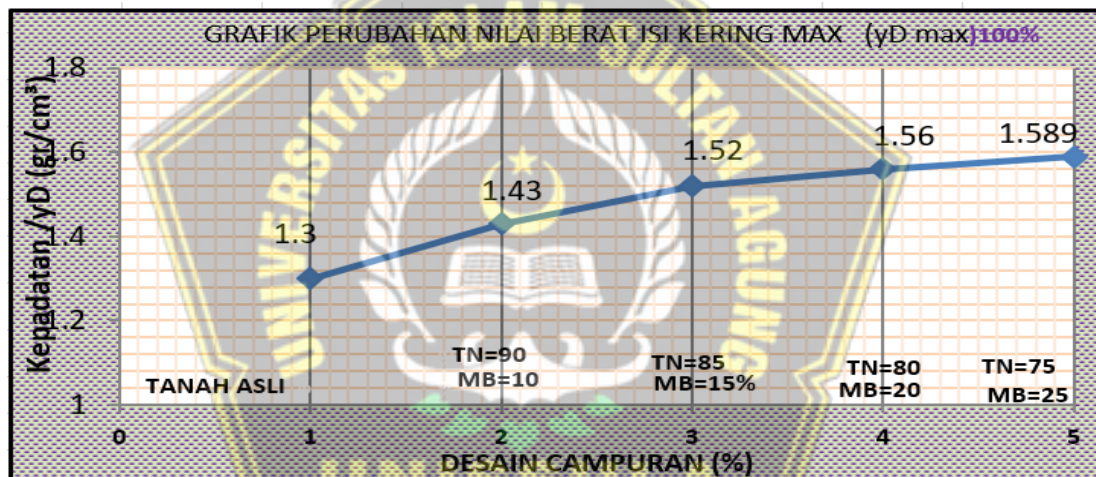
Tabel 4. 20 Hasil *Proctor Standart* Tanah Asli yang terdiri dari campuran.

No	Sampel	W_{opt} (%)	γ_d (gr/cm ³)
1	Tanah Asli	20,00	1,63
2	Tanah Campuran MB 10%	21,00	1,57
3	Tanah Campuran MB 15%	17,10	1,63
4	Tanah Campuran MB 20%	15,00	1,64
5	Tanah Campuran MB 25%	14,00	1,69

Dari **Tabel 4. 20** dapat diperoleh grafik kadar air optimum (W_{opt}) seperti pada **Gambar 4.19**.



Gambar 4. 19 Grafik *Proctor Standart* yang menunjukkan contoh Tanah Asli yang mengandung campuran Mortar Busa.



Gambar 4. 20 Grafik γ_d max 100%.

Berdasarkan dari **gambar 4.19** di atas, dapat dilihat bahwa kecenderungan (*trens*) grafik *proctor standart* semakin banyak diberikan campuran Mortar Busa semakin kecil (w_{opt}) dan semakin besar γ_d (gr/cm^3), ini berarti karakter daya dukung tanah semakin meningkat (karakter tanah semakin baik atau semakin padat). W_{opt} tanah paling rendah diketahui pada tanah campuran mortar busa 25% yakni 14%.

4.3.5 California Bearing Ratio (CBR)

California Bearing Ratio (CBR) digunakan untuk menghitung nilai daya dukung tanah dengan kerapatan tertinggi. **Tabel 4.21 dan 4.22** menunjukkan data hasil pengujian CBR, yang menggunakan kadar air yang paling ideal yang dihasilkan dari Uji Proctor Standart. **Tabel 4. 21** Hasil Pengujian Tanah Asli dan Campuran Mortar Busa.

Tabel 4. 21 Hasil Pengujian Tanah Asli dan Campuran Mortar Busa.

Sampel	No.	Berat Alat + Tanah (gr)	Berat Cawan (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (b)	Berat Cawan + Tanah Kering (c)
Tanah Asli	1	10300	4,27	54,06	47,5
Tanah Campuran 10%	2	10765	4,23	58,6	49,12
Tanah Campuran 15%	3	11068	4,04	65,04	55,8
Tanah Campuran 20%	4	10725	4,28	58,05	50,98
Tanah Campuran 25%	5	10965	4,08	42,69	37,81

Data alat

Berat tabung = 6073 gram

Tinggi tabung = 11,6 cm

Diameter tabung = 15,2 cm

Analisis hasil perhitungan pengujian CBR :

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

1. Volume Alat

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

$$V = \frac{1}{4} \times 3,14 \times (15,2)^2 \times 11,60$$

$$V = 2103,85 \text{ cm}^3$$

2. Berat Tanah Basah

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

$$= 10454 - 6073$$

$$= 4381 \text{ gram}$$

3. Berat Volume Tanah Basah

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

$$\gamma_b = \frac{4381}{2103,85}$$

$$\gamma_b = 2,08 \text{ gr/cm}^3$$

4. Kadar Air (w)

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

$$w = \frac{47,56-41,80}{41,80-4,10} \times 100\%$$

$$w = 15,63\%$$

Dimana: a = Nilai Berat Cawan (gram)

b = Nilai Berat Cawan + Tanah Basah (gram)

c = Nilai Berat Cawan + Tanah Kering (gram)

5. Berat Volume Tanah Kering (γ_d)

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

$$\gamma_d = \frac{2,08}{1+0,156}$$

$$\gamma_d = 1,79 \text{ gr/cm}^3$$

Data penetrasi dari setiap sampel juga diperoleh dari pengujian CBR di laboratorium, seperti yang ditunjukkan dalam **Table 4.22**.

Menghitung pengurangan beban:

Koreksi beban = Kalibrasi Alat x Pembacaan Arloji CBR

$$= 9,391 \times 8$$

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

Tabel 4. 22 Hasil Penetrasi Sampel Tanah campuran Mortar Busa
Kalibrasi : 9,391

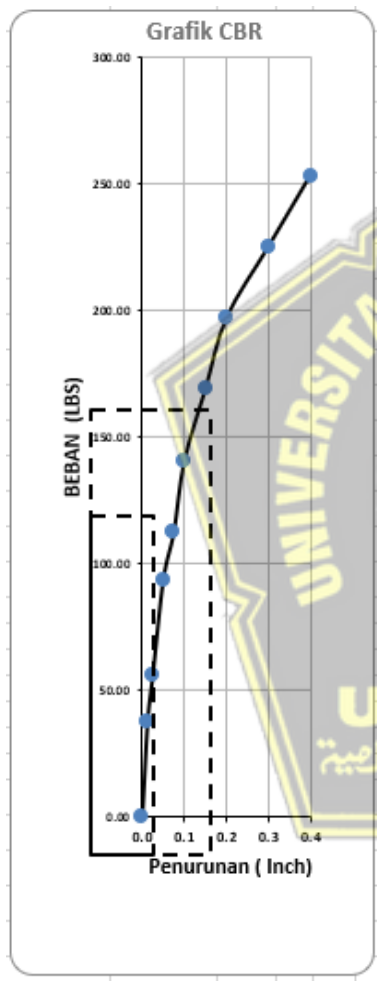
t (menit)	Penurunan		Jumlah tumbukan			
	(inch)	(mm)	Tanah Asli		Tanah Campuran 10%	
			Arloji Bawah	Koreksi	Arloji Bawah	Koreksi
¼	0,0125	0,32	4	37,56	10	93,91
½	0,0250	0,64	6	56.35	20	187.82
1	0,0500	1,27	10	93.91	25	234.78
1,5	0,0750	1,91	12	112.69	30	281.73
2	0,1000	2,54	15	140.87	35	328.69
3	0,1500	3,81	18	169.04	38	356.86

4	0,2000	5,08	21	197.21	41	385.03
6	0,3000	7,62	24	225.38	44	413.20
8	0,4000	10,16	27	253.56	47	441.38

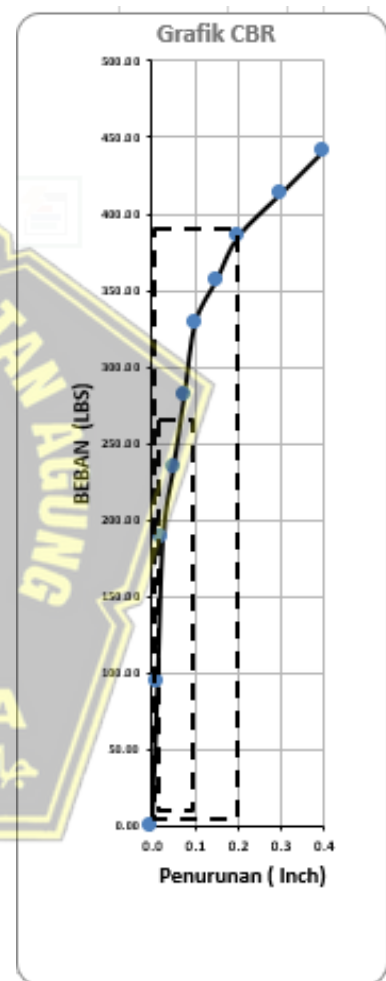
t (menit)	Penurunan		Jumlah Tumbukan	
	(inch)	(mm)	Tanah Campuran 15%	
			Arloji Bawah	Koreksi
¼	0,0125	0,32	7	65.74
½	0,0250	0,64	17	159.65
1	0,0500	1,27	21	197.21
1,5	0,0750	1,91	28	262.95
2	0,1000	2,54	35	328.69
3	0,1500	3,81	38	356.86
4	0,2000	5,08	41	385.03
6	0,3000	7,62	44	413.20
8	0,4000	10,16	47	441.38

t (menit)	Penurunan		Jumlah tumbukan			
	(inch)	(mm)	Tanah Campuran 20%		Tanah Campuran 25%	
			Arloji Bawah	Koreksi	Arloji Bawah	Koreksi
1/4	0,0125	0,32	8	75.13	7	65.74
1/2	0,0250	0,64	16	150.26	17	159.65
1	0,0500	1,27	25	234.78	27	253.56
1,5	0,0750	1,91	33	309.90	37	347.47

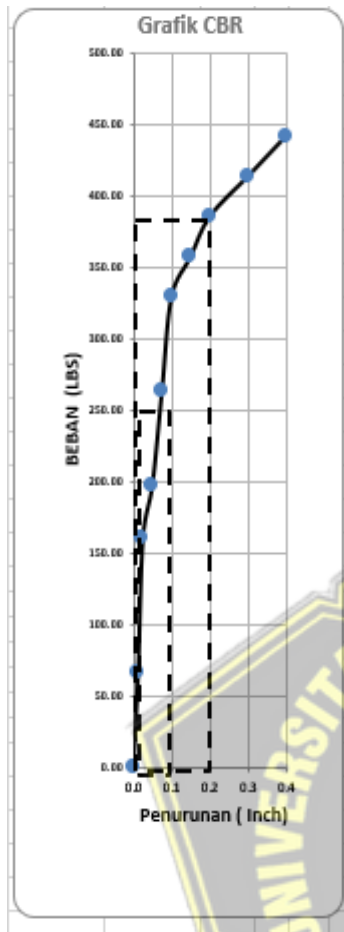
2	0,1000	2,54	45	422.60	47	441.38
3	0,1500	3,81	49	460.16	52	488.33
4	0,2000	5,08	53	497.72	57	535.29
6	0,3000	7,62	57	535.29	62	582.24
8	0,4000	10,16	61	572.85	67	629.20



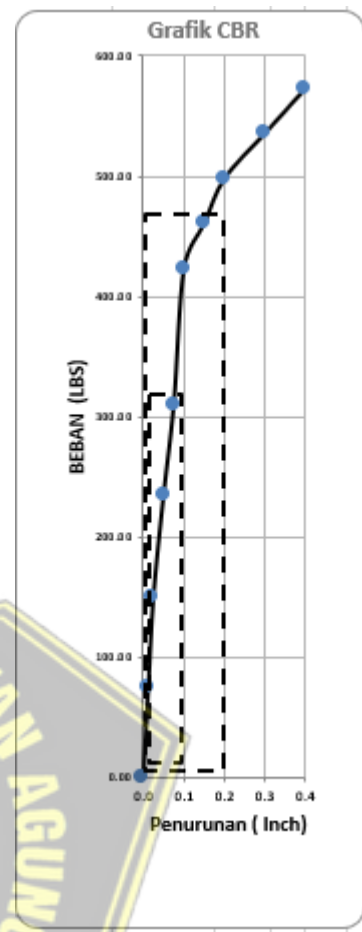
Gambar 4. 21 Grafik Hasil Penetrasi Hasil Tanah Asli



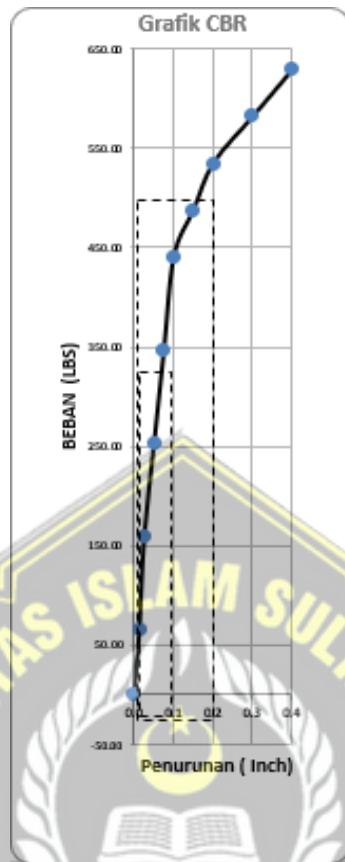
Gambar 4. 22 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran MB 10%



Gambar 4. 23 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran MB 15%



Gambar 4. 24 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran MB 20%



Gambar 4. 25 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran MB 25%

Menurut data yang dikumpulkan dari penetrasi tanah asli dan kombinasi Mortar Busa Dengan melakukan perhitungan, harga CBR setiap sampel dapat dihitung.

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

1. Menghitung Penetrasi 0,1” (0,254)

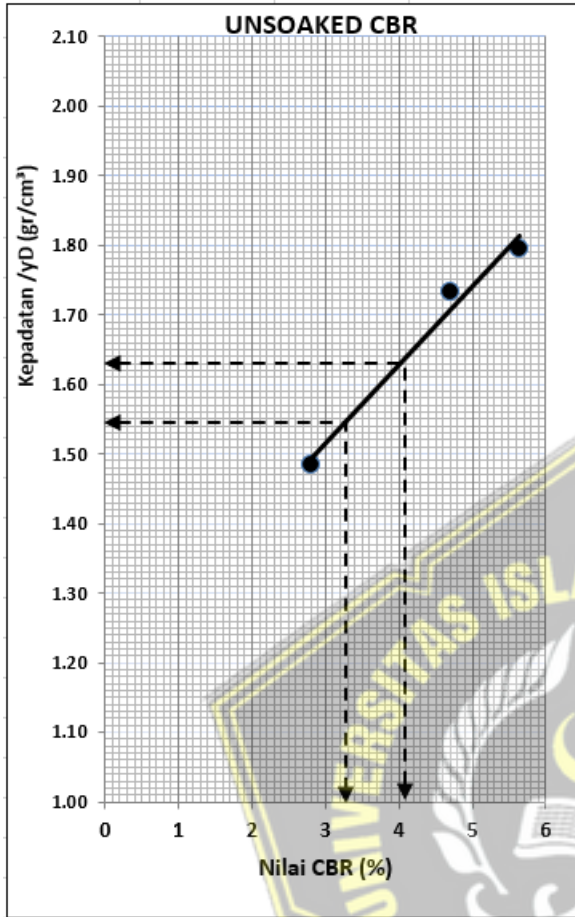
$$\begin{aligned} CBR(\%) &= \frac{P_1}{3 \times 1000} \times 100\% \\ &= \frac{140,87}{3 \times 1000} \times 100\% \\ &= 4,70\% \end{aligned}$$

2. Menghitung Penetrasi 0,2” (0,508)

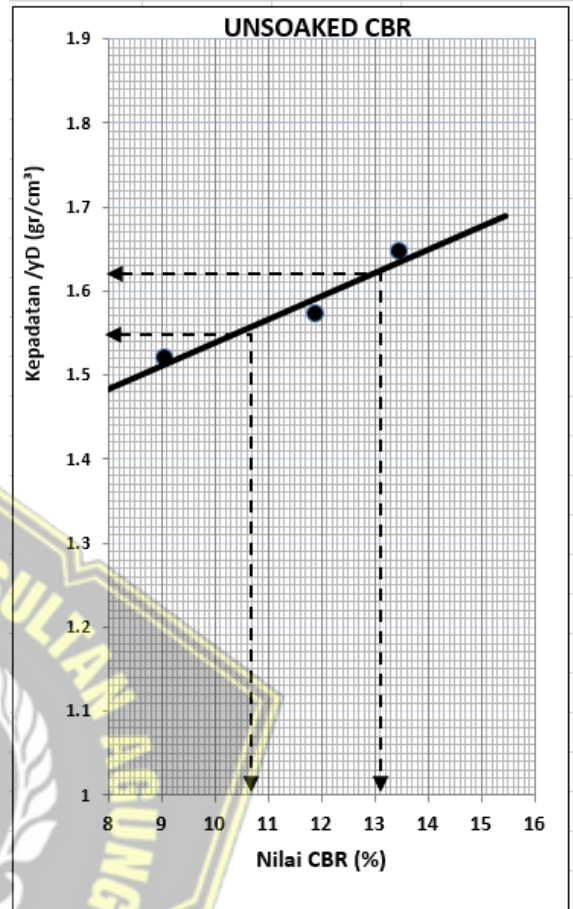
$$\begin{aligned} CBR(\%) &= \frac{P_1}{3 \times 1500} \times 100\% \\ &= \frac{197,21}{3 \times 1500} \times 100\% \\ &= 4,38\% \end{aligned}$$

Tabel 4. 23 Harga CBR Tanah Asli dan Tanah Campuran Mortar Busa

Jenis Sampel	Beban Bawah Koreksi		Harga CBR	
	0,1”	0,2”	0,1”	0,2”
Tanah Asli	140,87	197,21	4,70	4,38
Tanah Campuran 10%	328,69	385,03	10,96	8,56
Tanah Campuran 15%	328,69	385,03	10,96	8,53
Tanah Campuran 20%	422,60	497,72	14,09	11,06
Tanah Campuran 25%	441,38	535,29	14,71	11,90

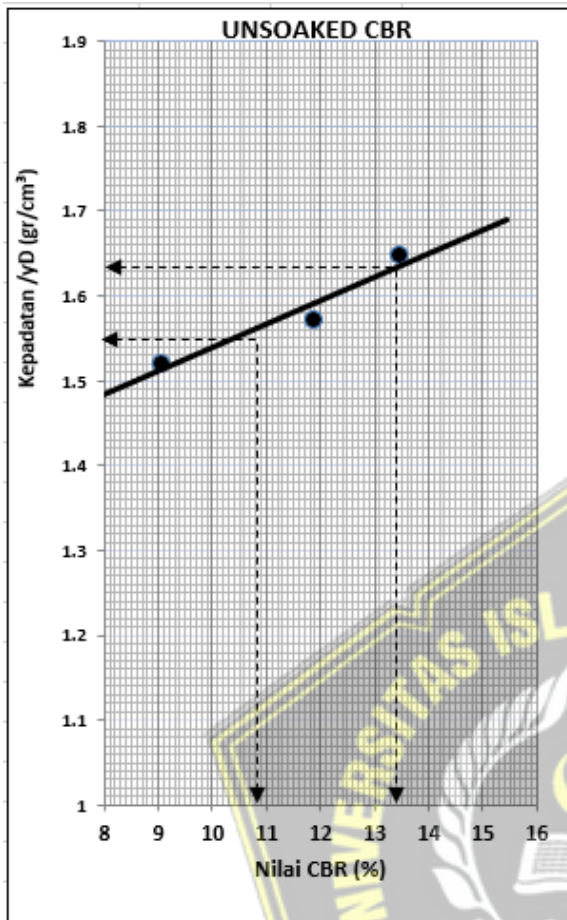


Gambar 4. 26 Grafik Nilai CBR tanah asli

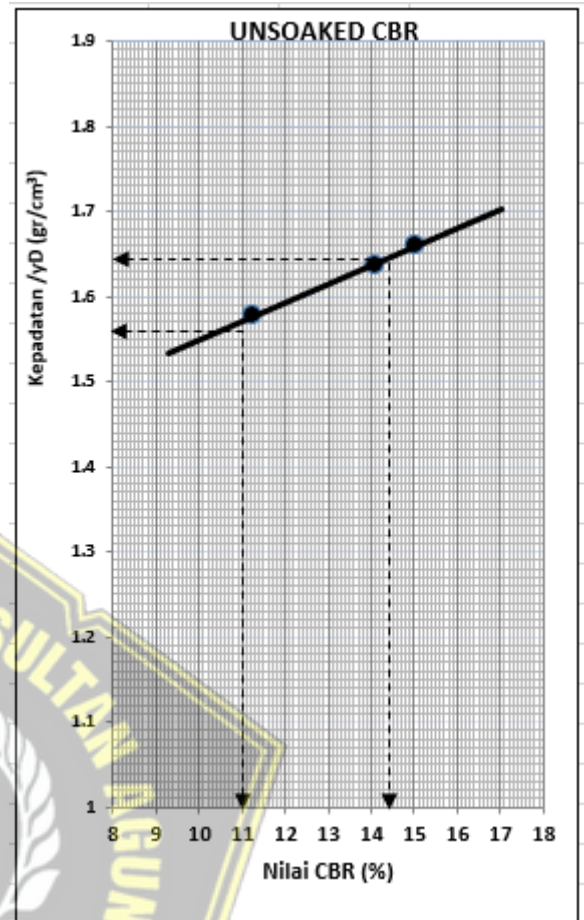


Gambar 4. 27 Grafik Nilai CBR Tanah Campuran MB 10%

Gambar 4. 26 Hasil pembacaan Nilai CBR 95% sebesar 3,30% dan Nilai CBR 100% sebesar 4,10% ditunjukkan pada grafik di atas, dan **Gambar 4. 27** Hasil pembacaan Nilai CBR 95% sebesar 10,60% dan Nilai CBR 100% sebesar 13,10% ditunjukkan pada grafik di atas.

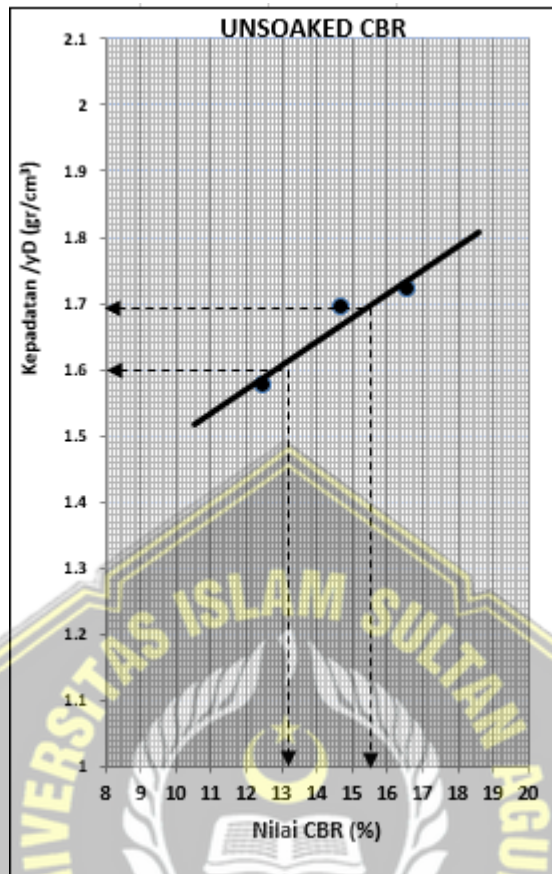


Gambar 4. 28 Grafik Niali CBR Tanah
Campuran MB 15%



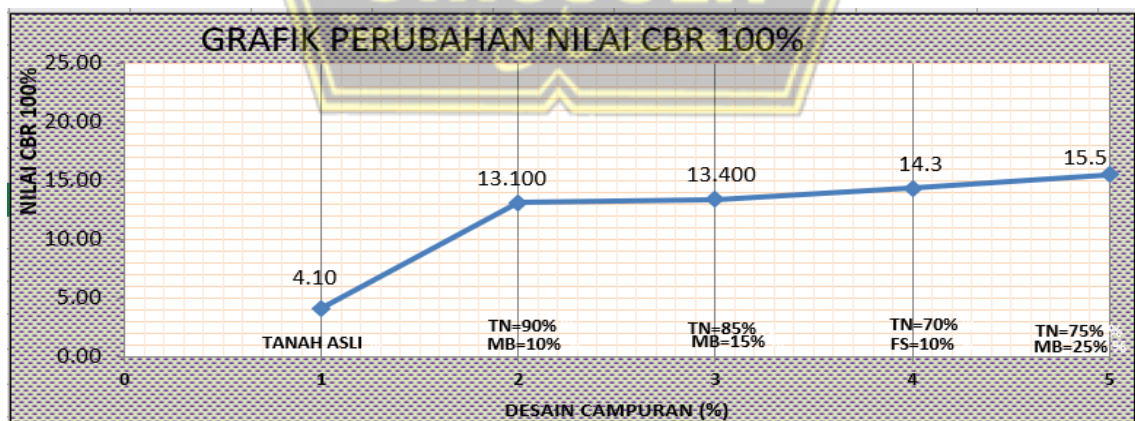
Gambar 4. 29 Grafik Nilai CBR Tanah
Campuran MB 20%

Gambar 4. 28 Hasil pembacaan Nilai CBR 95% sebesar 10,80% dan Nilai CBR 100% sebesar 13,40% ditunjukkan pada grafik di atas, dan **Gambar 4. 29** Hasil pembacaan Nilai CBR 95% sebesar 11,00% dan Nilai CBR 100% sebesar 14,30% ditunjukkan pada grafik di atas.

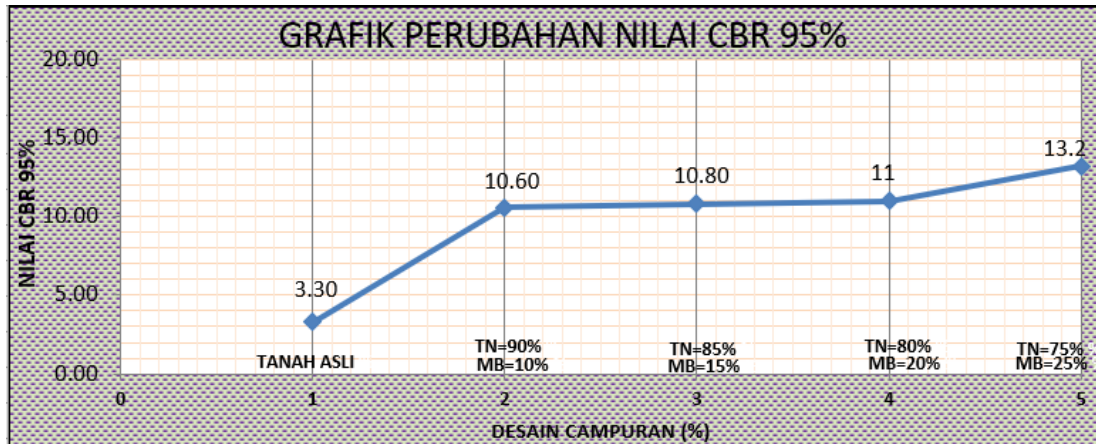


Gambar 4. 30 Grafik Nilai CBR Tanah Campuran MB 25%

Hasil pembacaan Nilai CBR 95% sebesar 13,20% dan Nilai CBR 100% sebesar 15,50% ditunjukkan pada grafik di atas.



Gambar 4. 31 Grafik Nilai CBR 100%



Gambar 4. 32 Grafik Nilai CBR 95%

Berdasarkan **Gambar 4.31**, terlihat bahwa menambahkan Mortar Busa maka semakin meningkat nilai CBR tanah tersebut yang berarti itu daya dukung tanah semakin meningkat. Nilai CBR paling tinggi didapatkan di Tanah Campuran 25% yakni CBR 15,50% termasuk kategori sedang.

4.4 Akhir Pembahasan

1. Atterberg Limit

Berdasarkan hasil Uji Atterberg limit dapat diketahui bahwa tanah yang distabilisasi menggunakan Mortar Busa menunjukkan bahwa nilai IP tanah, semakin banyak diberikan campuran, nilai IP semakin menurun karena akibat dari peningkatan sifat tanah, yang berarti bahwa daya dukung tanah meningkat.

2. Direct Shear

Nilai kohesi tanah yang tinggi ditemukan berdasarkan hasil uji Direct shear di presentase (Tanah Campuran 25%) yakni 0,212 kg/cm². dan pada sudut geser nilai yang paling tinggi yakni pada presentase (Tanah Campuran 25%) yakni 31,12%. semakin tinggi nilai kohesi dan sudut geser maka semakin baik daya dukung tanahnya.

3. *Proctor Standart*

Dapat dilihat bahwa pada pengujian *Proctor Standart* jika nilai kadar air semakin menurun maka kondisi daya dukung tanahnya tinggi. Pengujian kali ini menunjukkan presentase nilai optimum 14,00% adalah yang paling sedikit presentasinya.

4. CBR (*California Bearing Ratio*)

Dengan menambah Mortar Busa baja maka semakin meningkat nilai CBR dan menunjukkan daya dukung tanah semakin baik, nilai CBR maksimal campuran (Tanah Campuran 25%) dapat meningkat CBR 15,50% yang masuk dalam kategori sedang.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Setelah diuji di laboratorium, karakteristik tanah asli yang diambil dari Desa Sekaran Kec.Gunung Pati Kabupaten Semarang ,Jawa Tengah, adalah jenis tanah lempung lunak dan memiliki daya dukung yang rendah, hal ini terlihat dari hasil uji properties tanah seperti pada hasil uji direct shear dimana nilai sudut geser dalam 18,58, hasil uji CBR tanah asli 4,10 %, nilai (G_s) 2,611 nilai indeks plastisitas (IP) 30,07 %, dan kadar air optimum (W_{opt}) 20,00%.
2. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, penambahan Mortar Busa sebagai campuran terbukti memengaruhi stabilitas tanah. Semakin tinggi proporsi Mortar Busa yang ditambahkan, semakin membaik sifat mekanik tanah, yang mengindikasikan peningkatan daya dukung tanah.
3. Berdasarkan pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) *Unsoaked* pada sampel tanah asli, diperoleh nilai CBR sebesar 4,10%. Sementara itu, pengujian pada sampel tanah yang dicampur Mortar Busa dengan presentase 10%, 15%, 20%, dan 25% menghasilkan nilai CBR masing-masing sebesar 13,10%, 13,40%, 14,30%, dan 15,50%. Dapat disimpulkan bahwa nilai CBR *Unsoaked* optimum diperoleh pada campuran Mortar Busa 25%, yaitu sebesar 15,50%.

5.2 Saran

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

2. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan penambahan bahan stabilisator lain sehingga didapatkan hasil yang lebih baik lagi.
3. Perlu ketelitian dan berhati – hati dalam melakukan uji laboratorium terutama penggunaan alat yang harus sesuai prosedur agar diperoleh hasil maksimal dan lebih valid.



DAFTAR PUSTAKA

- Miswar. (2018). Daya Dukung Tanah Lempung Lunak. Jurnal Teknik Sipil.
- Wismantara, I., & Budiarnaya, I. G. N. (2020). Perbaikan Tanah Lunak dengan Mortar Busa. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil.
- Pratikso, & Maizir, H. (2024). Mortar Busa sebagai Lapisan Subgrade. Jurnal Infrastruktur.
- Andiyarto. (2015). Pengaruh Stabilisasi Tanah Lempung. Jurnal Teknik Sipil Indonesia.
- Leliana, & Andajani. (2015). Tanah dan Karakteristiknya. Penerbit Teknik Sipil.
- Isbusandi. (2018). Mekanika Tanah. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Rusdiansyah. (2018). Tanah Ekspansif dan Dampaknya terhadap Struktur Bangunan. Jurnal Geoteknik.
- Kurniawan, dkk. (2016). Stabilisasi Tanah untuk Peningkatan Daya Dukung. Prosiding Teknik Sipil.
- Bowles, J.E. (1994). *Physical and Geotechnical Properties of Soils*. McGraw-Hill.
- Braja M. Das. (1995). *Principles of Geotechnical Engineering*. PWS Publishing Company.
- Hardiyatmo, H.C. (1992). Mekanika Tanah I. *Gadjah Mada University Press*.
- Taffarel, J.Y., & Herdianto. (2022). Karakteristik Tanah Lempung Lunak. Jurnal Sipil.
- Amania, F.S. (2022). Klasifikasi Tanah dengan Sistem USCS dan AASHTO. Jurnal Infrastruktur.
- Mulyono. (2022). Klasifikasi Tanah untuk Konstruksi Jalan. Penerbit Teknik Sipil.
- Samtani, N.C., & Nowatski, E.A. (2006). *Soil Mechanics*. CRC Press.
- Yulianti, dkk. (2023). Uji CBR pada Tanah Lempung. Jurnal Infrastruktur.
- Craig, R.F. (1991). *Soil Mechanics*. Chapman & Hall.
- Prihatin. (2014). Kuat Geser Tanah. Jurnal Geoteknik.
- Wibowo, A. (2022). Mortar Busa untuk Stabilitas Jalan. Bina Teknik Jalan dan Jembatan.