

**SKRIPSI**  
**STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN BAHAN TAMBAH *FLY ASH***  
**PADA *SUBGRADE* JALAN LINTAS DODU - SAPE**

**Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi**  
**Pada Program Studi Teknik Sipil Jenjang Strata I**  
**Fakultas Teknik**  
**Universitas Muhammadiyah Mataram**



**DISUSUN OLEH :**  
**MU'AMAR AL KADAFI**  
**417110090**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM**  
**2021**

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

SKRIPSI

STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN BAHAN TAMBAH *FLY ASH*  
PADA *SUBGRADE* JALAN LINTAS DODU - SAPE

Disusun Oleh :

MU'AMAR AL KADAFI  
417110090

Mataram, 30 Juli 2021

Pembimbing I,

Dr. Heni Pujastuti, ST., MT  
NIDN. 0824087201

Pembimbing II,

Titik Wahyuningsih, ST., MT  
NIDN. 0819097401

Mengetahui,

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM  
FAKULTAS TEKNIK

Dekan,



Dr. Eng. M. Islamy Rusyda, ST., MT  
NIDN. 0824017501

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

SKRIPSI

STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN BAHAN TAMBAH *FLY ASH*  
PADA *SUBGRADE* JALAN LINTAS DODU - SAPE

Yang Dipersiapkan dan Disusun Oleh :

MU'AMAR AL KADAFI  
417110090

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji

pada hari Jum'at, 13 Agustus 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

1. Penguji I : Dr. Hemi Pujiastuti, ST.,MT
2. Penguji II : Titik Wahyuningsih, ST.,MT
3. Penguji III : Ir. Agus Partono, MT



Mengetahui,

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM  
FAKULTAS TEKNIK



Dr. Slamet Rusyda, ST., MT  
NIDN. 0824017501

## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir/Skripsi dengan judul :

**"STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN BAHAN TAMBAH FLY ASH PADA SUBGRADE JALAN LINTAS DODU-SAPE"**

Benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide dan hasil penelitian maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tugas Akhir/Skripsi ini disebut dalam daftar pustaka. Apalagi terbukti di kemudian hari bahwa Tugas Akhir/Skripsi ini merupakan hasil plagiasi, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat tanpa tekanan dari pihak manapun dan dengan kesadaran penuh terhadap tanggungjawab dan konsekuensi.

Mataram, 16 Agustus 2021  
Yang Membuat Pernyataan



**Mu'amar Al Kadafi**  
NIM : 417110090



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM  
**UPT. PERPUSTAKAAN**

Jl. K.H.A. Dahlan No. 1 Mataram Nusa Tenggara Barat  
Kotak Pos 108 Telp. 0370 - 633723 Fax. 0370-641906  
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : [upt.perpusummat@gmail.com](mailto:upt.perpusummat@gmail.com)

**SURAT PERNYATAAN BEBAS  
PLAGIARISME**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : MU'AMAR AL KADAFI  
NIM : 417110090  
Tempat/Tgl Lahir : KAMBILU, 06 SEPTEMBER 1998  
Program Studi : TEKNIK SIPIL  
Fakultas : TEKNIK  
No. Hp/Email : 082390183890 / muamaralkadafi07@gmail.com  
Judul Penelitian : -

STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN BAHAN TAMBAH FLY ASH  
PADA SUBGRADE JALAN LINTAS DODU - CAPE

*Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 38%*

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari karya ilmiah dari hasil penelitian tersebut terdapat indikasi plagiarisme, saya *bersedia menerima sanksi* sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Mataram.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun dan untuk dipergunakan sebagai mana mestinya.

Dibuat di : Mataram  
Pada tanggal : 16 Agustus 2021

Penulis



MU'AMAR AL KADAFI  
NIM. 417110090

Mengetahui,  
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT

Iskandar, S.Sos, M.A.  
MDN. 0802048904



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM  
UPT. PERPUSTAKAAN

Jl. K.H.A. Dahlan No. 1 Mataram Nusa Tenggara Barat  
Kotak Pos 108 Telp. 0370 - 633723 Fax. 0370-641906  
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : [upt.perpusummat@gmail.com](mailto:upt.perpusummat@gmail.com)

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN  
PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : MU'AMAR AL KADAFI  
NIM : 417110090  
Tempat/Tgl Lahir : KAMBILU, 06 SEPTEMBER 1998  
Program Studi : TEKNIK SIPIL  
Fakultas : TEKNIK  
No. Hp/Email : 082 290183890 / muamaralkadafi07@gmail.com  
Jenis Penelitian :  Skripsi  KTI

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Mataram hak menyimpan, mengalih-media/format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Repository atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama *tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta* atas karya ilmiah saya berjudul:

STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN BAHAN TAMBAH FLY ASH  
PADA SUBGRADE JALAN LINTAS DODU - SAPE

Segala tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Dibuat di : Mataram

Pada tanggal : 16 Agustus 2021

Penulis



MU'AMAR AL KADAFI  
NIM. 417110090

Mengetahui,  
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



Iskandar, S.Sos., M.A.  
NIDN. 0802048904

## HALAMAN MOTTO

Hidup itu seperti aliran sungai yang terus mengalir dan dirimu, berusahalah menjadi mata air. Meskipun berada dilingkungan yang keruh, tetapi kamu tetap bisa mengubah aliran yang keruh menjadi jernih kembali dengan mata airmu.

Sama halnya dengan menuntut ilmu, berusaha keras tanpa menyerah.

Terus menjalani dan tetap konsisten melangkah ke depan.

Demi sebuah harapan dan cita-citamu tercapai agar bermanfaat bagi orang lain.

“Hai orang-orang beriman apabila dikatakan kepadamu : “Berlapang-lapanglah dalam dalam majlis”, maka lapangkanlah niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Dan apabila dikatakan : “Berdirilah kamu”, maka berdirilah, niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.”

(Surah Al-Mujadila ayat 11)

“Raihlah ilmu, dan untuk meraih ilmu belajarlah keadaan tenang dan sabar”

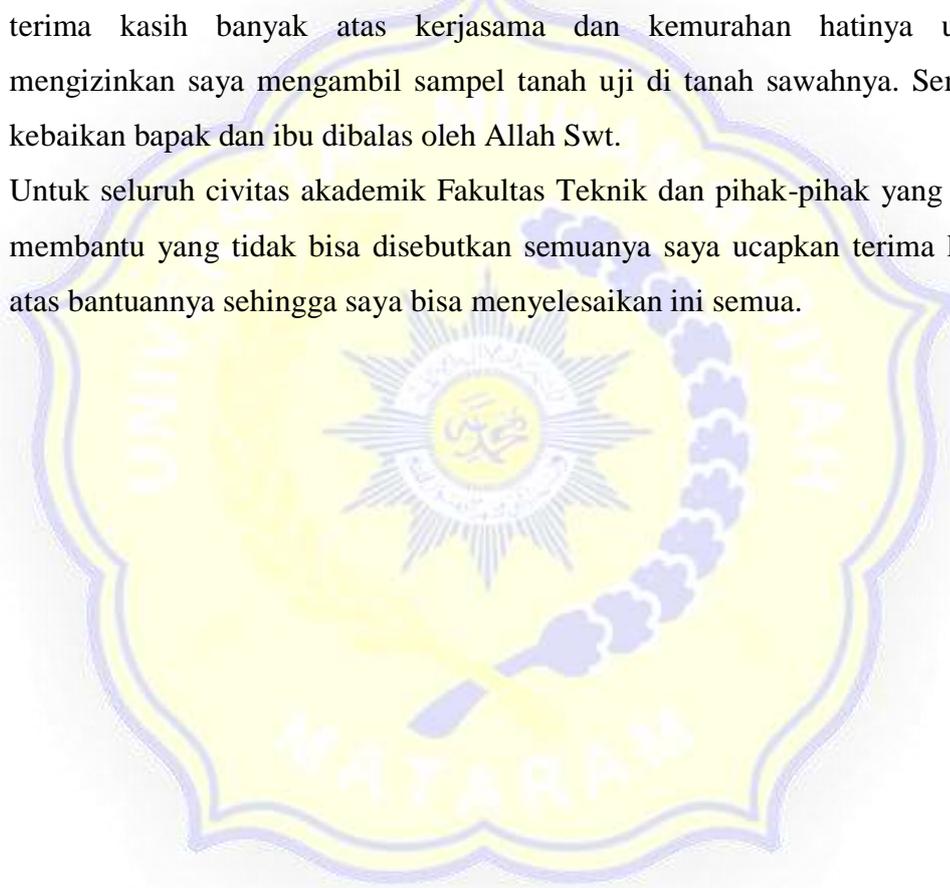
(Umar bin Khattab)

## HALAMAN PERSEMBAHASAN

1. Untuk Ayah dan Ibu tercinta yang telah berjuang habis-habisan dibelakang layar perjuangan menyelesaikan pendidikan ini, saya ucapkan permohonan maaf yang sebesar-besarnya dan ucapan terima kasih yang tak terhingga atas dukungan moral maupun materi, do'a dan semangat selama ini. Dengan do'a dan dukungan mu saya bisa menjadi lebih kuat dan pantang menyerah dalam menghadapi setiap permasalahan serta menyelesaikannya.
2. Untuk Dosen Pembimbing I, Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT, saya ucapkan terima kasih banyak atas segala bimbingan, ilmu, arahan, dukungan dan dorongan untuk selalu bisa berusaha lebih berkembang serta kesabaran yang diberikan selama bimbingan penyusunan skripsi ini. Tanpa itu semua saya tidak mungkin bisa menyelesaikan tugas akhir saya dan semoga kebaikan ibu diberikan balasan yang berlimpah oleh Allah Swt.
3. Untuk Dosen Pembimbing II, Titik Wahyuningsih, ST., MT, saya ucapkan terima kasih banyak atas segala bimbingan, ilmu, arahan, dukungan dan dorongan untuk selalu bisa berusaha lebih berkembang serta kesabaran yang diberikan selama bimbingan penyusunan skripsi ini. Tanpa itu semua saya tidak mungkin bisa menyelesaikan tugas akhir saya dan semoga kebaikan ibu diberikan balasan yang berlimpah oleh Allah Swt.
4. Untuk teman-teman satu organisasi di IMM Komisariat Teknik dan IMM Cabang Kota Mataram juga saya ucapkan terima kasih telah bersama dan memberikan saya ilmu serta pengalaman yang bermanfaat dalam hidup saya kedepannya.
5. Untuk teman-teman BEM FATEK UMMAT 2018-2019 dan BEM FATEK UMMAT 2019-2020 juga saya ucapkan terima kasih telah bersama dan memberikan saya ilmu serta pengalaman yang bermanfaat dalam hidup saya kedepannya.
6. Untuk Nurmuliani S. Ak., M. Ody Darmawan, Juliadin, Mulyadin, Adhar, Aris Munandar, Hendriawan, Arif Rahman, Syahrudin, Lia Sundari, Yulia Lestari, Meldi Gijayanto, Rahmad Mirdas, Didi Hendrawansyah, Anang

Aprillah, Ahmad Adriansyah dan Teknik Sipil 2017 saya ucapkan terima kasih banyak atas dukungan dan semangatnya dalam menjalani pendidikan. Keluh kesah kita rasakan bersama melewati setiap rintangan dalam menyelesaikan tugas-tugas kuliah menjadi kenangan indah dan pengalaman tidak terlupakan sepanjang hidup saya. Semoga teman-teman semua diberikan kesehatan dan sukses dimasa yang akan datang.

7. Untuk bapak dan ibu pemilik tanah dilokasi pengambilan sampel tanah uji di Kelurahan Dodu Kecamatan Rasanae Timur Kota Bima juga saya ucapkan terima kasih banyak atas kerjasama dan kemurahan hatinya untuk mengizinkan saya mengambil sampel tanah uji di tanah sawahnya. Semoga kebaikan bapak dan ibu dibalas oleh Allah Swt.
8. Untuk seluruh civitas akademik Fakultas Teknik dan pihak-pihak yang telah membantu yang tidak bisa disebutkan semuanya saya ucapkan terima kasih atas bantuannya sehingga saya bisa menyelesaikan ini semua.



## PRAKATA



Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusun skripsi ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya dengan diberi judul “ Stabilitas Tanah Lempung Dengan Bahan Tambah *Fly Ash* Pada *Subgrade* Jalan Lintas Dodu-Sape” walaupun yang sebenarnya tugas akhir ini masih jauh dari sempurna.

Skripsi ini disusun dengan tujuan untuk memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan Program Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram. Penyusunan skripsi ini berdasarkan data hasil penelitian yang dianalisis menjadi sebuah data yang *valid* sesuai dengan landasan teori-teori dari berbagai sumber yang sesuai.

Skripsi ini tidak akan mampu diselesaikan tanpa adanya dukungan moral dan fisik dari pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini. Maka dari itu penyusun ingin mengucapkan ucapan dan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Arsyad Ghani.,Mpd, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Dr. Eng M. Islamy Rusyda, ST., MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Agustini Ernawati, ST., M.Tech, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT, selaku dosen pembimbing I.
5. Titik Wahyuningsih, ST., MT, selaku dosen pembimbing II.
6. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
7. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan dan do'a untuk kesuksesan dan kelancaran dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Nurmuliani S. Ak, seseorang yang telah setia memberikan dukungan, do'a dan semangat sehingga membantu penyusun dalam menyelesaikan skripsi ini.

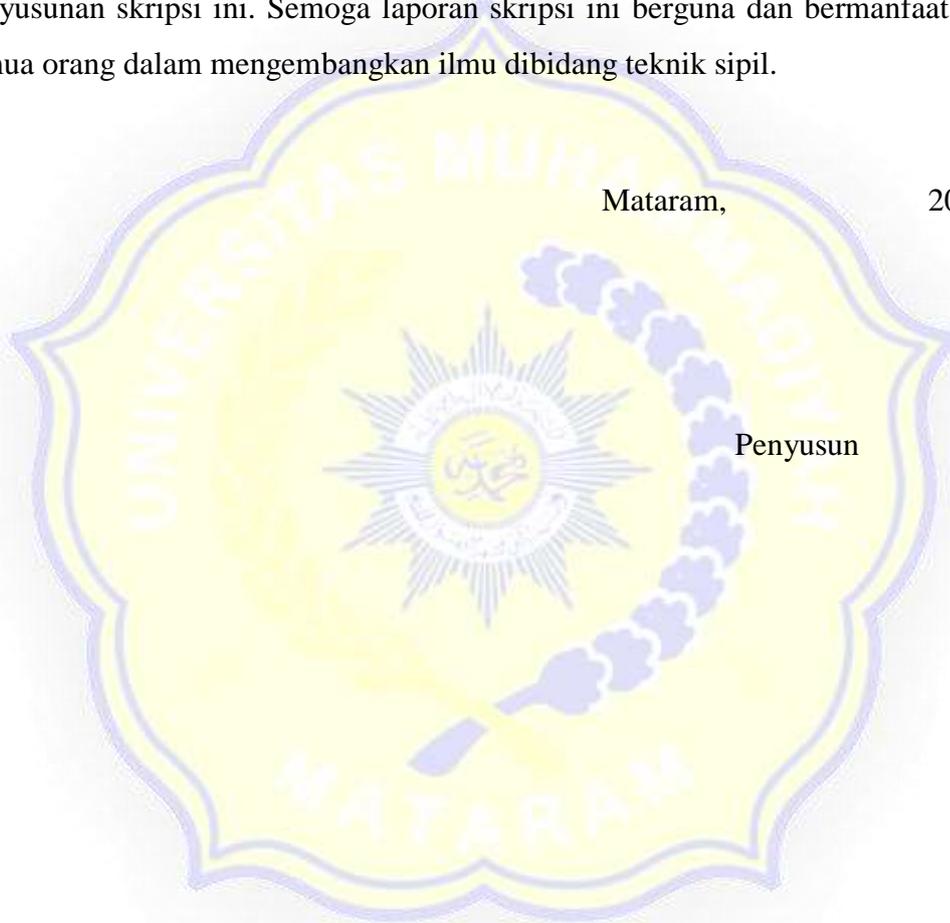
9. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Demikian ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya dari penyusun semoga kebaikan dari semua pihak yang telah membantu diberikan balasan oleh Allah Swt. Untuk kesempurnaan skripsi ini penyusun meminta kritik dan saran dari para pembaca karena itu akan membantu penyusun dalam menyempurnakan penyusunan skripsi ini. Semoga laporan skripsi ini berguna dan bermanfaat bagi semua orang dalam mengembangkan ilmu dibidang teknik sipil.

Mataram,

2021

Penyusun



## INTISARI

Tanah lempung merupakan tanah lunak dengan daya dukung tanahnya rendah sehingga pada suatu kondisi dimana tingkat muka air tinggi membuat sifat kembang dan susut tanah menjadi besar. Tujuan penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh dari penambahan *fly ash* sebagai bahan tambah dalam stabilisasi tanah lempung terhadap sifat fisik, potensi pengembangan, dan nilai CBR tanpa rendaman maupun CBR rendaman serta nilai pengembangan pada tanah lempung. Lokasi pengambilan sampel tanah berada di Kelurahan Dodu Kota Bima.

Pengujian yang dilakukan diantaranya adalah uji kadar air, berat jenis tanah, batas cair, batas plastis, batas susut, analisa saringan dan hidrometer, uji pemadatan tanah, uji CBR tanpa rendaman, uji CBR tanpa rendaman dengan pemeraman dan uji CBR rendaman dengan pemeraman. Pemeraman yang dilakukan selama 7, 14, 21 dan 28 hari untuk melihat pengaruhnya terhadap nilai CBR dan nilai pengembangan. Dalam penelitian ini digunakan *fly ash* sebagai bahan tambah dengan variasi penambahannya sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%.

Hasil penelitian menyatakan bahwa nilai batas-batas *Atterberg* mengalami penurunan setelah dilakukan stabilisasi menggunakan bahan tambah *fly ash*. Nilai CBR tanpa rendaman tanah asli 9.79%, nilai CBR rendamannya 4.89% dan nilai pengembangannya sebesar 1.53%. Dari pengujian CBR tanpa rendaman didapatkan nilai CBR optimum dari campuran optimum yaitu 15% *fly ash* pada tanah lempung dengan nilai CBR nya sebesar 24.02%. Nilai CBR tanpa rendaman pada campuran optimum tanah lempung dengan penambahan 15% *fly ash* setelah dilakukan pemeraman mengalami peningkatan sebesar 165.78%, 199.898%, 227.17% dan 263.53% sedangkan nilai CBR rendaman pada campuran optimum tanah lempung dengan penambahan 15% *fly ash* mengalami peningkatan sebesar 118.41%, 154.81%, 191.002% dan 245.60%. Nilai pengembangan pada campuran optimum tanah lempung dengan penambahan 15% *fly ash* mengalami penurunan setelah dilakukan pemeraman sebesar 66.60%, 70.59%, 80.39% dan 86.93%.

**Kata kunci :** Lempung, stabilisasi, CBR, pemeraman, pengembangan

## ABSTRACT

Clay soil is a soft soil with a poor soil carrying capacity, which causes the soil's swelling and shrinkage qualities to be prominent when the water level is high. This research aimed to determine how adding fly ash as a stabilizing clay additive affected physical attributes, development potential, CBR value without immersion, and CBR value and development value in clay soil. The soil sampling was carried out in Dodu Village, Bima City.

Water content testing, soil density testing, liquid limit testing, plastic limit testing, shrinkage limit testing, filter and hydrometer analysis, soil compaction testing, CBR test without immersion, CBR test without soaking with curing, and immersion CBR test with curing were all performed. Ripening was done for seven, fourteen, twenty-one, and twenty-eight days to see how it affected the CBR and development value. Fly ash was employed as an additive in this study, with 0%, 5%, 10%, 15%, and 20%.

The results showed the Atterberg limits decreased after stabilization using the addition of fly ash. The CBR value without the original soil immersion is 9.79%, the CBR value is 4.89%, and the developer value is 1.53%. From the CBR test without immersion, the optimum CBR value of the optimum mixture was 15% fly ash on clay soil with a CBR value of 24.02%. The CBR value without immersion in the optimum mix of clay with the addition of 15% fly ash after curing increased by 165.78%, 199.898%, 227.17%, and 263.53%, while the CBR value soaked in the optimum mixture of clay with the addition of 15% fly ash increased by 118.41%, 154.81%, 191.002%, and 245.60%. The development value in the optimum mixture of clay with the addition of 15% fly ash decreased after curing by 66.60%, 70.59%, 80.39% and 86.93%.

**Keywords:** clay, stabilization, CBR, ripening, development

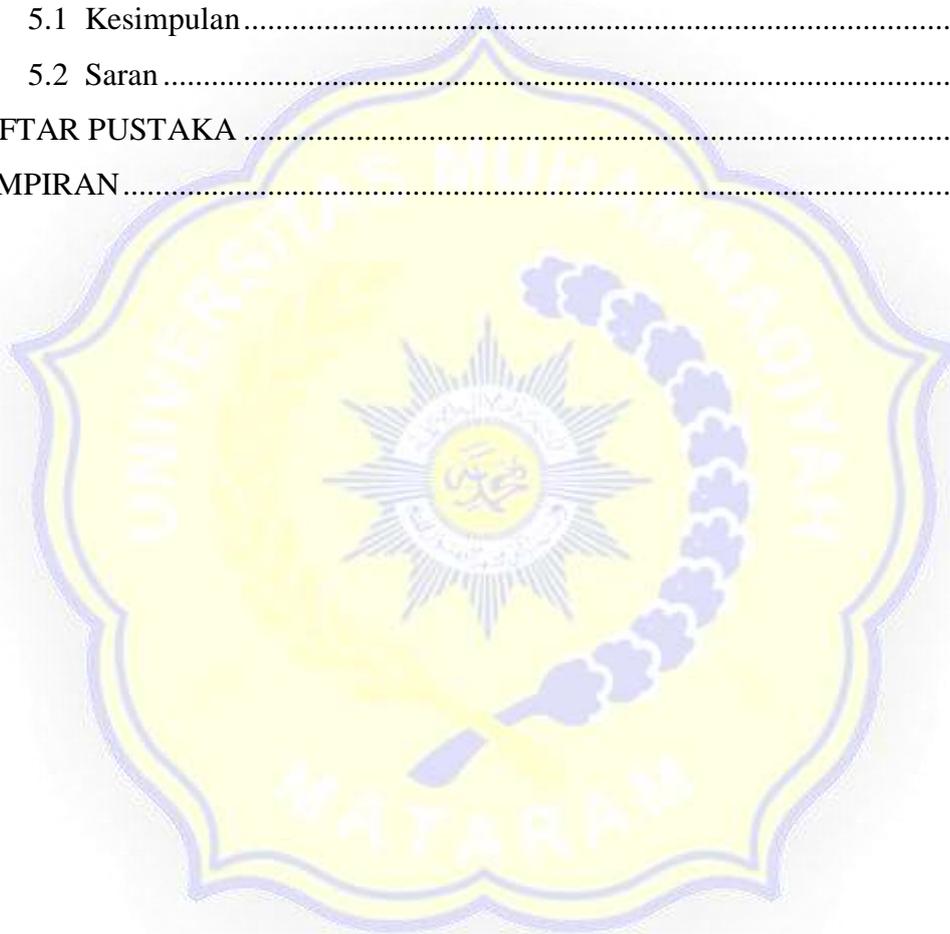


## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME .....	v
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH ...	vi
HALAMAN MOTTO .....	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR .....	x
INTISARI .....	xii
<i>ABSTRACT</i> .....	xiii
DAFTAR ISI .....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xviii
DAFTAR PERSAMAAN .....	xx
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
DAFTAR NOTASI.....	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.1.1 Penelitian terdahulu.....	7
2.1.2 Tanah lempung.....	10
2.1.3 Bahan tambah <i>fly ash</i> .....	11

2.1.4 Tanah dasar ( <i>Subgrade</i> ).....	12
2.1.5 Stabilisasi tanah.....	12
2.2 Landasan Teori .....	13
2.2.1 Klasifikasi tanah.....	13
2.2.2 Kadar air.....	15
2.2.3 Berat jenis.....	15
2.2.4 Analisa saringan dan hidrometer .....	16
2.2.5 Batas-batas <i>Atterberg</i> .....	16
2.2.6 Pemadatan tanah.....	19
2.2.7 Potensi pengembangan tanah .....	22
2.2.8 CBR ( <i>California Bearing Ratio</i> ).....	24
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>27</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	27
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	28
3.3 Bagan Alir Penelitian.....	36
3.4 Tahapan Penelitian .....	38
3.4.1 Studi pustaka.....	38
3.4.2 Pengumpulan data .....	38
3.4.3 Analisis data .....	38
3.4.4 Rancangan penelitian .....	39
3.4.5 Jenis pengujian.....	39
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>55</b>
4.1 Uji Sifat Fisik Tanah.....	55
4.1.1 Kadar air tanah .....	55
4.1.2 Berat jenis tanah.....	56
4.1.3 Analisa saringan dan hidrometer .....	56
4.1.4 Batas cair tanah .....	57
4.1.5 Batas plastis dan indeks plastisitas .....	59
4.1.6 Batas susut tanah.....	62
4.1.7 Klasifikasi tanah.....	63
4.1.8 Uji pemadatan tanah.....	64

4.2 Potensi Pengembangan Tanah.....	66
4.2.1 Batas-batas <i>Atterberg</i> .....	66
4.2.2 Aktivitas tanah.....	66
4.3 Uji Sifat Mekanis Tanah.....	67
4.3.1 Uji CBR tanpa rendaman.....	67
4.3.2 Pengaruh pemeraman terhadap nilai CBR.....	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	76
5.1 Kesimpulan.....	76
5.2 Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....	
LAMPIRAN.....	



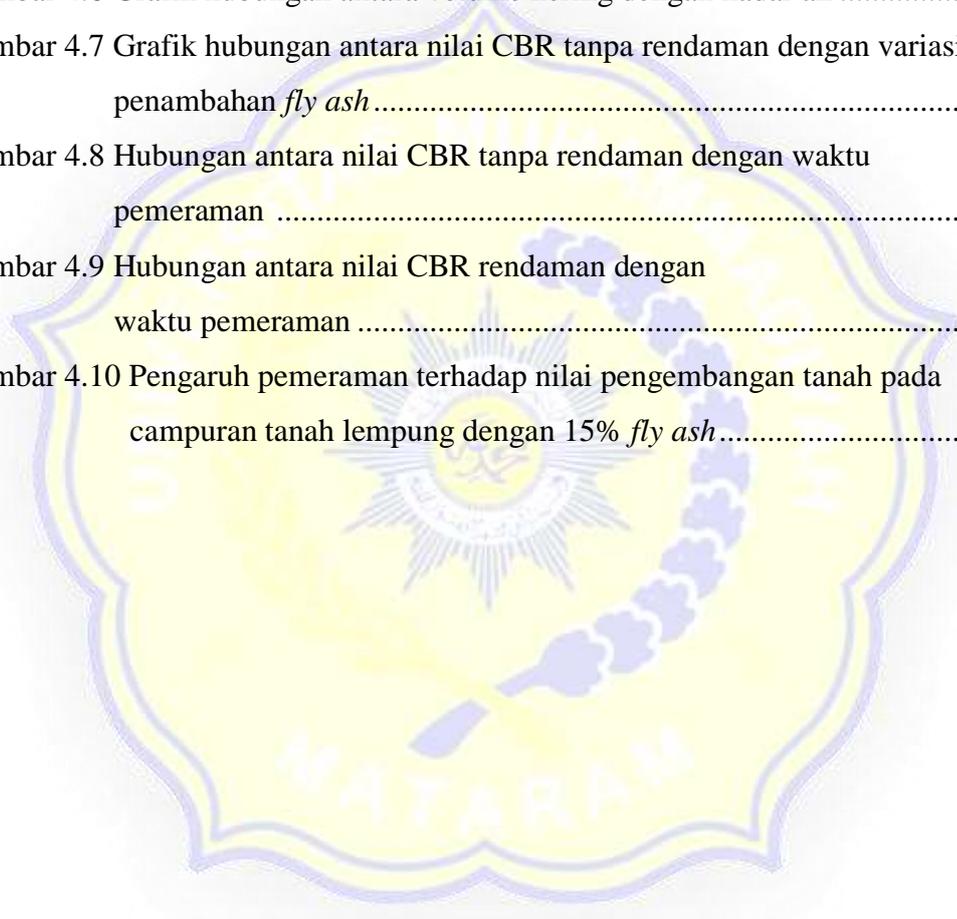
## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Standar minimum material <i>subgrade</i> .....	12
Tabel 2.2 Nilai pengembangan dengan pemeraman .....	14
Tabel 2.3 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah .....	18
Tabel 2.4 Hubungan indeks plastisitas dengan potensi pengembangan .....	22
Tabel 2.5 Hubungan batas susut dengan potensi pengembangan .....	23
Tabel 2.6 Hubungan nilai <i>activity</i> dengan potensi pengembangan .....	23
Tabel 2.7 Hubungan aktivitas dengan mineral tanah .....	24
Tabel 2.8 Standar nilai CBR untuk tanah dasar jalan ( <i>Subgrade</i> ) .....	25
Tabel 3.1 Variasi campuran tanah dengan <i>fly ash</i> .....	39
Tabel 3.2 Pengujian batas cair tanah.....	41
Tabel 3.3 Pengujian batas plastis tanah.....	43
Tabel 3.4 Pengujian batas susut tanah .....	45
Tabel 3.5 Pengujian pemadatan tanah.....	48
Tabel 3.6 Pengujian CBR tanah tanpa rendaman.....	53
Tabel 3.7 Pengujian CBR optimum tanah pemeraman + rendaman.....	53
Tabel 3.8 Pengujian CBR optimum dengan pemeraman .....	54
Tabel 4.1 Hasil pegujian kadar air tanah asli .....	55
Tabel 4.2 Hasil pengujian berat jenis tanah asli.....	56
Tabel 4.3 Hasil pengujian batas cair .....	58
Tabel 4.4 Hasil pengujian batas plastis .....	59
Tabel 4.5 Hasil analisa nilai indeks plastisitas.....	61
Tabel 4.6 Hasil pengujian batas susut tanah .....	62
Tabel 4.7 Data klasifikasi tanah .....	64
Tabel 4.8 Hasil pengujian pemadatan tanah .....	65
Tabel 4.9 Hasil pengujian CBR tanpa rendaman.....	67
Tabel 4.10 Hasil uji CBR pemeraman tanpa rendaman.....	70
Tabel 4.11 Hasil uji CBR rendaman dengan pemeraman.....	72
Tabel 4.12 Nilai pengembangan dengan pemeraman .....	74

## DAFTAR GAMBAR

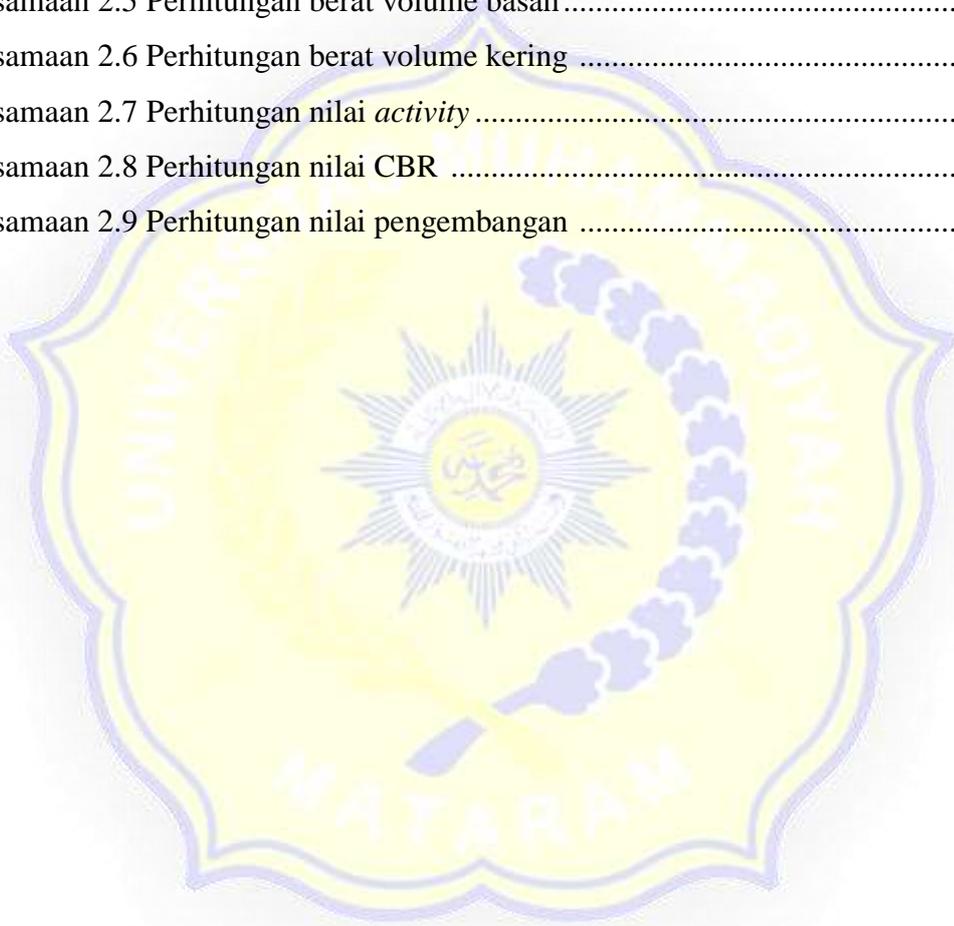
	Halaman
Gambar 1.1 Kerusakan perkerasan jalan yang bergelombang .....	3
Gambar 2.1 Skema alat batas cair .....	17
Gambar 2.2 Kurva hubungan kadar air dengan jumlah pukulan .....	17
Gambar 2.3 Alat uji standar Proctor .....	21
Gambar 2.4 Cara melakukan penumbukan .....	21
Gambar 2.5 Kurva hubungan kadar air dengan berat volume kering .....	22
Gambar 2.6 Alat penetrasi CBR laboratorium .....	26
Gambar 3.1 Lokasi pengambilan sampel tanah .....	27
Gambar 3.2 Sketsa lokasi pengambilan sampel tanah .....	27
Gambar 3.3 Saringan .....	28
Gambar 3.4 Cetakan.....	29
Gambar 3.5 Penumbuk .....	29
Gambar 3.6 Timbangan ketelitian 0,01 gram .....	30
Gambar 3.7 Timbangan ketelitian 0,1 gram .....	30
Gambar 3.8 Cawan .....	31
Gambar 3.9 Oven pengering .....	31
Gambar 3.10 Alat Casagrande .....	32
Gambar 3.11 Piknometer .....	32
Gambar 3.12 Jangka sorong .....	33
Gambar 3.13 Centangan dan baskom pencampuran .....	33
Gambar 3.14 <i>Dial guage</i> .....	34
Gambar 3.15 Alat penguji penetrasi CBR laboratorium .....	34
Gambar 3.16 Tanah lempung .....	35
Gambar 3.17 Abu terbang ( <i>fly ash</i> ).....	35
Gambar 3.18 Bagan alir penelitian .....	36
Gambar 4.1 Grafik analisa saringan dan hidrometer .....	57
Gambar 4.2 Grafik hubungan batas cair dengan variasi	

penambahan <i>fly ash</i> .....	58
Gambar 4.3 Grafik hubungan batas plastis dengan variasi penambahan <i>fly ash</i> .....	60
Gambar 4.4 Grafik hubungan indeks plastisitas dengan variasi penambahan <i>fly ash</i> .....	61
Gambar 4.5 Grafik hubungan batas susut dengan variasi penambahan <i>fly ash</i> .....	63
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara volume kering dengan kadar air .....	65
Gambar 4.7 Grafik hubungan antara nilai CBR tanpa rendaman dengan variasi penambahan <i>fly ash</i> .....	68
Gambar 4.8 Hubungan antara nilai CBR tanpa rendaman dengan waktu pemeraman .....	70
Gambar 4.9 Hubungan antara nilai CBR rendaman dengan waktu pemeraman .....	72
Gambar 4.10 Pengaruh pemeraman terhadap nilai pengembangan tanah pada campuran tanah lempung dengan 15% <i>fly ash</i> .....	75



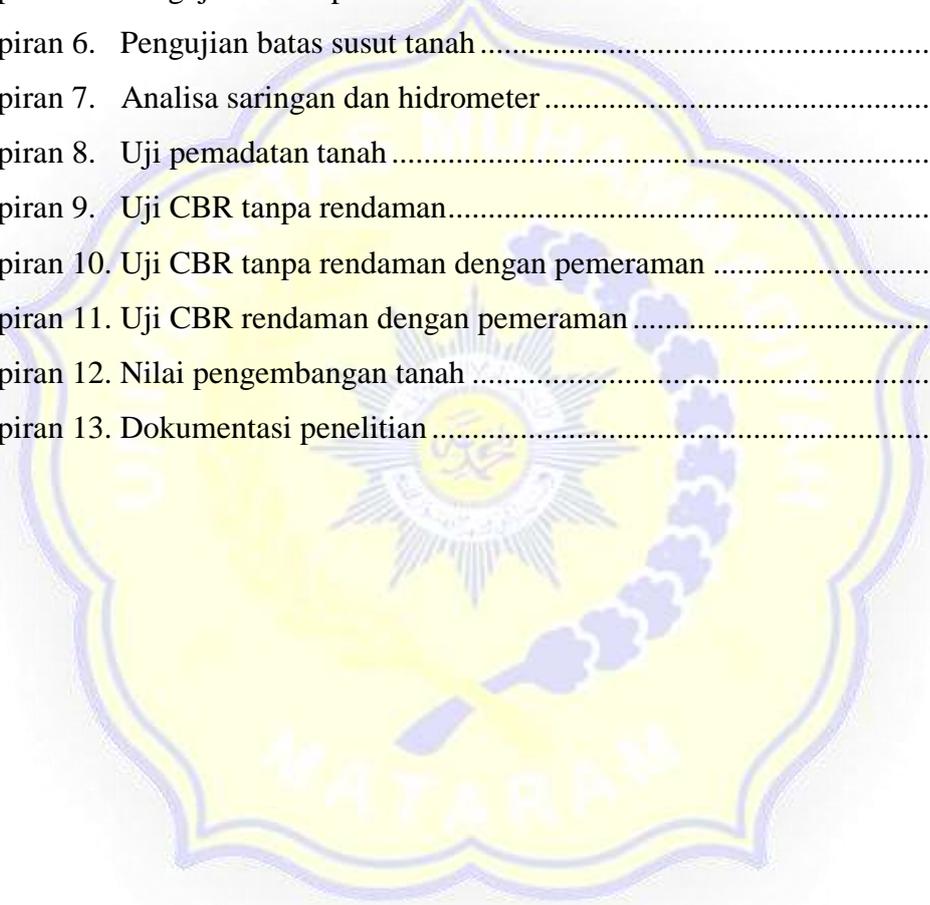
## DAFTAR PERSAMAAN

	Halaman
Persamaan 2.1 Perhitungan kadar air .....	15
Persamaan 2.2 Perhitungan berat jenis tanah .....	15
Persamaan 2.3 Perhitungan indeks plastisitas .....	18
Persamaan 2.4 Perhitungan batas susut tanah .....	19
Persamaan 2.5 Perhitungan berat volume basah .....	19
Persamaan 2.6 Perhitungan berat volume kering .....	20
Persamaan 2.7 Perhitungan nilai <i>activity</i> .....	23
Persamaan 2.8 Perhitungan nilai CBR .....	26
Persamaan 2.9 Perhitungan nilai pengembangan .....	26



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Surat-surat skripsi .....	78
Lampiran 2. Pengujian kadar air tanah .....	86
Lampiran 3. Pengujian berat jenis tanah .....	87
Lampiran 4. Pengujian batas cair tanah .....	88
Lampiran 5. Pengujian batas plastis tanah .....	93
Lampiran 6. Pengujian batas susut tanah .....	98
Lampiran 7. Analisa saringan dan hidrometer .....	103
Lampiran 8. Uji pemadatan tanah .....	106
Lampiran 9. Uji CBR tanpa rendaman .....	107
Lampiran 10. Uji CBR tanpa rendaman dengan pemeraman .....	117
Lampiran 11. Uji CBR rendaman dengan pemeraman .....	127
Lampiran 12. Nilai pengembangan tanah .....	139
Lampiran 13. Dokumentasi penelitian .....	145



## DAFTAR NOTASI



$w$	: Kadar air tanah (%)
$G$	: Berat jenis tanah
$LL$	: Batas cair tanah (%)
$PL$	: Batas plastis tanah (%)
$PI$	: Indeks plastisitas (%)
$SL$	: Batas susut tanah (%)
$m_1$	: Berat tanah basah dalam cawan (gram)
$m_2$	: Berat tanah kering, oven (gram)
$v_1$	: Volume tanah basah dalam cawan (cm <sup>3</sup> )
$v_2$	: Volume tanah kering, oven (cm <sup>3</sup> )
$v$	: Volume silinder (cm <sup>3</sup> )
$\gamma_w$	: Berat volume air (gram/cm <sup>3</sup> )
$\gamma_m$	: Berat volume basah tanah (gram/cm <sup>3</sup> )
$\gamma_d$	: Berat volume kering tanah (gram/cm <sup>3</sup> )
$A$	: Nilai <i>activity</i>
$C$	: Persen fraksi ukuran lempung (diameter butiran < 0.002 mm)
$CBR$	: <i>California Bearing Ratio</i> (%)

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Tanah merupakan salah satu elemen material yang sangat penting dalam pembentuk struktur kerak bumi yang tersusun dari mineral-mineral dan bahan organik serta hasil dari suatu proses pengendapan batuan-batuan. Di beberapa wilayah Indonesia sendiri memiliki beragam jenis tanah yang tersebar luas diantaranya tanah pasir, tanah lanau, tanah lempung dan lainnya. Seperti di Pulau Sumbawa yang merupakan salah satu bagian wilayah Indonesia yang tersusun dari beberapa batuan diantaranya batuan lava, andesit, batu pasir, batu lempung, breksi dan tufa. Batuan-batuan tersebut mengalami pengendapan sehingga membentuk butiran-butiran kecil dan menjadi tanah. Tanah memiliki peran pentingnya dalam kehidupan manusia, salah satunya adalah berfungsi sebagai pondasi atau pijakan yang menjamin kestabilan dari struktur bangunan yang ada di atasnya. Tanah memiliki jenis dan karakteristiknya yang bervariasi dan terdapat pula beberapa jenis tanah tersebut yang bersifat merugikan sehingga dapat membuat struktur bangunan di atasnya mengalami kerusakan.

Di Indonesia sendiri juga dapat dijumpai di sebagian besar wilayahnya adalah tanah lempung dengan tingkat plastisitas tinggi yang memungkinkan terjadinya pengembangan dan penurunan pada volume tanah yang disebabkan oleh kadar air yang bertambah. Kerusakan-kerusakan pada konstruksi bangunan yang ada di atas permukaan tanah ini disebabkan oleh sifat tanah lempung yang mengalami perubahan volume tersebut. Kerusakan yang disebabkan itu biasanya terjadi pada bagian pondasi suatu konstruksi yang menghubungkan antara tanah dengan struktur bangunan. Seperti tanah yang dijadikan sebagai pondasi (*subgrade*) pada suatu konstruksi perkerasan jalan raya.

Tanah lempung adalah tanah lunak berukuran partikel sebesar 0,002 mm dan ada juga yang berukuran 0,005 mm dengan daya dukung tanahnya rendah dan angka pori yang lebih besar sehingga pada suatu kondisi dimana tingkat muka air

tinggi membuat sifat kembang dan susut tanah menjadi besar serta plastisitas tanah juga akan menjadi tinggi (Pujiastuti dan Ngudiyono, 2014). Kondisi ini akan mengakibatkan konstruksi bangunan di atasnya mengalami kerusakan. Seperti retak-retak dan bergelombangnya suatu perkerasan jalan raya pada umumnya. Sehingga sangat penting untuk kita amati permasalahan yang disebabkan oleh sifat tanah ini supaya dapat dilakukan upaya perbaikan pada konstruksi tersebut.

Kelurahan Dodu merupakan suatu daerah yang terletak di Kecamatan Rasanae Timur Kota Bima yang juga merupakan kelurahan pesisir yang berada diujung timur Kota Bima. Kelurahan Dodu juga menjadi salah satu daerah pertanian terbesar sebagai penghasil padi komoditi terbaik di Kota Bima. Berdasarkan data geologi wilayah Kota Bima bahwa Kelurahan Dodu memiliki jenis tanah lempung dengan kemiringan lereng rata-rata di daerahnya sebesar 2%. Selain itu juga, Kelurahan Dodu memiliki akses jalan yang berguna bagi masyarakat kecamatan lain di sekitarnya menggunakan jalan itu sebagai jalan potong untuk mengurangi waktu jarak tempuh menuju Kota Bima. Sehingga membuat infrastruktur tersebut sangat berperan penting bagi perkembangan perekonomian daerah tersebut maupun daerah lainnya sebagai pengguna jalan. Peran penting infrastruktur di daerah ini seharusnya menjadi salah satu perhatian pemerintah untuk meningkatkan dan memperbaiki struktur perkerasan jalan raya tersebut. Mengingat kondisi jalan raya itu sekarang mengalami kerusakan yang sangat parah pada struktur jalannya. Dimana jalan itu bergelombang dan retak-retak diakibatkan oleh tanah lempung sebagai *subgrade* jalan di Kelurahan Dodu yang sangat rentan terhadap perubahan volume akibat penambahan kadar air sehingga memicu terjadinya kembang susut pada struktur tanah.



Gambar 1.1 Kerusakan perkerasan jalan yang bergelombang

Sumber: Dokumentasi lapangan, 2021

*Subgrade* jalan seharusnya memiliki struktur yang tidak mudah jenuh terhadap penambahan kadar air dan kuat daya dukungnya sehingga tidak mudah membuat konstruksi di atasnya menjadi rusak. Untuk menghasilkan tanah dasar (*subgrade*) yang lebih baik yang memenuhi standar perencanaan jalan maka perlu dilakukan penanganan khusus pada tanah tersebut agar tidak memberikan dampak buruk terhadap konstruksi jalan. Penanganan khusus tersebut adalah dengan melakukan perbaikan pada tanah dasar (*subgrade*) jalan terhadap karakteristik tanahnya yang lunak dan jenuh disebabkan oleh perubahan kadar air. Salah satu usaha yang dapat dilakukan adalah melakukan stabilisasi terhadap tanah dasar (*subgrade*) jalan tersebut sehingga dapat memperbaiki karakteristik atau sifat buruk yang merugikan dari tanah lempung itu sendiri. Untuk itu, stabilisasi tersebut dapat meningkatkan daya dukung tanah menjadi lebih besar dan kemampuannya mempertahankan perubahan volumenya juga menjadi lebih kuat dan stabil.

Stabilisasi tanah dengan unsur senyawa kimia dilakukan dengan mencampurkan tanah dengan bahan tertentu untuk menambah kekuatan tanah karena terdapat reaksi kimia yang dapat mengikat unsur-unsur tanah tersebut sehingga dapat mengurangi sifat kembang susut tanah lempung. Pada penelitian ini menggunakan bahan tambah abu terbang (*fly ash*) yang berasal dari limbah

yang tidak terpakai atau bahan sisa pembakaran batu bara dari suatu kegiatan produksi. *Fly ash* ini memiliki kemampuan yang bisa menguntungkan untuk stabilisasi tanah sehingga perubahan volume akibat kadar air dapat dikurangi dengan adanya bahan tambah dari limbah abu terbang ini. Kemampuan yang dimiliki *fly ash* ini adalah mampu mengeras dan menambah kekuatan terhadap tekan apabila bereaksi dengan air yang disebut dengan sifat *self-cementing*. Senyawa kimia yang terkandung di dalam *fly ash* ini sendiri terdiri dari silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), fero oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ). (Ibrahim, 2014)

Stabilisasi merupakan suatu usaha perbaikan atau merekayasa komposisi material yang di nilai buruk menjadi lebih baik dengan bahan tambah sebagai campuran sehingga dapat menghasilkan kekuatan untuk menahan beban dan daya dukung tanah terhadap tegangan fisik maupun kimiawi akibat pengaruh dari fungsi jalan itu sendiri dan cuaca. Dalam perencanaan suatu konstruksi bangunan seperti jalan raya memiliki standar perencanaan dimana nilai CBR harus tinggi agar di dapatkan kestabilan pada tanah dasar (*subgrade*) jalan. CBR itu sendiri merupakan nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dengan perbandingan antara beban penetrasi dari suatu lapisan tanah atau perkerasan terhadap bahan standar yang dilakukan dengan kedalaman serta kecepatan penetrasi yang sama dalam memikul beban lalu lintas. Uji CBR berfungsi untuk mengetahui kekuatan daya dukung tanah pada *subgrade* jalan. Apabila terjadi suatu permasalahan kerusakan perkerasan jalan di lapangan seperti di lokasi Kelurahan Dodu Kecamatan Rasanae Timur Kota Bima ini mengalami retak-retak dan jalan bergelombang membuat pengguna jalan tidak nyaman serta memiliki potensi penyebab terjadinya kecelakaan lalu lintas. Sehingga penulis tertarik dengan permasalahan tersebut untuk di teliti guna mengetahui solusi dari permasalahan konstruksi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan stabilisasi tanah lempung pada *subgrade* jalan menggunakan bahan tambah *fly ash* untuk mengetahui pengaruhnya pada karakteristik dan kekuatan tanah.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka masalah yang akan diteliti dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh penambahan limbah abu terbang (*fly ash*) terhadap sifat fisik tanah lempung di Kelurahan Dodu Kecamatan Rasanae Timur Kota Bima.
2. Berapakah jumlah variasi optimum pada penambahan *fly ash* untuk mendapatkan nilai CBR optimum tanpa rendaman.
3. Bagaimana pengaruh pemeraman pada campuran optimum tanah + *fly ash* terhadap nilai CBR tanpa rendaman dan rendaman.
4. Bagaimana pengaruh pemeraman terhadap nilai pengembangan pada campuran optimum tanah + *fly ash*.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini antara lain sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh dari penambahan limbah abu terbang (*fly ash*) terhadap sifat fisik tanah lempung.
2. Mengetahui variasi campuran optimum tanah + *fly ash* untuk mendapatkan nilai CBR optimum tanpa rendaman.
3. Mengetahui pengaruh dari pemeraman pada campuran optimum tanah + *fly ash* terhadap nilai CBR tanpa rendaman dan rendaman.
4. Mengetahui pengaruh pemeraman terhadap nilai pengembangan pada campuran optimum tanah + *fly ash*.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram. Batasan masalah ini digunakan untuk membatasi cakupan dalam penelitian agar tidak terlalu luas sebagai berikut:

1. Tanah yang digunakan merupakan tanah yang diperoleh dari lokasi penelitian yaitu di Kelurahan Dodu Kecamatan Rasanae Timur Kota Bima.
2. Bahan tambah dari limbah yang digunakan merupakan abu terbang (*fly ash*) dari hasil pembakaran batu bara yang diambil ditempat Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeranjang di Desa Taman Ayu Kecamatan Gerung Kabupaten Lombok Barat.
3. Metode pengujian yang akan dilakukan yaitu uji tanah laboratorium seperti kadar air, berat jenis tanah, analisis saringan, batas *Atterberg*, kepadatan tanah dan *CBR test*.
4. Stabilitas tanah pada penelitian ini di desain untuk lapisan tanah dasar (*subgrade*) jalan.
5. Menggunakan langkah dan metode yang baik dan benar serta peralatan alat ukur yang memadai serta sesuai dengan kebutuhan.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Memperoleh penambahan ilmu pengetahuan mengenai pengaruh yang ditimbulkan dari penambahan limbah abu terbang (*fly ash*) terhadap sifat fisik, kadar air optimum untuk mencapai kepadatan maksimum, nilai CBR optimum pada campuran tertentu dan tingkat pengembangan pada tanah lempung yang akan dilakukan stabilisasi.
2. Dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi dalam perancangan konstruksi jalan raya dengan memperhatikan stabilitas tanah sebagai *subgrade* jalan baru di wilayah Kelurahan Dodu Kecamatan Rasanae Timur Kota Bima.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Tinjauan pustaka merupakan keterangan-keterangan yang berkaitan dengan permasalahan pada studi kasus dari hasil penelitian atau karya orang lain terdahulu yang dijadikan sebagai referensi-referensi dalam penyusunan penelitian ini.

##### **2.1.1 Penelitian terdahulu**

Stabilisasi tanah lempung dengan bahan aditif *fly ash* sebagai lapisan pondasi dasar jalan (*subgrade*) di Desa Gasing, Tanjung Api-Api, Palembang. Bahan tambah campuran dengan tujuan untuk memperbaiki karakteristik tanah dan meningkatkan kekuatan daya dukung tanah *subgrade* perkerasan jalan. Variasi persentase bahan tambah *fly ash* untuk campuran sebesar 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan 12,5%. Hasil penelitian menyatakan bahwa sifat fisik tanah termasuk tanah lempung tinggi dengan indeks plastisitasnya 17,32% dan pada campuran 7,5% *fly ash*, tanah lempung ini bisa dijadikan sebagai *subgrade* jalan (Ibrahim, 2014). Stabilisasi tanah lempung lunak menggunakan *fly ash* untuk melihat pengaruhnya terhadap nilai kuat tekan bebas di Desa Sudimanik Kec. Cibaliung Kab. Pandeglang juga dilakukan oleh (Indera dkk., 2017) dengan variasi campuran *fly ash* adalah 0%, 10%, 15% 20% dan 25% dari berat tanah kering. Hasil penelitian menyatakan bahwa tanahnya termasuk tanah lempung gemuk dan pada persentase 15% bahan tambah *fly ash* adalah kondisi optimum dari kuat tekan bebas tanah tersebut dengan waktu pemeraman 28 hari.

Pengaruh lama waktu *curing* terhadap nilai CBR dan *swelling* pada tanah lempung ekspansif di Bojonegoro dengan campuran 15% *fly ash* dengan variasi campuran bahan tambah sebesar 5%, 10%, 15% dan 20%. Hasil penelitian menyatakan bahwa pencampuran tanah lempung ekspansif pada campuran 15%

*fly ash* dengan waktu *curing* selama 28 hari memperoleh nilai CBR terbesar yaitu 16,948% dan nilai *swelling* terkecil yaitu 0,381%. (Tobing, 2014)

Penelitian pengaruh penambahan abu batu bara terhadap kuat geser tanah lempung di Desa Kolongan Atas Kecamatan Sonder. Bahan tambah campuran ini untuk melihat pengaruhnya terhadap kuat geser tanah lempung. Variasi campuran tanah + abu batu bara yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Hasil penelitian menyatakan bahwa penambahan abu batu bara pada tanah menyebabkan kuat geser tanah bertambah, pada tanah + 0% abu batu bara kuat geser tanah 6.365 t/m<sup>2</sup> menjadi 11.3863 t/m<sup>2</sup> pada tanah + 20% abu batu bara, kemudian menurun pada tanah + 25% abu batu bara. Pada kondisi tanah + 0% abu batu bara menunjukkan nilai faktor keamanan = 1.414. Setelah penambahan bahan campur, nilai faktor keamanan meningkat mencapai pada campuran tanah + 20% abu batu bara dengan nilai faktor keamanan = 2.194 kemudian menurun (Polii dkk., 2018).

Analisis campuran kapur-*fly ash* dan kapur-abu sekam padi terhadap lempung ekspansif di Kabupaten Bolang-Mongondow Timur. Penggunaan beberapa limbah ini bertujuan untuk memperbaiki sifat fisik maupun kekuatan daya dukung tanah. Variasi campurannya abu terbang (*fly ash*) batu bara dan abu sekam padi yaitu 5%,10%,15%,20% sedangkan penambahan kapur 2.5%,5%,7.5%, dan 10%. Hasil penelitian menyatakan bahwa penggunaan kapur + abu terbang (*fly ash*) lebih efektif dari pada menggunakan kapur + abu sekam padi untuk menurunkan nilai plastisitas. Penambahan kapur + abu sekam padi dan penambahan kapur + abu terbang (*fly ash*) menunjukkan terjadi peningkatan nilai  $q_u$  seiring bertambahnya persentasi kapur, penambahan kapur + abu terbang (*fly ash*) lebih memberikan nilai kekuatan yang lebih besar jika dibandingkan dengan campuran kapur + abu sekam padi. Besarnya nilai CBR rendaman maksimum pada penambahan kapur dan *fly ash* terjadi pada campuran 10% kapur + 20% abu terbang (*fly ash*) sebesar 47.16 % dan 49.88 %. Analisis data menunjukkan bahwa penambahan kapur + abu terbang (*fly ash*) lebih memberikan nilai CBR yang lebih besar jika dibandingkan penambahan kapur + abu sekam padi. (Pinasang dkk., 2016)

Stabilisasi tanah lempung dengan bahan tambah abu sekam padi dan kapur pada *subgrade* perkerasan jalan di Desa Kebonharjo, Kecamatan Samigaluh, Kabupaten Kulon Progo. Dengan variasi penambahan abu sekam padi sebesar 3% + kapur 4%, abu sekam padi 5% + kapur 4%, dan abu sekam padi 7% + kapur 4%. Hasil penelitian menyatakan bahwa nilai CBR pada penambahan bahan tambah sebesar 3% abu sekam padi + 4% kapus meningkatkan nilai CBR tanah sedangkan pada campuran bahan tambah 7% abu sekam padi + 4% kapus membuat penurunan terhadap potensi pengembangan tanah dari uji pengembangan (*swelling*). (Abdurrozak dan Mufti, 2017)

Penelitian pengaruh penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung daerah lambung bukit terhadap nilai CBR tanah. Bahan tambah semen berguna untuk mengetahui pengaruh campuran terhadap nilai CBR tanah dan memperbaiki sifat fisik tanah lempung tersebut. Variasi campuran sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat tanah kering. Hasil penelitian menyatakan bahwa pada campuran 10% dengan bahan tambah semen mampu menurunkan nilai indeks plastisitas dari 26,553% menjadi 4,577% sehingga mengurangi potensi kembang susut tanah. Dari hasil uji pemadatan dengan Proctor standar dengan bahan tambah semen meningkatkan nilai  $\gamma_d$  maks tanah dan membuat kadar air optimum turun dan meningkatkan nilai CBR tanah pada campuran 20% dengan nilai CBR sebesar 64,138% pada waktu pemeraman 3 hari. (Andriani dkk., 2012)

Stabilisasi tanah lempung menggunakan semen dan *renolith clay soil stabilization using cement and renolith*. Bahan tambah semen dan *renolith* bertujuan untuk memperbaiki sifat fisik tanah, daya dukung tanah maupun meningkatkan nilai CBR tanah. Persentase variasi campurannya yaitu 10% semen dan *renolith* 3%, 6 % terhadap berat kering tanah. Hasil penelitian menyatakan terjadi penurunan nilai indeks plastisitas dan terbesarnya terjadi pada campuran 10% semen + 3% *renolith*. Peningkatan nilai CBR tanah terjadi peningkatan dari nilai CBR tanah asli sebesar 2,77% dan pada campuran semen 10% saja adalah peningkatan terbesar nilai CBR tanah (Kholis dkk., 2018).

Stabilisasi tanah lempung organik menggunakan semen *slag* terhadap nilai CBR berdasarkan variasi kadar air optimum di jalan raya Kubang Laban, Desa Terate, Kecamatan Kramatwatu, Kabupaten Serang. Variasi campurannya adalah 0%, 5%, 10% dan 15% pada tanah. Hasil penelitian menyatakan bahwa penambahan semen *slag* pada tanah mampu menurunkan nilai indeks plastisitas tanah disetiap variasi campurannya sampai penurunan terbesar terjadi pada kadar campuran 15% dan pada kadar campuran 15% juga mampu menurunkan kadar air optimum serta meningkatkan berat isi kering maksimum pada tanah. (Kusuma dkk., 2020)

Stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan menggunakan campuran abu-sekam dan kapur. Variasi campurannya adalah 0%, 4%, 6% dan 8%. Hasil penelitian menyatakan bahwa pada campuran 6% terjadi penurunan nilai indeks plastisitas sebesar 59,35% dan pada campuran 4% terjadi penurunan *swelling* yang cukup besar pada tanah. Sedangkan untuk nilai CBR dan kepadatan kering tanah akan mengalami peningkatan seiring bertambahnya campuran abu sekam dan pasir tersebut (Widhiarto dkk., 2015).

Penentuan panjang dan persentase serat plastik optimum berdasarkan hasil uji CBR campuran tanah lempung, *trass*, limbah asetilen dan serat limbah plastik di Kabupaten Lombok Tengah dilakukan oleh (Pujiastuti dan Ngudiyono, 2014) dengan variasi campuran *trass* 15%, limbah Asetilen 5% dan limbah plastik 0%, 0,5%, 1%, 1,5% dan 2%. Hasil penelitian menyatakan bahwa pengujian uji fisik tanah, tanah lempung pada lokasi penelitian memiliki kemampuan mengembang dan menyusut sangat tinggi. Pada persentase 1% penambahan serat plastik optimum mampu meningkatkan nilai CBR dan nilai *subgrade reaction* tertinggi dengan panjang optimum serat plastik 20 mm.

### **2.1.2 Tanah lempung**

Tanah lempung adalah tanah lunak dengan nilai daya dukung tanahnya rendah dan angka pori yang lebih besar sehingga pada suatu kondisi dimana tingkat muka air tinggi membuat sifat kembang dan susut tanah menjadi besar serta plastisitas tanah juga akan menjadi tinggi (Rangan dan Arrang, 2021).

Kondisi ini akan mengakibatkan konstruksi bangunan di atasnya (jalan raya) tidak optimal atau cepat mengalami kerusakan (Upa dan Hakim, 2019). Seperti retak-retak dan bergelombangnya suatu perkerasan suatu jalan raya pada umumnya disebabkan sifat fisik tanah yang kurang baik (Ramadhan dkk., 2020). Sehingga sangat penting untuk kita amati permasalahan yang disebabkan oleh sifat tanah ini supaya dapat dilakukan upaya perbaikan pada konstruksi tersebut (Abdurozak dan Mufti, 2017). Tanah lempung yang dijadikan sampel pada pengujian ini diambil pada kedalaman 20 – 60 cm yang diperkirakan sudah tidak mengandung tanah humus lagi. (Candra dkk., 2018)

### **2.1.3 Bahan tambah *fly ash***

Abu terbang (*fly ash*) merupakan senyawa kimia yang dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya yang dibuang dari hasil sisa pembakaran batu bara. Produksi limbah abu terbang ini sangatlah banyak di Indonesia sehingga menimbulkan masalah lingkungan yang perlu penanganan yang cukup serius. Untuk mengurangi produksi limbah ini maka, bisa digunakan sebagai bahan alternatif untuk bahan campuran dalam stabilisasi tanah dasar (*subgrade*) jalan karena *fly ash* bersifat pozzolan dimana dia mengandung silika dan alumina yang tinggi (Pinasang dkk., 2016). Kemampuan *fly ash* adalah mampu mengeras, mengikat dan menambah kekuatan terhadap tekan apabila bereaksi dengan air yang disebut dengan sifat *self-cementing* (Polii dkk, 2018). Senyawa kimia yang terkandung di dalam *fly ash* ini sendiri terdiri dari silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), fero oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ). (Ibrahim, 2014)

Dari beberapa senyawa kimia yang terkandung dalam *fly ash* terdapat kandungan silika yang memiliki presentase paling tinggi dengan kadar 68.72% yang sebagai pengikat dengan agregat lainnya ketika silika dan senyawa lain bereaksi terhadap adanya air (Alfiandinata, 2020). *Fly ash* itu sendiri termasuk suatu limbah yang termasuk dalam pozzolan buatan (*sintetis*) dari sebuah hasil pembakaran dan di kategorikan sebagai limbah B3 yang berbahaya bagi lingkungan hidup karena pengaruh dari sifat, konsentrasi serta jumlahnya.

#### 2.1.4 Tanah dasar (*subgrade*)

Tanah dasar (*subgrade*) merupakan sebagai tempat perletakan atau pondasi dengan tebal 30 cm dari suatu konstruksi perkerasan jalan (Herdiana dkk., 2012). *Subgrade* jalan ini adalah salah satu faktor yang menentukan kekuatan dan umur perkerasan jalan selain dengan menambah ketebalan pada perkerasan jalan itu sendiri.

Tabel 2.1 Standar minimum material *subgrade*

No.	Parameter	Standar minimum	Satuan
1	<i>Plasticity Index (PI)</i>	$< 12$	%
2	Tingkat Keaktifan	$\leq 0.75$	-
3	CBR soak	$\geq 2$	%
4	CBR efektif	$\geq 6$	%
5	Swelling Potensial	$< 5$	%
6	penurunan	$\leq 100$	Mm
7	Perubahan kemiringan ijin	0,3	%

Sumber: Pd T-10-2005-B dan MDP 2017

#### 2.1.5 Stabilisasi tanah

Stabilisasi tanah merupakan metode yang digunakan memperbaiki suatu sifat tanah yang buruk dengan beberapa bahan tambah yang mampu mempengaruhi sifat buruk tanah tersebut menjadi lebih baik. Biasanya tanah lempung yang menjadi penyebab kerusakan jalan di berbagai daerah di Indonesia. Metode stabilisasi yang sangat populer di Indonesia yaitu stabilisasi dengan bahan campuran semen, kapur, *fly ash* dan bahan kimia lainnya yang disebut *bitumen* (Adha, 2011). Karakteristik tanahnya yang mudah dipengaruhi oleh kadar air membuat tanah lempung memiliki daya dukung tanah rendah dan kembang-susut tanah tinggi. Dari sifat tanah lempung yang seperti itu perlu dilakukan stabilisasi guna memperbaiki sifat tanah yang menjadi *subgrade* jalan. (Abdurrozak dan Mufti, 2017)

Stabilisasi tanah lempung menggunakan bahan *aditif* seperti *fly ash* sebagai bahan tambah pada lapisan pondasi dasar jalan (*subgrade*) di Desa Gasing, Tanjung Api-Api, Palembang. Bahan tambah campuran dengan tujuan untuk memperbaiki karakteristik tanah dan meningkatkan kekuatan daya dukung tanah *subgrade* perkerasan jalan. Percobaan dilakukan dengan variasi campuran bahan tambah *fly ash* sebesar 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan 12,5%. (Ibrahim, 2014).

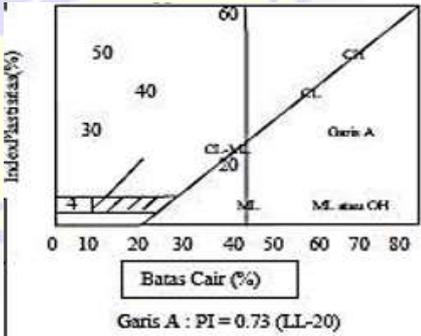
## **2.2 Landasan Teori**

Landasan teori merupakan dasar-dasar teori secara garis besar yang dijabarkan agar lebih jelas untuk dijadikan pedoman dalam memecahkan permasalahan yang dihadapi dalam studi kasus atau suatu penelitian yang akan dilaksanakan.

### **2.2.1 Klasifikasi Tanah**

Klasifikasi tanah lempung dapat dilakukan dengan cara pengujian di laboratorium untuk mengidentifikasi jenis tanah tersebut berdasarkan ukuran butiran tanah. Terdapat dua metode klasifikasi jenis tanah yaitu metode AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan metode USCS (*Unified Soil Classification System*). Peneliti menggunakan metode USCS (*Unified Soil Classification System*), dengan metode ini tanah diidentifikasi dengan menjadi dua kelompok yaitu jika tanah tertahan 50% lolos pada saringan no. 200 merupakan berbutir kasar (kerikil dan pasir) sedangkan jika tanah 50% lolos saringan no.200 merupakan berbutir halus (lanau dan lempung). Setelah dikelompokkan, terdapat sub-sub kelompok yang ditentukan berdasarkan batas cair dan batas plastis sehingga mendapatkan nilai indeks plastisitas untuk dimasukkan kedalam grafik hubungan batas cair dengan indeks plastisitas. Dari grafik hubungan batas cair dengan indeks plastisitas ini dapat ditentukan jenis tanahnya seperti pada Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Sistem klasifikasi tanah menurut USCS

Divisi utama		Simbol	Nama utama	Kriteria klasifikasi		
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran Tertahan saringan no. 200	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan no. 4	GW	Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{30}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3  Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW		
		GP	Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus			
		Kerikil dengan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$  Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$  Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah arsir dari diagram plastisitas maka di pakai simbol souble	
			GC	Kerikil berlempung campuran kerikil-pasir-lempung		
	Pasir $50\% \geq$ fraksi kasar lolos saringan no. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak sama sekali mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{30}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3  Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
			SP	Pasir bergradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak sama sekali mengandung butiran halus		
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$  Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$  Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah arsir dari diagram plastisitas maka di pakai souble symbol	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
		Tanah berbutir kasar $\leq 50\%$ butiran Tertahan saringan no. 200	Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas : Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.  
				CL	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus"	
OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas tinggi					
Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH		Lanau anorganik atau pasir halus <i>diatocmae</i> atau lanau <i>diatocmae</i> , lanau yang elastis			
	CH		Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk"			
	OH		Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi			
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT		Peat (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk klasifikasi secara visual dapat di lihat di ASTM Designation D-2488		

Sumber: Hardiyatmo, 2012

### 2.2.2 Kadar air

Kadar air merupakan persentase air yang terkandung pada suatu bahan atau tanah yang menjadi sampel penelitian dalam satuan berat berdasarkan berat basahnya atau berdasarkan berat keringnya. Kadar air dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.1 (Sumber: Hardiyatmo, 2012).

$$\text{Kadar air } (w) = \frac{Ww}{Ws} = \frac{W2-W3}{W3-W1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan :

- $w$  : Kadar air (%)
- $W1$  : Berat cawan kosong (gram)
- $W2$  : Berat cawan + tanah basah (gram)
- $W3$  : Berat cawan + tanah kering (gram)

### 2.2.3 Berat jenis

Berat jenis (*Specific Weight*) adalah perbandingan relatif antara massa jenis suatu zat (tanah sebagai bahan uji) dengan massa jenis air terhadap volumenya. Untuk mengetahui berat jenis tanah ini melalui pengujian menggunakan alat piknometer yang terdapat di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram. Jenis tanah juga dapat ditentukan jenisnya berdasarkan hasil pengujian berat jenis tanah (Kusuma dkk., 2020). Berat jenis dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.2 (Sumber: Hardiyatmo, 2012).

$$G = \frac{\text{Berat butir}}{\text{Berat air dan volume yang sama}} = \frac{W}{Ww}$$
$$G = \frac{W2-W1}{(W4-W1)-(W3-W2)} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan :

- $G$  : Berat jenis tanah
- $W1$  : Berat piknometer kosong (gram)
- $W2$  : Berat piknometer + tanah kering (gram)
- $W3$  : Berat piknometer + tanah + air (gram)
- $W4$  : Berat piknometer + air (gram)

#### **2.2.4 Analisa saringan dan hidrometer**

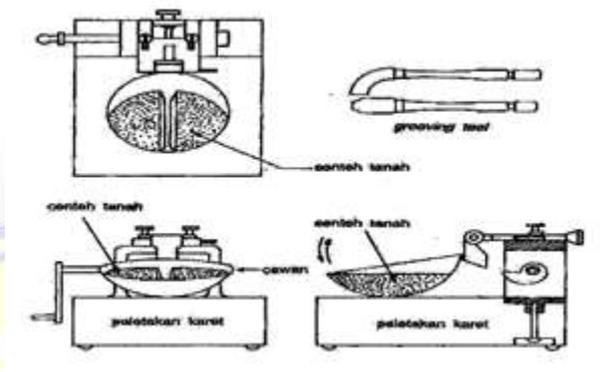
Analisa saringan merupakan pengujian yang bertujuan menentukan pembagian gradasi agregat tanah yang dimana ukuran gradasi tanah yang lebih besar dari 0,075 mm atau yang tertahan saringan no. 200 digunakan untuk analisa saringan. Sedangkan analisa hidrometer merupakan pengujian untuk menentukan distribusi ukuran butiran halus yang lolos saringan no. 200 dengan metode pengujian seperti prinsip pengendapan sedimentasi butiran-butiran tanah didalam air. Analisa saringan dilakukan dengan berbagai ukuran ayakan sehingga mendapatkan berat tanah tertahan dari masing-masing ayakan dan juga yang lolos saringan no. 200 untuk membantu dalam proses klasifikasi jenis tanah juga.

#### **2.2.5 Batas Atterberg**

Batas *Atterberg* (batas konsistensi tanah) merupakan ukuran yang menjadi patokan (parameter) utama dalam mengidentifikasi karakteristik dari tanah lempung. Batas *Atterberg* juga adalah nilai kadar air yang dinyatakan sebagai batas plastis, indeks plastisitas, batas cair dimana perilaku tanah berubah-ubah dari hasil penelitian sehingga dapat dihubungkan dengan kurva tegangan-tegangannya masing-masing. (Lay dkk., 2019)

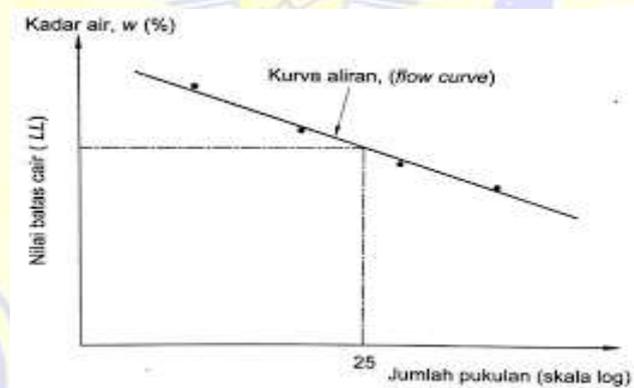
2.2.4.1 Batas cair (*Liquid Limit*). Batas cair (LL), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antar keadaan cair dan keadaan plastis yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari uji Casagrande (1948). Gambar skematis alat pengukur batas cair dapat dilihat pada Gambar 2.1. Karena sulitnya mengatur kadar air pada waktu celah menutup

pada 25 kali pukulan, maka biasanya percobaan dilakukan beberapa kali, yaitu dengan kadar air yang berbeda dengan jumlah pukulan yang berkisar 15 sampai 35. Kemudian hubungan kadar air dengan jumlah pukulan digambarkan dalam bentuk grafik semi logaritmik untuk menentukan kadar air pada 25 pukulan Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.1 Skema alat uji batas cair

Sumber: Hardiyatmo, 2012



Gambar 2.2 Kurva hubungan kadar air dengan jumlah pukulan

Sumber: Hardiyatmo, 2012

2.2.4.2 Batas plastis (*Plastic Limit*). Batas plastis (PL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3 mm mulai retak-retak ketika digulung.

2.2.4.3 Indeks plastisitas (*Plasticity Index*). Indeks plastisitas (PI) merupakan selisih dari batas cair dengan batas plastis. Indeks plastisitas dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2.3 (Sumber: Hardiyatmo, 2012).

$$IP = LL - PL \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan :

- IP* : Indeks Plastisitas
- LL* : Batas Cair
- PL* : Batas Plastis

Indeks Plastisitas merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika PI rendah seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah

No.	PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
1	0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
2	< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
3	7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
4	> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

Sumber: Hardiyatmo, 2012

2.2.4.4 Batas susut (*Shrinkage Limit*). Batas susut (SL), merupakan sebagai kadar air pada kedudukan antara semi padat dan padat yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air yang selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Percobaan batas susut

dilakukan di laboratorium dengan cawan porselin yang diameternya 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. Dalam bagian cawan dilapisi dengan pelumas dan di isi dengan tanah jenuh sempurna yang kemudian dikeringkan dalam oven. Volume ditentukan dengan mencelupkannya dengan air raksa . Batas susut dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.4 (Sumber: Hardiyatmo, 2012).

$$SL = \left( \frac{m_1 - m_2}{m_2} - \frac{(v_1 - v_2)\gamma_w}{m_2} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan :

- $SL$  : Batas susut (%)
- $m_1$  : Berat tanah basah dalam cawan (gram)
- $m_2$  : Berat tanah kering, oven (gram)
- $v_1$  : Volume tanah basah dalam cawan (cm<sup>3</sup>)
- $v_2$  : Volume tanah kering, oven (cm<sup>3</sup>)
- $\gamma_w$  : Berat volume air (gram/cm<sup>3</sup>)

### 2.2.6 Pemadatan tanah

Pemadatan ini merupakan suatu proses mekanis yang dilakukan untuk mengetahui kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum suatu bahan uji dengan cara pemadatan yang sesuai dan kekuatan pemadatan tertentu. Pemadatan juga berfungsi untuk mengurangi pori-pori udara yang terdapat pada tanah dan mencegah terjadinya penyusutan tanah atau tanah amblas (Dwiretnani, 2018). Pemadatan itu sendiri sangatlah berguna untuk diterapkan di lapangan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dalam pekerjaan persiapan *subgrade* perkerasan jalan. Untuk mendapatkan nilai kepadatan tanah, kita harus menghitung nilai kadar air, berat volume basah tanah dan berat volume kering tanah. Dimana kadar air dapat dihitung dengan Persamaan 2.1 sedangkan berat volume basah tanah dihitung menggunakan Persamaan 2.5 (Sumber: Hardiyatmo, 2012) dibawah ini.

$$\gamma_m = \frac{W_2 - W_1}{V} \text{ gram/cm}^3 \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

- $\gamma_m$  : Berat volume basah tanah (gram/cm<sup>3</sup>)
- $W_2$  : Berat silinder kosong (gram)
- $W_3$  : Berat silinder isi tanah basah (gram)
- $V$  : Volume silinder (cm<sup>3</sup>)

Berat volume kering tanah dihitung dengan persamaan 2.6 (Sumber: Hardiyatmo, 2012) dibawah ini.

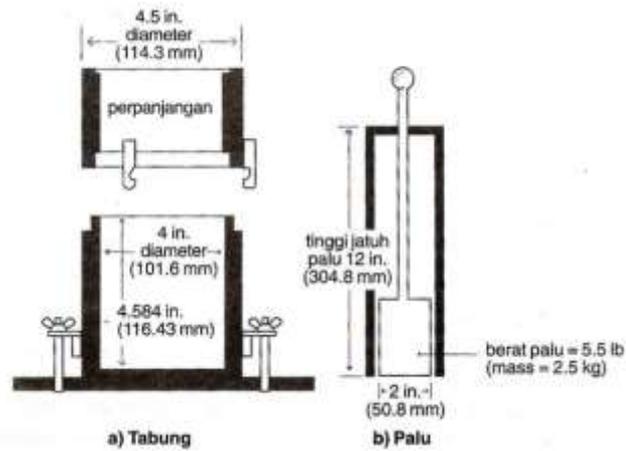
$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1+w} \text{ gram/cm}^3 \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

- $\gamma_d$  : Berat volume kering tanah (gram/cm<sup>3</sup>)
- $\gamma_m$  : Berat volume basah tanah (gram/cm<sup>3</sup>)
- $w$  : Kadar air (%)

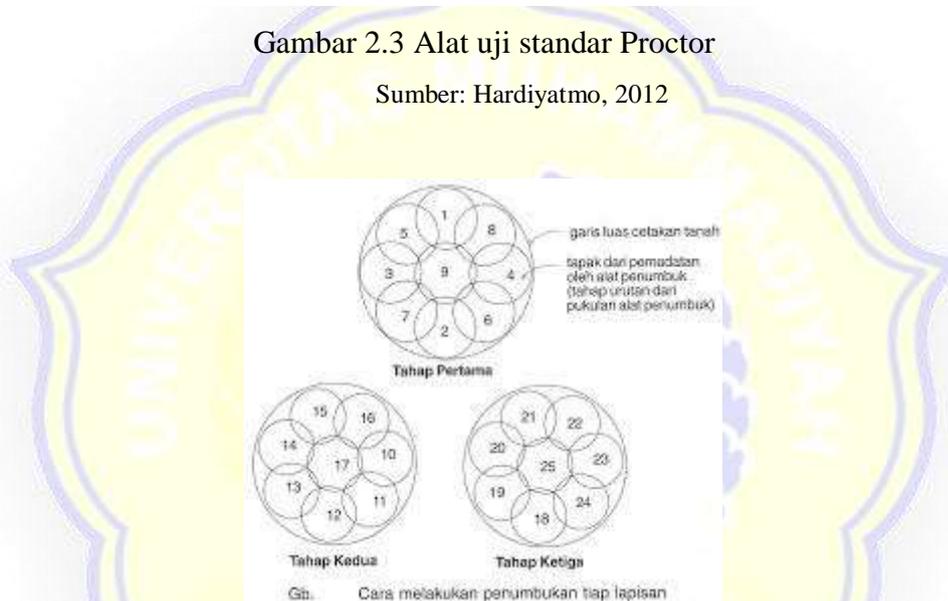
Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji standar Proctor.

Alat pemadatan berupa silinder yang mempunyai volume  $9,44 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  Gambar 2.3. Tanah di dalam *mould* dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm (1 ft). Tanah dipadatkan dalam 3 lapis dengan setiap lapisannya di tumbuk sebanyak 25 kali pukulan seperti pada Gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.3 Alat uji standar Proctor

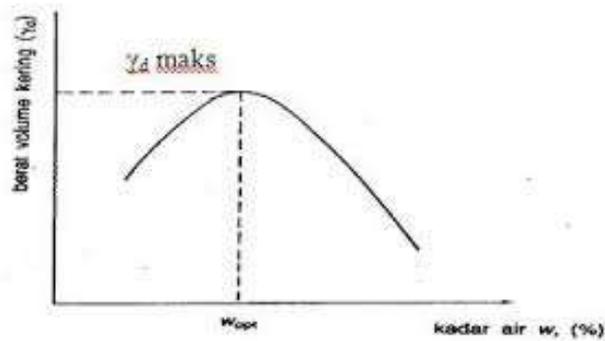
Sumber: Hardiyatmo, 2012



Gambar 2.4 Cara melakukan penumbukan

Sumber: Hardiyatmo, 2012

Dalam uji pemadatan, percobaan dibuat minimal sebanyak 5 sampel dengan kadar air yang berbeda pada setiap variasi sampel percobaan. Setelah dilakukan percobaan dibuatkan grafik hubungan antara kadar air dan berat volume keringnya Gambar 2.5. Kurva yang dihasilkan dari pengujian tadi memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik atau kadar air optimum ( $w_{opt}$ ) untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum ( $\gamma_{d maks}$ ).



Gambar 2.5 Kurva hubungan kadar air dengan berat volume kering

Sumber: Hardiyatmo, 2012

### 2.2.7 Potensi pengembangan tanah

Potensi pengembangan tanah merupakan cara mengidentifikasi tingkat pengembangan tanah dengan hubungannya pada sifat-sifat fisik tanah berdasarkan ketentuan-ketentuan yang berlaku. Pengidentifikasi potensi pengembangan dapat dilakukan dengan menentukan nilai tingkat keaktifan tanah maupun nilai batas-batas *Atterberg* pada tanah. Nilai batas-batas *Atterberg* dapat menentukan potensi pengembangan tanah yang dapat dilihat berdasarkan Tabel 2.4 seperti dibawah ini.

Tabel 2.4 Hubungan indeks plastisitas dengan potensi pengembangan

Potensi pengembangan	Indeks plastisitas
Rendah	0 – 15
Sedang	10 – 35
Tinggi	20 – 55
Sangat tinggi	> 35

Sumber: Chen, 1975 dalam Pinasang dkk., 2016

Berdasarkan menurut Chen (1975) dalam Hardiyatmo (2012), juga menyatakan bahwa batas susut dapat digunakan sebagai parameter untuk menentukan potensi pengembangan yaitu sesuai pada Tabel 2.5 seperti dibawah ini.

Tabel 2.5 Hubungan batas susut dengan potensi pengembangan

Batas susut (%)	Susut linear (%)	Derajat mengembang
< 10	>8	Kritis
10 – 12	5 – 8	Sedang
>12	0 - 8	Tidak kritis

Sumber: Chen, 1975 dalam Pinasang dkk., 2016

Nilai *activity* pada tanah juga dapat ditentukan menggunakan persamaan 2.7 (Sumber: Hardiyatmo, 2012) seperti dibawah ini.

$$A = \frac{PI}{C} \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan :

*A* : Nilai *activity*

*PI* : Indeks Plastisitas (%)

*C* : Persen fraksi ukuran lempung (diameter butiran < 0.002 mm)

Hasil perhitungan nilai *activity* dari persamaan diatas dapat dijadikan sebagai standar penentuan potensi pengembangan pada tanah sesuai Tabel 2.6 dibawah ini.

Tabel 2.6 Hubungan nilai *activity* dengan potensi pengembangan

Nilai <i>activity</i>	Tingkat keaktifan	Potensi pengembangan
<0.75	Tidak aktif	Rendah
0.75 <Ac>1.25	Normal	Sedang
>1.25	Aktif	Tinggi

Sumber: Chen, 1975 dalam Pinasang dkk., 2016

Nilai aktivitas ini selain dihubungkan dengan potensi pengembangan tanah, juga dapat dijadikan sebagai parameter dugaan pada mineral yang terkandung dalam tanah tersebut berdasarkan Tabel 2.7 seperti dibawah ini. Mineral-mineral yang terkandung dalam tanah juga dapat mempengaruhi sifat-sifat fisik maupun mekanis tanah dan tidak menutup kemungkinan bahwa kandungan mineral-mineral tersebut yang mempengaruhi tinggi rendahnya potensi pengembangan pada tanah.

Tabel 2.7 Hubungan aktivitas dengan mineral tanah

Mineral	Aktivitas
<i>Kaolinite</i>	0.33 – 0.46
<i>Illite</i>	0.9
<i>Montmorillonite (Ca)</i>	1.5
<i>Montmorillonite (Na)</i>	7.2

Sumber: Chen, 1975 dalam Pinasang dkk., 2016

### 2.2.8 CBR (*California Bearing Ratio*)

CBR (*California Bearing Ratio*) merupakan sebuah perbandingan antara beban penetrasi dari suatu lapisan tanah atau perkerasan terhadap bahan standar yang dilakukan dengan kedalaman serta kecepatan penetrasi yang juga sama. Nilai yang tertera pada CBR dipakai sebagai dasar perencanaan perkerasan yang terdapat pada timbunan jalan, jumlahnya tergantung pada berapa kelas jalan yang diinginkan. Kondisi tanah dasarnya akan semakin baik, apabila jumlah nilai CBR nya pun semakin tinggi.

Nilai CBR ini bisa dinaikkan atau ditingkatkan dengan melakukan pemadatan, tetapi di dalam pelaksanaannya akan mengacu pada nilai yang tertera pada kadar air secara optimum serta berat isi kering secara maksimum. Kualitas daya dukung tanah yang masih asli menjadi salah satu kekuatan yang terdapat pada konstruksi jalan, yang menjadi bahan dasarnya. Uji CBR pun dilakukan untuk mengetahui daya dukung dari tanah dasar jalan tersebut dan sebagai acuan mengevaluasi kekuatan material yang digunakan sebagai *subgrade* jalan serta

perencanaan atau mendesain perkerasan jalan sesuai kebutuhan tertentu. (Pujiastuti dan Ngudiyono, 2014)

Terdapat standar nilai CBR untuk subgrade jalan untuk mengetahui tanah tersebut dapat digunakan untuk mendukung perkerasan jalan di atasnya, seperti yang dapat kita lihat pada Tabel 2.8 dibawah ini.

Tabel 2.8 Standar nilai CBR untuk tanah dasar jalan (*Subgrade*)

<i>Section</i>	Kriteria Material	Nilai CBR (%)
<i>Subgrade</i>	Sangat Baik	20 – 30
	Baik	10 – 20
	Sedang	5 – 10
	Buruk	< 5

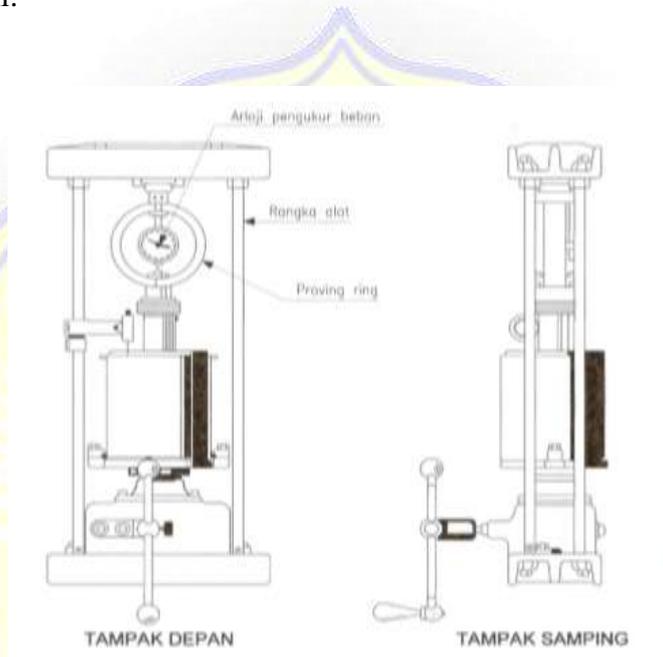
Sumber: Turnbull, 1968 dalam Barnas dan Karopeboka, 2015

Pengujian nilai CBR ini menggunakan sampel tanah yang lolos saringan no. 4 ditambah campuran *fly ash* dengan jumlah pukulan sebanyak 56 kali per lapis. Pembuatan sampel menggunakan kadar air optimum untuk mendapatkan kepadatan maksimum sehingga dapat menghasilkan nilai CBR yang baik. Uji nilai CBR terdiri dari uji CBR tanpa rendaman, uji CBR rendaman dan uji CBR pemeraman. CBR rendaman dilakukan selama 4 hari dengan memperhatikan pergerakan *dial guage* yang menunjukkan pengembangan tanah pada periode waktu tertentu sebagai waktu bacaan. Sedangkan CBR pemeraman ini dilakukan dalam waktu 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari untuk melihat perubahan nilai CBR setelah dilakukan pemeraman, apakah mengalami peningkatan atau sebaliknya. Berdasarkan SNI 1744 : 2012, nilai beban terkoreksi pada uji CBR harus ditentukan pada penetrasi 2,54 mm (0,10 inci) dan 5,08 mm (0,20 inci) setiap kali pengujian dilakukan menggunakan alat penetrasi pada masing-masing benda uji. Nilai CBR dinyatakan dalam bentuk persen setelah dilakukan pembagian antara nilai beban terkoreksi dengan beban standar secara berurutan seperti pada penetrasi 2,54 mm (0,10 inci) dibagi 13 kN (3000 lbs) dan 5,08 mm

(0,20 inci) dibagi beban standar 20 kN (4500 lbs), kemudian dikalikan dengan 100 seperti pada Persamaan 2.8 (Sumber: SNI 1744 : 2012) dibawah ini :

$$CBR = \frac{\text{Beban terkoreksi}}{\text{Beban standar}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

Alat penetrasi untuk pengujian nilai CBR itu dapat dilihat pada Gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 Alat penetrasi CBR Laboratorium

Sumber: SNI 1744 : 2012

Nilai pengembangan dari hasil rendaman pada metode uji CBR rendaman dapat ditentukan dengan perhitung menggunakan Persamaan 2.9 (Sumber: SNI 1744 : 2012) dari hasil bacaan arloji ukur pada saat perendaman seperti dibawah ini.

$$\text{Nilai pengembangan} = \frac{\text{Bacaan dial}}{\text{Tinggi tanah awal}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

## BAB III METODE PENELITIAN

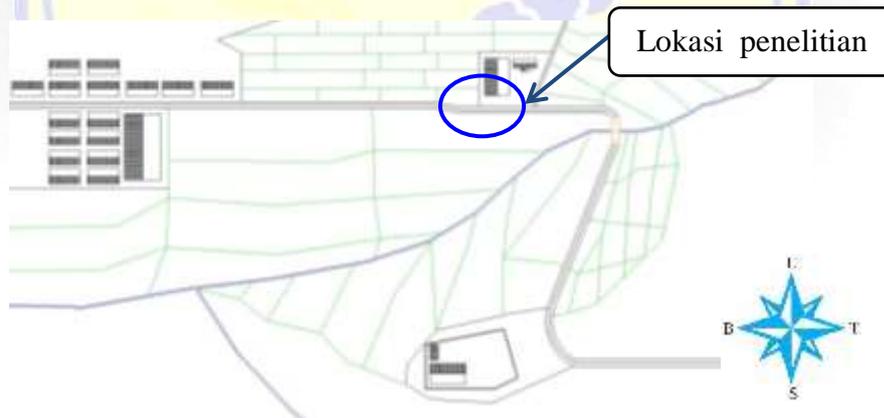
### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di daerah Kelurahan Dodu Kecamatan Rasanae Timur Kota Bima sebagai tempat pengambilan sampel tanah lempung yang di gunakan untuk pengujian dalam penelitian ini. Untuk lokasi pengambilan sampel itu sendiri lebih tepatnya dapat di lihat pada Gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1 Lokasi pengambilan sampel tanah

Sumber: Google maps, 2021



Gambar 3.2 Sketsa lokasi pengambilan sampel tanah

Sumber: Drafter, 2021

Pengambilan bahan tambah limbah abu terbang (*fly ash*) yang merupakan hasil sisa dari pembakaran batu bara sebagai bahan campuran dalam stabilisasi tanah lempung pada *subgrade* jalan ini diambil pada sebuah tempat Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeranjang di Desa Taman Ayu Kecamatan Gerung Kabupaten Lombok Barat. Sedangkan untuk lokasi penelitiannya adalah di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram yang terletak di Jalan KH. Ahmad Dahlan No. 1, Kelurahan Pagesangan, Kecamatan Mataram, Kota Mataram, Provinsi Nusa Tenggara Barat.

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yang tersedia antara lain :

#### 1. Saringan

Saringan merupakan peralatan yang digunakan untuk menyortir dan memisahkan butiran gradasi tanah sesuai ukuran butiran yang akan digunakan dalam pengujian. Maka dari itu, saringan sangatlah diperlukan dalam penelitian ini. Saringan yang digunakan juga terdapat beberapa saringan dengan berbagai ukuran sesuai kebutuhan seperti pada Gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3 Saringan

Sumber: Laboratorium mekanika tanah, 2021

## 2. Cetakan

Cetakan yang digunakan harus kuat dan sesuai standar seperti cetakan yang terbuat dari baja atau logam agar hasil uji yang didapatkan bagus. Cetakan ini memiliki tiga bagian yaitu bagian alas, bagian badan dan bagian leher sambungan. Peralatan yang digunakan tersebut dapat kita lihat pada Gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4 Cetakan

Sumber: Laboratorium mekanika tanah, 2021

## 3. Penumbuk

Penumbuk yang digunakan ini terbuat dari besi dengan berat yang berbeda sesuai kebutuhan dan ketentuan SNI dalam melakukan pengujian untuk mendapatkan kepadatan tanah. Penumbuk yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.5 dibawah ini.



Gambar 3.5 Penumbuk

Sumber: Laboratorium mekanika tanah, 2021

#### 4. Timbangan

Timbangan yang digunakan merupakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram dan ketelitian 0,1 gram. Dimana timbangan dengan ketelitian 0,01 gram digunakan untuk menimbang sampel dengan berat maksimum 200 gram sedangkan timbangan dengan ketelitian 0,1 gram digunakan untuk menimbang sampel dengan berat lebih dari 200 gram. Timbangan yang digunakan pada saat penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7 dibawah ini.



Gambar 3.6 Timbangan ketelitian 0,01 gram

Sumber: Laboratorium mekanika tanah, 2021



Gambar 3.7 Timbangan ketelitian 0,1 gram

Sumber: Laboratorium mekanika tanah, 2021

## 5. Cawan

Cawan yang digunakan adalah cawan yang kuat dan tahan karat berbagai kondisi seperti panas, pendinginan dan berat karena hal tersebut akan dilakukan secara terus-menerus dalam penelitian ini. Cawan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.8 dibawah ini.



Gambar 3.8 Cawan

Sumber: Laboratorium mekanika tanah, 2021

## 6. Oven pengering

Oven pengering digunakan untuk pengeringan sampel guna menghilangkan kandungan air pada sampel pada suhu tertentu sesuai dengan panduan penelitian. Oven pengeringan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.9 dibawah ini.



Gambar 3.9 Oven pengering

Sumber: Laboratorium mekanika tanah, 2021

## 7. Alat Casagrande

Alat Casagrande yang digunakan untuk pengujian batas cair seperti yang dapat kita lihat pada Gambar 3.10 dibawah ini.



Gambar 3.10 Alat Casagrande

Sumber: Laboratorium mekanika tanah, 2021

## 8. Pikonometer

Pikonometer yang digunakan adalah sebuah botol ukur yang terbuat dari kaca yang memiliki kapasitas 100 mL dan mampu bertahan dalam suhu panas tertentu. Pikonometer yang digunakan dapat kita lihat pada Gambar 3.11 dibawah ini.



Gambar 3.11 Pikonometer

Sumber: Laboratorium mekanika tanah, 2021

#### 9. Jangka sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur jarak, tinggi dan diameter sampel uji maupun peralatan lain guna mendapatkan data yang dibutuhkan dalam membantu penelitian berlangsung. Jangka sorong yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.12 dibawah ini.



Gambar 3.12 Jangka sorong

Sumber: Laboratorium mekanika tanah, 2021

#### 10. Centongan dan baskom pencampuran

Peralatan ini digunakan pada saat pemindahan sampel ke tempat yang diinginkan maupun pada saat proses pencampuran sampel dengan air untuk menghasilkan campuran yang merata. Peralatan tersebut seperti pada Gambar 3.13 dibawah ini.



Gambar 3.13 Centongan dan baskom pencampuran

Sumber: Laboratorium mekanika tanah, 2021

### 11. *Dial guage*

*Dial guage* digunakan untuk mengetahui besarnya pengembangan tanah pada saat pengujian CBR rendaman selama 4 hari. *Dial guage* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.14 dibawah ini.



Gambar 3.14 *Dial guage*

Sumber: Laboratorium mekanika tanah, 2021

### 12. Alat penguji penetrasi CBR laboratorium

Alat penguji penetrasi ini digunakan untuk pengujian nilai CBR tanah. Peralatannya dapat dilihat seperti pada Gambar 3.15 dibawah ini.



Gambar 3.15 Alat penguji Penetrasi CBR laboratorium

Sumber: Laboratorium mekanika tanah, 2021

Bahan-bahan yang di perlukan sebagai sampel dalam penelitian ini adalah sampel tanah dan limbah abu terbang (*fly ash*) untuk dilakukan pengujian sesuai dengan prosedur yang sesuai dan baik.

1. Tanah.

Tanah ini merupakan tanah lempung subgrade jalan di Kelurahan Dodu sebagai bahan uji pada penelitian yang akan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram.



Gambar 3.16 Tanah lempung

Sumber: Laboratorium mekanika tanah, 2021

2. Limbah abu terbang (*fly ash*).

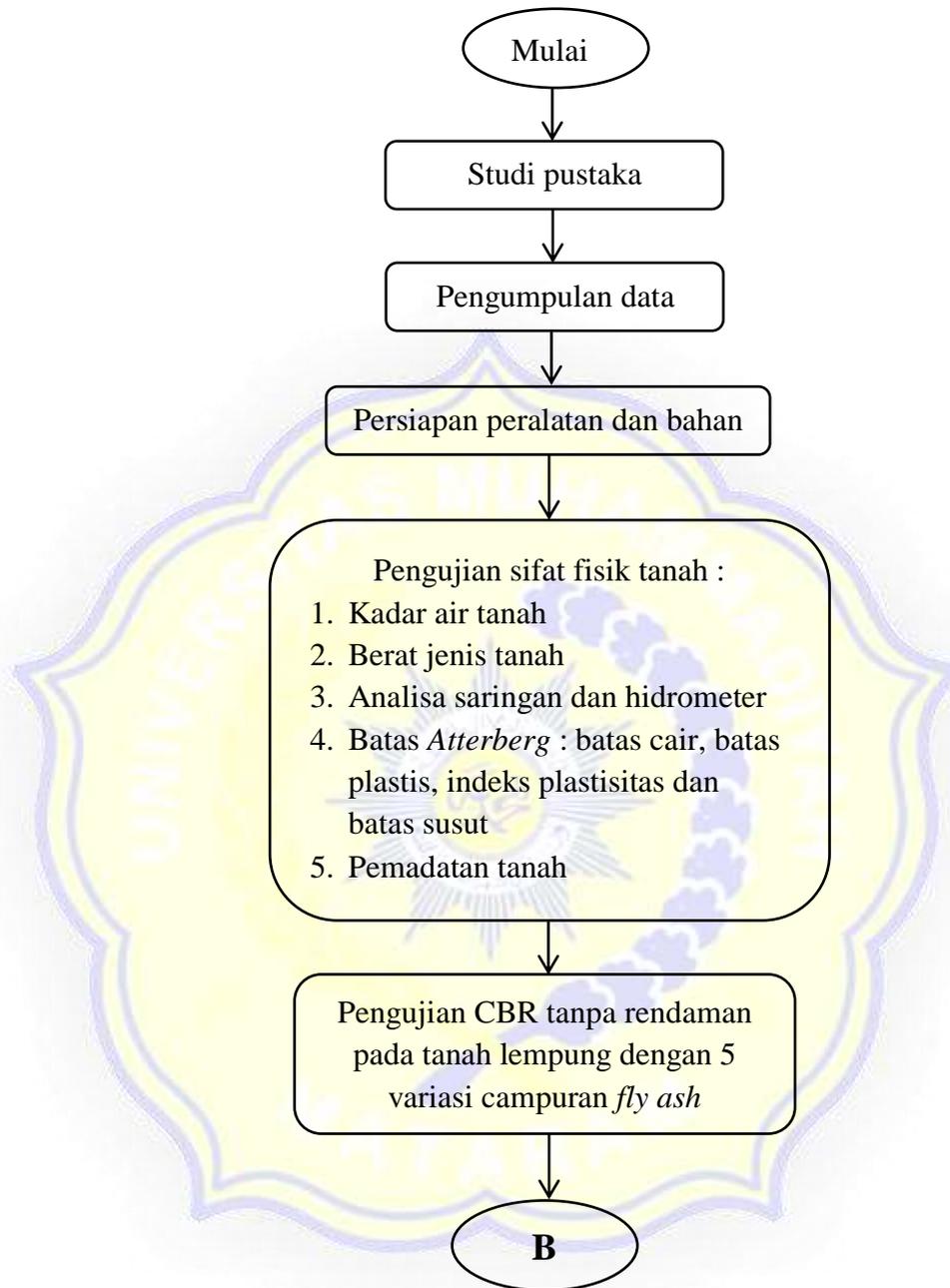
*Fly ash* sebagai bahan tambah untuk stabilisasi tanah kali ini diambil dari sisa pembakaran batu bara di PLTU Jeranjang, Lombok Barat untuk mengetahui pengaruh adanya pencampuran kedua bahan agar dapat memperbaiki karakteristik tanah dan daya dukungnya meningkat.

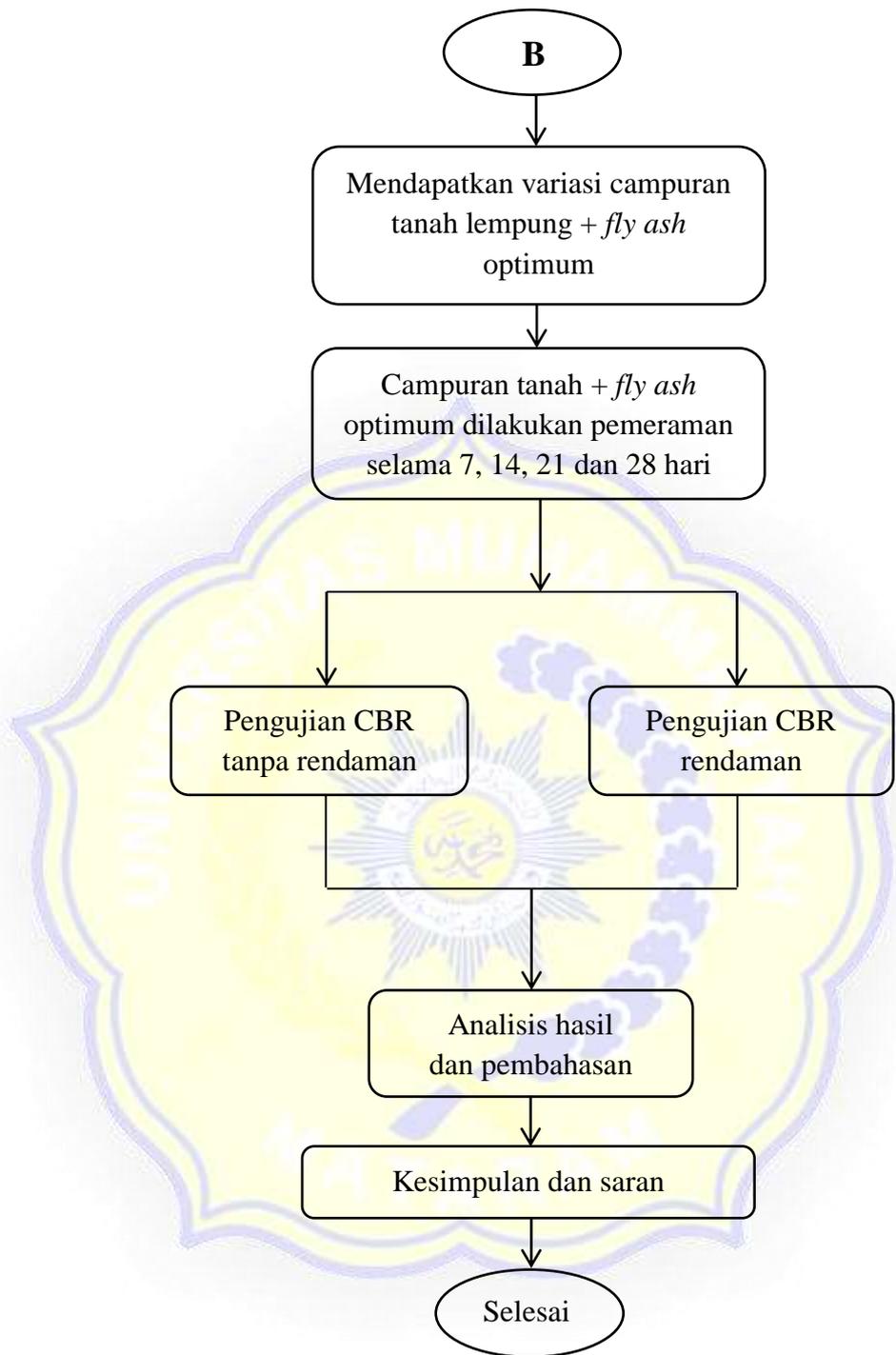


Gambar 3.17 Abu terbang (*fly ash*)

Sumber: Laboratorium mekanika tanah, 2021

### 3.3 Bagan Alir Penelitian





Gambar 3.18 Bagan alir penelitian

Sumber: Rancangan penelitian, 2021

### **3.4 Tahapan penelitian**

#### **3.4.1 Studi pustaka**

Studi pustaka adalah salah satu metode pengumpulan data yang pertama kali dilakukan oleh para peneliti untuk menemukan referensi-referensi yang berkaitan dengan penelitiannya. Studi pustaka itu sendiri adalah sebagai titik dimana kita dapat mencari dan mengumpulkan data berupa dokumen-dokumen dan gambar serta yang lainnya sebagai pendukung dalam penelitian. Sehingga memudahkan dalam proses analisis data selanjutnya.

#### **3.4.2 Pengumpulan data**

Pengumpulan data adalah kegiatan yang dilakukan pada saat penelitian berlangsung dengan mencatat semua hasil-hasil dari beberapa pengujian sampel yang telah ditentukan. Metode pengumpulan data juga dapat dilakukan dengan observasi guna mendapatkan data sampling tanah di lokasi penelitian dan di sekitar lapangan (Putri dkk., 2020). Dari kegiatan pengumpulan data akan didapatkan data yang cukup bervariasi seperti kadar air, berat jenis, batas *Atterberg*, kepadatan dan nilai CBR untuk olah dan di analisis untuk mengetahui pengaruh dari hasil pengujian.

#### **3.4.3 Analisis data**

Analisis data tentunya dilakukan sesuai dengan pedoman-pedoman dan standar aturan yang dijadikan patokan sekaligus pengontrol jalannya penelitian. Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram dengan beberapa tahap pengujian yang dilakukan terdiri dari pengujian kadar air, berat jenis, batas *Atterberg*, kepadatan dan nilai CBR. Dari hasil pengujian akan dihasilkan data untuk yang selanjutnya dilakukan analisis data sehingga didapatkan hasil yang dapat dijadikan sebagai perbandingan akan keadaan asli atau kondisi asli tanah dan setelah dilakukan percobaan dengan penambahan bahan tambah untuk campuran tanah tersebut.

### 3.4.4 Rancangan penelitian

Penelitian yang akan dilakukan adalah menggunakan metode eksperimental dengan berusaha melakukan percobaan dengan beberapa sampel bahan uji untuk mendapatkan pengaruh dari suatu variabel ke variabel lainnya sebagai hasil capaian dari penelitian (Ludfian dan Wibowo, 2017). Pada penelitian yang akan dilakukan ini dengan percobaan komposisi bahan tambah *fly ash* dengan beberapa presentase yang bervariasi untuk menemukan pada komposisi berapa kondisi optimum dalam stabilisasi tanah ini didapatkan. Komposisi campuran bahan tambah dengan tanah dalam penelitian dapat kita lihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Variasi campuran tanah dengan *fly ash*

No.	Variasi campuran
1	Tanah asli + 0% (Tanpa campuran bahan tambah)
2	Tanah asli + 5% <i>fly ash</i>
3	Tanah asli + 10% <i>fly ash</i>
4	Tanah asli + 15% <i>fly ash</i>
5	Tanah asli + 20% <i>fly ash</i>

Sumber: Rancangan penelitian, 2021

### 3.4.5 Jenis pengujian

Pada penelitian terdapat beberapa pengujian untuk mendapatkan data yang berguna dalam proses stabilisasi tanah lempung dengan bahan tambah *fly ash* pada *subgrade* jalan sebagai berikut :

#### 1. Uji kadar air tanah

Pengujian ini merupakan pengujian awal yang bertujuan untuk mengetahui kondisi air atau kadar air tanah yang terdapat dalam tanah sebagai sampel uji pada masing-masing benda uji.

Prosedur pengujian yang dilakukan seperti dibawah ini :

- a. Bersihkan dan keringkan cawan kosong, kemudian cawan kosong tersebut di timbang sebagai berat cawan kosong (W1).

- b. Sediakan sampel tanah uji kadar air, lalu masukkan contoh tanah (basah) itu ke dalam cawan kosong tadi untuk ditimbang sebagai berat cawan + tanah basah (W2).
- c. Kemudian sampel uji tanah (basah) di masukkan ke dalam oven bersuhu (105°C - 110°C) selama 16 sampai 24 jam dengan keadaan cawan terbuka. Tutupan cawan dipasang pada bagian bawah cawan dengan kertas penanda kode pembeda masing-masing cawan tersebut.
- d. Cawan dengan tanah kering di ambil dari dalam oven. Lalu di dinginkan dalam desikator, setelah tanah tidak lagi panas. Kemudian di timbang sebagai berat cawan + tanah kering (W3).

## 2. Uji berat jenis

Pengujian berat jenis dimaksudkan untuk menentukan berat jenis suatu contoh tanah yang dijadikan sebagai benda uji. Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir-butir dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperatur tertentu. Biasanya diambil pada temperatur 27,5%. Dalam pengujian berat jenis tanah ini hanya dilakukan pada tanah asli saja.

Prosedur pengujian yang dilakukan seperti dibawah ini :

- a. Piknometer di bersihkan bagian luar dan dalamnya dan di keringkan. Kemudian di timbang sebagai berat kosong piknometer (W1).
- b. Contoh tanah dihancurkan dalam cawan porselen dengan menggunakan pestel, kemudian dikeringkan dalam oven. Ambil tanah kering dalam oven dan langsung dimasukkan dalam piknometer dengan tutupnya berisi tanah. Setelah itu di timbang sebagai berat piknometer + tanah kering (W2).
- c. Isikan air 10cc ke dalam piknometer, sehingga tanah terendam seluruhnya dan biarkan 2 – 10 jam.
- d. Tambahkan air destilasi kira-kira sampai setengah atau dua pertiga penuh. Udara yang terperangkap diantara butiran-butiran harus dikeluarkan atau dihilangkan yang dapat dilakukan dengan salah satu cara, yaitu :

- Piknometer bersama air dan tanah dimasukkan dalam jana tertutup yang di *vacum* dengan pompa *vacum* (tidak melebihi 100 mmHg), sehingga gelembung-gelembung udara keluar menjadi air bersih.
  - Piknometer direbus dengan hati-hati sekitar 10 menit dengan sesekali piknometer dimiringkan untuk membantu keluarnya udara yang kemudian didinginkan.
- e. Piknometer ditambah air destilasi sampai penuh dan ditutup. Bagian luar piknometer dikeringkan dengan kain kering, setelah piknometer berisi tanah dan air lalu ditimbang sebagai berat piknometer + tanah + air (W3). Air dalam piknometer diukur suhunya dengan termometer (T<sup>o</sup>c).
- f. Piknometer dikosongkan dan dibersihkan kemudian di isi dengan air destilasi bebas udara di tutup dan diluarnya dibersihkan dengan kain kering. Piknometer yang berisi penuh dengan air lalu ditimbang sebagai berat piknometer + air (W4). Proses ini dilakukan sesegera mungkin setelah proses poin e dikerjakan.

### 3. Uji batas cair tanah

Pengujian batas cair tanah bermaksud untuk menentukan batas cair tanah dimana kadar air tanah tersebut berada pada peralihan yang diperiksa dengan alat Casagrande. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali sesuai dengan variasi campuran benda uji yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 uji batas cair tanah.

Tabel 3.2 Pengujian batas cair tanah

No.	Kode	Keterangan
1	LL 1	Tanah asli + 0% (Tanpa campuran bahan tambah)
2	LL 2	Tanah asli + 5% <i>fly ash</i>
3	LL 3	Tanah asli + 10% <i>fly ash</i>
4	LL 4	Tanah asli + 15% <i>fly ash</i>
5	LL 5	Tanah asli + 20% <i>fly ash</i>

Sumber: Rancangan penelitian, 2021

Prosedur pengujian yang dilakukan seperti dibawah ini :

- a. Taruhlah contoh tanah (sebanyak  $\pm 200$  gram) dalam mangkok porselen, lalu campur rata dengan air destilasi sebanyak 15cc – 20cc. Aduk-aduk, tekan-tekan dan tusuk-tusuk dengan spatel, bila perlu tambahkan air secara bertahap berkisar 1cc – 3cc. aduk-aduk, tekan-tekan dan tusuk-tusuk dan seterusnya. Sehingga diperoleh adukan yang benar-benar merata.
- b. Apabila adukan tanah ini sudah merata dan kebasahannya telah menghasilkan sekitar 30 – 40 pukulan pada percobaan, taruhlah sebagian tanah tersebut ke dalam mangkok Casagrande. Gunakan spatel, sebar dan tekan dengan baik agar tanah tidak berongga atau tidak terperangkatnya gelembung udara dalam tanah. Ratakan permukaan tanah dan buat mendatar dengan ujung depan mangkok. Kembalikan tanah yang kelebihan ke dalam mangkok porselen.
- c. Dengan alat pembarut, buatlah alur lurus pada garis tengah mangkok Casagrande searah dengan sumbu alat, sehingga terpisah menjadi dua bagian secara simetris. Bentuk alur harus baik dan tajam dengan ukuran sesuai dengan alat pembarut. Untuk menghindari terjadinya alur yang tidak baik atau tergesernya tanah dalam mangkok Casagrande, barutlah dengan gerakan maju dan mundur beberapa kali dengan setiap kali sedikit lebih dalam.
- d. Segera gerakkan pemutar, sehingga mangkok Casagrande terangkat dan jatuh pada alasnya dengan kecepatan 2 putaran per detik, sampai kedua bagian tanah bertemu sepanjang kira-kira 12,7 mm ( $1/2''$ ). Catatlah jumlah pukulan yang diperlukan tersebut.
- e. Pada percobaan pertama tersebut, jumlah pukulan yang diperlukan harus berkisar antara 30 – 40 kali pukulan. Bila ternyata lebih dari 40 kali pukulan, maka tanah kurang basah dan tanah dari mangkok Casagrande harus dikembalikan ke dalam mangkok porselen untuk dilakukan penambahan air sedikit demi sedikit dan diaduk sampai merata seperti proses sebelumnya.

- f. Cucilah mangkok Casagrande dengan air, kemudian keringkan dengan kain. Lalu ulangi kembali pekerjaan pada point b sampai point d.
  - g. Ambilah segera dari mangkok Casagrande sebagian tanah menggunakan spatel secara melintang tegak lurus alur termasuk bagian tanah yang saling bertemu. Periksalah kadar air tanah tersebut.
  - h. Ambil sisa tanah yang masih ada dalam mangkok porselen ditambahkan air sedikit demi sedikit dan diaduk secara merata. Cuci dan keringkan mangkok Casagrande.
  - i. Ulangi pekerjaan pada point b, c, d, g dan h sehingga diperoleh 3 atau 4 data hubungan antara kadar air dan jumlah pukulan diantara 15 – 35 pukulan dengan masing-masing selisihnya hampir sama. Percobaan ini harus dilaksanakan dari keadaan tanah yang kurang cair kemudian makin cair.
4. Uji batas plastis tanah dan indeks plastisitas tanah

Uji batas plastis ini untuk menentukan batas plastis tanah dimana kadar air minimum bagi tanah tersebut yang masih berada dalam keadaan plastis. Tanah yang ada dalam keadaan plastis, apabila tanah digulung menjadi batang-batang berdiameter 3 mm mulai retak-retak. Indeks plastisitas merupakan selisih dari batas cair dan batas plastisnya tanah. Pengujian batas plastis dilakukan sebanyak 5 kali sesuai dengan variasi campuran pada penelitian ini yang dapat dilihat pada Tabel 3.3 uji batas plastis tanah.

Tabel 3.3 Pengujian batas plastis tanah

No.	Kode	Keterangan
1	PL 1	Tanah asli + 0% (Tanpa campuran bahan tambah)
2	PL 2	Tanah asli + 5% <i>fly ash</i>
3	PL 3	Tanah asli + 10% <i>fly ash</i>
4	PL 4	Tanah asli + 15% <i>fly ash</i>
5	PL 5	Tanah asli + 20% <i>fly ash</i>

Sumber: Rancangan penelitian, 2021

Prosedur pengujian yang dilakukan seperti dibawah ini :

- a. Taruhlah contoh tanah dalam cawan porselen, campur dengan air sedikit, aduk sampai benar-benar merata. Kadar air tanah yang diberikan adalah sampai tanah bersifat cukup plastis dan dapat dengan mudah dibentuk menjadi bola dan tidak terlalu melekat bila ditekan dengan jari.
  - b. Remas dan bentuklah bola atau bentuk ellipsoida dari contoh tanah seberat 8 gram (diameter  $\pm 13$ mm). Gilinglah benda uji ini diatas plat kaca yang terletak pada bidang mendatar dibawah jari-jari tangan dengan tekanan secukupnya sehingga terbentuk batang-batang yang berdiameter rata. Gerakan menggiling tanah menggunakan kecepatan kira-kira  $\frac{1}{2}$  detik satu gerakan maju mundur.
  - c. Bila pada penggilingan berdiameter batang telah menjadi sekitar 3 mm (bandingkan dengan batang kawat pembanding) dan ternyata batangnya masih licin, ambil dan potong-potong menjadi 6 sampai 8 bagian, kemudian remas seluruhnya sampai homogen. Selanjutnya giling lagi seperti tadi, jika gilingan menjadi batang berdiameter 3 mm dan ternyata batangnya masih licin, ulangi lagi remas bentuk menjadi bola lagi dan giling lagi sampai seterusnya sampai batang tanah tampak retak-retak dan tidak dapat digiling lagi menjadi batang yang lebih kecil meskipun belum mencapai diameter 3 mm.
  - d. Kumpulkan tanah yang retak-retak atau terputus-terputus tersebut dan segera lakukan pemeriksaan kadar air.
5. Uji batas susut

Pengujian batas susut ini bertujuan untuk mengetahui batas susut tanah dimana kadar air pada kedudukan antara semi padat dan padat yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air yang selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Pada penelitian ini, pengujian batas susut dilakukan bervariasi sesuai Tabel 3.4 dengan campuran bahan tambah pada tanah.

Tabel 3.4 Pengujian batas susut tanah

No.	Kode	Keterangan
1	SL 1	Tanah asli + 0% (Tanpa campuran bahan tambah)
2	SL 2	Tanah asli + 5% <i>fly ash</i>
3	SL 3	Tanah asli + 10% <i>fly ash</i>
4	SL 4	Tanah asli + 15% <i>fly ash</i>
5	SL 5	Tanah asli + 20% <i>fly ash</i>

Sumber: Rancangan penelitian, 2021

Prosedur pengujian yang dilakukan seperti dibawah ini :

- a. Taruhlah contoh tanah dalam cawan porselen, campur dengan air sedikit demi sedikit, lalu aduk sampai benar-benar merata. Kadar air tanah yang diberikan adalah sampai tanah terlihat halus dan sedikit cair.
- b. Sediakan cawan porselin yang sudah dibersihkan dan ditimbang sebagai berat cawan kosong (W1), lalu berikan pelumas pada cawan porselen tersebut agar tanah tidak menempel dan mudah dilepas ketika tanah kering di oven.
- c. Masukkan tanah menggunakan spatel kedalam cawan porselen sedikit demi sedikit secara bertahap dan disetiap tahapnya itu cawan dijatuhkan seperti terbanting untuk meratakan tanah pada cawan porselen sehingga tidak terdapat rongga udara yang terjebak dalam tanah. Lakukan secara berulang-ulang kali sampai tanahnya terisi penuh.
- d. Ratakan permukaan tanah pada cawan porselen menggunakan spatel, kemudian bersihkan bagian luar cawan porselen menggunakan kain. Lalu ditimbang sebagai berat cawan + tanah basah (W2).
- e. Kemudian tanah di oven sampai kering pada suhu 105°C - 110°C selama 16 sampai 24 jam.
- f. Ambil tanah yang sudah kering dari oven. Lalu ditimbang sebagai berat cawan + tanah kering (W3).
- g. Sediakan air raksa dan wadah serta cawan kecil untuk tempat dimasukkannya air raksa nantinya. Setelah air raksa dituangkan ke dalam

cawan ditarakan menggunakan plat kaca kecil. Kemudian benda uji dimasukkan kedalam cawan berisi air raksa dan ditekan menggunakan plat kaca tadi sampai air raksa dan benda uji rata dengan cawan. Air raksa yang meluap keluar diambil dan ditimbang untuk mengetahui berat volume kering tanah.

#### 6. Analisa saringan dan hidrometer

Uji analisa saringan untuk menentukan ukuran butiran agregat tanah sesuai dengan ukuran saringan yang digunakan dalam penelitian ini. Analisa saringan bertujuan untuk membantu dalam mengklasifikasi jenis tanah juga. Sedangkan analisa hidrometer bertujuan untuk menentukan penyebaran butiran tanah yang halus atau dengan kata lain butiran tanah yang lolos saringan no. 200.

Prosedur uji analisa hidrometer yang dilakukan seperti dibawah ini :

- a. Siapkan benda uji yaitu tanah sebanyak 50 gram
- b. Masukkan benda uji didalam gelas, lalu dimasukkan air sampai menenggelamkan tanah tersebut dan ditambahkan larutan *Bratachem water glass* sebanyak 2.5 gram kedalam gelas. Setelah itu diamkan gelas itu selama 24 jam.
- c. Setelah direndam dan dijenuhkan, benda uji serta air dalam gelas dimasukkan semuanya kedalam mangkok *mixer* dan ditambahkan sedikit air suling untuk membantu menghancurkan tanah. Benda uji akan diaduk-aduk sampai halus menggunakan mesin *mixer* selama 2 menit.
- d. Masukkan benda uji yang telah di *mixer* kedalam tabung ukur atau gelas ukur kaca dan ditambahkan air dari hasil mencuci mangkok *mixer* dan tambahkan air suling dengan hati-hati sampai mencapai 1000 mL.
- e. Tutup rapat gelas ukur menggunakan tangan, lalu di kocok berulang-ulang kali selama kurang lebih 1 menit dan dilakukan dengan hati-hati agar tidak tumpah.
- f. Setelah di kocok, masukkan pelampung ukur hidrometer kedalam gelas ukur tadi agar terapung dengan bebas dan dilakukan pembacaan hidrometer

sesuai waktu yang telah ditentukan dengan pelampungnya hanya dimasukkan kedalam gelas ukur ketika pembacaan hidrometer dilakukan (tidak didiamkan dalam gelas ukur karena sampel dicampurkan dengan larutan bahan kimia).

- g. Lakukan pembacaan sesuai waktu yang ditentukan dari 1, 2, 5, 10, 30, 60, 120, 240, 250, 1440 menit. Amati baik-baik setiap angka pada alat ukur sebagai bacaan pada tabung atau pelampung tersebut.
- h. Setelah selesai sampel tanah ditumpahkan kedalam saringan no. 200 untuk menghilangkan butiran tanah lolos saringan no.200 dan yang tertahan saringan no. 200 dimasukkan kedalam nampan untuk di oven agar kering. Untuk digunakan kembali pada analisa saringan pada pengujian selanjutnya.

Prosedur uji analisa saringan yang dilakukan seperti dibawah ini :

- a. Tanah sisa pengujian pada analisa hidrometer setelah dibersihkan menggunakan saringan no. 200 digunakan untuk analisa saringan.
- b. Keringkan tanah kembali menggunakan oven pengering setelah dibersihkan menggunakan saringan no. 200 tadi dengan ditaruh pada nampan.
- c. Setelah kering benda uji siap untuk dimasukkan kedalam susunan saringan yang berbeda ukuran untuk analisa saringan.
- d. Siapkan beberapa saringan mulai dari saringan no. 4 sampai dengan saringan no. 200 dan saringan disusun sesuai urutan.
- e. Masukkan benda uji pada saringan yang sudah disusun dan dipasang pada mesin pengguncang selama 10 sampai 15 menit lalu dimatikan.
- f. Timbang berat masing-masing tanah yang tertahan pada saringan tersebut maupun yang lolos saringan no. 200.
- g. Bersihkan kembali peralatan dan lainnya.

## 7. Pengujian pemadatan tanah

Pengujian pemadatan tanah dilakukan untuk menentukan hubungan antara kadar air dengan berat volume kering tanah sehingga didapatkan kadar air optimum dan kepadatan tanah maksimal. Pengujian pemadatan tanah

dilakukan sebanyak 5 kali sesuai Tabel 3.5 dan disetiap variasi terdapat 6 sampel benda uji dimana kadar air nya harus diatur 3 sampel dibawah kadar air optimum dan 3 sampel berada diatas kadar air optimum.

Tabel 3.5 Pengujian pemadatan tanah

No.	Kode	Keterangan
1	P 1	Campuran air 200 mL
2	P 2	Campuran air 300 mL
3	P 3	Campuran air 400 mL
4	P 4	Campuran air 500 mL
5	P 5	Campuran air 600 mL

Sumber: Rancangan penelitian, 2021

Prosedur pengujian yang dilakukan seperti dibawah ini :

- a. Bila contoh tanah yang akan digunakan untuk pengujian pemadatan ini masih basah, keringkan tanah tersebut diudara atau menggunakan alat pengering dengan suhu tidak melebihi 60°C. pengeringan dilakukan secukupnya saja sampai gumpalan-gumpalan tanah dapat dengan mudah dihancurkan menjadi butiran-butiran tanah.
- b. Butiran-butiran yang diperoleh disaring menggunakan saringan no. 4. Butiran besar yang tertahan diatas saringan dibuang kecuali butiran yang masih berupa gumpalan yang masih bisa dipecah lebih lanjut.
- c. Bagian yang lewat saringan akan digunakan sebagai benda uji dan yang terkumpul jumlahnya harus cukup, yaitu sekurang-kurangnya 2 kg bagi masing-masing benda uji.
- d. Campur tanah tersebut dengan air secukupnya secara merata sedemikian hingga untuk benda uji yang pertama kadar air yang diperoleh kira-kira 6% dibawah kadar air optimum.
- e. Apabila contoh tanah berupa lempung, peresapan air secara merata kedalam gumpalan akan sukar dan perlu waktu yang lama. Maka untuk tanah lempung perlu dilaksanakan sebagai berikut :

- Setelah dicampur merata dengan air, simpanlah tanah dalam tempat tertutup selama sekurang-kurangnya 12 jam sebelum dilakukan pemadatan (dapat digunakan kantong plastik). Karena pelaksanaan pemadatan akan dilaksanakan sekitar 5 kali dengan kadar air yang masing-masing berbeda. Makanya untuk tanah lempung baik apabila disiapkan benda uji yang lebih banyak.
  - Siapkan 5 bagian benda uji, yang masing-masing sekurang-kurangnya 2 kg, masing-masing bagian dicampur secara merata sehingga kadar air yang diperoleh berbeda-beda. Masing-masing sekitar 1 sampai 3 persen dan masing-masing disimpan dalam tempat tertutup atau kantong-kantong plastik.
- f. Bersihkan silinder pemadatan yang akan digunakan, kemudian ditimbang dan catat sebagai berat ( $W_1$ , dengan ketelitian timbangan  $\pm 5$  gram).
  - g. Pasang dan kelem pelat alas dan silinder sambungan. Pada saat pelaksanaan penumbukan, silinder harus diletakkan pada dasar yang kokoh (tidak boleh diatas tanah atau lantai yang bergetar karena tenaga yang diperoleh akan berkurang). Bila perlu misalnya harus disediakan balok beton yang beratnya sekurang-kurangnya 91 kg.
  - h. Sejumlah tanah lembab yang sudah disiapkan di padatkan dalam silinder dalam lapisan-lapisan yang sama tebalnya (3 lapisan), sehingga tanah padat yang diperoleh kira-kira 0,50 cm lebih tinggi dari silinder utama. Setiap lapisan ditumbuk dengan jumlah tumbukan tertentu secara merata pada seluruh permukaan. Penumbuk yang digunakan yaitu penumbuk standar dengan berat 2,5 kg sesuai cara A yang tercantum dalam daftar.
  - i. Lepas silinder sambungan (silinder bagian atas), kemudian potong tanah dengan pisau (*straight edge*) sehingga tanah rata dengan permukaan silinder, bila perlu lubang-lubang kecil yang terdapat permukaan tanah ditambal sehingga permukaan menjadi lebih halus. Lebas pelat dasar, kemudian timbang silinder bersama tanahnya dan catat beratnya ( $W_2$ ).

- j. Keluarkan tanah padat tersebut, kemudian dibelah dan diambil contoh dari bagian atas, tengah dan bawah secukupnya untuk diperiksa kadar airnya. Kemudian ditimbang dan catat beratnya (W3).
- k. Pekerjaan ini lakukan sebanyak 5 kali sehingga diperoleh 5 data yaitu 2 data kadar air dibawah kadar air optimum dan 2 data kadar air diatas kadar air optimum sehingga didapatkan kepadatan tanah maksimum.

#### 8. Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

Pengujian CBR ini dilakukan dengan 3 cara yaitu uji CBR tanpa rendaman langsung di uji nilai CBR nya untuk mendapatkan variasi campuran dengan nilai CBR optimum. Setelah itu dilakukan pengujian CBR optimum dengan pemeraman + rendaman yang dilakukan pemeraman terlebih dahulu selama 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari pada variasi campuran yang memiliki nilai CBR optimum. Kemudian direndaman selama 4 hari, baru dilakukan uji CBR nya. Pengujian CBR dengan pemeraman dalam jangka waktu 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari dilakukan pengujian setelah pemeraman selesai. CBR (*California Bearing Ratio*) merupakan sebuah perbandingan antara beban penetrasi dari suatu lapisan tanah atau perkerasan terhadap bahan standar yang dilakukan dengan kedalaman serta kecepatan penetrasi yang juga sama. Dalam penelitian ini digunakan kadar air optimum yang didapatkan pada saat pengujian pemadatan tanah untuk pencampuran benda uji CBR dan pengujian dilakukan dengan beberapa variasi sesuai Tabel 3.6 variasi uji nilai CBR tanah tanpa rendaman, Tabel 3.7 variasi uji nilai CBR rendaman dan Tabe 3.8 uji CBR dengan pemeraman.

Prosedur pengujian yang dilakukan seperti dibawah ini :

- a. Bila contoh tanah yang akan digunakan untuk pengujian pemadatan ini masih basah, keringkan tanah tersebut diudara atau menggunakan alat pengering dengan suhu tidak melebihi 60°C. Pengeringan dilakukan secukupnya saja sampai gumpalan-gumpalan tanah dapat dengan mudah dihancurkan menjadi butiran-butiran tanah.

- b. Butiran-butiran yang diperoleh disaring menggunakan saringan no. 4 . Butiran besar yang tertahan diatas saringan dibuang kecuali butiran yang masih berupa gumpalan yang masih bisa dipecah lebih lanjut.
- c. Bagian yang lewat saringan akan digunakan sebagai benda uji dan yang terkumpul jumlahnya harus cukup, yaitu sekurang-kurangnya 4 kg bagi masing-masing benda uji.
- d. Campur tanah tersebut dengan air secukupnya secara merata sedemikian hingga untuk benda uji yang pertama kadar air optimum yang diperoleh dari hasil uji pemadatan tanah sebelumnya.
- e. Apabila contoh tanah berupa lempung, peresapan air secara merata kedalam gumpalan akan sukar dan perlu waktu yang lama. Maka untuk tanah lempung perlu dilaksanakan sebagai berikut :
- Setelah dicampur merata dengan air, simpanlah tanah dalam tempat tertutup selama sekurang-kurangnya 12 jam sebelum dilakukan pemadatan (dapat digunakan kantong plastik). Karena pelaksanaan pemadatan akan dibuat 1 benda uji dalam satu variasi campuran dengan kadar air optimum. Maka untuk tanah lempung sebaiknya disiapkan benda uji yang lebih banyak untukantisipasi kegagalan dalam pengujian juga.
  - Siapkan benda uji dalam satu variasi campuran, yang masing-masing sekurang-kurangnya 4 kg, masing-masing bagian dicampur secara merata. Masing-masing disimpan dalam tempat tertutup atau kantong-kantong plastik.
- f. Bersihkan silinder pemadatan yang akan digunakan, kemudian ditimbang dan catat sebagai berat ( $W_1$ , dengan ketelitian timbangan  $\pm 5$  gram).
- g. Pasang dan kelem pelat alas dan silinder sambungan. Pada saat pelaksanaan penumbukan, silinder harus diletakkan pada dasar yang kokoh (tidak boleh diatas tanah atau lantai yang bergetar karena tenaga yang diperoleh akan berkurang). Bila perlu misalnya harus disediakan balok beton yang beratnya sekurang-kurangnya 91 kg.

- h. Sejumlah tanah lembab yang sudah disiapkan di padatkan dalam silinder dalam lapisan-lapisan yang sama tebalnya (3 lapisan), sehingga tanah padat yang diperoleh kira-kira 0,50 cm lebih tinggi dari silinder utama. Setiap lapisan ditumbuk dengan jumlah tumbukan tertentu secara merata pada seluruh permukaan. Penumbuk yang digunakan yaitu penumbuk berat. Pada sampel benda uji ini dilakukan penumbukan pada benda uji sebanyak 56 kali per lapis.
- i. Setelah dilakukan penumbukan, bagian atas silinder sambungan dilepas agar bisa di ratakan permukaan tanah yang ada pada bagian atas silinder utama menggunakan pisau. Setelah diratakan, silinder diangkat dengan pelat alasnya untuk ditimbang.
- j. Kemudian untuk pengujian CBR tanpa rendaman ini benda uji langsung dibawa ke alat pengujian CBR untuk dilakukan pengujian untuk dicatat hasil pembacaan arloji ukur beban dan pengujian CBR optimum dengan pemeraman selama 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari juga dilakukan pengujian dengan alat penetrasi setelah pemeraman selesai. Sedangkan pengujian CBR optimum dengan pemeraman + rendaman ini dilakukan pemeraman selama 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari . setelah pemeraman selesai sesuai jangka waktu yang ditentukan, baru dilakukan perendaman pada benda uji. Silinder benda uji diangkat dan dibalik untuk membuang kertas pembatas antara tanah dan besi tebal sebagai alas pada bagian bawah silinder utama, besi alas yang tebal dikeluarkan. Kemudian dibalik dan dibagian atasnya dipasang batang atau tangkai pengatur untuk meletakkan kepingan beban.
- k. Setelah itu baru dipasang tempat untuk pemasangan dial guage sebagai alat ukur pengembangan tanah, kemudian diatur dan dicatat hasil pergerakan jarum penunjuk *dial guage*.
- l. Bahan uji tersebut dimasukkan ke dalam sebuah wadah yang berisi air dengan membiarkan air meresap ke dalam benda uji dengan tinggi air diatas penyangga *dial guage* 2,5 mm. tunggu 1 jam setelah benda uji dimasukkan

ke dalam air baru dicatat pengembangan tanah yang terjadi. Itu di rendam selama 4 hari lamanya.

- m. Benda uji dikeluarkan dari wadah setelah 4 hari, tangkai besi alas kepingan beban dikeluarkan dan kepingan beban dipasang kembali. Kemudian dilakukan pengujian dengan meletakkan benda uji diatas piring penekan pada alat penetrasi CBR. Catat nilai yang dihasilkan *dial guage* tekan pada waktu  $\frac{1}{4}$  menit,  $\frac{1}{2}$  menit, 1 menit,  $1\frac{1}{2}$  menit, 2 menit, 3 menit, 4 menit, 6 menit, 8 menit dan 10 menit atau alat *dial guage* penetrasi menunjukkan 0,32 mm (0,0125 inch); 0,64 mm (0,025 inch); 1,27 mm (0,050 inch); 1,91 mm (0,075 inch); 2,54 mm (0,10 inch); 3,81 mm (0,15 inch); 5,08 mm (0,20 inch); 7,62 mm (0,30 inch); 10,16 mm (0,40 inch); dan 12,70 mm (0,50 inch).
- n. Kemudian keluarkan benda uji, ambil sedikit tanah tersebut sebagai sampel untuk menentukan kadar airnya.

Tabel 3.6 Pengujian CBR tanah tanpa rendaman

No.	Kode	Keterangan	Jumlah tumbukan (perlapis)
1	CBR 1	Tanah asli + 0% <i>fly ash</i>	56 kali
2	CBR 2	Tanah asli + 5% <i>fly ash</i>	56 kali
3	CBR 3	Tanah asli + 10% <i>fly ash</i>	56 kali
4	CBR 4	Tanah asli + 15% <i>fly ash</i>	56 kali
5	CBR 5	Tanah asli + 20% <i>fly ash</i>	56 kali

Sumber: Rancangan penelitian, 2021

Tabel 3.7 Pengujian CBR optimum tanah pemeraman + rendaman

No.	Kode	Keterangan	Jumlah tumbukan (perlapis)	Waktu pemeraman + rendaman
1	CBR 1	Campuran CBR optimum	56 kali	semalam + 4 hari
2	CBR 2	Campuran CBR optimum	56 kali	7 hari + 4 hari
3	CBR 3	Campuran CBR optimum	56 kali	14 hari + 4 hari
4	CBR 4	Campuran CBR optimum	56 kali	21 hari + 4 hari
5	CBR 5	Campuran CBR optimum	56 kali	28 hari + 4 hari

Sumber: Rancangan penelitian, 2021

Tabel 3.8 Pengujian CBR optimum dengan pemeraman

No.	Kode	Keterangan	Jumlah tumbukan (perlapis)	Waktu pemeraman
1	CBR 1	Campuran CBR optimum	56 kali	semalam
2	CBR 2	Campuran CBR optimum	56 kali	7 hari
3	CBR 3	Campuran CBR optimum	56 kali	14 hari
4	CBR 4	Campuran CBR optimum	56 kali	21 hari
5	CBR 5	Campuran CBR optimum	56 kali	28 hari

Sumber: Rancangan penelitian, 2021