

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENAMBAHAN MORTAR BUSA TERHADAP
NILAI CBR TANAH LEMPUNG LUNAK**

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



Disusun Oleh :

Nicholas Renda Saputra Walid Ridho Valentino
NIM : 30202100162 NIM : 30202100213

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN MORTAR BUSA TERHADAP
NILAI CBR TANAH LEMPUNG LUNAK



Nicholas Renda S
NIM : 30202100162



Walid Ridho V
NIM : 30202100213

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 26 Agustus 2025

Tim Penguji

1. **Dr. Abdul Rochim, ST., MT.**
NIDN: 0608067601
2. **Ir. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.**
NIDN: 210216087

Tanda Tangan

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

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

BERITA ACARA BIMBINGAN

No: 35 / A.2 / SA - T / VIII / 2025

Pada hari ini tanggal 22-04-2025 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing :

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

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

Nicholas Renda Saputra
NIM : 30202100162

Walid Ridho Valentino
NIM : 30202100213

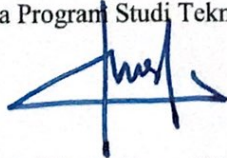
Judul : "PENGARUH PENAMBAHAN MORTAR BUSA TERHADAP NILAI
CBR TANAH LEMPUNG LUNAK"

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	22/04/2025	ACC
2	Seminar Proposal	18/07/2025	
3	Pengumpulan data	21/07/2025	
4	Analisis data	05/08/2025	
5	Penyusunan laporan	10/08/2025	
6	Selesai laporan	21/08/2025	

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

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

Dosen Pembimbing



Dr. Abdul Rochim, ST.,MT..

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Kami yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Nicholas Renda Saputra

NIM : 30202100162

NAMA : Walid Ridho Valentino

NIM : 30202100213

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

“PENGARUH PENAMBAHAN MORTAR BUSA TERHADAP NILAI
CBR TANAH LEMPUNG LUNAK’

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana
mestinya.

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2

Nicholas Renda Saputra

NIM : 30202100162

Walid Ridho Valentino

NIM : 30202100213

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Nicholas Renda Saputra

NIM : 30202100162

NAMA : Walid Ridho Valentino

NIM : 30202100213

JUDUL TUGAS AKHIR :

“PENGARUH PENAMBAHAN MORTAR BUSA TERHADAP NILAI
CBR TANAH LEMPUNG LUNAK”

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Agustus 2025

Yang membuat pernyataan

Yang membuat pernyataan 2

Nicholas Renda Saputra

NIM : 30202100162

Walid Ridho Valentino

NIM : 30202100213

MOTTO

أَهْلٌ ءَامَنَ وَلَوْ ۖ بِٱللَّهِ وَتُؤْمِنُونَ ٱلْمُنْكَرَ عَنْ وَتَنْهَوْنَ ٱلْمَعْرُوفَ تَأْمُرُونَ لِلنَّاسِ أُوْحَىٰ خَيْرٌ كُنْتُمْ
ٱلْكِتَٰبِ

ٱلْفَٰسِقُونَ وَٱكْثَرُهُمُ ٱلْمُؤْمِنُونَ مِنْهُمْ ۖ لَهُمْ خَيْرٌ لَّكَآ

artinya: “Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik.”

(QS. Ali Imran: 110)

يُسِّرَآ ٱلْعُسْرَ مَعَ ٱنَّ

Artinya: “Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(QS Al-Insyirah: 6).

وُسْعَهَا ٱلَّا نَفْسَآ ٱللَّهُ يُكَلِّفُ لَا

Artinya: “Allah tidak membebani seseorang, kecuali menurut kesanggupannya.”

(QS. Al-Baqarah: 286)

وَءَن لَّيْسَ لِلْإِنْسَآنِ ٱلَّا مَا سَآى

Artinya: “dan bahwasanya manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya.” (QS. An-Najm: 39)

وَءَلِ مِنْ دُونِهِ مِنْ لَهُمْ وَمَا لَهُ مَرَدَّ فَلَآ سُوْءَآ وَمِيقَآ ٱللَّهُ ءَرَادَ وَإِذَا بِٱنْفُسِهِمْ مَآ يُغَيِّرُوْآ حَتَّىٰ يَقُوْمَ مَآ يُغَيِّرُ لَا ٱللَّهُ ٱنَّ

Artinya: “Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan sesuatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri. Dan apabila Allah menghendaki keburukan terhadap sesuatu kaum, maka tak ada yang dapat menolaknya; dan sekali-kali tak ada pelindung bagi mereka selain Dia.”

(QS. Ar Ra'd: 11)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang saya rasakan hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Suranto dan Ibu Endah Kusniawati terima kasih selalu memberikan doa, semangat, motivasi, dukungan, dan pengorbanan yang tiada terhingga baik berupa materi maupun moril. Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih saya persembahkan Tugas Akhir dan Gelar Sarjana ini untuk bapak dan ibu.
2. Adik saya Saudara Bimo Cahyo Andika yang selalu memberi semangat, dukungan, dan doa selama menempuh pendidikan dan mengerjakan Tugas Akhir.
3. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT., dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik Progam Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberikan ilmunya.
5. Walid Ridho Valentino yang telah menjadi partner Tugas Akhir saya, terimakasih sudah berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
6. Teman – teman Fakultas Teknik Angkatan 2021 yang tidak bisa saya sebut satu – persatu.

Nicholas Renda Saputra

NIM : 30202100162

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang saya rasakan hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Suwarjo dan Ibu Endang Susilowati terima kasih selalu memberikan doa, semangat, motivasi, dukungan, dan pengorbanan yang tiada terhingga baik berupa materi maupun moril. Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih saya persembahkan Tugas Akhir dan Gelar Sarjana ini untuk bapak dan ibu.
2. Calon Istri saya dan kakak kandung saya Saudari Fatimah Ayu Fatmawati dan Niken Valencia yang selalu memberi semangat, dukungan, dan doa selama menempuh pendidikan dan mengerjakan Tugas Akhir.
3. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT., dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik Progam Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberikan ilmunya.
5. Nicholas Renda Saputra yang telah menjadi partner Tugas Akhir saya, terimakasih sudah berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
6. Teman – teman Fakultas Teknik Angkatan 2021 yang tidak bisa saya sebut satu – persatu.

Walid Ridho Valentino

NIM : 30202100213

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan menyebut asma Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, segala puja dan puji syukur bagi Allah Subhanahu Wa ta'ala yang atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah Nya, kami telah apat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Penambahan Mortar Busa Terhadap Nilai CBR Tanah Lrempung Lunak”.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terwujud atas pertolongan Allah Tuhan Yang Maha Penolong dan atas bantuan serta dukungan beberapa pihak.

Untuk itu ingin mengucapkan terima kasih kepada kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, kesabaran dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunan dalam penulisan. Semoga Tugas Akhir dapat bermanfaat bagi kita semua dan tidak hanya bagi penulis saja.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Semarang, Agustus 2025

Nicholas Renda S
Walid Ridho V

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
BERITA ACARA BIMBINGAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO.....	v
PERSEMBAHAN	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DFTAR GAMBAR.....	xiii
ABSTRAK.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Tugas Akhir	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Pengertian Tanah.....	4
2.2 Tanah Lempung Lunak.....	9
2.3 Sifat Fisik Tanah.....	9
2.4 Tanah Dasar.....	10

2.5 Mortar Busa	11
2.6 California <i>Bearing Ratio</i> (CBR).....	12
2.7 Penelitian Terdahulu.....	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Tahapan Penelitian	17
3.2 Metode Pengumpulan Data Penelitian	17
3.3 Pelaksanaan penelitian.....	18
3.4 Persiapan Benda Uji	18
3.5 Lokasi Pengujian Sampel	19
3.6 Prosedur Penelitian.....	20
3.6.1 Propertis Tanah Asli	20
3.6.2 <i>Specific Gravity</i> (SNI 03-1964:2008).....	20
3.6.3 <i>Hidrometer</i> (SNI-3423:2008)	21
3.6.4 <i>Sieve Analisys</i>	22
3.6.5 <i>Atterberg Limit</i> (SNI-1967:2008)	23
3.6.6 <i>Direct Shear</i> (SNI 3420:2016).....	25
3.6.7 <i>Proctor Modified</i> (SNI 1743-2008)	26
3.6.8 <i>California Bearing Ratio (CBR)</i> (SNI 1744-2012).....	27
3.7 Analisis Data	29
3.8 Bagan Alir Penelitian	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil Penelitian.....	31
4.2 Physical Properties Tanah Asli.....	31
4.3 Analisa Stabilisasi dengan Mortar Busa di Laboratorium.....	32
4.3.1 Grain Size	32
4.3.2 Attertberg Limits.....	39

4.3.3 Direct Shear	44
4.3.4 <i>Proctor Modified</i>	49
4.3.5 California Bearing Ratio (CBR)	55
4.4 Akhir Pembahasan.....	67
BAB V PENUTUP.....	68
5.1 Kesimpulan.....	68
5.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN.....	71



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sistem Klasifikasi AASHTO	7
Tabel 2. 2 Konsistensi Tanah	9
Tabel 2. 3 Berat jenis tanah.....	10
Tabel 2. 4 Klasifikasi Tanah Dasar Berdasarkan Nilai CBR	14
Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu	14
Tabel 3. 1 Komposisi Benda Uji	19
Tabel 3. 2 Presentase campuran mortar busa	19
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Tanah Asli.....	31
Tabel 4. 2 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Asli	32
Tabel 4. 3 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Campuran MB 10%...	33
Tabel 4. 4 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Campuran MB 15%...	33
Tabel 4. 5 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Campuran MB 20%...	34
Tabel 4. 6 Nilai Perhitungan Hidrometer Analysis Tanah Campuran MB 25%...	34
Tabel 4. 7 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Asli.....	35
Tabel 4. 8 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Campuran MB 10%	36
Tabel 4. 9 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Campuran MB 15%	36
Tabel 4. 10 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Campuran MB 20%	37
Tabel 4. 11 Nilai Perhitungan Sieve Analysis Tanah Campuran MB 25%	37
Tabel 4. 12 Hasil Grain Size	38
Tabel 4. 13 Nilai Perhitungan Batas Cair.....	39
Tabel 4. 14 Nilai Perhitungan Batas Plastis	42
Tabel 4. 15 Hasil Indeks Plastisitas.....	43
Tabel 4. 16 Hasil Perhitungan Penembakan Langsung sampel Tanah Asli dan ...	45
Tabel 4. 17 Hasil Penggambaran Direct Shear	48
Tabel 4. 18 Hasil Pengujian <i>Proctor Modified</i>	49
Tabel 4. 19 Nilai Perhitungan <i>Proctor Modified</i> Tanah Asli.....	51
Tabel 4. 20 Nilai Perhitungan Proctor Modified campuran Mortar Busa.....	52
Tabel 4. 21 Hasil <i>Proctor Modified</i> Tanah Asli yang terdiri dari campuran	54
Tabel 4. 22 Hasil Pengujian Tanah Asli dan Campuran Mortar busa.....	56
Tabel 4. 23 Hasil Penetrasi Sampel Tanah campuran Mortar Bus	58
Tabel 4. 24 Harga CBR Tanah Asli dan Tanah Campuran Mortar Busa.....	62

DFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mortar busa	11
Gambar 2. 2 Grafik pengujian CBR.....	13
Gambar 4. 1 Grafik Gradasi Butiran	38
Gambar 4. 2 Grafik Liquid Limit sampel Tanah Asli	40
Gambar 4. 3 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran MB 10%	41
Gambar 4. 4 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran MB 15%	41
Gambar 4. 5 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran MB 20%	41
Gambar 4. 6 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran MB 25%	42
Gambar 4. 7 Grafik ATL Tanah Asli dan Campuran Mortar Busa	43
Gambar 4. 8 Grafik Direct Shear Tanah Asli.....	46
Gambar 4. 9 Grafik Direct Shear Tanah Campuran MB 10%	46
Gambar 4. 10 Grafik Direct Shear Tanah Campuran MB 15%	46
Gambar 4. 11 Grafik Direct Shear Tanah Campuran MB 20%	47
Gambar 4. 12 Grafik Direct Shear Tanah Campuran MB 25%	47
Gambar 4. 13 Grafik Nilai Kohesi dan Sudut Geser.....	48
Gambar 4. 14 Sudut geser dalam	48
Gambar 4. 15 Grafik Wopt sampel Tanah Asli.....	53
Gambar 4. 16 Grafik Wopt sampel Tanah Campuran MB 10%	53
Gambar 4. 17 Grafik Wopt sampel Tanah Campuran MB 15%	53
Gambar 4. 18 Grafik Wopt sampel Tanah Campuran MB 20%	53
Gambar 4. 19 Grafik Wopt sampel Tanah Campuran MB 25%	54
Gambar 4. 20 Grafik <i>Proctor Modified</i> yang menunjukkan contoh Tanah Asli yang mengandung campuran Mortar Busa	54
Gambar 4. 21 Grafik γ_D max 100%.....	55
Gambar 4. 22 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Asli.....	59
Gambar 4. 23 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran MB 10%	59
Gambar 4. 24 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran MB 15%	60
Gambar 4. 25 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran MB 20%	60
Gambar 4. 26 Grafik Hasil Penetrasi Tanah Campuran MB 25%	61
Gambar 4. 27 Grafik Nilai CBR tanah asli	62

Gambar 4. 28 Grafik Nilai CBR Tanah Campuran MB 10%	63
Gambar 4. 29 Grafik Niali CBR Tanah Campuran MB 15%	64
Gambar 4. 30 Grafik Nilai CBR Tanah Campuran MB 20%	65
Gambar 4. 31 Grafik Nilai CBR Tanah Campuran MB 25%	66
Gambar 4. 32 Grafik Nilai CBR 100%	66
Gambar 4. 33 Grafik Nilai CBR 95%	67



PENGARUH PENAMBAHAN MORTAR BUSA TERHADAP NILAI CBR TANAH LEMPUNG LUNAK

ABSTRAK

Tanah lempung lunak, yang memiliki daya dukung rendah dan cenderung plastis, mudah mengalami perubahan bentuk atau deformasi ketika terkena beban, terutama di lingkungan yang lembab. Sebagai material dasar yang memiliki fungsi yang penting sebagai dasar di mana suatu konstruksi akan dibangun, medan dengan kapasitas menahan beban yang buruk memiliki resiko yang besar terhadap keruntuhan disebabkan kurangnya kemampuan untuk menopang beban konstruksi di atasnya. Dalam penelitian ini mencoba untuk menganalisis pengaruh penambahan mortar busa yang berfungsi meningkatkan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) pada tanah lempung lunak.

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan menggunakan sampel Tanah lempung dari di Kecamatan Mranggen, Kabupaten Demak, Jawa Tengah, serta variasi campuran untuk mortar busa sebesar 10%, 15%, 20%, 25%. Untuk memantau perubahan yang terjadi setelah penambahan mortar busa, sampel akan diuji ulang di Laboratorium untuk indeks sifat dan indeks mekanik.

Dalam penelitian ini dihasilkan nilai CBR pada tanah asli sebesar 4,78%. Dengan adanya penambahan campuran mortar busa nilai CBR menjadi meningkat dengan nilai CBR 16% yang termasuk dalam kategori tanah sedang (7% - 20%). Maka dari itu pencampuran mortar busa dapat meningkatkan daya dukung tanah lempung lunak.

Kata Kunci: Mortar busa, tanah lempung, CBR

THE EFFECT OF THE ADDITION OF FOAM MORTAR ON THE VALUE OF SOFT CLAY CBR

ABSTRACT

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

The approach is an experimental one that makes use of clay samples from Kec. Mranggen, Demak Regency, Central Java, as well as variations in the mixture for fly ash by 10%, 15%, 20%, 25%. To monitor the changes that occur after the addition of foam mortar, the samples will be retested in the laboratory for the Property Index and mechanical index.

This research resulted in a CBR value in the original soil of 4.78%. With the addition of foam mortar mixture, the CBR value increases with a CBR value of 16% which is included in the medium soil category (7% - 20%). Therefore, the mixing of foam mortar can boost soft clay soil's bearing ability.

Keywords: Foam mortar, CBR

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah lempung lunak merupakan salah satu jenis tanah yang menimbulkan banyak masalah saat membangun struktur bangunan secara umum dan jalan secara khusus. Jenis tanah ini bergantung pada pembentukannya dan memiliki kualitas penyusutan yang sangat tinggi. (Coduto, DP, 1994). Karena kadar air tanah lempung bervariasi, tanah tersebut akan mengembang dan memberikan tekanan yang dapat membahayakan bangunan di atasnya. Umumnya, komposisi tanah terdiri dari berbagai jenis, seperti pasir, lanau, lempung, dan sebagainya. Jika terdapat banyak mineral montmorillonit dalam lempung, tanah tersebut akan mengembang.

Dalam stabilisasi tanah atau perbaikan tanah pada tanah lempung lunak, umumnya diberikan perlakuan untuk mengurangi atau mengurangi sifat pengembangan mineral montmorillonit, yaitu dengan mortar busa. Bahan stabilisasi ini masih jarang ditemukan di berbagai daerah, karena merupakan produk yang jarang digunakan di pedesaan. Mortar busa adalah campuran mortar (biasanya terdiri dari semen, pasir, dan air) yang dicampur dengan busa atau agen pembusa (*foaming agent*) untuk menghasilkan mortar yang ringan dan berpori.

Upaya pemadatan memerlukan jumlah air tertentu sebagai pelumas untuk mendekatkan partikel-partikel tanah agar mendapatkan hasil terbaik. Pemadatan tanah adalah proses mengurangi volume tanah dengan menghilangkan ruang kosong di antara partikel-partikel tanah. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kepadatan dan kekuatan tanah, sehingga tanah menjadi lebih stabil dan mampu menahan beban lebih baik. Nilai kepadatan yang sangat kecil akan dihasilkan karena penggunaan air yang lebih sedikit daripada yang dibutuhkan, dan jumlah air yang besar akan menyebabkan nilai kepadatan turun kembali. Oleh karena itu, jumlah air yang ideal diperlukan untuk mencapai kepadatan maksimum. (Bowles, 1987).

1.2 Rumusan Masalah

Masalah utama yang diteliti dalam penyusunan tugas akhir adalah :

1. Berapa besaran propertis indeks dan mekanik tanah lempung lunak tanah asli?
2. Berapa besaran propertis indeks dan mekanik yang diberi penambahan mortar busa?
3. Bagaimana pengaruh penambahan mortar busa pada tanah lempung lunak terhadap CBR?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui besarnya propertis indeks dan mekanik tanah asli.
2. Untuk mengetahui besarnya propertis indeks dan mekanik tanah lempung lunak yang diberi penambahan mortar busa.
3. Untuk mengetahui pengaruh penambahan mortar busa pada tanah lempung lunak terhadap CBR.

1.4 Batasan Masalah

1. Praktikum dilaksanakan di laboratorium mekanika tanah Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.
2. Tanah yang digunakan diambil dari tanah lempung lunak di daerah Mranggen.

1.5 Sistematika Tugas Akhir

Pembuatan tugas akhir ini terdiri dari hal-hal sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian ini diuraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, maksud, dan tujuan, kendala masalah, serta langkah-langkah persiapan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini menjelaskan tentang teori yang berkaitan dengan judul tugas akhir serta menguraikan pengertian dan penelitian yang diperoleh dari sumber literatur dan studi kasus.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan tentang metode pengumpulan dan pengolahan data serta merinci rancangan sistematika yang dilakukab dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan secara rinci hasil penelitian, menganalisis data, dan memberikan pembahasan mengenai temuan penelitian ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini menjelaskan secara rinci hasil penelitian, menganalisis data, dan memberikan pembahasan mengenai temuan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Tanah

Tanah terdiri dari agregat dari material organik yang padat dan telah melapuk yang tidak memiliki hubungan kimia. Agregat ini ditambahkan dengangas dan zat cair untuk mengisi celah antara partikel padat (Das, 1993).

Hardiyatmo (1992) menyatakan bahwa tanah adalah campuran endapan, mineral, dan bahan organik yang hampir lepas yang ditemukan di atas batuan dasar. Tanah, yang banyak ditemukan di alam, adalah bahan bangunan yang murah yang terdiri dari lapisan yang terdiri dari partikel organik atau lapisan yang berbeda dari sebagian besar lapisan kulit bumi. Tanah tidak terbuat dari semen atau agregat, dan dapat digunakan untuk membuat struktur.

Namun, menurut Bowles (1994), tanah dapat didefinisikan sebagai campuran partikel dari salah satu atau lebih dari jenis berikut:

1. Kerikil, terkadang disebut batu bulat atau kerikil, merupakan pecahan batu berukuran kurang dari 150 mm hingga 250 mm, sedangkan batu bulat, juga disebut bongkahan batu, merupakan pecahan batu yang sangat besar, seringkali berukuran lebih besar dari 250 mm hingga 300 mm.
2. Pasir, atau sand, adalah batuan kasar dengan ukuran mulai dari 0,074 mm hingga 5 mm dan bahan halus hingga 1 mm.
3. Partikel mineral yang memiliki ukuran lebih kecil dari 0,002 mm hingga 0,0074 mm dikenal sebagai lanau (silt).
4. Kohesi terjadi pada tanah kohesif karena lempung, yaitu partikel material berukuran kurang dari 0,002 mm.
5. Koloid, juga dikenal sebagai *colloids*, adalah partikel dari bahan yang tidak bergerak dengan ukuran kurang dari 0,001 mm.

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

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

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

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

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

Keterangan:

GI = Indeks kelompok (group index),

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

LL = Batas cair (Liquid limit)

PI = Indeks plastisitas.

AASHTO membuat suatu indek kelompok (GI) didasarkan pada berapa persen tanah yang bisa lolos saringan N0. 200 serta batas dari *Atterberg*. Tujuannya, agar mendapatkan nilai kemampuan tanah dasar untuk menahan beban roda. Dengan tingginya nilai indeks kelompok (GI), menunjukkan bahwa penggunaan tanah yang lebih baik memiliki keterkaitan yang positif dengan hasilnya.

Tiap kelompok tanah yang diklasifikasikan AASHTO (A-1 sampai A-7) dimulai dari A-1, A-2, dan A-3 yang merupakan tanah berbutir dengan 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah yang lolos dari ayakan No. 200. Sedangkan untuk tanah yang memiliki kadar butiran tanah lolos lebih dari 35% digolongkan sebagai kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. Sebagian besar butiran yang terdapat pada kelompok A-4 sampai A-7 merupakan butiran lanau dan lempung. Kriteria yang menjadi sistem klasifikasi AASHTO didasarkan pada hal-hal berikut:

a. Ukuran Butir

Kerikil: Partikel tanah yang lolos saringan 75 mm (3 inci) dan tetap berada di saringan No. 10 (2 mm).

Pasir terdiri dari partikel tanah yang lolos saringan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan di saringan No. 200 (0,075 mm).

Lempung dan lanau: Partikel tanah yang lolos saringan No. 200..

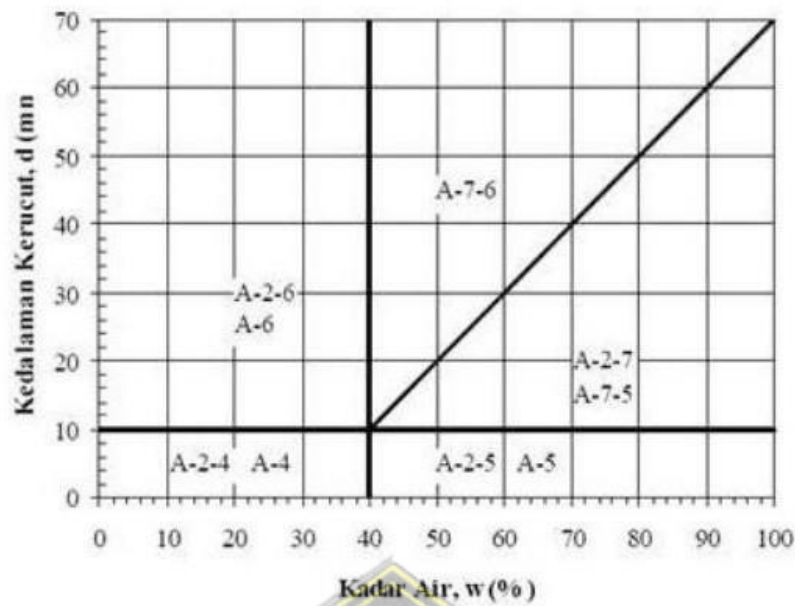
b. Plastisitas

Salah satu karakteristik tanah yang memengaruhi kekuatannya ketika kadar air berubah adalah fleksibilitasnya. Perubahan kekuatan tanah meningkat seiring dengan plastisitas tanah, yang didefinisikan sebagai kisaran kadar air dalam area plastis. Kemampuan tanah untuk mengubah bentuknya sambil mempertahankan volume yang konsisten tanpa mengalami rekahan atau kerusakan lainnya sering disebut sebagai plastisitas.

Plastisitas diukur dengan indeks plastisitas, yaitu selisih antara batas cair dan batas plastis tanah. Jika indeks plastisitas tanah 10 atau kurang, tanah tersebut tergolong lanau. Di sisi lain, jika indeks plastisitas tanah lebih dari 10, tanah tersebut tergolong lempung.

c. Jika terdapat batuan dengan ukuran lebih dari 75 mm dalam sampel tanah yang akan diklasifikasikan, batuan tersebut harus dipisahkan terlebih dahulu. Namun, sebelum dipisahkan, persentase tanah dalam sampel harus dicatat.

Apabila saat melakukan klasifikasi tanah menggunakan sistem AASHTO, maka dilakukan uji kecocokan dengan angka-angka pada tabel berikut yang nantinya didapat angka-angka yang sesuai berdasarkan kolom dari sebelah kiri ke kolom sebelah kanan (Das, 1995).



Gambar 2. 1 Grafik Plastisitas untuk Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO
(Sumber : AASHTO, 1945)

Tabel 2. 1 Sistem Klasifikasi AASHTO

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

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

(Sumber : AASHTO, 1945)

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

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

- a. Tanah berbutir kasar berpasir dan berkerikil, dengan kurang dari 50% lolos saringan No. 200. Untuk kerikil dan pasir, kelompok ini menggunakan huruf G dan S.
- b. Tanah berbutir halus berpasir dan berlempung, dengan persentase lebih dari 50% lolos saringan No. 200. Dalam kategori ini, lanau anorganik dilambangkan dengan huruf M, lempung anorganik dilambangkan dengan huruf C, dan lanau serta lempung organik dilambangkan dengan huruf O. Sementara itu, gambut, atau tanah dengan kandungan organik tinggi, dilambangkan dengan tanda Pt.
- c. Percobaan laboratorium pada tanah organik (Gambut/Humus) menunjukkan perbedaan lebih dari 25% pada batas cair tanah sebelum dan sesudah pengeringan oven.

Tidak hanya simbol-simbol tersebut, terdapat pula simbol lain yaitu L berarti plastisitas tinggi (low plasticity), H berarti plastisitas tinggi (high plasticity), P berarti gradasi buruk (poorly graded), dan W berarti gradasi baik (wells graded).

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

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

2.2 Tanah Lempung Lunak

Tanah lempung lunak adalah jenis tanah yang memiliki kemampuan mengembang (memuai) ketika menyerap air dan menyusut saat kehilangan air. Tanah ini umumnya mengandung mineral lempung seperti *monmorillonite* yang sangat sensitif terhadap perubahan kadar air.

Ciri-ciri tanah ekspansif :

1. Mengembang saat basah dan menyusut saat kering.
2. Menyebabkan retak-retak pada bangunan, jalan, atau pondasi.
3. Umumnya berwarna gelap dan terasa lengket saat basah.

Tanah lunak adalah jenis tanah yang dapat menyebabkan ketidakstabilan yang tak tertahankan dan penurunan jangka panjang jika tidak dipanaskan dengan benar. Hal ini disebabkan oleh kekuatan geser dan daya dukung tanah lunak yang rendah. Gambut, lempung lunak, dan pasir lepas merupakan tiga kategori tanah lunak.

Tabel 2. 2 Konsistensi Tanah

No	Soil Consistency	N-SPT
1	Very Soft Soil	0-2,5
2	Soft Soil	2,5-5
3	Medium Soil	5-10

(Sumber : Begeman, 1965)

2.3 Sifat Fisik Tanah

Sifat tanah mungkin memengaruhi cara memeriksa granuler dan granuler yang relevan; namun, asal butiran tanah dapat diidentifikasi melalui sifat dan permukaannya. Kebanyakan tanah memiliki dua atau tiga bagian: butiran Pori-pori tanah dan udara. Dua komponen tanah jenuh adalah air pori, pori udara, dan butiran padat atau granula. Tanah tidak jenuh memiliki tiga bagian: butiran padat atau butiran, pori-pori udara, dan air pori. Nilai berat jenis untuk berbagai jenis tanah ditunjukkan dalam Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2. 3 Berat jenis tanah

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

(Sumber : Hardiyatmo,2002)

2.4 Tanah Dasar

Lapisan paling dasar, juga disebut tanah dasar, yang dapat distabilkan dengan tanah timbunan, tanah asli yang telah dipadatkan dari daerah lain, atau zat seperti semen dan kapur. Untuk membantu pembangunan perkerasan jalan, lapis perkerasan diletakkan di tempat ini adatkan mengambilnya dari tempat lain.

Sifat dan daya dukung tanah dasar sangat memengaruhi keawetan dan kekuatan konstruksi perkerasan jalan.

Dalam sebagian besar kasus, masalah dengan tanah dasar adalah sebagai berikut.

1. Jenis tanah tertentu mengalami perubahan bentuk permanen
2. Sifat tanah tertentu berubah karena perubahan jumlah air atau keberadaan udara.
3. Daya dukung tanah tidak merata dan sulit diidentifikasi di daerah dengan berbagai jenis tanah, karakteristik, dan kedudukannya, serta konsekuensi dari penggunaan.

Tanah dasar yang lemah dan tidak kuat akan mudah retak dan rusak. Tanah yang kurang baik juga tidak ekonomis dan tidak sesuai untuk konstruksi sipil. Oleh karena itu, stabilisasi diperlukan untuk memperbaiki tanah secara mekanis dan kimiawi. Daya dukung tanah dasar untuk perencanaan perkerasan jalan yang luas di Indonesia dihitung melalui pemeriksaan CBR dengan nilai CBR minimal 6% sesuai dengan spesifikasi Bina Marga. Jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, dan kondisi drainase termasuk dalam faktor-faktor ini.

2.5 Mortar Busa

Mortar busa adalah campuran mortar (biasanya terdiri dari semen, pasir, dan air) yang dicampur dengan busa atau agen pembusa (*foaming agent*) untuk menghasilkan mortar yang ringan dan berpori. Mortar busa termasuk dalam kategori material ringan dan banyak digunakan untuk aplikasi non-struktural. Sedangkan definisi teknisnya adalah mortar busa yang terbentuk dari campuran pasta semen atau mortar biasa dengan busa stabil, menghasilkan material dengan kepadatan rendah dan isolasi termal yang baik.

Dengan kepadatan kering maksimum yang dirancang sebesar 8 kN/m^3 , material mortar busa ini berfungsi sebagai alternatif timbunan tanah. Material ini cocok digunakan pada timbunan di atas tanah lunak dan aplikasi lainnya. Saat membangun jalan, material ini dapat dimanfaatkan sebagai tanggul untuk mengurangi berat tanggul.



Gambar 2. 1 Mortar busa

(Sumber : sipilpedia, 2017)

2.5.1. Kriteria Material Ringan Mortar busa

Persyaratan berikut harus dipenuhi oleh material mortar busa ringan yang menggunakan busa untuk membuat tanggul ringan. :

1. Memiliki berat yang ringan, sehingga nilai kepadatan dari material campuran mortar busa tersebut mempunyai nilai densitas $0,5-1,2 \text{ ton/m}^3$.

2. Untuk memudahkan aplikasi di lapangan, nilai alir (*viskositas* campuran) dicantumkan. Aturan geoteknik biasanya menetapkan nilai alir $180 + 20$ mm.
3. Karena fungsinya serupa dengan mortar beton, di mana material yang digabung mengeras sesuai dengan waktu pengerasan yang ditentukan, mortar ini mudah disemprot dengan mesin semprot dan dapat memadat sendiri selama aplikasi.
4. Kuat tekannya cukup kuat untuk penggunaan yang dimaksudkan; misalnya, pondasi bawah atau lapisan pondasi bawah memiliki kuat tekan 800 kPa pada umur 14 hari.

Selain itu bahan timbunan ringan mortar busa memiliki keunggulan-keunggulan sebagai berikut :

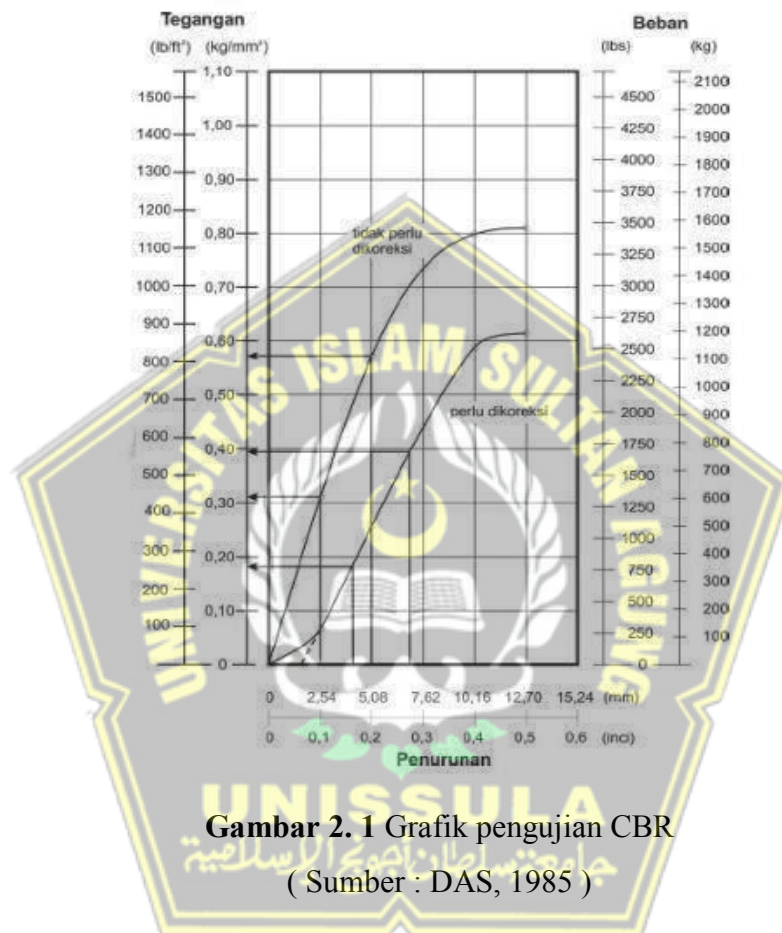
1. Mudah dipasang dan cukup ringan untuk subbase, sehingga Anda dapat menyesuaikan kerapatan curah dan kekuatan tekan campuran mortar sesuai spesifikasi Anda.
2. Permeabilitasnya yang tinggi, yang memungkinkan air mengalir tanpa terkompresi, merupakan hasil dari banyaknya pori-pori. Kebutuhan material dapat dikurangi disebabkan campuran ini dapat volumenya meningkat empat kali lipat.
3. Karena dapat mengembun sendiri, mudah digunakan.

2.6 California Bearing Ratio (CBR)

Uji daya dukung tanah (CBR) oleh pemadatan proktor bertujuan guna memahami bobot CBR pada air dan tingkat kepadatan tertetu. Bobot akan ditunjukkan oleh harga CBR, yang menunjukan kapasitas tanah untuk mengatasi tekanan struktur.

Sampel tanah dari saringan nomor empat dimasukkan ke dalam cetakan silinder untuk pengujian CBR. berdiameter 152 mm dan dipadatkan sebanyak 56 kali dengan penumbukan standar. Setelah itu, objek uji diletakan di atas mesin penetresi dan keping pemberat, setidaknya 4,5 kg, diletakan di atasnya. Arloji yang menunjukan penetrasi dan berbanding untuk menampilkan angka nol. Penetrasi diukur dengan tekanan antara 0,5 inci (12,7 mm) dan 0,025 inci (0,64 mm), sehingga penetrasi mendekati kecepatan 1,27 mm/menit.

Ujian penetrasi melibatkan memasukan objek ke dala benda uji untuk mengetahui kekuatan tanah dasarnya. Hasil uji menunjukkan bahwasanya kurva beban pada awalnya cekung karena permukaan yang tidak rata saat benda uji dipaadtakan atau karena faktor lain. Dalam situasi seperti ini, titik nol harus dikoreksi, sebagaimana yang bisa dicermati dalam Gambar 2.2



Gambar 2. 1 Grafik pengujian CBR
(Sumber : DAS, 1985)

Harga CBR bisa dihitung dengan mengganti beban standar CBR dalam kedalaman penetresi 2,54 mm atau 0,1 inci dengan beban standar 1000 psi atau 70,31 kg/cm² dan membagi kedalaman penetrasi 5,08 mm atau 0,2 inci dengan beban standar 1500 psi atau 105,47 kg/cm². Harga tersebut kemudian kalikan 100%, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan 2.2 dan persamaan 2.4 :

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

$$B_{0,1} = \frac{1}{3 + 1000} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

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

$$B_{0,2} = \frac{1}{3 + 1500} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Tabel 2. 4 Klasifikasi Tanah Dasar Berdasarkan Nilai CBR

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

(Sumber : Das, 1985)

2.7 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu

No	Nama Penulis	Judul	Sumber Publish	Kesimpulan
1	Deni Hidayat, Yusep Muslih Purwana, Florentina Pungky Pramesti	Analisis Material Ringan dengan Mortar Busa Pada Konstruksi Timbunan Jalan	Prosiding Semnastek, 2016	Menurut penelitian berdasarkan program Plaxis, teknologi tanggul ringan mengurangi nilai penurunan dibandingkan dengan tanggul tradisional.
2	Muhammad Irfan Alfaros,	Perbaikan Tanah Lempung	Laporan Tugas Akhir	Dengan menambahkan

No	Nama Penulis	Judul	Sumber Publish	Kesimpulan
	Zaidan Kamil	Lunak dengan Penambahan Fly Ash dan Bottom Ash.		<i>fly ash</i> dan <i>buttom ash</i> untuk perbaikan tanah dapat mengurangi penurunan tanah dan meningkatkan daya dukung tanah. Komposisi FABA yang ideal untuk kombinasi adalah (BA 7%-FA 13%)
3	Ulfa Jusi	Perilaku Tanah Lunak Pada Subgrade Jalan dengan Timbunan Mortar Busa	Laporan Disertasi S3	Penggunaan mortar busa sebagai timbunan di atas tanah lunak menunjukan kinerja yang baik dalam mengurangi penurunan tanah akibat pembebanan. Semakin tebal mortar busa yang digunakan,

No	Nama Penulis	Judul	Sumber Publish	Kesimpulan
				semakin kecil penurunan yang terjadi, dan kondisi tanpa muka air tanah (MAT).
4	Andi Susilowati, Fawwaz Nabhan	Pengaruh Variasi Faktor Air Semen Terhadap Mortar Busa	Journal of Applied Civil And Environmental Engginering, 2021	Temuan analisis menunjukkan bahwa kecenderungan nilai aliran, kerapatan kering, dan kekuatan tekan meningkat seiring dengan jumlah FAS yang digunakan.
5	Ahmad Hamidi, Randhi Saily, M Arif Hidayat	Pengaruh Sifat Karakteristik Mortar Busa dengan Penambahan <i>Addictive</i>	Sainstek, 2022	Hasil uji aliran menunjukkan bahwa aliran yang lebih besar dicapai dengan jumlah aditif yang digunakan lebih besar.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Pada tahap awal yang dijalankan pada riset ini adalah pengumpulan data atau tinjauan pustaka untuk mengetahui informasi terkait dengan penelitian ini. Kemudian tahap selanjutnya yaitu praktikum laboratorium yang diantaranya adalah *California Bearing Ratio (CBR)* dan dari percobaan tersebut dapat ditarik kesimpulan.

3.2 Metode Pengumpulan Data Penelitian

Ada banyak fase dalam prosedur pengumpulan data digunakan dalam penelitian ini :

1. Tahapan pengambilan tanah asli di lapangan

Pengujian ini dimaksudkan adalah pengambilan sampel tanah lunak dilokasi yang telah ditentukan yaitu di daerah Mranggen. Sampel tanah yang dikumpulkan adalah sampel tanah yang terganggu. Untuk sampel tanah terganggu diambil pada kedalaman 1m dengan menggunakan *hand bore*.

2. Tahapan pengujian laboratorium

Setelah pengambilan tanah dilapangan, Untuk pengujian, tanah dibawa ke laboratorium fisik dan mekanik agar didapatkan parameternya.

Pengujian laboratorium meliputi:

a. Pengujian sifat-sifat fisik tanah:

1. Pengujian analisa saringan/*sieve analysis* : SNI 3423-2008
2. Pengujian berat jenis : SNI 1964-2008
3. Pengujian kadar air : SNI 1967-2008
4. Pengujian berat isi tanah: SNI 03-3637-1994

b. Pengujian mekanis:

1. Pengujian *proctor* (pemadatan) : SNI 1742-2008
2. Pengujian kuat geser ; SNI 1742-2008
3. Pengujian *California Bearing Ratio (CBR)* : SNI 1744-2008

Tahapan pembuatan mortar busa adalah :

a. Formula rancangan campuran:

1. Perhitungan desain campuran

2. *Jobmix design* mortar

3. Pembuatan busa (*foam*)

b. Pencampuran mortar busa (*foam* dan air) dan material (pasir, air, dan semen)

3.3 Pelaksanaan penelitian

3.3.1. Alat dan Bahan Penelitian

A. Bahan Penelitian

1. Tanah lempung

2. Mortar busa

B. Alat penelitian

Alat Uji yang digunakan untuk studi ini adalah :

1. *California Bearing Ratio (CBR)*

2. Saringan

3. Cawan

4. Timbangan berat

5. Oven

6. Gelas ukur

3.4 Persiapan Benda Uji

Sebelum melakukan pengujian, kami mengambil sampel tanah di mranggen dengan keadaan masih basah, lalu kami keringkan dengan cara dijemur atau di Oven hingga kadar air 0%. Setelah kering kita campurkan sampel tanah asli dengan komposisi campuran mortar busa. Adapun variabel campurannya 10%, 15%, 20%, dan 25%.



Gambar 3. 1 Pencampuran mortar busa
(Sumber : Dokumen penulis, 2025)

Tabel 3. 1 Komposisi Benda Uji

Kode	Mix Design	Berat Tanah	MB	Sampel
A0	Tanah Asli 100% + 0%MB	100%	0%	1
A10	Tanah Asli 90% + 10% MB	95%	10%	1
A15	Tanah Asli 85% + 15%	90%	15%	1
A20	Tanah Asli 80% + 20%	85%	20%	1
A25	Tanah Asli 75% + 25%	80%	25%	1

Tabel 3. 2 Presentase campuran mortar busa

Campuran(%)	Pasir(%)	Semen(%)	Foam(%)	Air(%)
10	3	3	2	2
15	5	4	4	2
20	7	5	5	3
25	12	5	5	3

3.5 Lokasi Pengujian Sampel

Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang memiliki Laboratorium Mekanika Tanah untuk melakukan pengujian. Proses penelitian mencakup pengujian batas konsistensi tanah untuk menentukan karakteristik fisiknya, serta pengujian nilai CBR (*California Bearing Ratio*). Pengujian CBR dilakukan dengan menggunakan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) di tanah asli untuk pembuatan benda uji. Sebelum penelitian dimulai, sejumlah persiapan dilakukan untuk memastikan hasil yang akurat.

Tanah yang diuji diambil dari kecamatan Mranggen pada tanggal 22 juni 2025 dengan kedalaman 1 meter supaya mendapatkan tanah yang kualitasnya buruk, dan setelah diuji di laboratorium harus mendapatkan nilai CBR dibawah 6%, alat yang digunakan untuk pengambilan sampel tanah menggunakan alat seperti cangkul, sekop, dan sarung tangan.

Penelitian ini menggunakan data sekunder sebagai metode pengumpulan datanya dan primer. Data sekunder didapatkan melalui studi literatur untuk menyelidiki hubungan antara teori yang relevan, sedangkan data primer diperoleh langsung dari pengujian laboratorium.

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

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Propertis Tanah Asli

Pengujian sampel tanah lunak yang dilakukan pada penelitian ini adalah sifat fisis dan sifat mekanis tanah lunak. Pengujian yang dilakukan adalah :

1. *Specific Gravity*
2. Batas Plastis, Batas Cair, serta Indeks Plastis
3. *Sieve Analysis* dan Hidrometer
4. Kadar Air Optimum
5. γ_d maksimum
6. Kohesi dan Sudut Geser
7. Nilai CBR maksimum

3.6.2 *Specific Gravity* (SNI 03-1964:2008)

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

Alat yang digunakan :

1. Neraca analitis
2. Piknometer

3. Aquadest

4. Pemanasan Thermometer

Berikut cara uji *Specific Gravity* :

a. Cari tahu berapa nilai piknometer :

1. Timbang piknometer kosong, misal = 1 gr.
2. Piknometer diisi dengan aquades sampai penuh kemudian ditimbang, misal = b gr.
3. Suhu manometer ditentukan dengan menggunakan thermometer, misalnya : $T_1 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Harga air pada piknometer = (b-c) t₁; dimana t₁ = dikoreksi T₁.

b. Mencari *Specific Gravity (GS)* :

1. Ambil bahan yang akan diuji, lalu masukkan ke piknometer yang kering dan bersih di atas dan timbang, misalnya = C gram (massa sampel = 2025 gram).
2. Piknometer dan benda uji diberi aquades sampai tepat di bawah leher Piknometer, kemudian dikocok sampai gelembung didalam piknometer hilang, kemudian didiamkan selama ± 24 jam.
3. Setelah ± 24 jam, Piknometer diisi dengan aquades sampai penuh lalu diukur, misal = d gram.
4. Kemudian suhu dicek menggunakan contoh thermometer sifat gravitasi (GS) dapat dilihat pada tabel pada T₂ $^\circ\text{C}$ koreksi suhu, misalnya = t₂.
Ditemukan melalui persamaan :

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

3.6.3 Hidrometer (SNI-3423:2008)

Analisis Hidrometer digunakan untuk ukuran partikel yang lebih halus dari 75 μm . Partikel-partikel ini melewati saringan terakhir (No. 200) dari Analisis Saringan. Analisis ukuran butiran hydrometer memanfaatkan perubahan kepadatan relatif campuran tanah-air akan meningkat. Saat partikel tanah tenggelam, kepadatannya berkurang, hingga mencapai kepadatan awal cairan. Partikel terberat (berdiameter lebih besar) akan tenggelam terlebih dahulu.

Alat yang digunakan :

1. Alat Hidrometer

2. Ayakan dengan No. 200 mm
3. Mangkok/cawan besar
4. Peralatan pengaduk
5. Wadah kaca berisi air volume 1000 ml
6. *Stopwatch*
7. Oven pengering

Prosedur pelaksanaan uji hydrometer seperti dibawah ini :

1. Ambil contoh sampel tanah sekitar 200 gr, kemudian dimasukan kedalam cawan besar dan direndam dengan air selama sehari.
2. Ambil cawan besar tersebut lalu ditambahkan air sekitar 1000 ml dan disaring dengan saringan No. 200 mm.
3. Aduk dengan alat pengaduk hingga rata.
4. Setelah itu tanah yang tertinggal disaringan ditaruh di mangkok/cawan kemudian dikeringkan di dalam oven.
5. Sisa air yang lolos dari saringan ditempatkan pada wadah kaca dan diberi air sehingga volume 1000 ml.
6. Tutup wadah kaca dengan tangan dan balikkan wadah beberapa kali.
7. Setelah dikocok, letakan wadah diatas meja dan mulailah mengukur waktu.
8. Masukkan hydrometer dengan hati-hati dan lakukan pengukuran pada $\frac{1}{2}$, 1, 2, 5, 10, 45, 75, 90, dan 120.

3.6.4 Sieve Analis

Pengujian dilakukan dengan menggunakan seperangkat saringan dengan ukuran mata saringan yang berbeda. Setiap saringan memiliki lubang berbentuk persegi dengan ukuran tertentu. Saringan memisahkan partikel yang lebih besar dan lebih kecil, mendistribusikan sampel tanah dalam 2 kuantitas. Butiran dengan diameter lebih besar dari ukuran lubang akan tertahan oleh saringan, sedangkan butiran dengan diameter lebih kecil akan melewati saringan. Pengujian yang akan dilakukan menempatkan serangkaian saringan dengan ukuran mata saringan yang semakin kecil diatas satu sama lain dan melewatkan sampel tanah melalui “Menara” saringan yang ditumpuk.

Oleh karena itu, partikel tanah didistribusikan saat tertahan oleh ukuran saringan yang berbeda. Panci juga digunakan untuk mengumpulkan partikel-partikel yang melewati saringan terakhir (No. 200).

Alat yang digunakan :

1. Cawan
2. Saringan standar
3. Pemisah sampel
4. Pengocok saringan mekanis
5. Prosedur pelaksanaan uji *Sieve Analys* seperti dibawah ini :
6. Ambil sisa tanah yang sudah di oven dari saat pengujian hydrometer.
7. Catat berat cawan yang akan digunakan selama analisis.
8. Susun saringan-saringan sesuai urutannya. Saringan nomor 4 berada diatas dan saringan No. 200 berada di bawah.
9. Letakan sampel kotoran ke filter atas pasang penutup di atasnya.
10. Taruh tumpukan saringan tersebut kedalam pengocok mekanis selama 10 menit.
11. Keluarkan sisa tanah yang tertahan disetiap saringan lalu ditaruh ke cawan dan ukur berat masing-masing sisa tanah tersebut.

3.6.5 Atterberg Limit (SNI-1967:2008)

Menemukan perbedaan kadar air tanah antara dua kondisi—plastis dan cair—adalah tujuan dari uji Batas Atterberg ini.

Alat yang digunakan :

1. *Cassagrande*
2. Ayakan dengan No. 40 mm
3. Neraca analitik
4. Pemanas
5. *Exicator*
6. Cawan
7. Wadah
8. *Aquadest*
9. Batas Cair

Prosedur pelaksanaan uji batas cair seperti dibawah ini :

A. Batas Cair

1. Ambil contoh sampel tanah secukupnya, kemudian dimasukkan kedalam oven ± 24 jam. Kemudian, sampel tanah dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan saringan No. 40 ($\phi 0,425$ mm);
2. Ambil beberapa sampel, kemudian campur dengan air dalam mangkuk;
3. Aduk memakai colet sampai rata;
4. Sesudah dicampur secara merata, masukkan sampel kedalam nampan sampel yang telah disesuaikan dengan ketinggian tetesan ± 1 cm;
5. Sampel ditempatkan pada nampan yang diratakan, kemudian bagian tengahnya dialasi dengan collar sampai terpisah. Potongan menjadi dua;
6. Engkol berputar pada kira-kira 2 putaran tiap detik;
7. Setelah tanah terisi sekitar 2 cm, pemutaran dihentikan;
8. Experiment ini dilakukan empat kali dengan berbagai tingkat biota air. Dua sampel tanah diperkirakan mencakup 2 cm atau lebih dari 25 keran.

B. Batas Plastis

Batas plastis tanah (*Plastic Limit* atau PL) adalah kadar air terendah dimana tanah masih menunjukkan sifat plastis.

Alat yang digunakan :

1. Ayakan nomor 40 mm
2. Mangkok
3. Cawan
4. Neraca analitis
5. Oven
6. *Exicator*

Dengan cara berikut digunakan untuk menguji batas plastis :

1. Ambil contoh tanah yang cukup dan panggang selama ± 24 jam. Kemudian sampel tanah dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan no.40 ($\phi 0,425$ mm).
2. Beberapa sampel tanah diambil dan ditempatkan dalam mangkuk dan ditambahkan Aquadest, kemudian diaduk hingga rata.
3. Setelah campuran selesai sampel dipelintir di atas cawan kaca

hinggamembentuk lingkaran panjang dari ujung ke ujung dengan diameter ± 3 mm.

4. jika telah mencapai batas, sampel tanah diambil dan ditimbang terus menerus dari 5 gram sampai 10 gram untuk mengetahui kadar airnya.

C. Indeks Plastis

Indeks plastis (IP) adalah ukuran kemampuan tanah untuk mengalami deformasi plastis (perubahan bentuk permanen) pada kondisi air tertentu. Secara sederhana, IP adalah selisih antara batas cair (LL) dan batas plastis (PL) tanah. Indeks plastis (IP) : Dihitung dengan rumus : ($IP = LL - PL$). Maka nilai IP menunjukkan rentang kadar air dimana tanah bersifat plastis.

3.6.6 Direct Shear (SNI 3420:2016)

Uji geser langsung adalah uji yang digunakan untuk mengukur kekuatan geser tanah secara langsung.

Alat yang digunakan :

1. *Direct shear test*
2. 2 Timbangan
3. Cincin penanda dan pisau atau alat pemotong lainnya

Prosedur untuk melakukan uji geser langsung adalah sebagai berikut ini :

1. Penguji geser langsung berada di posisinya, pengatur waktu dan dial direset ke nol.
2. Template dicetak dan ditempatkan.
3. Sebuah beban vertikal yang normal diterapkan untuk mendapatkan voltase biasa (σ_n)
4. Alat putar diputar dan *stopwatch* ditekan (dihidupkan). Rotasi dilakukan secara berkala dan pada kecepatan yang sama atau dengan kecepatan konstan, yaitu setiap ± 2 detik. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan tegangan geser (σ_s).
5. Ketika situasi telah berubah, jarum disimpan ke posisi jarum tertinggi. Sekarang juga.
6. Percobaan ini dilakukan tiga (3) kali pada sampel tanah dengan beban 8 kg, 16 kg, dan 24 kg, masing-masing untuk menghasilkan tegangan yang

berbeda.

3.6.7 Proctor Modified (SNI 1743-2008)

Tujuannya adalah untuk menentukan jumlah air yang diperlukan untuk memadatkan tanah (W_{opt}), berat volume basah tertinggi (γ_b), berat volume kering tertinggi (γ_d), dan presentase pori, yaitu ruang di dalam tanah.

Alat yang digunakan :

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

Untuk melakukan uji proctor standart, ikuti prosedur berikut ini:

1. Tanah yang akan diuji dikeringkan terlebih dahulu sebelum pengujian pemantauan dilakukan.
2. Setelah alat pemantau dilepas, setiap alat ditimbang dan diukur diameter dan tingginya.
3. Saring contoh tanah kering dengan saringan nomor 4 ($\varnothing$ 4,76 mm). Kemudian bagi tanah menjadi 5 bagian, masing-masing berat 2 kg.
4. Ambil satu bagian sampel dan campurkan dengan air sampai rata. Kemudian, bagi sampel menjadi tiga bagian yang sama.
5. Setiap elemen dimasukkan ke dalam detektor dan dipukul 25 kali. Lanjutkan pada bagian dua dan tiga.
6. Dengan menggunakan pisau perata, ring atas atau bagian atas perlahan-lahan dilepas dan diratakan di dalam tabung. Setelah itu, tanah dan probe ditimbang.
7. Ambil sedikit tanah di dalam tabung (atas dan bawah tabung) untuk mencari kadar airnya.

8. Percobaan diulangi lagi untuk contoh tanah selanjutnya dengan cara yang sama dan dengan variasi dalam jumlah air ditambahkan hingga batas tertinggi (yang akan menghasilkan berat yang paling tinggi).
9. Gs diambil dari berat jenis tanah (*specific gravity*).
10. Hitung kadar air (w), berat volume basah (γ_b), berat volume kering (γ_d), n, e, dan ZAV.
11. Grafik terdiri dari absis kadar air. (w) dan kordinatnya (γ_b , γ_d , ZAV).

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

Uji digunakan untuk mengukur daya dukung tanah pondasi untuk persiapan lapis perkerasan lentur.

Alat yang digunakan:

1. Mesin CBR
2. Cetakan CBR
3. Cincin Pemisah
4. Palu
5. Pengukur Ekspander
6. Pelat Pemuatan Lubang Bundar
7. Pelat Pemuatan Lubang Alur
8. Piston Penetrasi
9. Pengukur Beban dan Penetrasi
10. Baki
11. Alat Perata
12. Tangki Perendaman

Proses berikut digunakan untuk melakukan uji CBR :

1. Keringkan tanah dengan benar jumlah sampel yang diperlukan di bawah panas matahari hingga kering.
2. Berbagi tanah menjadi lima bagian, masing-masing dengan berat kg, dan lima bagian masing-masing berbobot 3,8 kg, dan 5 bagian masing-masing berbobot 3,6 kilogram. Sebelumnya, saringan nomor 4 dengan diameter 4,76 mm digunakan untuk menyaring tanah.
3. Untuk sampel yang dicampur dengan bahan yang distabilkan, diamkan selama

- 2jam setelah pencampuran menyeluruh dan tutup rapat.
4. Massa dasar dan bawah silinder keseimbangan. Ukuran tinggi dan diameter instrumen digunakan untuk menentukan volume silinder.
 5. Berat alu ditimbang dan tinggi benda yang jatuh diukur.
 6. Ambil masing-masing contoh tanah dan aduk dengan air yang diukur sampai rata. Campuran tersebut dibagi menjadi 5 bagian.
 7. Tanah yang dihomogenkan tersebar di mana-mana di daerah tersebut. karenanya, lima buah bumi diambil dan masing-masing bagian ditumbuksecaramerata 56 kali.
 8. Cincin bagian atas dilepas perlahan-lahan kemudian diratakan, setelah itu ditimbang.
 9. Letakkan panci timbang di atas permukaan objek yang akan diuji. Kemudian, atur pendorong untuk menembus permukaan objek sehingga alat pengukur beban menunjukkan jumlah awal beban sebesar 45 kilogram.
 10. Pengumpulan awal ini diperlukan untuk memastikan kontak sempurna antara piston dan permukaan spesimen.
 11. Sesuaikan plunger penetrasi ke permukaan objek yang diuji sehingga indikator/kontrol penetrasi diatur ke-0.
 12. Pembentangan dilakukan dengan memutar engkol dengan cara yang otomatis dan terus menerus dengan tingkat kecepatan 1,27 mm/menit untuk menjaga torak tetap turun ; Menit 1/4, 1/2, 1, 1 1/2, 2, 3, 4, 6, dan 8 dihitung dengan arloji pembebanan.
 13. Percobaan yang tidak direndam di atas dilakukan tanpa air; untuk percobaan yang direndam, perlu direndam di tanah selama empat hari sebelum melakukan ulang CBR.
 14. Setelah membaca, lepaskan item yang diuji dan lepaskan sisi tinggi dan rendah untuk memeriksa kelembapan.

3.7 Analisis Data

Dalam pendekatan analisis data ini ada 2 tahap pelaksanaan yaitu :

1. Melaksanakan pengujian di laboratorium dengan penambahan mortar busa yang divariasikan 10%, 15%, 20%, dan, 25% yang mencakup uji *atterberg limit*, *direct shear*, dan CBR (*California Bearing Ratio*).
2. Hasil pengujian kemudian akan dibandingkan untuk melihat apakah tanah yang dikombinasikan dengan mortar busa akan memiliki daya dukung yang lebih tinggi?



3.8 Bagan Alir 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 Kecamatan Mranggen, Kabupaten Demak, Jawa Tengah. Metode studi yang digunakan tugas akhir ini eksperimen (pengujian) yang dilakukan di laboratorium mekanika tanah Fakultas Teknik UNISSULA. Dari data tersebut dapat di analisis sifat-sifat tanah yang distabilisasi dengan penambahan mortar busa. Kemudian data tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh daya dukung tanah yang stabil (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

No.	Sifat	Nilai	Satuan
1	Spesific Gravity (GS)	2,683	
2	Persenan Butiran Tanah Lolos Saringan No. 200	72,50	%
3	Kadar Air Optimum (Wopt)	33,50	%
4	Berat Volume Kering Maksimum (γ_d Max)	1,15	kN/m ³
5	Batas Cair (LL)	55,77	%
6	Batas Plastis (PL)	24,17	%
7	Indeks Plastisitas (IP)	31,60	%
8	Kohesi (c)	0,108	Kg/cm ²
9	Sudut Geser Dalam (ϕ)	17,207	(°)
10	Nilai CBR	4,78	%

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 7,5%, nilai sudut geser (ϕ) 17,207%, dan nilai CBR 4,78%.

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

Teknik ini, juga dikenal sebagai uji sedimentasi, digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah berdasarkan sedimentasi tanah dalam air. Tujuan analisis hidrometer adalah untuk menemukan distribusi ukuran butiran tanah yang 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	29	0	24	0.00412	0.0	0.00	72.51
1/4	26	3	23.4	0.00407	7.5	7.50	65.00
1/2	25.5	0.5	23.9	0.00291	1.3	8.75	63.75
1	25	0.5	23.9	0.00205	1.3	10.00	62.50
2	24	1	23.8	0.00145	2.5	12.50	60.00
5	22	2	23.6	0.00091	5.0	17.50	55.00
10	13.5	8.5	22.3	0.00063	21.3	38.75	33.75
45	0	13.5	21.3	0.00050	33.8	72.51	0.00
75	0	0	24	0.00024	0.0	72.51	0.00
90	0	0	24	0.00022	0.0	72.51	0.00
120	0	0	24	0.00019	0.0	72.51	0.00
		29					

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	54	0	24	0.00412	0.0	0.00	63.18
1/4	52	2	23.6	0.00408	2.3	2.34	60.84
1/2	51	1	23.8	0.00290	1.2	3.51	59.67
1	50	1	23.8	0.00205	1.2	4.68	58.50
2	48	2	23.6	0.00144	2.3	7.02	56.16
5	43	5	23	0.00090	5.8	12.87	50.31
10	35	8	22.4	0.00063	9.4	22.23	40.95
45	6	29	18.2	0.00046	33.9	56.16	7.02
75	0	6	22.8	0.00023	7.0	63.18	0.00
90	0	0	24	0.00022	0.0	63.18	0.00
120	0	0	24	0.00019	0.0	63.18	0.00
		54					

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

Waku (meni)	Strip	Selisih Pembacaan	Z	Diameter Mol Tanah (m)	Presentase Butiran (%)	Presentae Komulatif (%)	Percent Finer (%)
0	39	0	24	0.00412	0.0	0.00	54.61
1/4	33	6	22.8	0.00401	8.4	8.40	46.21
1/2	30	3	23.4	0.00288	4.2	12.60	42.01
1	27	3	23.4	0.00203	4.2	16.80	37.81
2	20	7	22.6	0.00141	9.8	26.60	28.01
5	17	3	23.4	0.00091	4.2	30.81	23.80
10	12	5	23	0.00064	7.0	37.81	16.80
45	5	7	22.6	0.00052	9.8	47.61	7.00
75	2	3	23.4	0.00023	4.2	51.81	2.80
90	0	2	23.6	0.00022	2.8	54.61	0.00
120	0	0	24	0.00019	0.0	54.61	0.00
		39					

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	57.85
1/4	50	8	22.4	0.00398	8.0	7.98	49.87
1/2	47	3	23.4	0.00288	3.0	10.97	46.87
1	36	11	21.8	0.00196	11.0	21.94	35.90
2	20	16	20.8	0.00136	16.0	37.90	19.95
5	16	4	23.2	0.00091	4.0	41.89	15.96
10	11	5	23	0.00064	5.0	46.87	10.97
45	6	5	23	0.00052	5.0	51.86	5.98
75	2	4	23.2	0.00023	4.0	55.85	1.99
90	0	2	23.6	0.00022	2.0	57.85	0.00
120	0	0	24	0.00019	0.0	57.85	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	52	0	24	0.00412	0.0	0.00	53.44
1/4	49	3	23.4	0.00407	3.1	3.08	50.35
1/2	44	5	23	0.00285	5.1	8.22	45.21
1	32	12	21.6	0.00195	12.3	20.55	32.88
2	20	12	21.6	0.00138	12.3	32.88	20.55
5	16	4	23.2	0.00091	4.1	36.99	16.44
10	10	6	22.8	0.00063	6.2	43.16	10.28
45	4	6	22.8	0.00052	6.2	49.32	4.11
75	2	2	23.6	0.00024	2.1	51.38	2.06
90	0	2	23.6	0.00022	2.1	53.44	0.00
120	0	0	24	0.00019	0.0	53.44	0.00
		52					

b. Sieve Analysis

Analisis ayakan dan analisis hidrometer digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butir. Satu sel ayakan standar digerakkan secara vertikal maupun horizontal dalam pengocok ayakan untuk menghitung proporsinya berat berbagai ukuran butir yang lebih besar dari 74 mikron.

Tabel 4. 7 Nilai Perhitungan Sieve Analysisi Tanah Asli

Diameter saringan	No. Cawan	Br. Cawan (gr)	Br. Sampel+cwn yg tertinggal dlm saringan (gr)	Br. Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Presentase sampel yg 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	23.02	18.94	9.47	9.47	90.53
0,425	D	4.40	13.34	8.94	4.47	13.94	86.06
0,250	E	8.12	15.56	7.44	3.72	17.66	82.34
0,180	F	4.12	8.93	4.81	2.41	20.07	79.94
0,150	G	4.01	7.84	3.83	1.92	21.98	78.02
0,075	H	4.19	15.22	11.03	5.52	27.50	72.51
0,000	I	4.16	149.17	145.01	72.51	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 dlm saringan (gr)	Brt.Sampel yg tertinggal dlm saringan (gr)	Presentase sampel yg tertinggal (%)	Kumulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	A	4.07	4.07	0.00	0.00	0.00	100.00
2,000	B	4.13	4.60	0.47	0.24	0.24	99.77
0,850	C	8.17	26.78	18.61	9.31	9.54	90.46
0,425	D	4.41	24.66	20.25	10.13	19.67	80.34
0,250	E	4.13	20.56	16.43	8.22	27.88	72.12
0,180	F	4.16	19.32	15.16	7.58	35.46	64.54
0,150	G	4.06	4.39	0.33	0.17	35.63	64.38
0,075	H	4.08	6.48	2.40	1.20	36.83	63.18
0,000	I	4.06	130.41	126.35	63.18	100.00	0.00
				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 (%)	Kumulatif Presentase sampel yg tertinggal (%)	Percent Finer (%)
4,750	A	4.02	0.00	0.00	0.00	100.00	4.02
2,000	B	6.13	2.00	1.00	1.00	99.00	6.13
0,850	C	5.34	1.20	0.60	1.60	98.40	5.34
0,425	D	5.72	1.55	0.78	2.38	97.63	5.72
0,250	E	5.13	0.94	0.47	2.85	97.16	5.13
0,180	F	5.18	0.86	0.43	3.28	96.73	5.18
0,150	G	5.83	1.43	0.72	3.99	96.01	5.83
0,075	H	86.85	82.80	41.40	45.39	54.61	86.85
0,000	I	113.32	109.22	54.61	100.00	0.00	113.32
				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	8.10	0.00	0.00	0.00	100.00	8.10
2,000	B	6.05	1.79	0.90	0.90	99.11	6.05
0,850	C	7.01	2.91	1.46	2.35	97.65	7.01
0,425	D	5.43	1.34	0.67	3.02	96.98	5.43
0,250	E	3.22	-0.90	-0.45	2.57	97.43	3.22
0,180	F	3.02	-1.13	-0.57	2.01	98.00	3.02
0,150	G	4.04	-0.36	-0.18	1.83	98.18	4.04
0,075	H	84.43	80.66	40.33	42.16	57.85	84.43
0,000	I	119.98	115.69	57.85	100.00	0.00	119.98
				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	4.05	4.05	0.00	0.00	0.00	100.00
2,000	B	4.22	6.10	1.88	0.94	0.94	99.06
0,850	C	4.12	9.30	5.18	2.59	3.53	96.47
0,425	D	4.06	13.05	8.99	4.50	8.03	91.98
0,250	E	4.42	5.11	0.69	0.35	8.37	91.63
0,180	F	4.77	17.13	12.36	6.18	14.55	85.45
0,150	G	4.40	13.44	9.04	4.52	19.07	80.93
0,075	H	4.44	59.43	54.99	27.50	46.57	53.44
0,000	I	4.20	111.07	106.87	53.44	100.00	0.00
				200.00	100.00		

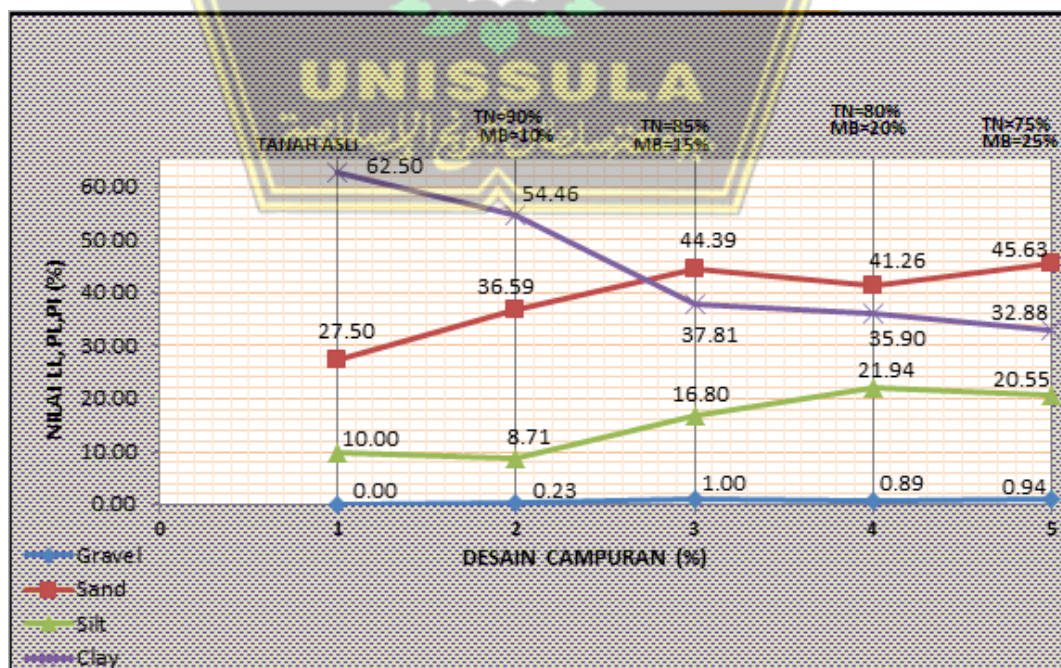
Setelah diketahui hasil dari hydrometer analysis dan sieve analysis secara keseluruhan maka didapatkan hasil pembagian ukuran butir tanah.

Tabel 4. 12 Hasil Grain Size

No	Sampel	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Gravel (%)
1	Tanah Asli	62.50	10.00	27.50	0.00
2	MB 10%	58.50	4.68	36.59	0.23
3	MB 15%	37.81	16.80	44.39	1.00
4	MB 20%	35.90	21.94	41.26	0.89
5	MB 25%	32,88	20,55	45,63	0,94

Dari tabel diatas menunjukkan data perubahan dari setiap campuran dan untuk campuran 10% menunjukan 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 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 *atterberg*, yang merupakan batas antara keadaan cair dan plastis.

Analisis hasil perhitungan data *liquid limit*

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

$$w = \frac{21,43 - 16,20}{16,20 - 4,06} \times 100 \%$$

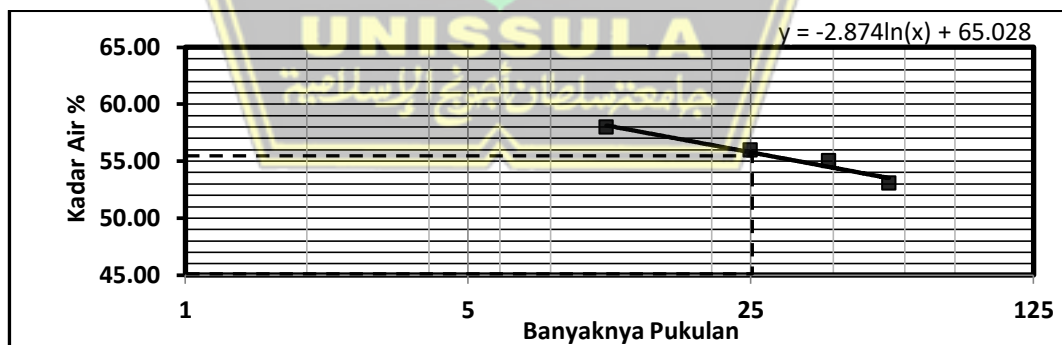
$$w = 43,08 \%$$

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	4,01	30,53	20,80	57,95	55,78
	25	2	4,06	21,43	15,20	55,92	
	39	3	3,84	19,28	13,8	55,02	
	55	4	4,05	19,49	14,14	53,02	
Tanah Campuran MB 10%	15	1	3,86	33,26	22,67	56,30	54,87
	23	2	4,05	35,96	24,63	55,05	
	50	3	3,97	43,32	29,64	53,29	
	70	4	4,42	45	31,20	51,53	
Tanah	14	1	4,10	26,08	18,23	55,56	49,56

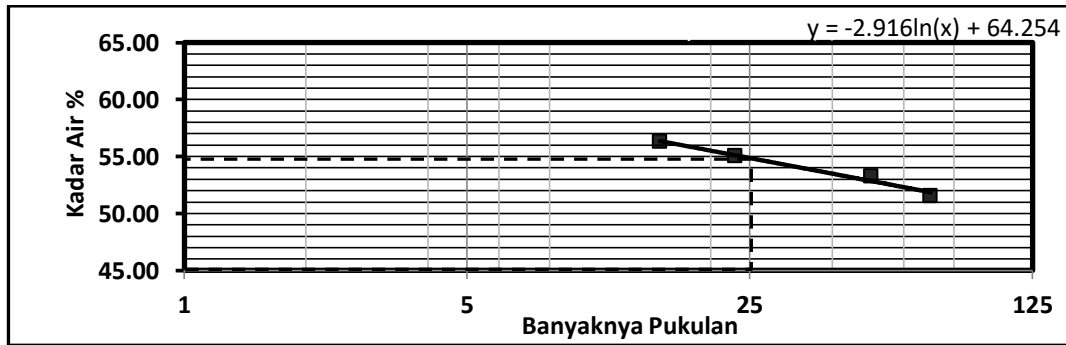
Sampel	Jumlah Ketukan	No. Cawan	Berat Cawan (gr) (a)	Berat Cawan+Tanah Basah (gr) (b)	Berat Cawan + Tanah Kering (gr) (c)	W (%)	LL (%)
Campuran MB 15%	18	2	4,07	37,82	26,00	53,90	
	55	3	4,15	30,26	22,12	45,30	
	75	4	4,14	32,4	25,67	31,26	
Tanah Campuran MB 20%	10	1	4,15	25,10	17,42	57,87	47,58
	23	2	4,14	28,60	20,32	51,17	
	40	3	4,05	27,51	21,02	38,24	
	75	4	4,06	27,46	21,21	36,44	
Tanah Campuran MB 25%	18	1	4,15	33,77	24,50	45,55	42,29
	23	2	4,14	25,46	19,22	41,36	
	45	3	4,05	40,32	30,17	38,86	
	70	4	4,06	22	17,33	35,19	

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



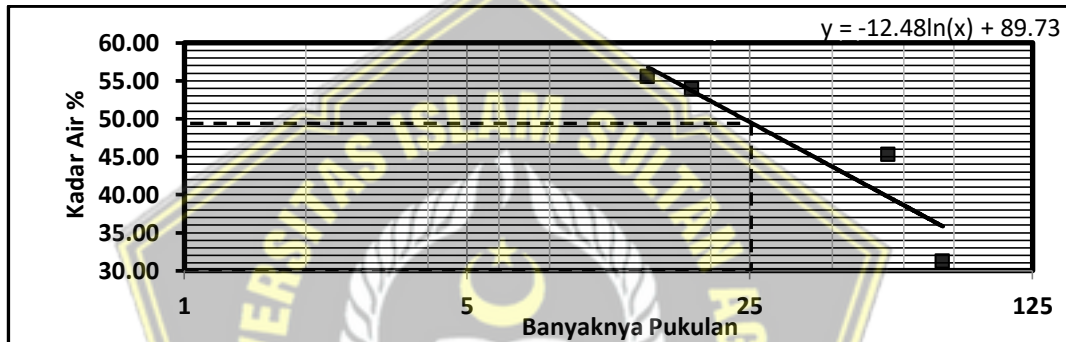
Gambar 4. 2 Grafik Liquid Limit sampel Tanah Asli

Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafik di Gambar 4.2 adalah sebesar 55,78%



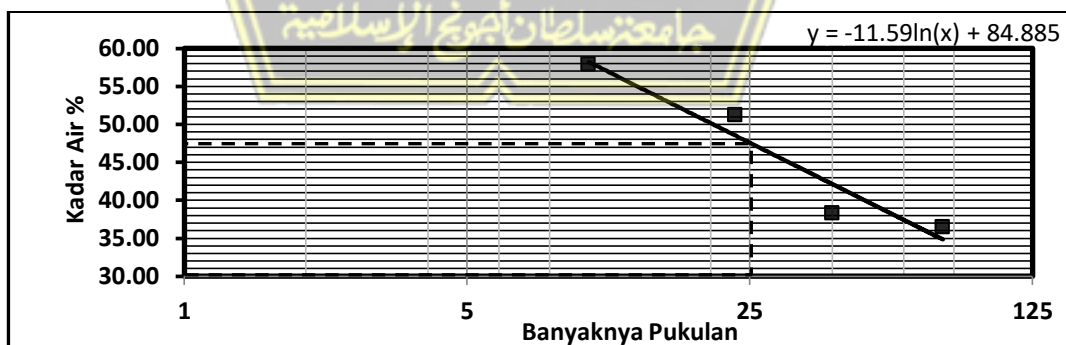
Gambar 4. 3 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran MB 10%

Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafik di Gambar 4.3 adalah sebesar 54,87%



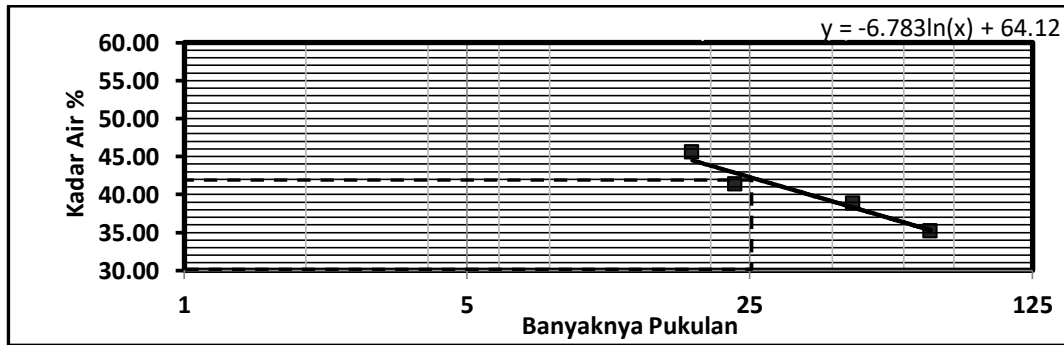
Gambar 4. 4 Grafik Batas Cair sampel Tanah Campuran MB 15%

Kadar air pada pukulan ke-25 seperti yang ditunjukkan oleh grafik di Gambar 4.4 adalah sebesar 49,56%



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 47,58%



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 sekian%

b. Batas Plastis

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

Analisis hasil eksperimen data batas plastis

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

$$w = \frac{15,06 - 12,94}{12,94 - 4,17} \times 100 \%$$

$$w = 24,17 \%$$

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	4,01	30,53	20,80	57,95	24,17
Tanah Campuran MB 10%	5	3,86	33,26	22,67	56,30	25,07
Tanah Campuran MB 15%	5	4,10	26,08	18,23	55,56	27,75
Tanah Campuran MB 20%	5	4,15	25,10	17,42	57,87	28,16
Tanah Campuran MB 25%	5	4,15	33,77	24,50	45,55	29,02

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

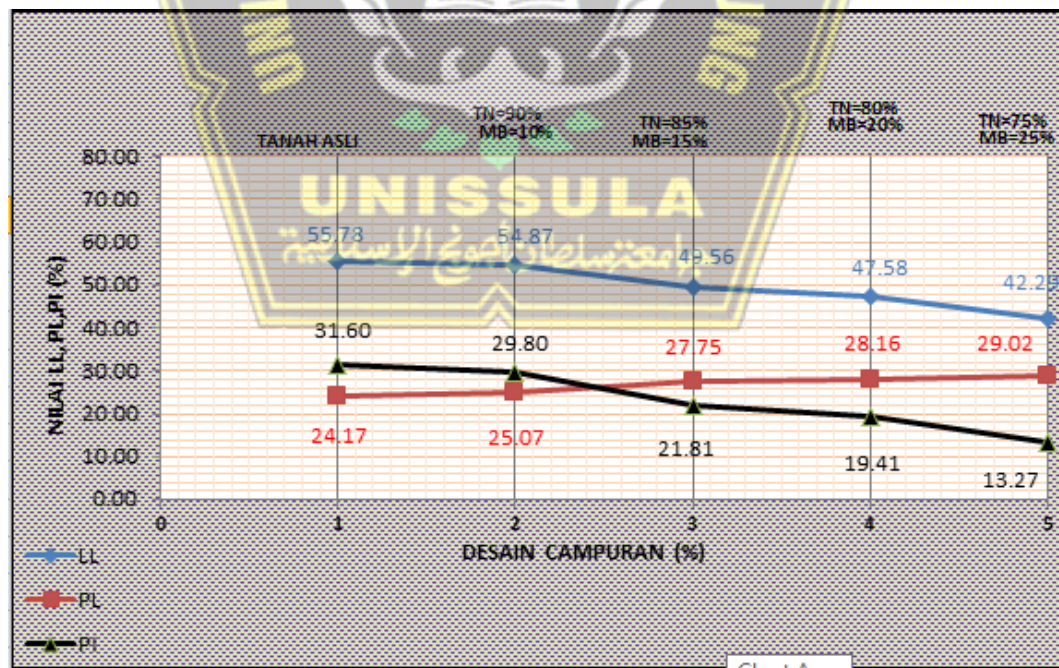
$$IP = LL - PL$$

$$= 55,78 - 24,17$$

$$= 31,61\%$$

Tabel 4. 15 Hasil Indeks Plastisitas

Sampel	LL %	PL %	IP %
Tanah Asli	55,78	24,17	31,60
Tanah Campuran MB 10%	54,87	32,28	22,59
Tanah Campuran MB 15%	49,56	29,24	20,32
Tanah Campuran MB 20%	47,58	28,16	19,41
Tanah Campuran MB 25%	42,29	29,02	13,27



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	= 0,81 kg
2 kg	= 1,62 kg
4 kg	= 3,24 kg

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

1. Tegangan Normal (σ_n)

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

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

$$= \frac{0,81 + 0,0589}{31,156}$$

$$= 0,028 \text{ kg/cm}^2$$

2. Tegangan Geser (σ_s)

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

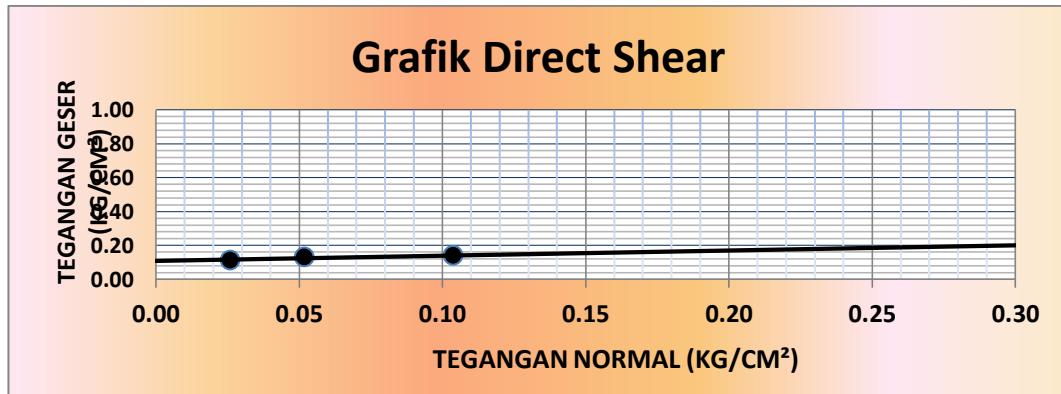
$$= \frac{29 \times 0,54}{31,156}$$

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

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

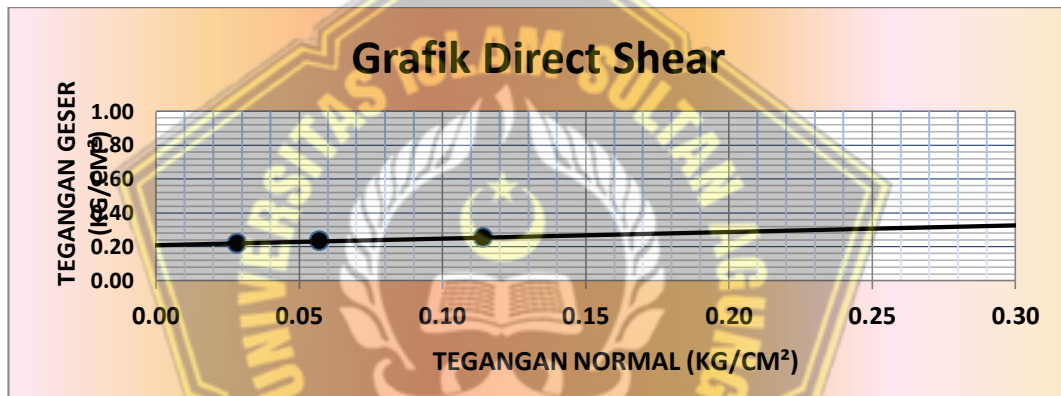
Sampel	Percobaan	Beban (kg/cm ³)	Koreksi Beban (kg/cm ³)	Pembacaan Dial	Tegangan Normal (σ_n)	Tegangan Geser (σ_s)
Tanah Asli	1	1	0,81	6,5	0,0260	0,1127
	2	2	1,62	7,5	0,052	0,1300
	3	4	3,24	8	0,104	0,1387
Tanah Campuran 10%	1	1	0,89	12,5	0,0286	0,2166
	2	2	1,78	13,5	0,057	0,2340
	3	4	3,56	14,5	0,114	0,2513
Tanah Campuran 15%	1	1	1,4	16,5	0,0449	0,2860
	2	2	2,8	19	0,090	0,3293
	3	4	5,6	20,5	0,180	0,3553
Tanah Campuran 20%	1	1	1,03	14	0,0331	0,2426
	2	2	2,06	15,5	0,066	0,2686
	3	4	4,12	17	0,132	0,2946
Tanah Campuran 25%	1	1	1,05	14,5	0,0337	0,2513
	2	2	2,1	15,5	0,067	0,2686
	3	4	4,2	17,5	0,135	0,3033

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



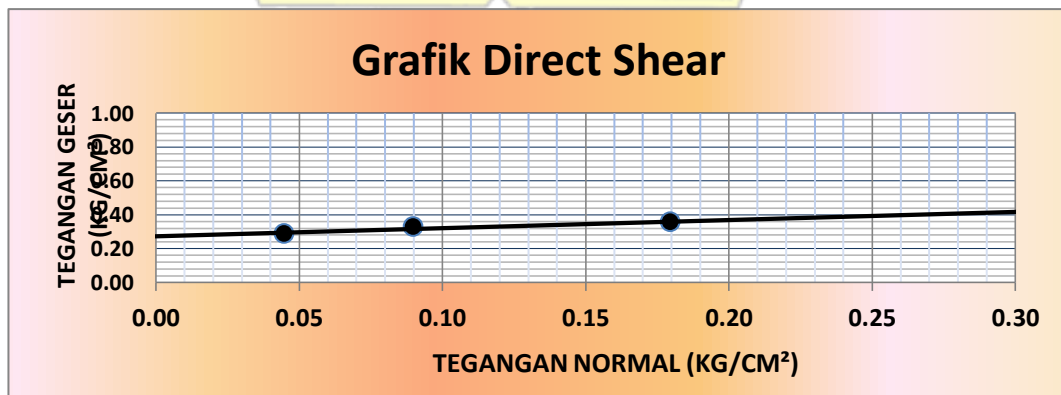
Gambar 4. 8 Grafik Direct Shear Tanah Asli

Berdasarkan Gambar 4.8 grafik Direct Shear Tanah Asli tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,1127; 0,1300; 0,1387 dan nilai tegangan normal 0,0260; 0,052; 0,104.



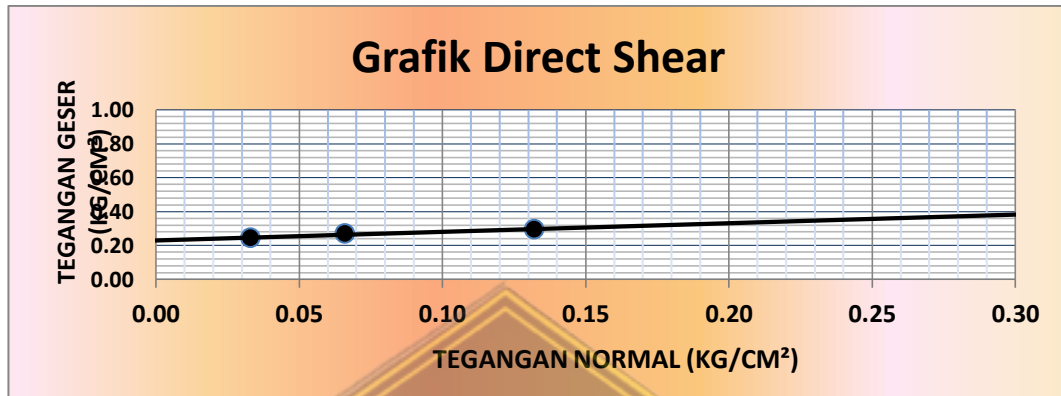
Gambar 4. 9 Grafik Direct Shear Tanah Campuran MB 10%

Berdasarkan Gambar 4.9 grafik Direct Shear Tanah campuran 10% tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,2166; 0,2340; 0,2513 dan nilai tegangan normal 0,0286; 0,057; 0,114.



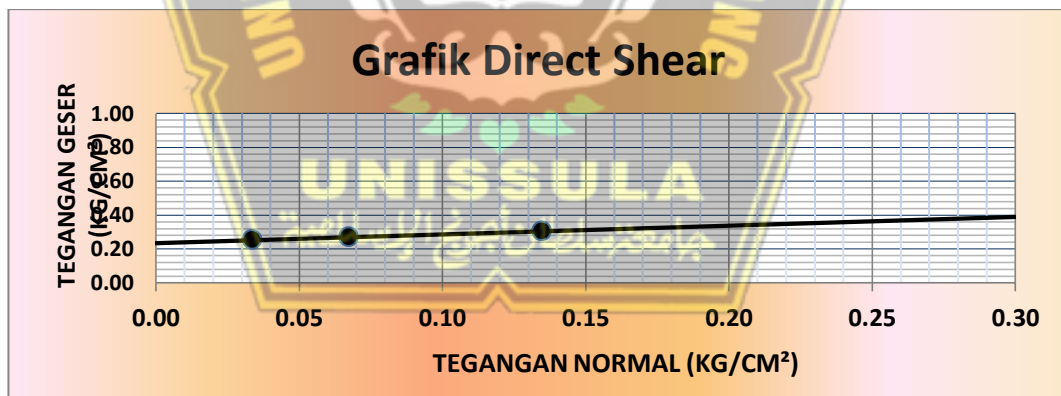
Gambar 4. 10 Grafik Direct Shear Tanah Campuran MB 15%

Berdasarkan Gambar 4.10 grafik Direct Shear Tanah campuran 15% tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,2860; 0,3293; 0,3553 dan nilai tegangan normal 0,0449; 0,090; 0,180.



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 0,2426; 0,2686; 0,2946 dan nilai tegangan normal 0,0331; 0,066; 0,132.



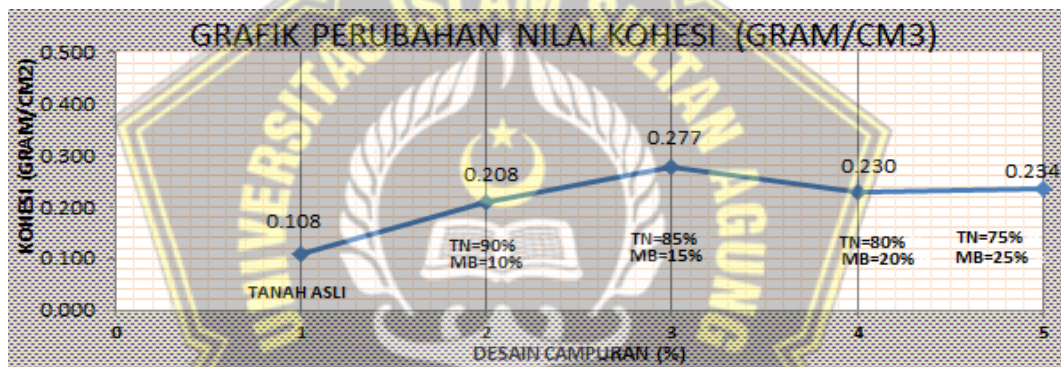
Gambar 4. 12 Grafik Direct Shear Tanah Campuran MB 25%

Berdasarkan Gambar 4.12 grafik Direct Shear Tanah campuran 25% tersebut diperoleh nilai Tegangan Geser 0,2513; 0,2686; 0,3033 dan nilai tegangan normal 0,0337; 0,067; 0,135.

Tabel 4. 17 Hasil Penggambaran Direct Shear

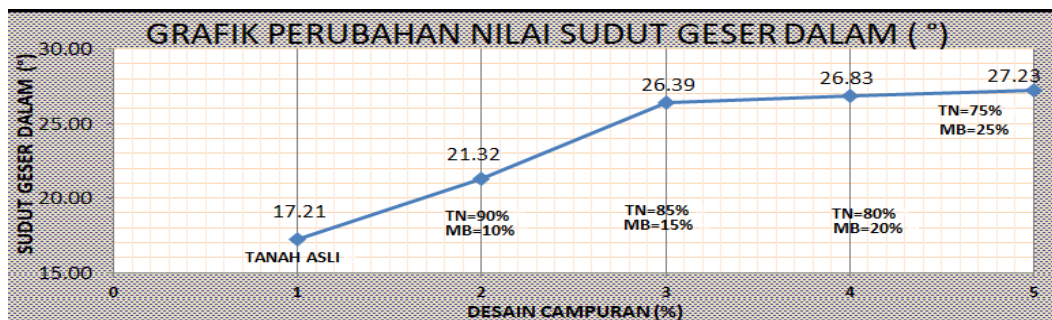
No	Sampel	Kohesi (c) (Kg/cm ²)	Sudut Geser Dalam (φ)(°)
1	Tanah Asli	0,108	17,21
2	Tanah Campuran MB 10%	0,208	21,32
3	Tanah Campuran MB 15%	0,277	25,75
4	Tanah Campuran 20%	0,230	26,83
5	Tanah Campuran 25%	0,234	27,23

Dari Tabel 4.18 hasil penggambaran *Direct Shear* tersebut diperoleh grafik nilai kohesi (c) dari tiap sampel seperti pada Gambar 4.16



Gambar 4. 13 Grafik Nilai Kohesi dan Sudut Geser

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 15%) yakni 0,277 kg/cm². dan pada sudut geser nilai yang paling tinggi yakni pada presentase (Tanah Campuran MB 25%) yakni 27,23%.



Gambar 4. 14 Sudut geser dalam

Berdasarkan Gambar 4. 14 diatas dapat dilihat bahwa semakin banyak penambahan Mortar Busa maka semakin tinggi nilai sudut geser dalam yang artinya semakin baik daya dukung tanahnya. Nilai sudut geser dalam tanah yang tinggi ditemukan berdasarkan hasil uji *Direct shear* di presentase (Tanah Campuran Mortar Busa 25%) yakni 27,23°.

4.3.4 Proctor Modified

Percobaan *Proctor Modified* tanah berdasarkan sedimentasi tanah dalam air untuk menentukan kadar air tanah ideal (W_{opt}), berat volume basah ideal (b), berat volume kering ideal (d_{opt}), dan persentase pori/pori pada tanah sampel.

Tabel 4.19 menampilkan data yang diperoleh dari hasil uji laboratorium.

Tabel 4. 18 Hasil Pengujian *Proctor Modified*

Sampel	Nomor Percobaan	Volume Air (cc)	Berat Alat + Tanah (gr)	No. Cawan	Berat Cawan (gr) (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (gr) (b)	Berat cawan + tanah Kering (gr) (c)
Tanah Asli	I	0	9847	1	7,17	28,29	25,00
	II	500	10077	2	3,83	47,22	38,50
	III	900	10376	3	4,23	49,80	39,81
	IV	1100	10245	4	8,00	49,83	40,06
	V	1300	10130	5	4,00	58,11	43,63
Tanah Campuran MB 10%	I	300	10200	1	5,00	35,00	29,90
	II	900	10500	2	4,04	37,49	31,41
	III	1300	10400	3	4,13	51,07	42,20
	IV	1600	10360	4	4,00	57,32	45,88
	V	1900	10145	5	4,00	60,00	45,69
Tanah Campuran MB 15%	I	300	10441	1	4,29	39,91	34,50
	II	900	10564	2	4,13	40,67	35,05
	III	1300	10700	3	4,11	47,68	40,00
	IV	1600	10620	4	4,05	44,73	36,56
	V	1900	10410	5	4,16	68,00	53,12
Tanah	I	800	10400	1	4,29	67,07	57,34
	II	900	10550	2	4,13	60,68	51,58
	III	1000	10650	3	4,11	61,66	52,00

Sampel	Nomor Percobaan	Volume Air (cc)	Berat Alat + Tanah (gr)	No. Cawan	Berat Cawan (gr) (a)	Berat Cawan + Tanah Basah (gr) (b)	Berat cawan + tanah Kering (gr) (c)
Campuran 20%	IV	1100	10570	4	4,05	44,15	37,11
	V	1300	10300	5	4,16	46,59	38,79
Tanah Campuran 25%	I	800	10300	1	4,29	45,73	40,98
	II	900	10600	2	4,13	43,12	38,02
	III	1000	10820	3	4,17	40,98	35,88
	IV	1100	10700	4	4,05	44,15	38,00
	V	1300	10500	5	4,16	46,59	38,79

Data alat :

Berat alat= 6092 gram

Tinggi alat= 11,6 cm

Diameter alat = 15,2 cm

Analisis data tersebut kemudian dihitung seperti berikut :

1. Volume alat

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot t \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (15,2)^2 \times 11,60 \\
 &= 2103,85
 \end{aligned}$$

2. Berat tanah basah

$$\begin{aligned}
 &= (\text{Berat Proctor} + \text{Tanah}) - \text{Berat Proctor (alas + 1)} \\
 &= 9367 - 6092 \\
 &= 3275
 \end{aligned}$$

3. Berat Volume Tanah Basah

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Berat tanah basah}}{\text{Volume cetakan}} \\
 &= \frac{3275}{2103,85} \\
 &= 1,56 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

4. Kadar Air (w)

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

Dimana: a = Nilai Berat Cawan (gram)

b = Nilai Berat Cawan + Tanah Basah (gram)

c = Nilai Berat Cawan + Tanah Kering (gram)

$$= \frac{35 - 29}{29 - 5} \times 100\%$$

$$= 25 \%$$

5. Berat volume tanah kering (γ_k)

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

$$= \frac{1,56}{1 + 0,25}$$

$$= 1,25 \text{ gr/cm}^3$$

6. Zero air void (ZAV)

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

$$= \frac{2,863 \times 1,56}{1 + (2,863 \times 0,25)}$$

$$= 1,61 \text{ gr/cm}^3$$

Tabel 4.20 menunjukkan hasil perhitungan secara keseluruhan untuk Tanah Asli, sedangkan Tabel 4.21 menunjukkan hasil perhitungan secara keseluruhan untuk Tanah Campuran Mortar Busa

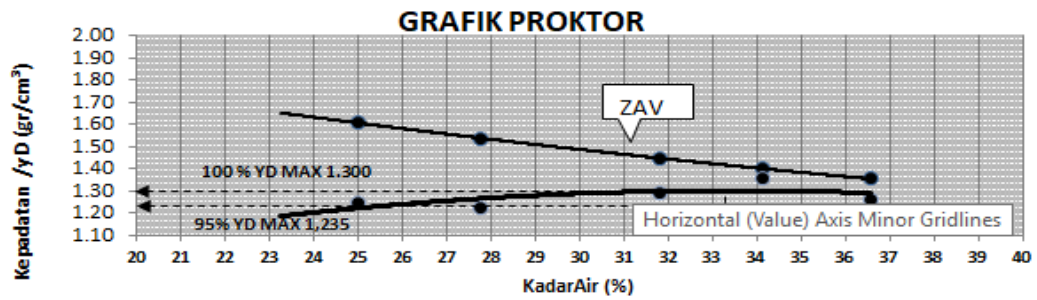
Tabel 4. 19 Nilai Perhitungan *Proctor Modified* Tanah Asli

Sampel	No. Percobaan	w (%)	GS (gr/cm ³)	γb (gr/cm ³)	γd (gr/cm ³)	ZAV
	I	25,00	2,103	1,56	1,25	1,61
	II	27,78	2,103	1,57	1,22	1,54

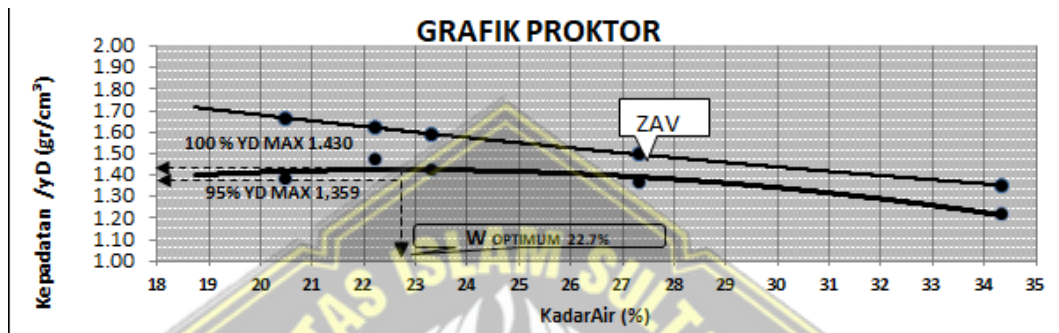
Sampel	No. Percobaan	w (%)	GS (gr/cm ³)	y _b (gr/cm ³)	y _d (gr/cm ³)	ZAV
Tanah Asli	III	31,82	2,103	1,70	1,29	1,45
	IV	34,15	2,103	1,83	1,36	1,40
	V	36,59	2,103	1,72	1,26	1,35

Tabel 4. 20 Nilai Perhitungan Proctor Modified campuran Mortar Busa

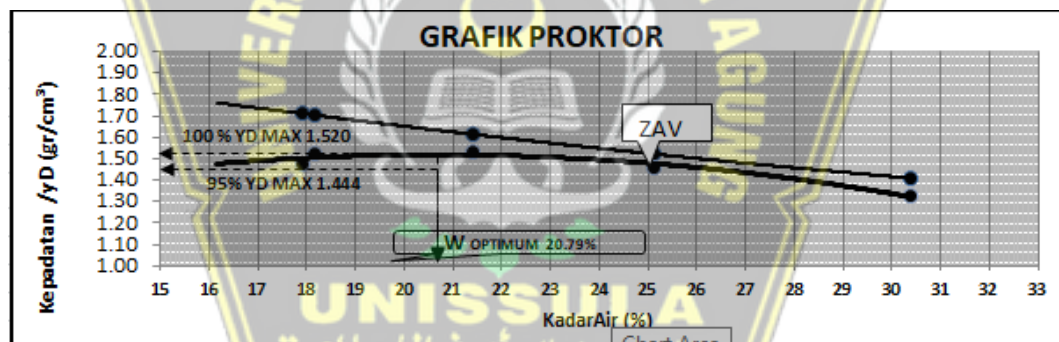
Sampel	No. Percobaan	w (%)	GS (gr/cm ³)	y _b (gr/cm ³)	y _d (gr/cm ³)	ZAV
Tanah Campuran MB 10%	I	20,48	2,530	1,66	1,38	1,67
	II	22,21	2,530	1,81	1,48	1,62
	III	23,30	2,530	1,76	1,43	1,59
	IV	27,32	2,530	1,74	1,37	1,50
	V	34,32	2,530	1,64	1,22	1,35
Tanah Campuran MB 15%	I	17,91	2,464	1,74	1,48	1,71
	II	18,18	2,464	1,80	1,52	1,70
	III	21,40	2,464	1,86	1,54	1,61
	IV	25,13	2,464	1,83	1,46	1,52
	V	30,39	2,464	1,73	1,33	1,41
Tanah Campuran MB 20%	I	18,34	2,397	1,76	1,49	1,67
	II	19,18	2,397	1,83	1,54	1,64
	III	20,17	2,397	1,88	1,56	1,62
	IV	21,29	2,397	1,84	1,52	1,59
	V	22,52	2,397	1,71	1,40	1,56
Tanah Campuran MB 25%	I	12,95	2,399	1,64	1,45	1,83
	II	15,05	2,399	1,78	1,55	1,76
	III	16,08	2,399	1,88	1,62	1,73
	IV	18,11	2,399	1,83	1,55	1,67
	V	22,52	2,399	1,73	1,41	1,56



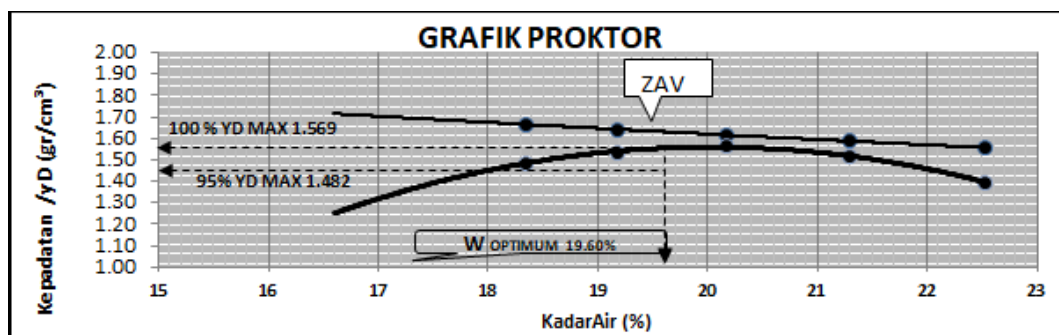
Gambar 4. 15 Grafik Wopt sampel Tanah Asli



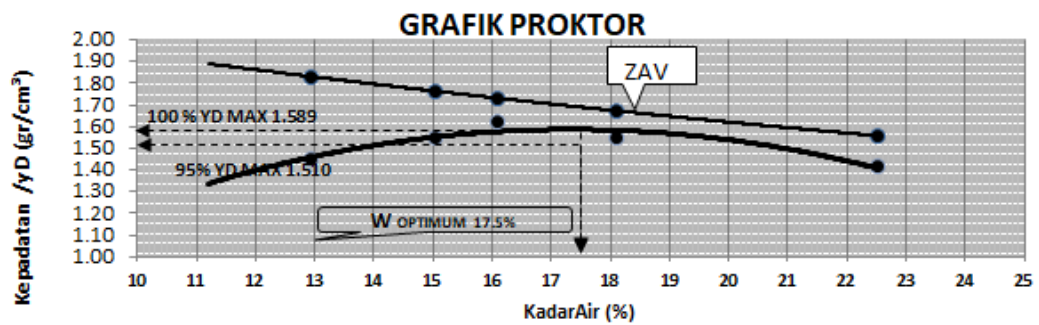
Gambar 4. 16 Grafik Wopt sampel Tanah Campuran MB 10%



Gambar 4. 17 Grafik Wopt sampel Tanah Campuran MB 15%



Gambar 4. 18 Grafik Wopt sampel Tanah Campuran MB 20%

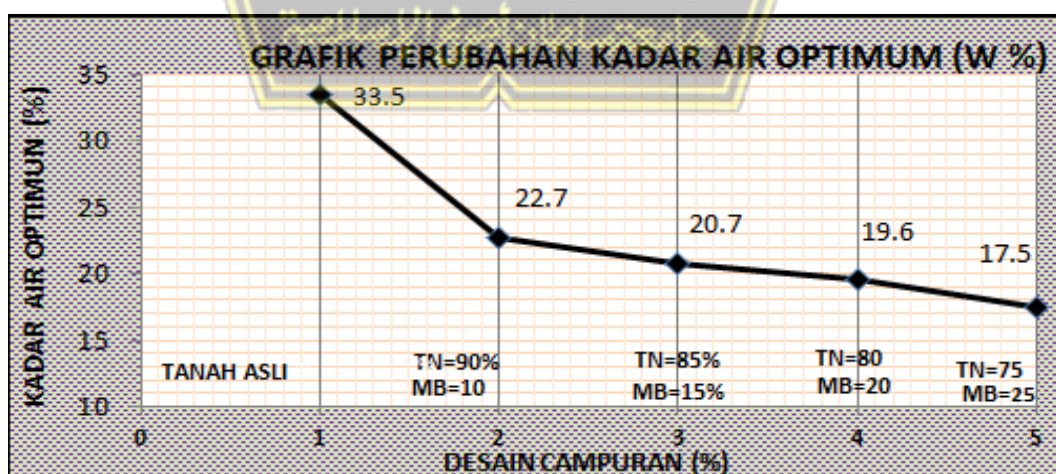


Gambar 4. 19 Grafik Wopt sampel Tanah Campuran MB 25%

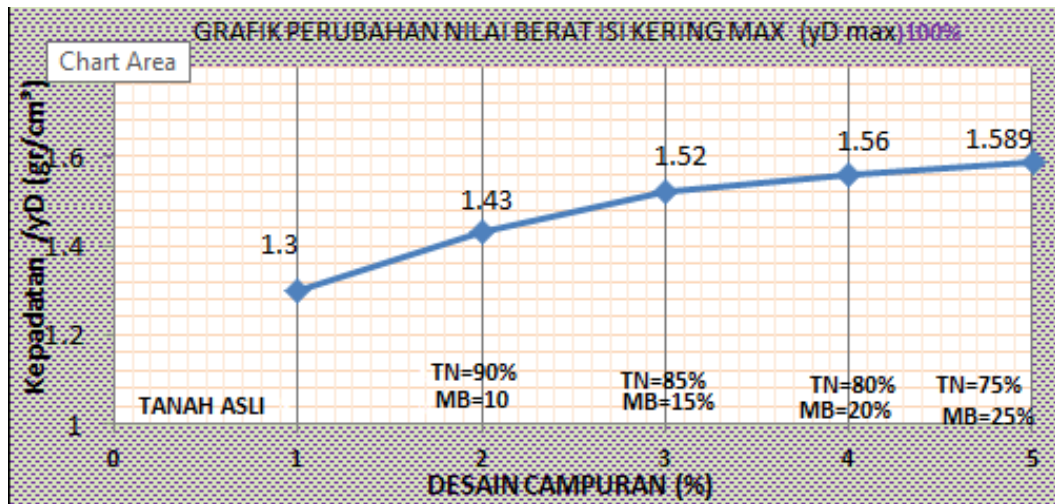
Tabel 4. 21 Hasil *Proctor Modified* Tanah Asli yang terdiri dari campuran

No	Sampel	Wopt (%)	γ_d (gr/cm^3)
1	Tanah Asli	33,50	1,3
2	Tanah Campuran MB 10%	22,70	1,43
3	Tanah Campuran MB 15%	20,70	1,52
4	Tanah Campuran MB 20%	19,60	1,56
5	Tanah Campuran MB 25%	17,50	1,59

Dari tabel tersebut dapat diperoleh grafik kadar air optimum (W_{opt}) seperti pada Gambar 4.19



Gambar 4. 20 Grafik *Proctor Modified* yang menunjukkan contoh Tanah Asli yang mengandung campuran Mortar Busa



Gambar 4. 21 Grafik γ_D max 100%

Berdasarkan dari gambar 4.19 di atas, dapat dilihat bahwa kecenderungan (*trens*) grafik *proctor modified* semakin banyak diberikan campuran Mortar Busa semakin kecil (w_{opt}) dan semakin besar γ_d (gr/cm³), ini berarti karakter daya dukung tanah semakin meningkat (karakter tanah semakin baik). w_{opt} tanah paling rendah diketahui pada tanah campuran mortar busa 25% yakni 17,5%.

4.3.5 California Bearing Ratio (CBR)

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

Tabel 4. 22 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	10380	4,08	39,72	30,8
Tanah Campuran 10%	2	10380	4,13	50,23	41,68
Tanah Campuran 15%	3	10540	4,12	70,98	59,02
Tanah Campuran 20%	4	10670	4,08	37,82	32,25
Tanah Campuran 25%	5	10850	4,10	36,07	31,55

Data alat

Berat tabung = 6716 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.

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Volume alat (V)} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot t \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 15,2^2 \cdot 11,6 \\
 &= 2104,9173 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$2. \text{ Berat tanah basah} = (\text{berat alat} + \text{tanah}) - \text{berat alat (alas + 1)}$$

$$= 10470 - 6716$$

$$= 3754 \text{ gr}$$

$$3. \text{ Berat volume tanah basah } (\gamma_b)$$

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

$$= \frac{3754}{2104,9173}$$

$$= 1,78 \text{ gr/cm}^3$$

$$4. \text{ Kadar air (W)}$$

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

Dimana:

a = Nilai Berat Cawan (gram)

b = Nilai Berat Cawan + Tanah Basah (gram)

c = Nilai Berat Cawan + Tanah Kering (gram)

$$= \frac{34,53 - 27,5}{27,5 - 6,47} \times 100\%$$

$$= 33,43 \%$$

$$5. \text{ Berat jenis tanah kering } (\gamma_k)$$

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

$$= \frac{1,784}{1 + 0,3343}$$

$$= 1,33 \text{ gr/cm}^3$$

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

Menghitung pengurangan beban:

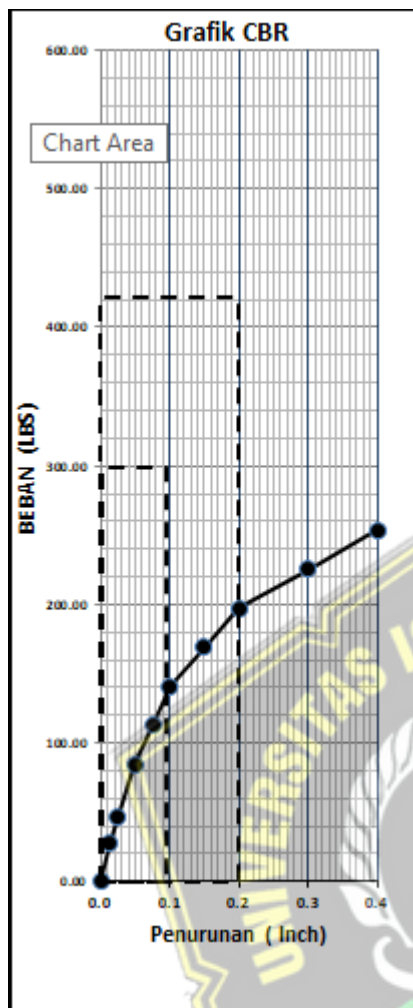
Koreksi beban = Kalibrasi Alat + Pembacaan Arloji CBR

$$= 9,391 \times 8 = 75,13 \text{ lbs}$$

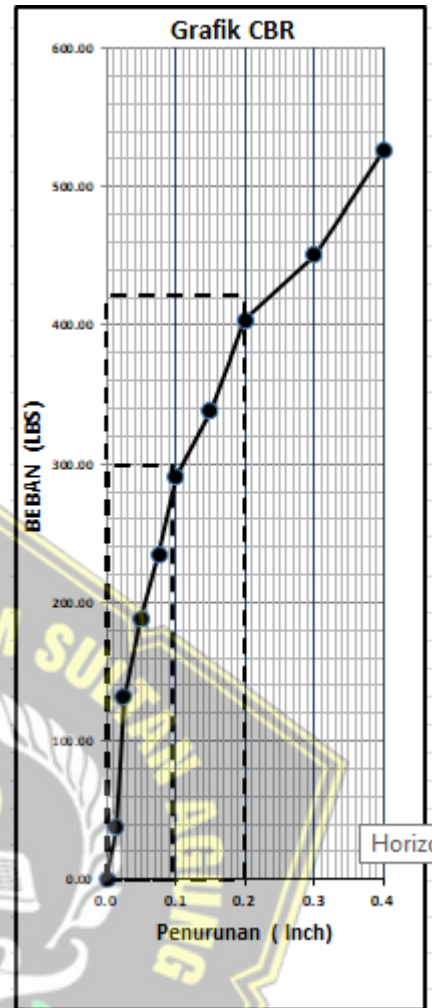
Kalibrasi : 9,391

Tabel 4. 23 Hasil Penetrasi Sampel Tanah campuran Mortar Bus

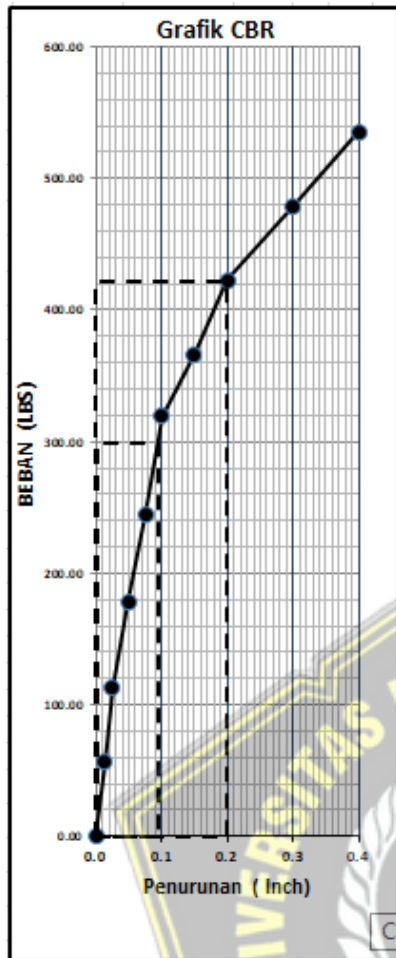
Penurunan			Jumlah Tumbukan									
t (menit)	(inch)	(mm)	Tanah Asli		TA + MB 10 %		TA + MB 15 %		TA + MB 20 %		TA + MB 25 %	
			Arloji Bawah	Koreksi	Arloji Bawah	Koreksi	Arloji Bawah	Koreksi	Arloji Bawah	Koreksi	Arloji Bawah	Koreksi
¼	0,0125	0,32	3	28,17	4	37,56	6	56,35	5	46,96	9	84,52
½	0,0250	0,64	4	46,96	14	131,47	12	112,69	16	150,26	14	131,47
1	0,0500	1,27	9	84,52	20	187,82	19	178,43	24	225,38	28	262,95
1,5	0,0750	1,91	12	112,69	25	234,78	26	244,17	35	328,69	40	375,64
2	0,1000	2,54	15	140,87	31	291,12	34	319,29	45	422,60	55	516,51
3	0,1500	3,81	18	169,04	36	338,08	39	366,25	50	469,55	75	704,33
4	0,2000	5,08	21	197,21	43	403,81	45	422,60	55	516,51	91	854,58
6	0,3000	7,62	24	225,38	48	450,77	51	478,94	60	563,46	110	1033,01
8	0,4000	10,16	27	253,56	56	525,9	57	535,29	65	610,42	123	1155,09



Gambar 4. 23 Grafik Hasil
Penetrasi Tanah Asli

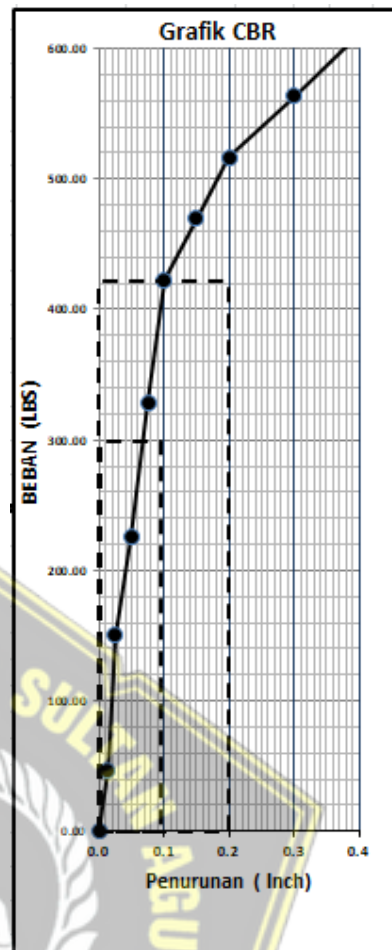


Gambar 4. 22 Grafik Hasil
Penetrasi Tanah Campuran MB
10%



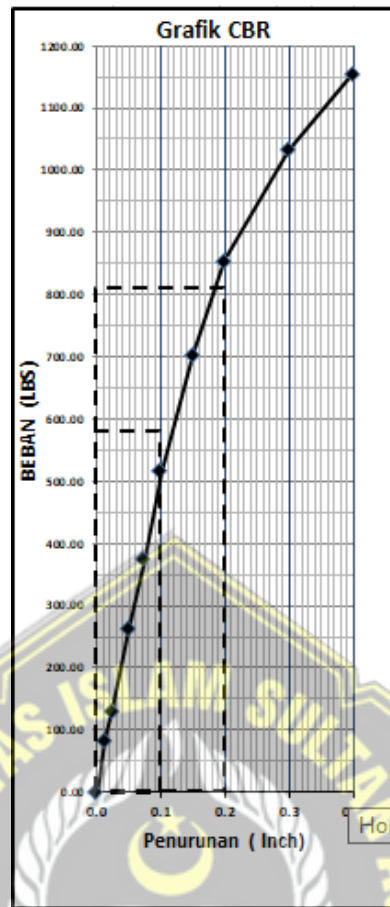
Gambar 4. 25 Grafik Hasil
Penetrasi Tanah Campuran MB

15%



Gambar 4. 24 Grafik Hasil
Penetrasi Tanah Campuran MB

20%



Gambar 4. 26 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)

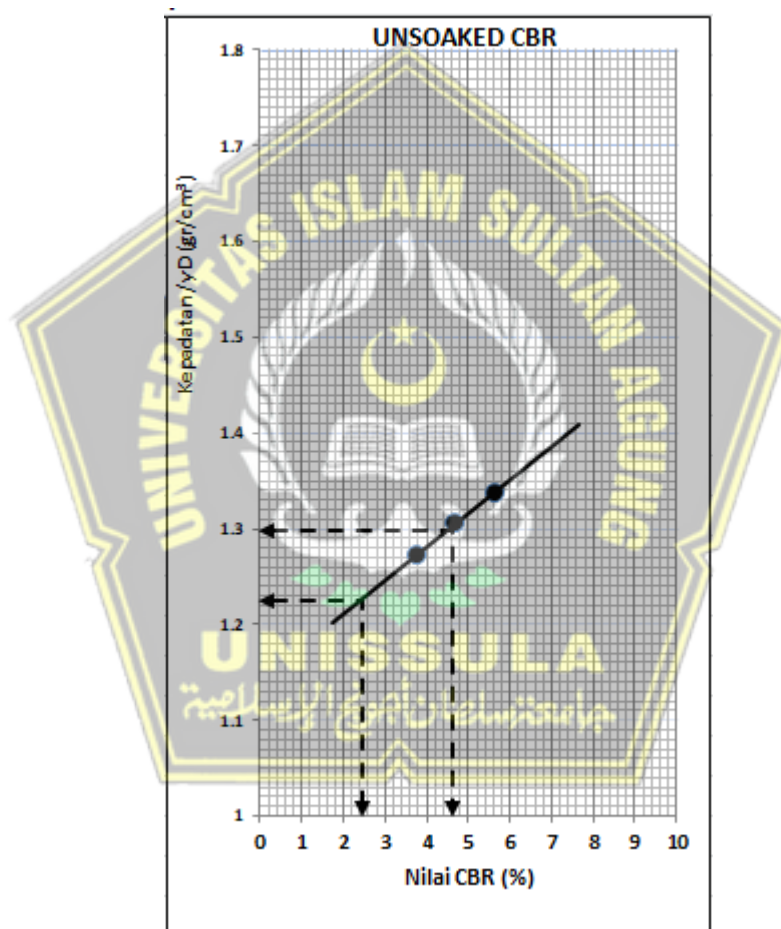
$$\begin{aligned} \text{CBR}(\%) &= \frac{P_1}{3 \times 1000} \times 100\% \\ &= \frac{169,0}{3 \times 1000} \times 100\% \\ &= 5,63 \% \end{aligned}$$

2. Menghitung Penetrasi 0,2'' (0,508)

$$\begin{aligned} \text{CBR}(\%) &= \frac{P_2}{3 \times 1000} \times 100\% \\ &= \frac{215,99}{3 \times 1000} \times 100\% \\ &= 7,19 \% \end{aligned}$$

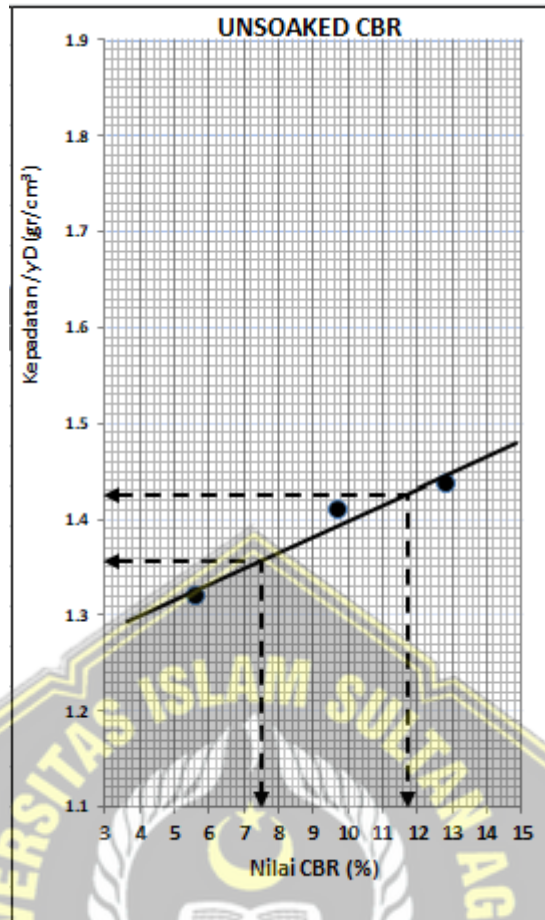
Tabel 4. 24 Harga CBR Tanah Asli dan Tanah Campuran Mortar Busa

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%	291,12	403,81	9,70	8,97
Tanah Campuran 15%	319,29	422,60	10,64	9,39
Tanah Campuran 20%	422,60	516,51	14,09	11,48
Tanah Campuran 25%	450,77	807,63	15,03	17,95



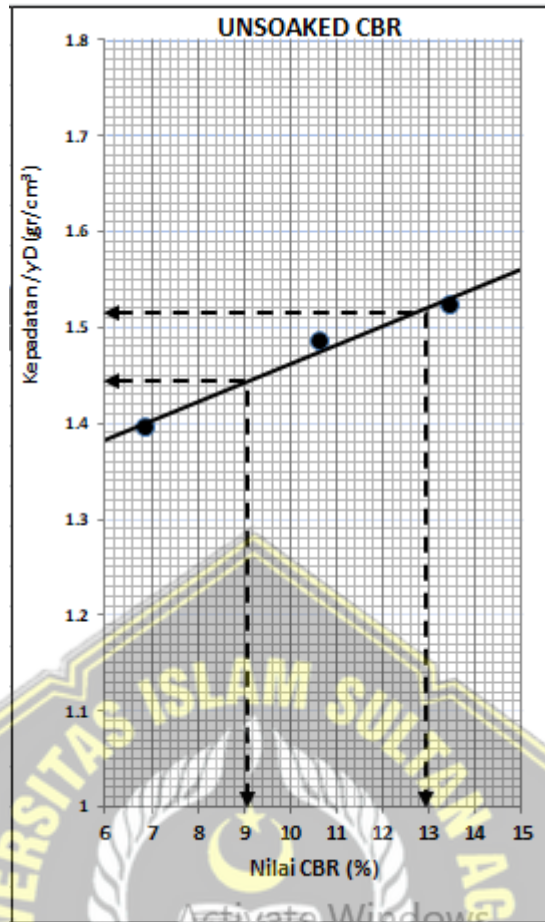
Gambar 4. 27 Grafik Nilai CBR tanah asli

Hasil pembacaan Nilai CBR 95% sebesar 2,62% dan Nilai CBR 100% sebesar 4,78% ditunjukkan pada grafik di atas.



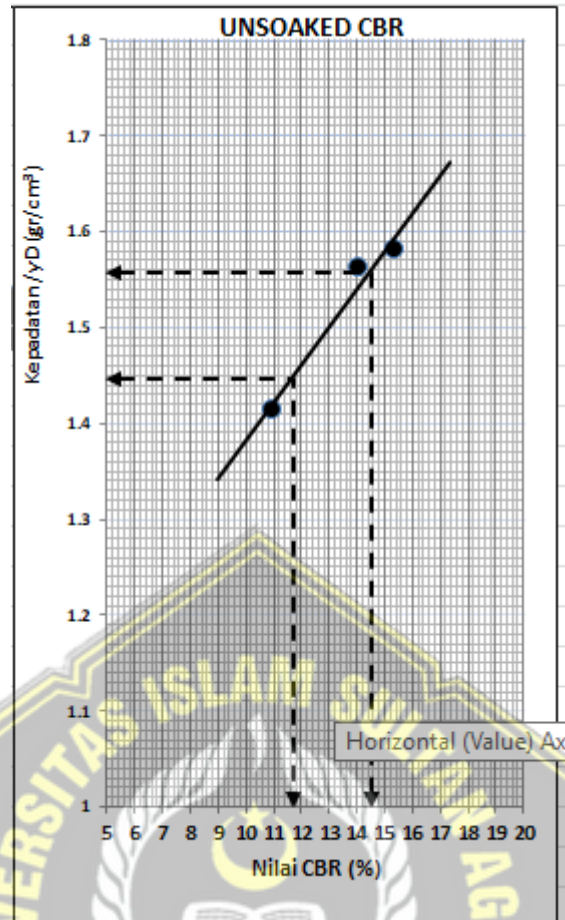
Gambar 4. 28 Grafik Nilai CBR Tanah Campuran MB 10%

Hasil pembacaan Nilai CBR 95% sebesar 7,60% dan Nilai CBR 100% sebesar 11,78% ditunjukkan pada grafik di atas.



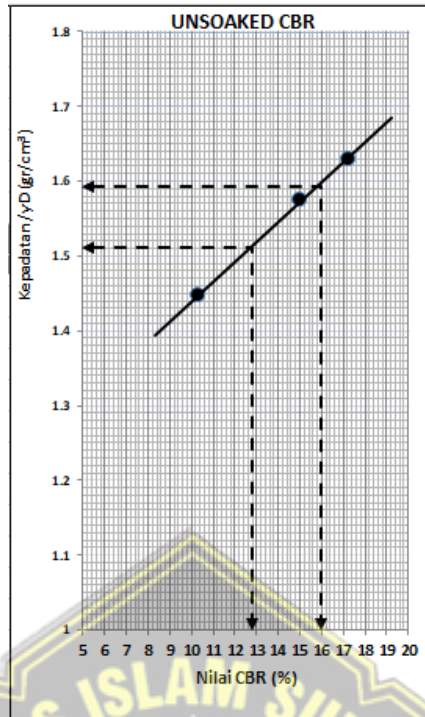
Gambar 4. 29 Grafik Niali CBR Tanah Campuran MB 15%

Hasil pembacaan Nilai CBR 95% sebesar 9,10% dan Nilai CBR 100% sebesar 12,95% ditunjukkan pada grafik di atas.



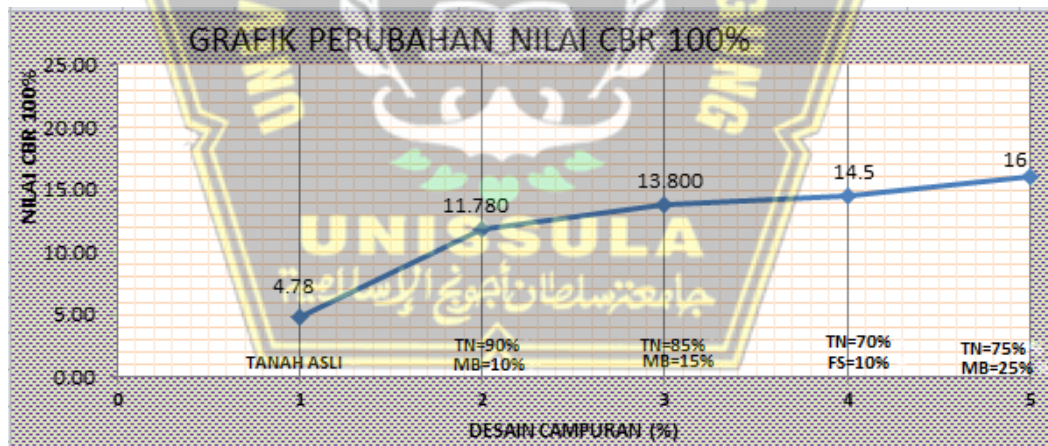
Gambar 4. 30 Grafik Nilai CBR Tanah Campuran MB 20%

Hasil pembacaan Nilai CBR 95% sebesar 11,80% dan Nilai CBR 100% sebesar 14,50% ditunjukkan pada grafik di atas.



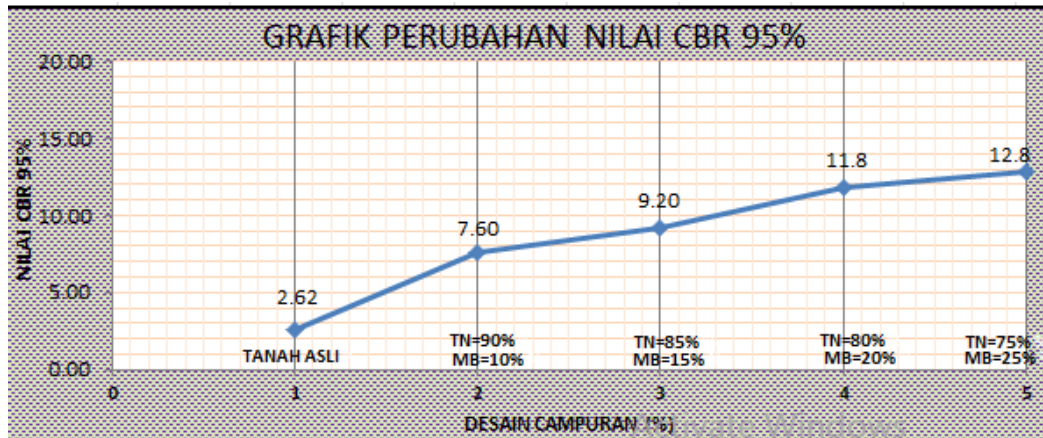
Gambar 4. 31 Grafik Nilai CBR Tanah Campuran MB 25%

Hasil pembacaan Nilai CBR 95% sebesar 12,80% dan Nilai CBR 100% sebesar 16% ditunjukkan pada grafik di atas.



Gambar 4. 32 Grafik Nilai CBR 100%

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 16% termasuk kategori sedang.



Gambar 4. 33 Grafik Nilai CBR 95%

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 15%) yakni 0,277 kg/cm². dan pada sudut geser nilai yang paling tinggi yakni pada presentase (Tanah Campuran 25%) yakni 27,23%. semakin tinggi nilai kohesi dan sudut geser maka semakin baik daya dukung tanahnya.

3. Proctor Modified

Dapat dilihat bahwa pada pengujian Proctor Modified jika nilai kadar air semakin menurun maka kondisi daya dukung tanahnya tinggi. Pengujian kali ini menunjukkan presentase nilai optimum 17,50% adalah yang paling sedikit presentasenya

4. CBR

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 16% yang masuk dalam kategori sedang.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Setelah diuji di laboratorium, sampel awal tanah yang dikumpulkan dari Kec. Mranggen, Kabupaten Demak, Jawa Tengah, adalah jenis tanah lempung lunak, hal ini terlihat dari hasil uji properties tanah seperti pada hasil uji direct shear dimana nilai sudut geser dalam 17,207, hasil uji CBR tanah asli 4,78 %, nilai (GS) 2,683 nilai indeks plastisitas (IP) 31,60 %, dan kadar air optimum (wopt) 33,50%.
2. Hasil pengujian di laboratorium memberikan hasil yang berbeda untuk setiap sampel tanah asli campuran mortar busa. Bisa dilihat dari nilai CBR tanah asli 4,78% yang termasuk dalam kategori tanah buruk sampai sedang (3% - 7%) dan saat ditambahkan mortar busa nilai maksimal CBR mencapai 16% yang termasuk dalam kategori tanah sedang (7% - 20%). Kesimpulannya adalah dengan menambahkan mortar busa dapat meningkatkan daya dukung tanah.
3. Hasil dari pengujian CBR, Proctor, Direct Shear, Atterberg Limit di laboratorium menunjukkan bahwa tanah asli dengan penambahan campuran tanah fly ash dan slag baja dapat meningkatkan nilai CBR, Proctor, Direct Shear, Atterberg Limit. Nilai CBR Tanah Asli dengan harga CBR 4,78% dan Nilai CBR maksimal terdapat pada tanah campuran 25% dengan harga CBR 16% yang termasuk dalam kategori sedang.

5.2 Saran

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

- Ahmad Hamidi, Randhi Saily, M Arif Hidayat. (2022). Pengaruh Sifat Karakteristik Mortar Busa dengan Penambahan Additive. Sainstek.
- American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO). (1945).
- Andi Susilowati, Fawwaz Nabhan. (2021). Pengaruh Variasi Faktor Air Semen Terhadap Mortar Busa. Journal of Applied Civil and Environmental Engineering.
- Begeman. (1965). Konsistensi Tanah.
- Bowles, J. E. (1987). Physical and Geotechnical Properties of Soils.
- Bowles, J. E. (1994). Foundation Analysis and Design.
- Coduto, D. P. (1994). Foundation Design: Principles and Practices.
- Das, B. M. (1985). Principles of Geotechnical Engineering.
- Das, B. M. (1993). Soil Mechanics.
- Das, B. M. (1995). Advanced Soil Mechanics.
- Deni Hidayat, Yusep Muslih Purwana, Florentina Pungky Pramesti. (2016). Analisis Material Ringan dengan Mortar Busa pada Konstruksi Timbunan Jalan. Prosiding Semnastek.
- Hardiyatmo, H. C. (1992). Mekanika Tanah 1.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). Mekanika Tanah 2.
- Muhammad Irfan Alfaros, Zaidan Kamil. Perbaikan Tanah Lempung Lunak dengan Penambahan Fly Ash dan Bottom Ash. Laporan Tugas Akhir.
- Sipilpedia. (2017). Mortar Busa sebagai Material Timbunan Ringan.
- SNI 03-1964-2008. Metode Pengujian Berat Jenis Tanah.
- SNI 03-1967-2008. Metode Pengujian Batas Atterberg.
- SNI 03-3420-2016. Metode Pengujian Kuat Geser Tanah dengan Alat Geser Langsung (Direct Shear Test).
- SNI 03-3423-2008. Metode Pengujian Analisis Ukuran Butiran Tanah dengan Hidrometer.
- SNI 03-3637-1994. Metode Pengujian Berat Isi Tanah.
- SNI 1742-2008. Metode Pengujian Proctor Standard.

SNI 1743-2008. Metode Pengujian Proctor Modified.

SNI 1744-2012. Metode Pengujian CBR Laboratorium.

Ulfa Jusi. Perilaku Tanah Lunak Pada Subgrade Jalan dengan Timbunan Mortar Busa. Disertasi S3.

