

SKRIPSI

ANALISIS KUAT GESER TANAH HASIL STABILISASI DENGAN VARIASI CAMPURAN LIMBAH GYPSUM (STUDI KASUS DUSUN MERENDENG DESA KUTA KECEMATAN PUJUT KAB LOMBOK TENGAH)

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



Disusun Oleh:

SIWANSYAH
2019D1B202

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
2025**

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

ANALISIS KUAT GESER TANAH HASIL STABILISASI DENGAN VARIASI CAMPURAN LIMBAH GYPSUM (STUDI KASUS DUSUN MERENDENG DESA KUTA KECEMATAN PUJUT KAB LOMBOK TENGAH)

Disusun Oleh:

SIWANSYAH
2019D1B202

Mataram, 14 Agustus 2025

Pembimbing I


Dr. Ir. Hj. Heni Pujiastuti, S.T., M.T., IPU.
NIDN:0828087201

Pembimbing II


Ahmad Zarkasi, S.T., M.T.
NIDN:0819068903

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Mataram


Dr. Ir. H. Aji Syailendra Ubaidillah, S.T., M.Sc.
NIDN: 0806027101

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

SKRIPSI

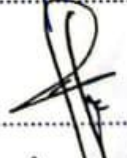
ANALISIS KUAT GESER TANAH HASIL STABILISASI DENGAN VARIASI CAMPURAN LIMBAH GYPSUM (STUDI KASUS DUSUN MERENDENG DESA KUTA KECEMATAN PUJUT KAB LOMBOK TENGAH)

Disusun Oleh:

SIWANSYAH
(2019D1B202)

Telah dipertahankan di depan Tim penguji
Pada Hari/Tanggal : Mataram, Jum'at, 08 Agustus 2025 Dan dinyatakan Telah
Memenuhi Syarat

Susunan Tim Penguji :

1. Penguji I : Dr. Ir. Hj. Heni Pujiastuti, ST., MT., IPU. (.....)
2. Penguji II : Ahmad Zarkasi, ST., MT. (.....)
3. Penguji III : Anwar Efendy, ST., MT. (.....)

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

FAKULTAS TEKNIK

Dekan,



Dr. Ir. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M. Sc

NIDN. 0806027101



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

**SURAT PERNYATAAN BEBAS
PLAGIARISME**

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

Nama : Siwansyah
NIM : 2019D1B202
Tempat/Tgl Lahir : SORI UTU, 20-04-2000
Program Studi : Teknik SIPIL
Fakultas : Teknik
No. Hp : 0859 6665 4796
Email : Siwansyah20@gmail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi/KTI/Tesis* saya yang berjudul :

ANALISIS KUAT GESER TANAH HASIL STABILISASI DENGAN VARIASI
CAMPURAN LIMBAH GYPSUM (STUDI KASUS DUSUN MERENDE DESA
KUTA KECEMATAN PUJUT KAB LOMBOK TENGAH)

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 0%

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari Skripsi/KTI/Tesis* tersebut terdapat indikasi plagiarisme atau bagian dari karya ilmiah milik orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dan disebutkan sumber secara lengkap dalam daftar pustaka, saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Mataram.

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

Mataram, 29 Juli2026

Penulis



Siwansyah
NIM. 2019D1B202

Mengetahui,
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT

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

*pilih salah satu yang sesuai



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT**

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

**SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

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

Nama : Siwan Syah
NIM : 201901B202
Tempat/Tgl Lahir : SORI UTU, 20-09-2000
Program Studi : TEKNIK SIPIL
Fakultas : Teknik
No. Hp/Email : 0859 6665 4796
Jenis Penelitian : ☒ Skripsi ☐ KTI ☐ Tesis ☐

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: "

ANALISIS KUAT GESER
TANAH HASIL STABILISASI DENGAN VARIASI CAMPURAN LIMBAH
GYPSUM (STUDI KASUS DUSUN MERENDE DESA KUTA KECEMATAN
PUJUT KAB. LOMBOK TENGAH)

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada 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.

Mataram, 29 Juli2026

Penulis



Siwan Syah
NIM. 201901B202

Mengetahui,

Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT

Iskandar, S.Sos., M.A.
NIDN. 080204890

MOTO

“Laki-laki adalah makhluk terindah yang Allah ciptakan dan wanita tidak mengetahui nilainya kecuali setelah kematiannya”

(KH. Bahauddin Nursalim)

“Menciptakan langit tanpa tiang saja Allah mampu, apalagi hanya mengobati hatimu, kita hanya perlu percaya bahwa setiap perjalanan menuju kesuksesan juga bagian dari takdir terindah.”

(Ustadz Hanan Attaki)

“Tawakal bukan berarti pasrah, tapi yakin setelah ikhtiar”

(Ustadz Abdul Somad)

“Selalu ada cahaya setelah gelap, selalu ada harapan ketika berjuang”

(Siwansyah)



PERSEMBAHAN

Dengan segala puji syukur kepada Allah SWT. Dan atas dukungan dan do'a dari orang tua tercinta, akhirnya skripsi ini dapat di selesaikan dengan baik dan tepat waktu, Oleh karena itu, dengan rasa bangga dan bahagia saya ucapkan rasa syukur dan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. Karena hanya dan izin dan karunianyalah maka skripsi ini dapat di buat dan selesai pada waktunya.
2. saya ucapkan terimakasih kepada Kedua orang tua saya yaitu Bapak Mastan dan Ibu Kartini atas segala do'a, harapan, kasih sayang, semangat dan kesempatan yang tak hentihentinya memberikan semangat, doa, kasih sayang, dan dorongan kepada saya. Terima kasih atas perjuangan bapak ibu selama ini.
3. saya juga ucapkan terima kasih banyak kepada Segenap Dosen Teknik Sipil atas bimbingannya selama ini, baik dosen pembimbing I saya (Dr. Ir. Hj. Heni Pujiastuti, S.T., M.T.) yang telah membimbing saya selama ini mulai dari awal hingga skripsi ini selesai di buat dan saya juga ucapkan terimakasih kepada dosen pembimbing II saya yaitu bapak (Ahmad Zarkasi, S.T., M.T.). Terima kasih atas bimbingan selama ini, Saya ucapkan terimakasih banyak.
4. saya juga ucapkan terimakasih kepada dosen penguji saya khususnya bapak (Anwar Efendy, S.T., M.T.) yang telah memberikan arahan dan masukan untuk skripsi saya. Saya ucapkan terimakasih banyak.
5. Pacar saya Dewi Yulia Roslina, S. Sos yang selalu memberi motivasi dan semangat untuk selalu semangat dalam mengerjakan skripsi ini.
6. Teman-teman seperjuangan saya Syahrin yang sama-sama berjuang dari masa PKL sampai selesainya skripsi saya ini adalah kenangan indah dan tak terlupakan bersama kalian.
7. Seluruh pihak yang telah membantu dan memberikan semangat hingga terselesaikannya skripsi ini.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, karunianya dan nikmat yang tiada tara sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini yang berjudul “Kuat Geser Tanah Yang Telah di Stabilisasi Dengan Limbah *Gypsum*”. Penyusunan Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram.

Dalam penyusunan skripsi ini banyak hambatan yang dihadapi penulis. Namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Allhamdulillah skripsi ini dapat diselesaikan. Untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus kepada:

1. Drs. Abdul Wahab, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram
2. Dr. Ir. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram
3. Adryan Fitrayudha, ST., MT, selaku ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Dr. Ir. Hj. Heni Pujiastuti, ST., MT., IPU, selaku dosen pembimbing I.
5. Ahmad Zarkasi, S.T., M.T, selaku dosen pembimbing II
6. Anwar Efendy, S.T., M.T. selaku dosen penguji saya
7. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.

Penulis menyadari dalam Menyusun skripsi ini masih jauh dari sempurna, dan banyak sekali kekurangan baik dalam metode penulisan maupun dalam pembahasan materi. Hal tersebut dikarenakan keterbatasan kemampuan penulis, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun yang kemudian hari dapat memperbaiki segala kekurangannya.

Mataram, Agustus 2025

Siwansyah

ABSTRAK

Tanah lempung merupakan salah satu jenis tanah yang sering dijumpai pada lokasi pembangunan, namun memiliki sifat daya dukung dan kuat geser yang rendah sehingga kurang baik digunakan sebagai tanah dasar konstruksi. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya penurunan dan ketidakstabilan bangunan. Salah satu upaya perbaikan tanah lempung adalah dengan metode stabilisasi menggunakan bahan tambah, salah satunya limbah gypsum.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik tanah lempung asli, menganalisis pengaruh penambahan limbah gypsum terhadap nilai kuat geser tanah, serta menentukan kadar campuran optimum limbah gypsum. Sampel tanah diambil dari Dusun Merendeng, Desa Kuta, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah. Pengujian laboratorium meliputi uji sifat fisik tanah, uji pemadatan standar Proctor, dan uji kuat geser langsung (direct shear test). Variasi campuran limbah gypsum yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat kering tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah gypsum memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat geser tanah lempung. Nilai kohesi meningkat dari 0,710 kg/cm² pada tanah asli menjadi 0,949 kg/cm² pada variasi 5% limbah gypsum, dan mencapai peningkatan pada variasi 10% limbah gypsum sebesar 1,044 kg/cm² pada variasi 15 % limbah gypsum, mengalami peningkatan maksimum 1,135 kg/cm² pada variasi 20%. Limbah gypsum mengalami penurunan sebesar 0,973 kg/cm² Nilai sudut geser dalam juga mengalami peningkatan dari 26,545° pada tanah asli menjadi 30,163° pada variasi 5%, kemudian mencapai nilai tertinggi sebesar 38,624° pada variasi 10%, dan peningkatan pada variasi 15% menjadi 41,077° pada variasi 20%. Nilai sudut geser mengalami penurunan. Karena kelebihan gypsum yang mengurangi butiran dan struktur tanah.

Kata kunci: tanah lempung, stabilisasi tanah, limbah gypsum, kuat geser, pemadatan

ABSTRACT

Clay soil is a prevalent soil type at construction locations; yet, it possesses inadequate bearing capacity and shear strength, rendering it inappropriate as a subgrade for building. Such circumstances may result in structural settling and instability. One technique for enhancing clay soil involves stabilisation using additions like gypsum waste.

This research seeks to ascertain the physical characteristics of indigenous clay soil, evaluate the impact of incorporating gypsum waste on the soil's shear strength, and identify the ideal combination ratio of gypsum waste. Soil specimens were gathered at Merendeng Hamlet, Kuta Village, Pujut Subdistrict, Central Lombok Regency. Laboratory testing included soil physical property tests, the Proctor standard compaction test, and the direct shear test. The gypsum waste mixture concentrations tested were 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% of the soil's dry weight.

The results of the study indicate that the addition of gypsum waste has a significant effect on increasing the shear strength of clay soil. The cohesion value increased from 0.710 kg/cm² in the undamaged soil to 0.949 kg/cm² in the 5% gypsum waste mixture, and further increased to 1.044 kg/cm² in the 10% gypsum waste mixture; it reached a maximum increase of 1.135 kg/cm² in the 20% gypsum waste mixture. The addition of gypsum waste resulted in a decrease of 0.973 kg/cm². The internal friction angle also increased from 26.545° in the original soil to 30.163° in the 5% variation, then reached a peak of 38.624° at the 10% variation, and further increased from 41.077° at the 15% variation to 41.077° at the 20% variation. The internal friction angle decreased due to the excess gypsum, which reduced the soil's particle size and structure.

Keywords: clay soil, soil stabilization, gypsum waste, shear strength, compaction

MENGESAHKAN
SALINAN FOTO COPY SESUAI ASLINYA
MATARAM



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING	i
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iv
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
MOTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batas Masalah	3
1.5 Pemanfaatan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	4
2.1 Tinjauan Puataka.....	4
2.2 Landasan Teori.....	7
2.2.1 Definisi Tanah.....	8
2.2.2 Komposisi Tanah dan Istilah Tanah.....	9
2.2.3 Klasifikasi Tanah.....	10

2.2.4	Jenis Tanah.....	14
2.3	Tanah Lempung	15
2.3.1	Deskripsi Tanah Lempung.....	15
2.4	Limbah <i>Gypsum</i>	15
2.5	Sifat Fisikah Tanah.....	17
2.5.1	Kadar Air (<i>Water content</i>)	17
2.5.2	Berat Jenis (<i>specific Grativity</i>).....	18
2.5.3	Berat Volume (<i>Weight Volume</i>).....	18
2.5.4	Analisa Saringan dan Hidrometer.....	19
2.5.5	Batas Batas <i>Atterbeng</i>	19
2.6	Sifat Mekanis Tanah.....	22
2.6.1	Pemadatan Tanah (<i>Compaction</i>)	22
2.6.2	Kuat geser	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		26
3.1	Lokasi Penelitian	26
3.1.1	Lokasi Pengambilan Sampel.....	26
3.1.2	Lokasi Pengujian	26
3.2	Tahapan Penetian	27
3.2.1	Tahap Persiapan	27
3.2.2	Alat-Alat Penelitian.....	27
3.2.3	Bahan Penelitian.....	34
3.3	Rancangan Penelitian	35
3.4	Tahapan Penelitian.....	36
3.4.1	Studi Pustaka.....	36
3.4.2	Pengambilan Sampel Tanah Lempung Berpasir	36
3.5	Pengujian Penelitian.....	37
3.5.1	Uji Kadar Air	37
3.5.2	Uji Berat Volume Tanah.....	38
3.5.3	Uji Berat Jenis.....	38
3.5.4	Uji Batas Cair	39
3.5.5	Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah.....	40

3.5.6	Analisa Saringan dan Hidrometer.....	40
3.6	Pengujian Sifat Mekanis	42
3.6.1	Pemadatan.....	42
3.6.2	Kuat Geser Langsung	45
3.7	Bagan alir penelitian	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		48
4.1	Umum	48
4.2	Hasil Uji sifat-sifat fisik tanah	48
4.2.1	Pengujian Kadar air awal tanah	48
4.2.2	Pengujian Berat volume tanah	49
4.2.3	Pengujian Berat jenis tanah	49
4.2.4	Pengujian Batas cair tanah.....	50
4.2.5	Pengujian Batas plastik.....	57
4.2.6	Indeks plastisitas.....	61
4.2.6	Pengujian Analisa saringan hidrometer	62
4.2.7	Klasifikasi tanah	64
4.3	Hasil Uji sifat-sifat Mekanis tanah.....	65
4.3.1	Uji pemadat	65
4.3.2	Uji kuat geser tanah	72
4.4	Pengaruh Penambahan Limbah <i>Gypsum</i> pada parameter kuat geser tanah	78
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		82
5.1	Kesimpulan.....	82
5.2	Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA.....		84
LAMPIRAN.....		87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Simbol-simbol pada klasifikasi tanah <i>unified</i>	12
Tabel 2.2 Sistem klasifikasi USCS.....	13
Tabel 2.3 Sistem klasifikasi USCS lanjutan	14
Tabel 2.4 Berat isi minimum benda uji kadar air	18
Tabel 2.5 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah	22
Tabel 3.1 Variasi campuran kapur	36
Tabel 3.2 Menunjukkan Ketentuan Pengujian Kadar Air Pada Tanah Batuan.....	37
Tabel 4.1 pengujian kadar air tanah asli.....	48
Tabel 4.2 pengujian berat isi tanah asli.....	49
Tabel 4.3 pengujian berat jenis tanah	50
Tabel 4.4 pengujian batas cair tanah asli	51
Tabel 4.5 pengujian batas cair tanah asli + limbah gypsum 5%	52
Tabel 4.6 pengujian batas cair tanah asli + limbah gypsum 10%	53
Tabel 4.7 pengujian batas cair tanah asli + limbah gypsum 15%	54
Tabel 4.8 pengujian batas cair tanah asli + limbah gypsum 20%	55
Tabel 4.9 pengujian batas cair campuran	56
Tabel 4.10 pengujian batas plastis tanah asli.....	58
Tabel 4.11 pengujian batas plastis campuran limbah gypsum 5%	58
Tabel 4.12 pengujian batas plastis campuran limbah gypsum 10%	59
Tabel 4.13 pengujian batas plastis campuran limbah gypsum 15%	59
Tabel 4.14 pengujian batas plastis campuran limbah gypsum 20%	60
Tabel 4.15 rekapitulasi batas plastis campuran	60
Tabel 4.16 rekapitulasi batas cair dan batas plastis	62
Tabel 4.17 pengujian saringan hydrometer	63
Tabel 4.18 Devisi utama tanah asli system USCS	65
Tabel 4.19 Rekapitulasi pengujian pemadatan tanah asli.....	66
Tabel 4.20 Rekapitulasi pengujian pemadatan 5% limbah gypsum	67
Tabel 4.21 Rekapitulasi pengujian pemadatan 10% limbah gypsum	68

Tabel 4.22 Rekapitulasi pengujian pemadatan 15% limbah gypsum	69
Tabel 4.23 Rekapitulasi pengujian pemadatan 20% limbah gypsum	70
Tabel 4.24 Pengujian <i>direct shear</i>	73
Tabel 4.25 Rekapitulasi grafik <i>direct shear test</i> sampel tanah optimum dengan variasi campuran limbah gypsum %	78



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram fase tanah	8
Gambar 2.2 Batas- batas atterberg.....	20
Gambar 2.3 Kurva pada penentuan batas cair tanah lempung	20
Gambar 3.1 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah	26
Gambar 3.2 Laboratorium mekanika tanah	26
Gambar 3.3 Cawan	27
Gambar 3.4 Timbangan	28
Gambar 3.5 Oven.....	28
Gambar 3.6 Cincin (<i>Ring</i>)	29
Gambar 3.7 Jangka Sorong.....	29
Gambar 3.8 Pisau Perata atau Spatula.....	30
Gambar 3.9 Piknometer.....	30
Gambar 3.10 Cawan <i>Porselen</i>	31
Gambar 3.11 <i>Cassagrande</i>	31
Gambar 3.12 Saringan.....	32
Gambar 3.13 Gelas Ukur.....	32
Gambar 3.14 Penumbuk	33
Gambar 3.15 <i>Mold</i>	33
Gambar 3.16 Mesin Ayakan.....	34
Gambar 3.17 Alat Kuat Geser Langsung	34
Gambar 3.18 Pengambilan sampel tanah	35
Gambar 3.19 Pengambilan sampel limbah gypsum.....	35
Gambar 3.20 diagram alir penelitian.....	47
Gambar 4.1 Grafik batas cair tanah asli	51
Gambar 4.2 Grafik penentuan batas cair tanah asli + limbah gypsum 5%	52
Gambar 4.3 Grafik penentuan batas cair tanah asli + limbah gypsum 10%	53
Gambar 4.4 Grafik penentuan batas cair tanah asli + limbah gypsum 15%	55
Gambar 4.5 Grafik penentuan batas cair tanah asli + limbah gypsum 20%	56

Gambar 4.6 Grafik Hubungan batas cair dengan variasi limbah gypsum	57
Gambar 4.7 Hubungan batas plastis dengan variasi campuran gypsum	61
Gambar 4.8 Grafik PI dan variasi limbah gypsum	62
Gambar 4.9 Grafik saringan dan hidrometer	63
Gambar 4.10 Grafik pemadatan tanah asli	66
Gambar 4.11 Grafik pemadatan tanah asli + limbah gypsum 5%	67
Gambar 4.12 Grafik pemadatan tanah asli + limbah gypsum 10%	68
Gambar 4.13 Grafik pemadatan tanah asli + limbah gypsum 15%	69
Gambar 4.14 Grafik pemadatan tanah asli + limbah gypsum 20%	70
Gambar 4.15 hubungan berat volume kering optimum variasi	71
Gambar 4.16 hubungan kadar air optimum variasi	71
Gambar 4.17 Grafik tegangan normal dan tegangan geser tanah asli	74
Gambar 4.18 Grafik tegangan normal dan tegangan geser tanah optimum 0%	74
Gambar 4.19 Grafik tegangan normal dan tegangan geser tanah optimum 5%	75
Gambar 4.20 Grafik tegangan normal dan tegangan geser tanah optimum 10%	76
Gambar 4.21 Grafik tegangan normal dan tegangan geser tanah optimum 15%	76
Gambar 4.22 Grafik tegangan normal dan tegangan geser tanah optimum 20%	77
Gambar 4.23 Grafik Rekapitulasi grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser	77
Gambar 4.24 Grafik Hubungan kohesi dengan variasi campuran limbah gypsum pada tanah optimum	78
Gambar 4.25 Grafik hubungan sudut geser dalam sampel tanah optimum dengan variasi campuran limbah gypsum	80

DAFTAR NOTASI



C	: Kohesi tanah
G	: Berat jenis (gr/cm^3)
V	: Volume tanah
W	: Kadar air tanah (%)
GS	: berat jenis tanah (gr)
IP	: Berat volume basah (gr/cm^3)
LL	: Berat volume maksimum (gr/cm^3)
PL	: Batas plastis (%)
SL	: Batas susut (%)
$W1$	: Berat cawan (gr)
$W2$	: Berata cawan + tanah basah (gr)
$W3$	: Berat cawan + tanah kering (gr)
$W4$	: Berat tanah kering (gr)
R	: Kuat geser tanah (KN/m^2)
τ	: Kuat geser tanah (KN/m^2)
ϕ	: Sudur gesek dalam tanah atau sudut gesek intern (o)
σ	: Tegangan normal pada bidang runtuh (KN/m^2)
γ_b	: Berat volume basah (gr/cm^3)
γ_d	: Berat volume kering (gr/cm^3)
γ^{dry}	: Berat isi tanah kering (gr/cm^3)
γ_m	: Berat volume basah (gr/cm^3)
γ_w	: Berat volume air (gr/cm^3)
γ^{wet}	: Berat isi tana h basah (gr/cm^3)
γ^{wet}	: Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tanah pada umumnya merupakan lapisan terluar yang menyelimuti permukaan bumi. Setiap jenis tanah mempunyai karakteristik serta sifat yang beragam, bergantung pada kondisi lingkungan tempat tanah tersebut terbentuk. Tanah berasal dari material induk yang mengalami proses pelapukan dan perkembangan secara alami akibat pengaruh udara, air, serta aktivitas organisme hidup maupun sisa-sisa organisme yang telah mengalami dekomposisi. Tingkat perkembangan tanah tersebut dapat dikenali melalui komposisi, struktur, dan warna tanah yang dihasilkan dari proses pelapukan (Hardiyatmo, 2021).

Pembangunan di Provinsi Nusa Tenggara Barat, terutama di Pulau Lombok, mengalami pertumbuhan yang semakin pesat. Kondisi tersebut ditunjukkan oleh meningkatnya pemanfaatan lahan untuk kawasan permukiman serta berbagai aktivitas perekonomian. Pembangunan ini meliputi perkantoran, gedung, perumahan, saluran, jalan, fasilitas umum, dan berbagai infrastruktur pendukung lainnya. Dengan demikian, diperlukan perencanaan konstruksi yang matang agar bangunan maupun infrastruktur yang dibangun dapat berfungsi secara aman, nyaman, dan berkelanjutan pada masa yang akan datang.

Tanah memegang peranan penting dalam perencanaan dan pelaksanaan suatu konstruksi karena berfungsi sebagai media pendukung beban yang ditimbulkan oleh bangunan yang berada di atasnya. Oleh sebab itu tanah dituntut memiliki kapasitas untuk memikul seluruh beban kemampuan yang bekerja, baik yang berasal dari struktur utama maupun beban tambahan lainnya, kemudian meneruskannya ke lapisan tanah yang lebih dalam. Dengan demikian, kondisi serta daya dukung tanah menjadi faktor utama yang menentukan kekuatan dan kestabilan bangunan maupun konstruksi yang didirikan di atasnya.

Sifat dan karakteristik tanah pada setiap wilayah memiliki perbedaan, sehingga tidak seluruh jenis tanah memenuhi persyaratan untuk dimanfaatkan sebagai lapisan pendukung konstruksi. Salah satu jenis tanah yang sering sekali

banyak ditemukan ialah tanah lempung. karena Jenis tanah ini didominasi oleh butiran berukuran sangat kecil, mulai dari skala mikroskopis hingga submikroskopis, yang memiliki bentuk menyerupai lempengan tipis. Penyusun utamanya meliputi mineral silikat, mineral lempung (*clay minerals*), serta berbagai mineral berukuran sangat halus lainnya (Das, 1985).

Tanah lempung pada umumnya mempunyai kapasitas menahan beban yang relatif kecil sehingga kurang sesuai untuk dimanfaatkan sebagai material lapisan pondasi konstruksi. Tanah yang difungsikan berperan sebagai pondasi harus memiliki kondisi yang mantap agar mampu menahan sekaligus mendistribusikan beban yang berasal dari bangunan di atasnya. Salah satu permasalahan yang sering ditemukan pada pekerjaan konstruksi ialah pelaksanaan pekerjaan pembangunan atau penimbunan pada tanah dasar lunak dengan daya dukung yang rendah. Keadaan tersebut dapat menyebabkan terjadinya penurunan (*settlement*) serta pergerakan tanah akibat ketidakmampuan lapisan tanah dasar dalam memikul beban yang berkerja padanya. (Hardiyatmo, 2018).

Kuat geser pada tanah berbutir halus atau tanah kohesif dipengaruhi oleh gaya tarik antarbutir yang dikenal sebagai kohesi (*cohesion*, c). Pada tanah lempung, peningkatan nilai indeks plastisitas umumnya diikuti oleh penurunan pada kuat geser tanah. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk membandingkan karakteristik tanah asli dengan tanah yang telah distabilisasi menggunakan berbagai variasi campuran limbah gypsum yang berasal dari lokasi penelitian. Atas dasar uraian tersebut, penelitian ini disusun dengan judul **“Analisis Kuat Geser Tanah Hasil Stabilisasi dengan Variasi Campuran Limbah Gypsum.”**

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan hasil uraian yang telah dipaparkan pada latar belakang penelitian, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik fisik tanah asli?
2. Bagaimana pengaruh penambahan limbah gypsum terhadap kuat geser tanah?
3. Berapa komposisi optimum limbah gypsum untuk stabilisasi tanah?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang serta rumusan masalah yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk:

Mengidentifikasi karakteristik fisik tanah asli.

1. Menganalisis pengaruh penambahan limbah gypsum terhadap kuat geser tanah.
2. Menentukan kadar optimum limbah gypsum untuk stabilisasi tanah.

1.4. Batas Masalah

Untuk menjaga hasil penelitian agar tetap terarah dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan, ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada hal sebagai berikut:

1. Sampel tanah yang diperoleh dalam penelitian ini merupakan tanah yang didapatkan pada Dusun Merendeng, Desa Kuta, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah.
2. Data perhitungan yang digunakan merupakan hasil uji laboratorium berupa hasil pengujian fisik, pengujian mekanis dan pengujian kuat geser tanah. Sampel tanah sekitar Dusun Merendeng, Desa Kuta, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah.
3. Asumsi yang dipakai dalam analisis sesuai dengan asumsi yang digunakan pada metode uji pemadatan dalam *Proctor Compaction test* Adalah uji standar Proctor (*standard Proctor test*) dan uji kuat geser.

1.5. Manfaat penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian tersebut meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan wawasan dan kemampuan berpikir penulis serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang ingin mengembangkan penelitian sejenisnya.
2. Menambah pengetahuan penulis dalam nilai kepadatan tanah dan kuat geser tanah serta jenis-jenis tanah dengan variasi campuran limbah *gypsum*
3. Untuk mengetahui besar nilai kuat geser terhadap indeks plastisitas tanah asli dengan variasi campuran limbah *gypsum*.
4. Dari penelitian ini juga penulis dapat melihat bagaimana sifat fisik tanah dan sifat mekanis tanah pada Dusun Merendeng, Desa Kuta, Kab, Lombok Tengah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Wibawa (2015) dalam penelitian yang berjudul “pengaruh penambahan limbah *gypsum* terhadap nilai kuat geser tanah lempung,” menyimpulkan bahwa stabilisasi tanah lempung menggunakan limbah *gypsum* dapat meningkatkan nilai kuat geser tanah (S). Dari hasil pengujian nilai S terbesar terjadi pada sampel tanah yang dicampur dengan limbah *gypsum* sebanyak 8% dengan waktu pemeraman 14 hari yaitu 61,57 KN/m². Terjadi kenaikan sebesar 116,34% dari sampel tanah asli yang dilakukan pemeraman waktu selama 14 hari.

Widiantoro dan Ahmad (2017) meneliti stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan penambahan gypsum melalui uji geser langsung, pemadatan standar Proctor, dan *swelling*. Variasi gypsum yang digunakan adalah 15%, 20%, dan 25%. Hasil uji pemadatan menunjukkan bahwa penambahan gypsum menyebabkan penurunan kadar air optimum, yaitu dari 27% pada tanah asli menjadi 24% sedangkan campuran 15%, 22,9% pada 20%, dan 22% pada 25%. Pada uji *swelling*, tingkat pengembangan tanah sebesar 3,596% pada campuran 0%, kemudian menurun menjadi 1,011% pada 15% gypsum dan 1,573% pada 25% gypsum. Hasil terbaik diperoleh pada penambahan gypsum 15%. pada uji geser langsung, nilai kohesi tanah meningkat mulai dari 0,23 kg/cm² tanpa gypsum menjadi 0,38 kg/cm² pada penambahan 15%, 0,33 kg/cm² pada 20%, dan 0,35 kg/cm² pada 25%. Sementara itu, sudut geser dalam berturut-turut adalah 26,56°, 28,61°, 35,31°, dan 26,56%. Secara umum, penambahan gypsum sebesar 15% dinilai paling efektif dalam meningkatkan kualitas tanah dibandingkan variasi 20% dan 25%.

Fakhri, N. dkk. (2018) melaksanakan penelitian mengenai stabilisasi tanah dengan menambahkan limbah gypsum pada tanah lempung lunak terhadap nilai California Bearing Ratio (CBR) dengan sampel tanah lempung yang berasal dari Kecamatan Sumur, Kabupaten Pandeglang. Pengujian CBR dilaksanakan dengan presentase sampel limbah gypsum sebanyak 0%, 3%, 6% dan 10% dengan masa

pemeraman 0 hari, 3 hari, dan 7 hari. Berdasarkan Sistem USCS didapatkan hasil jenis tanah dikategorikan kedalam kelompok CH yaitu lempung tak organik dengan plastisitas tinggi. Tanah lempung lunak dengan nilai indeks plastisitas (PI) 27.95% dapat dikategorikan sebagai plastisitas tinggi. Nilai daya dukung CBR laboratorium tanah asli setelah dilakukan pemadatan dengan lama waktu pemeraman 0 hari yaitu sebesar 37.352% ,lalu dengan lama waktu pemeraman 3 hari yaitu sebesar 45.562%. dan dengan lama waktu pemeraman 7 hari yaitu sebesar 37.968%. Sedangkan untuk nilai daya dukung CBR yang paling optimum terdapat pada persentase gypsum 10% dengan lama waktu pemeraman 3 hari dengan nilai daya dukung CBR yaitu sebesar 57.876%.

Herni (2015) melakukan penelitian mengenai perilaku konsolidasi dan besarnya penurunan pada tanah lempung yang telah mengalami proses stabilisasi menggunakan semen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sampel tanah tersebut termasuk ke dalam kategori tanah terkonsolidasi normal. Pada kondisi tanah asli, pengujian konsolidasi menghasilkan nilai tekanan prakonsolidasi (*preconsolidation pressure/Pc*) sebesar 0,436 kg/cm² serta indeks pemampatan (*compression index/Cc*) sebesar 0,0397. Setelah dilakukan stabilisasi menggunakan semen, nilai Pc mengalami peningkatan hingga mencapai 0,487 kg/cm². Di sisi lain, nilai Cc mengalami penurunan paling besar pada variasi penambahan semen sebesar 15%, yaitu menjadi 0,0031. Penurunan yang terjadi pada tanah asli sebesar 13,04 cm juga menurun secara signifikan hingga mencapai 1,25 cm pada campuran dengan kadar semen 15%.

Mudhakhir, I. dkk. (2020) melakukan penelitian mengenai peningkatan daya dukung tanah lempung ekspansif dengan memanfaatkan limbah gypsum dan limbah kaca sebagai bahan tambah. Sampel tanah lempung pada penelitian ini berasal dari Desa Soko, Ngawi, Jawa Timur. Pengujian CBR soaked dan CBR unsoaked dilakukan sebagai parameter untuk mengetahui daya dukung tanah dengan presentase penambahan limbah gypsum dan limbah kaca sebesar 0%, 2%, 4%, 8%, 10%. Dari pengujian didapatkan nilai indeks plastisitas (PI) 90,8755% sehingga 7 tanah ini diklasifikasikan kedalam tanah ekspansif dengan potensial ekspansif yang sangat tinggi. Nilai daya dukung CBR unsoaked pada tanah asli

sebesar 7,875% dan pada CBR soaked pada tanah asli sebesar 1,975%. Setelah distabilisasi dengan limbah gypsum dan serbuk kaca terjadi perubahan pada CBR unsoaked menjadi 38,327% dan CBR soaked menjadi 6,252%. Nilai CBR maksimum didapatkan pada presentase limbah gypsum 10% dan serbuk kaca 8%.

Mariyanti dan Yayuk (2016) melakukan penelitian yang berjudul *Analisis Perbandingan Penggunaan Limbah Gypsum dan Semen sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung*. Penelitian tersebut bertujuan untuk membandingkan tingkat efektivitas limbah gypsum dan semen sebagai bahan stabilisasi tanah lempung berdasarkan hasil pengujian konsolidasi, besarnya penurunan akibat konsolidasi, serta kebutuhan biaya selama proses stabilisasi. Berdasarkan hasil pengujian terhadap tanah asli, diperoleh nilai koefisien konsolidasi (*coefficient of consolidation/Cv*) sebesar 0,0318 cm²/detik, indeks kompresi (*compression index/Cc*) sebesar 0,0086, dan tekanan prakonsolidasi (*preconsolidation pressure/Pc*) sebesar 0,427 kg/cm².

Simbolon, S. (2017) melakukan penelitian tentang stabilisasi menggunakan bahan tambah berupa gypsum, kapur, dan Semen pada tanah lempung terhadap nilai CBR dengan sampel tanah berasal dari PTPN II Kebun Patumbak, Deli Serdang. Pengujian yang dilakukan menggunakan CBR soaked dan CBR unsoaked dengan persentase masing – masing bahan tambah sebesar 2%, 4%, 6%, 8%, 10% dengan waktu pemeraman 14 hari. Dari pengujian tersebut, berdasarkan klasifikasi USCS sampel tanah termasuk dalam tanah lempung anorganik yang memiliki plastisitas rendah sampai sedang dengan nilai indeks plastisitas (PI) sebesar 28,09%. Sedangkan berdasarkan klasifikasi AASHTO sampel tanah termasuk ke dalam jenis tanah A-7-6 dengan persentase lolos saringan no. 200 sebesar 51,38% dan nilai batas cair (LL) sebesar 52,43%. Dari pengujian CBR laboratorium yang dilakukan pada sampel tanah asli diperoleh nilai sebesar 7,01%. Pada pengujian CBR unsoaked nilai maksimum dari masing – masing persentase campuran yaitu kadar semen 10% sebesar 10,15%, kadar kapur 10% sebesar 9,78%, dan kadar gypsum 10% sebesar 9,05%. Sedangkan pada pengujian CBR soaked nilai maksimum dari masing – masing persentase campuran yaitu

kadar semen 4% sebesar 5,52%, kadar kapur 4% sebesar 5,26%, dan kadar gypsum sebesar 4,86%.

Salah satu alternatif stabilisasi tanah lempung adalah melalui penambahan limbah plafon gypsum. Pemanfaatan limbah ini tidak hanya berpotensi mengurangi pencemaran lingkungan dan risiko terhadap kesehatan, tetapi juga dinilai lebih ekonomis karena materialnya mudah diperoleh. Gypsum merupakan mineral hasil pengendapan yang umumnya ditemukan pada batuan sedimen. Mineral ini dapat berwarna putih, abu-abu, coklat, kuning, atau transparan, bergantung pada mineral yang menyertainya. Dalam kondisi murni, gypsum bersifat lunak dan umumnya mengandung sekitar 90% $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Sutejo dkk., 2015). Sebagai bahan stabilisasi, limbah plafon gypsum berperan. Penambahan bahan stabilisasi dapat memperkecil ruang pori di antara butiran tanah sehingga kecenderungan tanah untuk mengalami pengembangan menjadi lebih rendah. Dalam penelitian ini, limbah plafon gypsum dimanfaatkan sebagai bahan campuran untuk menstabilisasi tanah lempung ekspansif. Pengujian konsolidasi dilaksanakan di laboratorium guna mengevaluasi karakteristik kompresibilitas tanah setelah proses stabilisasi. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini difokuskan untuk mengkaji pengaruh penggunaan limbah plafon gypsum sebagai bahan aditif terhadap perilaku konsolidasi tanah lempung ekspansif, sekaligus menilai efektivitasnya sebagai material stabilisasi tanah.

penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengkaji pengaruh penambahan limbah gypsum terhadap parameter kuat geser tanah lempung yang berasal dari Dusun Merendeng, Desa Kuta, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah.
2. Menjelaskan karakteristik perilaku tanah lempung ekspansif selama proses stabilisasi tanah dengan memanfaatkan limbah gypsum sebagai bahan stabilisasi.

2.2. Landasan Teori

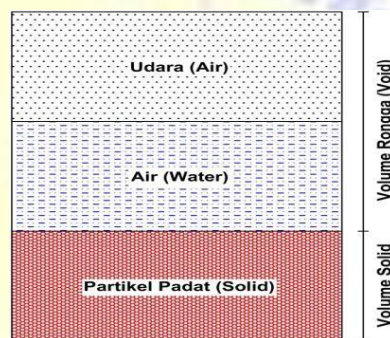
Landasan teori adalah serangkaian konsep, pengertian, serta proposisi yang disusun secara terstruktur sesuai dengan fokus penelitian. Bagian ini berfungsi sebagai dasar ilmiah yang membantu peneliti dalam memahami, mengkaji, dan

menjelaskan fenomena yang menjadi objek penelitian. Di samping itu, landasan teori juga digunakan untuk memperkuat dasar argumentasi, merumuskan hipotesis, menentukan metode penelitian yang tepat, serta menginterpretasikan hasil penelitian sehingga keseluruhan proses penelitian memiliki landasan ilmiah yang jelas dan dapat dipertanggungjawabkan.

2.2.1 Definisi Tanah

Menurut Das (1995), dalam bidang teknik sipil, tanah dapat didefinisikan sebagai sekumpulan partikel mineral dalam keadaan padat yang tidak membentuk ikatan kimia antarsesama partikel, serta mengandung bahan material organik yang telah mengalami proses pelapukan. di antara partikel tersebut terdapat ruang pori yang dapat terisi oleh air maupun udara. Gambaran mengenai susunan fase-fase penyusun tanah dapat dilihat pada 2.1 di bawah ini.

Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Fase Tanah
(sumber: Das 1995)

Dalam kajian geoteknik, keberadaan udara di dalam tanah umumnya tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap perilaku teknis tanah, sedangkan air memiliki peranan yang sangat penting dalam menentukan sifat-sifat teknisnya. Ruang kosong yang berada di antara butiran tanah, atau yang dikenal sebagai pori (*void*), dapat terisi sebagian maupun seluruhnya oleh air dan udara. Apabila seluruh ruang pori terisi oleh air, kondisi tersebut disebut sebagai tanah jenuh. Pada tanah kohesif yang berada dalam keadaan jenuh, beban yang bekerja pada tahap awal akan dipikul oleh tekanan air pori sebelum diteruskan kepada kerangka tanah.

2.2.2 Komposisi tanah dan istilah tanah

Dalam bidang teknik sipil, tanah diartikan sebagai material alami yang terdapat pada lapisan paling atas permukaan bumi dan belum mengalami proses konsolidasi. Penyusun utama tanah meliputi empat komponen, yaitu mineral, udara, air, dan material organik. Pada kondisi ideal, komposisi tanah terdiri atas sekitar 45% mineral, 5% material organik, 25% air, serta 25% udara.

a. Komponen penyusun tanah

1) Bahan mineral

Merupakan hasil dari proses pelapukan batuan dan berbagai jenis mineral yang menghasilkan partikel-partikel tanah dengan ukuran serta komposisi kimia yang bervariasi.

2) Bahan organik

Terdiri atas sisa tumbuhan dan hewan yang telah mengalami pembusukan, termasuk organisme hidup yang mendukung kesuburan tanah.

3) Air

Menempati pori-pori tanah dan berfungsi melarutkan unsur hara yang diperlukan tanaman.

4) Udara

Mengisi pori tanah yang tidak ditempati air serta diperlukan untuk respirasi akar tanaman dan aktivitas mikroorganisme.

b. Istilah dalam tanah

1) tekstur tanah: perbandingan proporsi partikel pasir, lanau, dan lempung dalam tanah.

2) struktur tanah: Merupakan susunan pada partikel tanah yang saling terikat sehingga terbentuk agregat tanah.

3) kelarutan tanah: Merupakan kemampuan pada tanah, dalam menyimpan, menyerap, atau mempertahankan kandungan air di dalam pori-porinya.

4) kandungan hara tanah: unsur nutrisi yang dibutuhkan pada tanaman, seperti fosfor, nitrogen dan kalsium.

5) aerasi tanah: ketersediaan udara pada pori-pori tanah.

6) pH tanah: memiliki ukuran tingkat kebebasan ataupun kesamaan pada tanah.

- 7) humus: bahan organik yang telah terurai sempurna dan berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah.
- 8) mineral primer: Merupakan mineral yang masih berada dalam kondisi asli karena belum mengalami proses pelapukan.
- 9) mineral sekunder: Merupakan mineral yang terbentuk sebagai hasil dari proses pelapukan mineral primer.

2.2.3 Klasifikasi Tanah

Secara umum, tanah dapat dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu tanah kohesif dan tanah nonkohesif. Selain itu, berdasarkan ukuran butir penyusunnya, tanah juga dibedakan menjadi tanah yang berbutir kasar atau tanah berbutir halus. Proses klasifikasi tanah dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik bentuk serta ukuran partikel, yang ditentukan melalui analisis saringan, uji sedimentasi, dan pengujian sifat plastisitas (Hardiyatmo, 2012).

Hardjowigeno (1993) menyatakan bahwa klasifikasi tanah merupakan cabang ilmu yang membahas metode untuk mengidentifikasi perbedaan karakteristik berbagai jenis tanah dan mengelompokkannya ke dalam kelas tertentu berdasarkan persamaan serta kecenderungan sifatnya. Proses ini memerlukan pemikiran yang sistematis, mengikuti kaidah yang berlaku, menggunakan penalaran logis, Proses tersebut harus didukung dengan data yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan. Menurut Bowles (1991), klasifikasi tanah yang dilakukan secara sistematis bertujuan untuk memudahkan kajian yang lebih mendalam mengenai kondisi tanah, sekaligus menjadi dasar dalam menentukan jenis pengujian yang diperlukan untuk mengetahui sifat-sifat teknis tanah, seperti karakteristik pemadatan, kuat tanah, berat isi, serta parameter teknik lainnya.

Beberapa sistem klasifikasi tanah yang umumnya digunakan antara lain sebagai berikut:

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

Menurut sistem klasifikasi USCS, tanah dibedakan menjadi dua kelompok yakni berdasarkan persentase material yang lolos saringan No. 200. Tanah ini dikategorikan sebagai tanah berbutir kasar, seperti pasir atau kerikil, apabila jumlah material yang lolos saringan No. 200 kurang dari 50%. Sebaliknya, apabila

persentase material yang telah lolos saringan tersebut melebihi 50%, tanah diklasifikasikan sebagai tanah yang berbutir halus, yang meliputi lanau dan lempung. Selanjutnya, setiap jenis tanah dibedakan lagi ke dalam kelompok dan subkelompok sesuai dengan karakteristik serta sifat-sifat yang dimilikinya.

Sistem klasifikasi tersebut telah digunakan secara luas diterapkan dalam pekerjaan geoteknik pondasi, terutama pada pembangunan bendungan, gedung, serta konstruksi berbagai jenis konstruksi lainnya. Selain itu, sistem ini juga tersebut dimanfaatkan dalam perencanaan lapangan terbang serta penyusunan spesifikasi pekerjaan tanah pada proyek pembangunan jalan.

Menurut *Unified Soil Classification System* (USCS) yang dikemukakan oleh Das (1995), tanah diklasifikasikan ke dalam beberapa kelompok sebagai berikut:

- a. **Tanah berbutir kasar** merupakan jenis tanah dengan persentase material yang memiliki kandungan material yang lolos saringan No. 200 kurang dari 50%. Kelompok ini terdiri dari kerikil yang dinyatakan dengan simbol **G** dan pasir yang diberi simbol **S**.
- b. **Tanah berbutir halus** adalah jenis tanah dengan persentase material yang telah melewati saringan No. 200 lebih dari 50%. Kelompok ini meliputi tanah lanau yang dilambangkan dengan simbol **M**, lempung dengan simbol **C**, serta tanah organik berupa lanau atau lempung yang dinyatakan dengan simbol **O**. Penentuannya didasarkan berdasarkan letak sampel tanah pada grafik plastisitas. Simbol **L** menunjukkan Tingkat plastisitas rendah, sedangkan simbol **H** menunjukkan tingkat plastisitas tinggi. Simbol-simbol dalam klasifikasi tanah *Unified* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.1 simbol klasifikasi tanah *Unified*

Jenis tanah	Simbol	Sub kelompok	Simbol
Tanah Kerikil	<i>G</i>	Gradasi baik	<i>W</i>
		Gradasi buruk	<i>P</i>
Tanah Pasir	<i>S</i>	Berlanau	<i>M</i>
		Berlempung	<i>C</i>
Tanah Lanau	<i>M</i>	Wl<50%	<i>L</i>
		Wl>50%	<i>H</i>
Tanah Lempung	<i>C</i>		
Tanah Organik	<i>O</i>		
Tanah Gambut	<i>Pt</i>		

(sumber : bowles, 1989)

Dengan:

W: tanah bergradasi baik (*well graded*).

P: tanah bergradasi buruk (*poorly graded*).

L: plastisitas rendah, dengan $LL < 50$.

H: plastisitas tinggi, dengan $LL > 50$.

S: pasir (*sand*).

O: lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*).

M: lanau (*silt*).

C: lempung (*clay*).

G: kerikil (*gravel*).

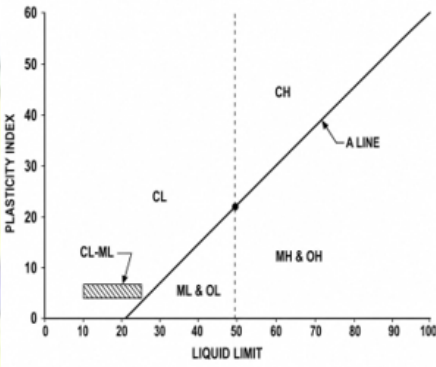
PT: gambut dan tanah dengan kandungan organik tinggi (*peat and highly organic soil*).

Tabel 2.2 Sistem klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System (USCS)*.

Divisi Utama			Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan Nomor 200	Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar tertahan saringan nomor 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	Klasifikasi berdasarkan presentase butiran halus; Kurang dari 5% lolos saringan No. 200 : GM, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan No.	$\frac{D_{60}}{D_{30}} \frac{Cu}{10} = \frac{D}{60} > 4$ antara 1 dan 3
			GP	Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
		Kerikil dengan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau		Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Bila batas berada didaerah arsir dari diagram
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil- pasirlempung		Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI > 7$ plastisitas, maka dipakai dobel Symbol
		Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		$\frac{D_{60}}{D_{30}} \frac{Cu}{10} = \frac{D}{60} > 4$ antara 1 dan 3
			SP	Pasir bergradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
	Pasir dengan Butiran halus		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Bila batas berada didaerah arsir dari diagram
						plastisitas, maka dipakai dobel Symbol
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI > 7$

(Sumber: Hardyatmo, 2002)

Tabel 2. 3 Lanjutan

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan 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 mengklasifikasikan kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. 
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung “kurus” (<i>lean clays</i>)	
	Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	OL	Lanau organik dan lempung berlanau dengan plastisitas rendah	
		MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung “gemuk” (<i>fat clays</i>)	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
		Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	

(Sumber: Hardyatmo, 2002)

2.2.4 Jenis Tanah

Pada umumnya, tanah tersusun dari campuran berbagai jenis partikel. Tanah lempung tidak sepenuhnya terdiri atas partikel lempung, melainkan juga dapat mengandung partikel lanau, pasir, maupun material organik. ukuran butir penyusun tanah juga sangat bervariasi, mulai dari lebih dari 100 mm hingga kurang dari 0,001 mm (Hardiyatmo, 1992).

1. **Kerikil (*gravel*)** merupakan pecahan batuan yang dapat tersusun atas partikel mineral kuarsa dan feldspar
2. **Pasir (*sand*)** umumnya didominasi oleh mineral kuarsa dan feldspar.
3. **Lanau (*silt*)** terdiri atas fraksi tanah berukuran sangat halus, terutama butiran

kuarsa halus dan pecahan mineral mika.

4. **Lempung (*clay*)** tersusun terutama pada partikel berukuran mikroskopis hingga submikroskopis, dengan diameter kurang dari 0,002 mm atau 2 mikron.

2.3. Tanah Lempung

Tanah lempung ialah merupakan material multikomponen yang tersusun dari fase padat, cair, dan gas. Fase padatnya bersifat poliamorfus serta mengandung mineral anorganik dan organik. Mineral lempung berbentuk kristal sangat tipis yang umumnya terbentuk akibat perubahan kimia pada mineral penyusun batuan induk. Ukuran partikel mineral lempung bersifat koloidal, yaitu kurang dari 0,002 mm, sehingga pengamatannya hanya dapat dilakukan diamati dengan menggunakan mikroskop elektron.

Mitchell (1976) mengemukakan bahwa butiran partikel lempung merupakan butiran tanah yang memiliki ukuran kurang dari 0,002 mm. mineral lempung termasuk merupakan kelompok mineral berkrystal koloid yang terbentuk melalui hasil pelapukan batuan. Selanjutnya, Craig (1987) menjelaskan bahwa mineral lempung terbentuk akibat pelapukan kimia batuan, yang dipengaruhi oleh pengaruh air yang mengandung senyawa asam atau alkali, serta karbon dioksida. Menurut Grim (1953), tanah lempung mengandung keberadaan mineral-mineral tertentu yang akan menunjukkan perilaku plastis ketika berinteraksi dengan air.

2.3.1 Deskripsi Tanah Lempung

Tanah lempung dapat didefinisikan sebagai jenis tanah yang tersusun dari partikel mineral berukuran sangat halus dengan diameter partikel kurang dari 0,002 mm. Tanah ini memiliki sifat kohesif saling melekat. plastis bisa dibentuk tanpa pecah saat basah, serta mengeras saat kering. Sifat-sifat ini berasal dari komposisi mineral penyusunnya, yang merupakan hasil dari pelapukan batuan. Tanah lempung penting untuk pertanian karena mampu menyimpan air dan nutrisi, tetapi juga sering digunakan dalam pembuatan kerajinan dan konstruksi.

2.4. Limbah Gypsum

Gypsum merupakan mineral nonlogam yang tersusun terutama atas kalsium sulfat dihidrat (calcium sulfate dihydrate) dengan rumus kimia $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Mineral ini memiliki kandungan kalsium yang dominan dan

termasuk salah satu jenis mineral yang banyak ditemukan pada batuan sedimen (Supriatna, 1997; Ikhsan, 2013).

Gypsum umumnya berbentuk batuan putih hasil proses pengendapan, termasuk mineral yang banyak terdapat dalam batuan sedimen, serta bersifat lunak ketika murni. Material ini dapat diolah menjadi berbagai produk, seperti kapur tulis dan plester. Karena kelarutannya dalam air rendah, gypsum jarang ditemukan dalam bentuk pasir atau butiran. Namun, endapan pasir gypsum dapat ditemukan di White Sands National Monument, New Mexico, Amerika Serikat. Gypsum tersebar di berbagai wilayah dunia, antara lain Jamaika, Iran, Thailand, Spanyol, Jerman, Italia, Inggris, Irlandia, Kanada, Amerika Serikat, Australia, serta Indonesia, khususnya Kalimantan dan Jawa Barat.

Gypsum dapat diperoleh melalui penambangan terbuka maupun penambangan bawah tanah. Penambangan terbuka lebih umum digunakan karena dinilai lebih efisien dari segi energi dan sumber daya. Pada penambangan bawah tanah, terutama untuk endapan mineral yang mendatar, metode yang digunakan umumnya adalah room and pillar. Tahapan operasionalnya meliputi pengeboran, peledakan, penggalan, penghancuran, dan penyaringan awal.

Gypsum untuk kebutuhan produksi umumnya disyaratkan memiliki kandungan minimal 80% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ atau campuran $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan CaSO_4 . Selain gypsum alami, gypsum sintetis dari limbah industri berkalsium tinggi dapat digunakan sebagai pengganti sebagian atau seluruhnya. Contoh limbah gypsum yang umum dimanfaatkan antara lain fosfogypsum, gypsum hasil desulfurisasi gas buang (*flue gas desulfurization/FGD*), dan borogypsum. Gypsum sintetis biasanya mengandung kalsium sulfat dihidrat, hemihidrat, dan anhidrit. Anhidrit memiliki struktur kristal lebih padat karena tidak mengandung air kristal.

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh limbah gypsum terhadap tiga parameter geoteknik, yaitu nilai *California Bearing Ratio* (CBR), kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength/UCS*), dan kuat geser langsung. Limbah gypsum dicampurkan ke dalam tanah dengan variasi 5%, 10%, dan 15% dari berat kering tanah. Pengujian laboratorium mengacu pada ASTM D1883 untuk CBR, ASTM D2166 untuk UCS, serta ASTM D3080 untuk uji geser

langsung. Sebelum pengujian utama, dilakukan pengujian karakteristik dasar tanah berupa kadar air alami, distribusi ukuran butir, batas Atterberg, dan pemadatan Proctor standar.

2.5. Sifat Fisik Tanah

Salah satu karakteristik tanah yang memengaruhi terjadinya erosi adalah erodibilitas atau tingkat kepekaan tanah terhadap pengikisan. Nilai erodibilitas dipengaruhi terutama oleh kestabilan agregat tanah dan kemampuan tanah dalam menginfiltrasikan air. Selain karakteristik alami tanah, pengelolaan atau perlakuan tanah juga turut menentukan tingkat erodibilitasnya. Menurut Hardjowigeno (2016), tanah dengan kandungan fraksi debu dan lempung yang tinggi cenderung lebih mudah mengalami erosi.

2.5.1 Kadar Air (*Water Content*)

Tanah tersusun atas partikel padat yang dipisahkan oleh ruang pori, yang dapat terisi air maupun udara. Kadar air tanah ditentukan melalui pengujian dengan membandingkan massa air yang terkandung dalam sampel terhadap massa tanah dalam kondisi kering, kemudian hasilnya dinyatakan dalam bentuk persentase. nilai kadar air diperoleh dari perbedaan antara berat tanah sebelum dikeringkan dan berat tanah setelah proses pengeringan. Proses penimbangan serta pengeringan dilakukan berulang hingga berat sampel mencapai kondisi konstan. Kadar air dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar air } (w) = \frac{w_2 - w_1}{w_1 - w_3} \times 100\% \quad (2-1)$$

Dengan :

- W : kadar air (100%)
- $W1$: berat cawan kosong (gram)
- $W2$: berat cawan + tanah basah (gram)
- $W3$: berat cawan + tanah kering (gram)

Penentuan massa air minimum dalam pengujian kelembaban tanah. Berdasarkan ukuran partikel tanah serta wajib sinkron dengan spesifikasi yang disepakati pada tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 berat isi minimum benda uji kadar air

No	Ukuran partikel maksimum (100% lolos)	Ukuran saringan standar	Berat minimum benda uji basah yang direkomendasikan untuk kadar air	
			$\pm 0,1\%$	$\pm$
1	$\leq 2,0$ mm	No. 10	20 gram	20
2	4,75 mm	No. 4	100 gram	20
3	9,5 mm	3/8 in	500 gram	50
4	19,0 mm	$\frac{3}{4}$	2,5 gram	250
5	37,5 mm	1½ in	10 kg	1
6	75,0 mm	3	50 kg	5

(sumber: SNI 1965-2008)

2.5.2 Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Pengujian berat jenis bertujuan untuk menentukan perbandingan antara berat jenis butiran padat tanah dan berat jenis air pada volume yang sama. Pengujian tersebut dilakukan menggunakan alat piknometer yang tersedia di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram. Nilai berat jenis yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai salah satu parameter dalam mengidentifikasi karakteristik maupun jenis tanah yang diuji. Perhitungan nilai berat jenis dilakukan berdasarkan persamaan berikut:

$$G_s = \frac{w_2 - w_1}{(w_4 - w_1) - (w_3 - w_2)} \times 100\% \quad (2-2)$$

Dengan :

G_s : berat jenis tanah (gram)

W_1 : berat piknometer kosong (gram)

W_2 : berat piknometer + tanah kering (gram)

W_3 : berat piknometer + tanah + air (gram)

W_4 : berat piknometer + air (gram)

2.5.3 Berat Volume (*Weight Volume*)

Metode ini digunakan untuk menentukan nilai densitas atau berat isi tanah, yaitu perbandingan antara berat tanah dalam kondisi alami (basah) dengan volumenya yang dinyatakan dalam satuan g/cm³. Pelaksanaan pengujian dilakukan bersamaan dengan pengujian sifat fisik tanah lainnya. Sampel tanah diambil menggunakan silinder berdinding tipis yang ditekan ke dalam tanah agar diperoleh

contoh tanah yang tidak terganggu. Selanjutnya, nilai densitas atau berat isi tanah dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{Berat isi tanah basah } \gamma_b = \frac{w_2 - w_1}{v} \quad (2-3)$$

$$\text{Berat isi tanah kering } \gamma_d = \frac{\gamma_{wet}}{1+w} \quad (2-4)$$

Dengan:

W : Kadar air (%)

W_1 : Berat cincin (gram)

W_2 : Berat cincin + tanah (gram)

γ_b : Berat isi tanah basah (gram/cm³)

γ_d : Berat isi tanah kering (gram/cm³)

2.5.4 Analisa Saringan Dan Hidrometer

Pengujian analisis saringan digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah yang berdiameter lebih besar dari 0,075 mm atau tertahan pada saringan No. 200. Sementara itu, analisis hidrometer digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel tanah yang lolos saringan No. 200 dengan prinsip pengendapan butiran tanah dalam air.

Analisis saringan dilakukan menggunakan beberapa ukuran ayakan untuk memperoleh berat tanah yang tertahan pada setiap saringan. Data tersebut dapat digunakan sebagai dasar klasifikasi jenis tanah. Adapun pengujian hidrometer bertujuan menentukan gradasi ukuran partikel halus yang lolos saringan No. 200. Perhitungannya dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$P = \frac{R_c \times a}{w_s} \times 100\% \quad (2-5)$$

Dengan:

P : persen lolos (%)

w_s : berat benda uji kering (gr/cm³)

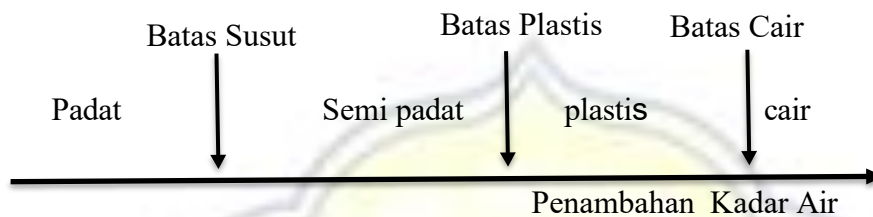
a : koreksi terhadap berat jenis

R_c : bacaan hidrometer saat pengujian

2.5.5 Batas-Batas Atterberg

Kemampuan beradaptasi tanah yang ditumbuk halus partikel tanah liat

mineral ditemukan dalam tanah mengakibatkan terjadinya plastisitas. Salah satu sifat karakteristik utama tanah berbutir halus adalah plastisitas yang sangat dipengaruhi oleh keberadaan kandungan mineral lempung di dalamnya menunjukkan kemampuan tanah untuk mengalami perubahan bentuk pada volume tetap serta tidak mengalami keretakan maupun hancur. Posisi ilustrasi mengenai batas-batas konsistensi pada tanah kohesif ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut.

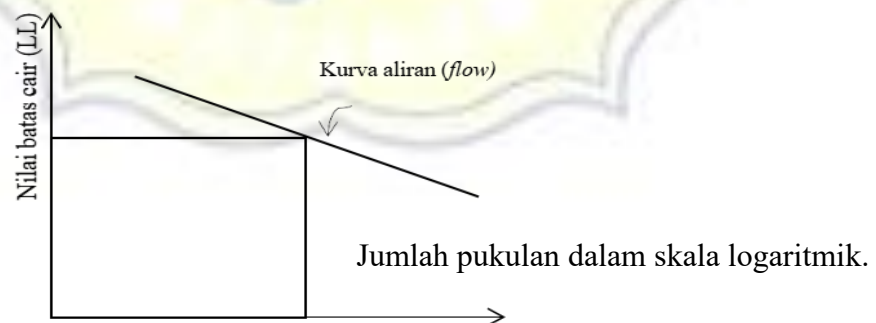


Gambar 2.2 Batas atterbeng
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (*liquid limit*) adalah kadar air saat tanah berada pada peralihan antara kondisi cair dan kondisi plastis. Nilai ini umumnya ditentukan melalui pengujian Casagrande (1948), yaitu dengan meletakkan sampel tanah pada mangkuk Casagrande, meratakannya, lalu membuat alur selebar 0,3 cm. Batas cair diperoleh ketika kedua sisi alur menyatu kembali pada pukulan ke-25. Hubungan

antara kadar air dan jumlah pukulan untuk menentukan batas cair ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 menunjukkan kurva yang digunakan untuk menentukan batas cair pada tanah lempung.

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

Rumus untuk mengetahui kadar air

$$w = a \log N + b \quad (2-6)$$

Dengan :

w : kadar air (%)

N : jumlah pukulan

a, m : gradien garis

b, c : konstanta

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis adalah kadar air ketika tanah berubah dari kondisi plastis menjadi lebih padat atau semi padat. Nilainya ditentukan berdasarkan kadar air sampel tanah pada kondisi batas tersebut. Dalam pengujian, tanah yang lolos saringan No. 40 atau berukuran 0,425 mm dicampur dengan air suling hingga mencapai kondisi plastis. Selanjutnya, tanah digulung menjadi benang berdiameter sekitar 3 mm secara manual atau menggunakan alat penggulung batas plastis. Setelah diameter tersebut tercapai, sampel diperiksa kadar airnya untuk menentukan batas plastis. Nilai indeks plastisitas (*IP*) kemudian dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$PL = \frac{w_b - w}{w_k} \times 100\% \quad (2-7)$$

Dengan :

W : Kadar air (%)

PL : Batas plastis tanah (%)

w_b : berat tanah basah basah (g)

w_k : berat tanah kering (g)

Indeks plastisitas (*plasticity index/PI*) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis tanah. Nilai PI dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$PI = LL - PL \quad (2-8)$$

Dengan:

PI : Indeks Plastisitas (*plasticity index*)

LL : Batas Cair (*liquid limit*)

PL : Batas Plastis (*plastic limit*)

Indeks plastisitas (PI) menunjukkan rentang kadar air ketika tanah masih berada dalam kondisi plastis. Oleh sebab itu, nilai PI dapat digunakan untuk menggambarkan tingkat plastisitas tanah. Tanah dengan PI tinggi umumnya mengandung fraksi lempung lebih banyak, sedangkan tanah ber-PI rendah, seperti lanau, akan lebih cepat menjadi kering meskipun kadar airnya hanya sedikit berkurang. Klasifikasi nilai indeks plastisitas, sifat, dan jenis tanah disajikan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 nilai indeks plastisitas dan macam tanah

PI	Sifat	Macam tanah	Kohesif
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
<7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7-17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
>7	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber:Hardiyatmo, 2004)

2.6. Sifat Mekanis Tanah

Sifat mekanis tanah menggambarkan respons massa tanah terhadap gaya atau beban yang bekerja padanya, yang dianalisis berdasarkan prinsip-prinsip mekanika teknik.

2.6.1 Pemadatan Tanah (*Compaction*)

Uji pemadatan tanah merupakan salah satu pengujian laboratorium yang bertujuan untuk mengetahui hubungan antara kadar air dan berat isi (berat volume) tanah, serta menentukan tingkat kepadatan optimum sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan. Meskipun tidak secara langsung digolongkan sebagai pengujian sifat mekanis tanah, pengujian ini memiliki peran penting sebagai tahapan awal dalam persiapan benda uji untuk pengujian *California Bearing Ratio* (CBR), baik pada kondisi terendam (*soaked*) maupun tidak terendam (*unsoaked*). Selain itu, proses pemadatan berfungsi meningkatkan stabilitas tanah dan meminimalkan potensi terjadinya penurunan (*settlement*) yang tidak diharapkan.

Tanah yang dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi, misalnya pada pembangunan bendungan tanah maupun perkerasan jalan, perlu melalui proses

pemadatan guna untuk meningkatkan karakteristik teknisnya serta mengurangi risiko kerusakan pada struktur. Pemadatan bertujuan mencapai kepadatan optimum. Penentuan kepadatan tanah dilakukan melalui hasil pengukuran kadar air, berat isi basah maupun berat isi kering tanah. Selanjutnya, nilai berat isi basah maupun berat isi kering dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Berat volume basah } \gamma_b = \frac{w_2 - w_1}{v} \quad (2-9)$$

$$\text{Berat volume kering } \gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \quad (2-10)$$

Dengan:

γ_b : Berat volume basah (gram/cm³)

γ_d : Berat volume kering (gram/cm³)

w_1 : Berat silinder kosong (gram)

w_2 : Berat silinder isi tanah basah (gram)

V : Volume silinder (cm³)

2.6.2 Kuat Geser

Kuat geser tanah merupakan kemampuan tanah dalam menahan gaya geser yang terjadi akibat adanya tekanan maupun gaya tarikan pada butiran partikel-partikel tanah. Ketika tanah menerima pembebanan dari konstruksi yang berada di atasnya, beban tersebut akan ditahan oleh komponen kuat geser tanah (Hardiyatmo, 2002), yaitu:

- Kohesi tanah, yaitu gaya ikat antarbutil tanah yang dipengaruhi oleh jenis tanah terhadap tingkat kepadatannya tanah, namun demikian besarnya tidak dapat dipengaruhi pada tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
- Pada gesekan antarbutil tanah, yaitu gaya gesek yang nilainya sebanding berbanding dengan lurus terhadap tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.

Parameter kuat geser tanah diperoleh melalui pengujian laboratorium terhadap benda uji yang diambil dari sampel tanah di lapangan. Sampel tersebut harus mewakili kondisi tanah pada lokasi pengambilan. Khusus untuk sampel tidak terganggu (*undisturbed*), kondisi aslinya perlu dipertahankan, terutama kadar air dan struktur tanah. Oleh karena itu, sampel harus dilindungi dari penguapan serta gangguan yang dapat mengubah susunan tanah selama proses pengangkutan dan

pengujian.

Penentuan kuat geser tanah dilakukan melalui pengujian laboratorium pada sampel tanah asli. Pengambilan sampel harus dilakukan secara hati-hati agar kondisi awal tanah, Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menentukan parameter kuat geser tanah adalah sebagai berikut:

1. **Uji geser langsung (*Direct Shear Test*)** merupakan salah satu metode pengujian kuat geser tanah yang awalnya dikembangkan dan masih banyak digunakan karena prosedurnya relatif sederhana. Pengujian ini bertujuan menentukan parameter kuat geser tanah, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Nilai tahanan geser diperoleh menggunakan alat *direct shear*, sedangkan nilai maksimum yang dicapai menunjukkan kuat geser tanah pada bidang keruntuhan.
2. **Uji triaxial (*triaxial test*)** merupakan salah satu pengujian di laboratorium yang banyak diterapkan untuk mengevaluasi sifat mekanis tanah. Pada pengujian ini, sampel tanah kohesif berbentuk silinder dibungkus dengan membran karet kedap air, kemudian diberi tekanan dari segala arah (*confining pressure*) dan selanjutnya dibebani secara aksial hingga mencapai kondisi runtuh (SNI 03-4813-1998).
3. **Uji kuat tekan bebas (*unconfined compression test*)** merupakan pengujian di laboratorium yang bertujuan untuk menentukan kuat geser tanah, tanpa adanya tekanan samping. Melalui pengujian ini dapat diketahui kemampuan tanah dalam menahan beban tekan hingga mengalami keruntuhan, serta besarnya regangan yang terjadi selama proses pembebanan.
4. **Uji geser kipas (*vane shear test*)** merupakan metode pengujian yang digunakan untuk menentukan nilai kuat geser tak terdrainase (*undrained shear strength*) pada tanah. Pengujian ini dapat dilaksanakan pada laboratorium maupun secara langsung pada lapangan.

Penelitian ini menggunakan metode uji geser langsung untuk mengetahui kuat geser pada tanah karena pada dasarnya alat tersebut tersedia di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Muhammadiyah Mataram. Pengujian dilakukan pada tanah terganggu maupun tidak terganggu yang telah dikonsolidasikan. Hasilnya berupa nilai tegangan gesek, tegangan normal, regangan geser serta parameter kuat

geser pada tanah. yang dapat digunakan untuk menganalisis kestabilan bangunan atau timbunan. Hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser mengacu pada persamaan Coulomb (1776).

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (2-11)$$

Dengan :

τ : Kuat geser tanah (KN/m²)

C : Kohesif tanah

ϕ : Sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek intern (°)

σ : Tegangan normal pada bidang runtuh (KN/m²)



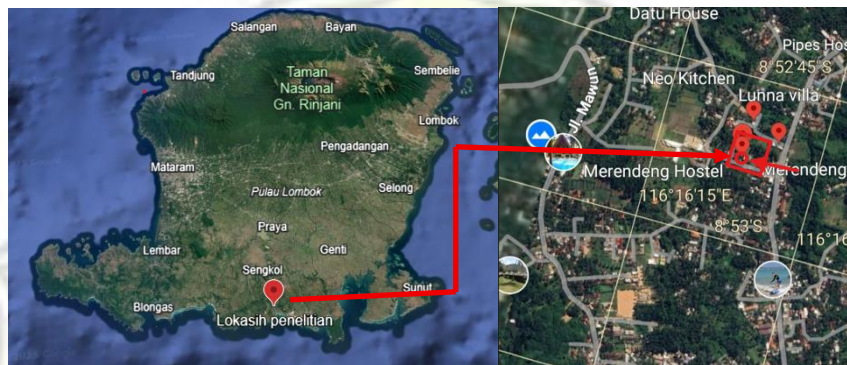
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

3.1.1 Lokasi Pengambilan ampel

Lokasi pengambilan sampel tanah lempung dalam penelitian ini diambil dari Dusun Merendeng, Desa Kuta, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Lokasi titik pengambilan sampel ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Lokasi pengambilan sampel tanah

(Sumber: Google Earth Pro, 2025)

3.1.2 Lokasi Pengujian

Penelitian ini dilaksanakan pada Laboratorium Ummat Falkutas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram yang berlokasi pada Jalan KH. Ahmad Dahlan No. 1, Kelurahan Pagesangan, Kecamatan Mataram, Kota Mataram, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Letak lokasi penelitian disajikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 laboratorium mekanika tanah

(sumber: google earth 2025)

3.2. Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan agar seluruh kegiatan berjalan dengan sistematis dan sesuai dengan tujuan penelitian.

3.2.1 Tahap Persiapan

Dalam tahap persiapan ini, merupakan kegiatan awal yang dilakukan sebelum pengumpulan data serta pengolahan data. Pada tahap ini, disusun rencana kerja dan kebutuhan penelitian agar pelaksanaannya terarah serta terstruktur.

3.2.2. Alat-alat penelitian

Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Muhammadiyah Mataram menyediakan berbagai peralatan yang dapat digunakan untuk mendukung pengujian sampel tanah, antara lain:

1. Cawan

Cawan yang digunakan harus kuat, tahan karat, serta mampu menahan perubahan suhu dan beban. Hal ini diperlukan karena cawan digunakan berulang kali selama proses penelitian. Cawan yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 cawan
Sumber: dokumentasi (2025)

2. Timbangan

Timbangan merupakan alat yang digunakan dalam penelitian ini. Dimana terdiri atas timbangan dengan ketelitian 0,01 gram, untuk menimbang sampel tanah hingga 200 gram dan timbangan dengan ketelitian 0,1 gram untuk sampel tanah

dengan berat lebih dari 200 gram. Alat penimbangan yang digunakan dapat ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 timbangan
Sumber: dokumentasi (2025)

3. Oven

Oven merupakan alat pengering yang digunakan untuk menghilangkan kadar air pada sampel tanah dengan suhu yang telah ditetapkan sesuai prosedur pada penelitian ini. Oven yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 oven
Sumber: dokumentasi (2025)

4. Cincin

Cincin (*ring*) digunakan dalam pengujian berat volume dan kuat geser tanah. Alat ini dimasukkan atau ditekan ke dalam sampel tanah untuk mengambil benda uji. Cincin yang digunakan dalam penelitian ini dapat ditunjukkan pada gambar 3.6



Gambar 3.6 cincin (*ring*)
Sumber: dokumentasi (2025)

5. Jangka Sorong

Jangka sorong adalah alat ukur yang memiliki ketelitian hingga 0,01 mm. Alat ini dapat digunakan untuk mengukur diameter pada peralatan maupun benda uji yang digunakan dalam uji jangka sorong. yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 jangka sorong
Sumber: dokumentasi (2025)

6. Pisau perata

Pisau perata digunakan untuk mencampur dan meratakan material sampel selama proses pengujian. Alat ini umumnya terbuat dari logam pipih dengan gagang berbahan plastik atau kayu. Pisau perata yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 pisau perata atau spatula
Sumber: dokumentasi (2025)

7. Piknometer

Piknometer merupakan alat penelitian yang dapat di gunakan pada sebuah botol ukur yang terbuat dari kaca yang memiliki kapasitas 100ml serta bisa bertahan dalam suhu panas tertentu. Alat dapat di lihat pada gambar 3.9



Gambar 3.9 piknometer
Sumber: dokumentasi (2025)

8. Cawan porselen

Cawan porselen dapat berfungsi sebagai wadah atau tempat pencampuran sampel hasil benda uji baik berupa zat kimia maupun bahan lain dalam keperluan untuk penelitian ataupun pengujian. Cawan porselen yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 cawan porselen
Sumber: dokumentasi (2025)

9. *Cassagrande*

Alat *cassagrande* dapat berfungsi sebagai alat untuk melakukan pengujian batas cair tanah seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 *cassagrande*
Sumber: dokumentasi (2025)

10. Saringan

Pada penelitian ini, saringan digunakan untuk mengelompokkan sampel tanah berdasarkan ukuran butir tanah, yaitu dari butir kasar maupun berbutir halus. saringan yang digunakan dalam penelitian ini dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 saringan
Sumber: dokumentasi (2025)

11. Gelas ukuran

Gelas ukur merupakan alat yang digunakan untuk mengukur volume larutan atau cairan kimia yang tidak memerlukan ketelitian yang tinggi. Gelas ukur dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 gelas ukur
Sumber: dokumentasi (2025)

12. Penumbuk

Penumbuk merupakan alat yang digunakan untuk memadatkan sampel tanah pada saat pelaksanaan pengujian pemadatan standar *proctor*. Penumbuk yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 penumbuk
Sumber: dokumentasi (2025)

13. *Mold*

Mold merupakan alat cetakan yang berfungsi sebagai wadah untuk menempatkan sampel tanah selama proses pengujian pemadatan standar prctor. Setelah sampel dimasukkan ke dalam mold, tanah dipadatkan menggunakan penumbuk. Bentuk mold yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 *mold*
Sumber: dokumentasi (2025)

14. Mesin ayakan

Mesin ayakan merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan getaran pada susunan saringan sehingga proses pemisahan partikel tanah berdasarkan ukuran butiran tanah. mesin ayakan dapat dilihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 mesin ayakan
Sumber: dokumentasi (2025)

15. Alat kuat geser

Alat kuat geser atau *direct shear test apparatus* merupakan perangkat laboratorium yang digunakan untuk mengukur parameter kuat geser tanah.



Gambar 3.17 alat kuat geser langsung
Sumber: dokumentasi (2025)

3.2.3. Bahan penelitian

Bahan penelitian yang digunakan untuk penelitian yaitu, tanah lempung, plastik. Dapat dilihat pada gambar 3.18

1. Tanah lempung

Sampel tanah yang digunakan dalam pengujian berasal dari Dusun Ketapang, Desa Kuta, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah. Pengambilan sampel dilakukan pada kedalaman 30-50 cm.



Gambar 3.18 pengambilan sampel tanah
Sumber: dokumentasi (2025)

2. Limbah *gypsum*

Limbah *gypsum* diambil dari Lokasi sumber limbah, Jl. Tgh.Moh. Rafil Hamdani. Karang pule, kec. Sekarbela, kota mataram, nusa Tenggara barat. Setelah pengambilan limbah *gypsum* dibersihkan dari kotoran kasar seperti tanah, debu berlebihan, dan material non-*gypsum*. Setelah pengambilan limbah *gypsum*, sampel terlebih dahulu dijemur di bawah sinar matahari, setelah melakukan pengeringan limbah *gypsum* kemudian dihancurkan menggunakan palu, atau menggunakan mortar. Setelah itu limbah *gypsum* hasil penghacuran kemudian disaring menggunakan ayakan No. 200.



Gambar 3.19 pengambilan sampel limbah *gypsum*
Sumber: dokumentasi (2025)

3.3. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dirancang untuk menganalisis pengaruh pada variasi campuran terhadap karakteristik pada sampel tanah. Data dari hasil pengujian dapat diolah dan disajikan dalam bentuk perhitungan, grafik, serta tabel untuk memperoleh nilai pada uji kuat geser tanah.

Pengujian ini dapat dilakukan menggunakan metode pada kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Test*). Seluruh tahapan pengujian dilaksanakan di laboratorium dengan mengacu pada standar ASTM (*American Society for Testing and Materials*) dan SNI (*Standar Nasional Indonesia*). Pengujian dilakukan pada tanah asli dan tanah dengan variasi campuran sebagai berikut:

- a. 5 % limbah gypsum
- b. 10 % limbah gypsum
- c. 15 % limbah gypsum
- d. 20 % limbah gypsum

Tabel 3.1 variasi campuran gypsum

Variasi campuran sampel	Jumlah sampel
Tanah asli (Ta)	1
Ta + Limbah <i>gypsum</i> 5%	1
Ta + Limbah <i>gypsum</i> 10%	1
Ta + Limbah <i>gypsum</i> 15%	1
Ta + Limbah <i>gypsum</i> 20%	1

3.4. Tahapan penelitian

3.4.1. Studi pustaka

Studi pustaka merupakan langkah-langkah yang dapat digunakan oleh peneliti dalam mengumpulkan data atau sumber pustaka, seperti , artikel, buku, jurnal yang relevan atau yang berkaitan dengan penelitian sehingga mempermudah dalam melakukan analisis tahap tahapan penelitian.

3.4.2. Pengambilan sampel tanah

Pada penelitian ini sampel tanah yang diambil berasal dari Dusun Merendeng, Desa Kuta, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah. Untuk alat-alat yang digunakan pada pengambilan sampel yaitu: cangkul, penggaris, karung atau tembilang. dalam pengambilan sampel tanah yang pertama kali dilakukan yaitu menggali tanah sedalam 35-50 cm. Yang bertujuan untuk menghindari tanah yang sudah dipengaruhi oleh cuaca maupun sampah yang ada di sekitar titik pengambilan sampel tanah.

3.5. Pengujian Hasil Penelitian

3.5.1. Uji kadar air

Pengujian ini merupakan sebagai tahap awal dalam menentukan kadar air alami tanah. Dimana digunakan sebagai acuan dalam pembuatan setiap benda uji. Jumlah minimum sampel tanah yang digunakan pada pengujian kadar air ditentukan berdasarkan ukuran butiran tanah dan harus mengikuti ketentuan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 menunjukkan ketentuan pengujian kadar air pada tanah dan batuan.

No	Ukuran partikel maksimum (100% lolos)	Ukuran saringan standar	Berat minimum benda uji basah yang direkomendasikan untuk Kadar air	
			$\pm 0,1 \%$	$\pm 1\%$
1	$\leq 2,0 \text{ mm}$	No. 10	20 gram	20 gram
2	4,75 mm	No. 4	100 gram	20 gram
3	9,5 mm	$\frac{3}{8} \text{ in}$	500 gram	50 gram
4	19,0 mm	$\frac{1}{4} \text{ in}$	2,5 gram	250 gram
5	37,5 mm	$1 \frac{1}{2} \text{ in}$	10 kg	1 kg
6	75,0 mm	3 in	50 kg	5 kg

(Sumber: SNI 1965-2008)

Pelaksanaan:

1. Bersihkan dan keringkan cawan kosong. Kemudian Timbang cawan kosong tersebut untuk mendapatkan berat cawan kosong (w_1).
2. Siapkan sampel tanah uji kadar air. Lalu masukkan sampel tanah (basah) ke dalam cawan kosong yang telah ditimbang sebelumnya, kemudian timbang sebagai berat cawan + tanah basah (w_2).
3. Tempatkan sampel tanah uji basah ke dalam oven dengan suhu ($105 - 100^\circ\text{C}$) selama 16 sampai 24 jam dengan cawan terbuka. Pasang tutup cawan di bawah cawan dengan menggunakan kertas penanda kode pembeda untuk masing-masing cawan. Setelah itu, ambil cawan dengan tanah kering dari dalam oven dan biarkan mendingin dalam desikator.
4. Dengan mengikuti langkah-langkah tersebut, dapat diperoleh data berat cawan kosong (w_1), berat cawan + tanah basah (w_2), atau berat cawan + tanah kering (w_3) yang nantinya akan digunakan untuk menghitung kadar air tanah.

3.5.2 Uji Berat Volume Tanah

Pengujian berat volume tanah bertujuan untuk menentukan perbandingan antara berat tanah dalam kondisi basah terhadap volumenya yang dinyatakan dalam satuan g/cm^3 . Pengambilan sampel dilakukan menggunakan silinder berdinding tipis yang ditekan ke dalam tanah sehingga diperoleh contoh tanah yang tidak terganggu. Metode ini kurang sesuai diterapkan pada tanah berpasir lepas maupun tanah berkerikil karena kondisi tanah tersebut menyulitkan proses pengambilan sampel secara utuh. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian berat volume tanah adalah sebagai berikut:

- a. Ambil cincin, kemudian bersihkan lalu timbang (w_1).
- b. Letakkan pada bagian tajam cincin ke permukaan tanah lalu tekan dengan secara hati-hati hingga tanah masuk kedalam cincin.
- c. Potong lalu ratakan kedua sisi menggunakan pisau
- d. Jika terdapat lubang kecil, maka lakukan penambalan dengan menggunakan tanah yang sama. Bersihkan sisa-sisa tanah yang menempel pada bagian luar cincin, kemudian timbang cincin beserta tanah ke dalamnya. menghitung volume tanah dengan mengukur dimensi dalam cincin dengan ketelitian 0,01 cm.

3.5.3 Uji Berat Jenis

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara berat tanah lembab dengan volume (g/cm^3). dibawah ini ada langkah-langkah untuk menguji uji berat jenis tanah

- a. Piknometer dibersihkan pada bagian dalam maupun luar, kemudian dikeringkan hingga bebas dari sisa air. Setelah itu, piknometer kosong ditimbang dan beratnya dicatat sebagai W_1 .
- b. Sampel tanah dihancurkan menggunakan pestel di dalam cawan porselen, kemudian dikeringkan di dalam oven. Setelah proses pengeringan selesai, tanah segera dimasukkan ke dalam piknometer hingga tertutup rapat, kemudian ditimbang dan dicatat sebagai berat piknometer beserta tanah (W_2).

- c. Air suling ditambahkan ke dalam piknometer hingga mencapai sekitar setengah sampai dua pertiga volumenya. Selanjutnya, gelembung udara yang terjebak di antara partikel tanah dihilangkan agar tidak memengaruhi hasil pengujian.
- d. Piknometer kemudian diisi kembali dengan air suling hingga penuh dan ditutup rapat. Bagian luar piknometer dikeringkan menggunakan kain kering, selanjutnya piknometer yang berisi tanah dan air ditimbang untuk memperoleh berat W_3 .
- e. Suhu air di dalam piknometer diukur menggunakan termometer dan dicatat dalam satuan derajat Celsius ($^{\circ}\text{C}$).
- f. Setelah pengukuran selesai, isi piknometer dikosongkan, kemudian alat dibersihkan dan diisi kembali dengan air suling hingga penuh. Piknometer ditutup rapat, bagian luarnya dikeringkan menggunakan kain, kemudian siap untuk penimbangan berikutnya.

3.5.4 Uji batas cair

Pengujian batas cair (*liquid limit*) dilakukan untuk menentukan hasil kadar air pada tanah yang berubah dari kondisi plastis menjadi kondisi cair. Pengujian ini menggunakan alat Casagrande dengan prosedur dan jumlah ketukan yang telah ditetapkan sebagai acuan. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian batas cair tanah adalah sebagai berikut:

- a. Siapkan contoh tanah sebanyak ± 200 gram, kemudian letakkan di dalam mangkuk porselen. Tambahkan sekitar 15–20 mL air suling, lalu aduk hingga merata. Apabila campuran masih kurang plastis, tambahkan air secara bertahap sebanyak 1–3 mL sambil terus diaduk menggunakan spatula hingga diperoleh campuran yang benar-benar homogen. Selanjutnya, ratakan permukaan tanah dan buat alur pengujian sesuai ketentuan.
- b. Pada pengujian awal, jumlah ketukan yang diharapkan berkisar antara 30–40 ketukan. Apabila jumlah ketukan melebihi 40 kali, hal tersebut menunjukkan bahwa kadar air tanah masih terlalu rendah. Sampel kemudian dikembalikan ke dalam mangkuk porselen, ditambahkan air suling sedikit demi sedikit, dan diaduk hingga homogen. Setelah itu, mangkuk Casagrande dibersihkan

menggunakan air, dikeringkan dengan kain, kemudian proses pengujian diulangi hingga diperoleh jumlah ketukan yang sesuai.

- c. Setelah jumlah ketukan tercapai, segera ambil contoh tanah dari bagian sekitar alur menggunakan spatula, termasuk tanah yang berada pada daerah pertemuan kedua sisi alur, untuk dilakukan pengujian kadar air. Seluruh tahapan pengujian diulangi sehingga diperoleh sedikitnya tiga atau empat pasang data hubungan antara kadar air dan jumlah ketukan dalam rentang 15–35 ketukan. Perbedaan jumlah ketukan antar pengujian diusahakan relatif merata, dan pelaksanaan pengujian sebaiknya dimulai dari kondisi tanah yang lebih kaku menuju kondisi yang lebih cair.

3.5.5 Batas plastis dan indeks plastisitas tanah

Pengujian batas plastis (*plastic limit*) bertujuan untuk menentukan kadar air minimum pada sampel tanah yang masih memungkinkan tanah berada dalam kondisi plastis. Nilai tersebut menunjukkan batas perubahan tanah dari kondisi plastis menjadi kondisi semi padat. Adapun prosedur pelaksanaan pengujian batas plastis dan penentuan indeks plastisitas tanah diuraikan sebagai berikut:

- a. Siapkan sampel tanah, kemudian letakkan ke dalam cawan porselen. Tambahkan air secukupnya secara bertahap, lalu aduk hingga campuran menjadi homogen. Penambahan air dilakukan sampai sampel tanah memiliki kadar air yang cukup sehingga berada dalam kondisi plastis dan siap untuk dilakukan pengujian.

3.5.6. Analisa Saringan Dan Hidrometer

Pengujian analisis saringan dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah berdasarkan ukuran bukaan saringan yang digunakan dalam penelitian. Hasil pengujian ini digunakan untuk mengetahui gradasi butiran tanah sebagai salah satu dasar klasifikasi tanah. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian analisis saringan dan hidrometer dijelaskan sebagai berikut:

- a. Siapkan sampel tanah yang telah dikeringkan sesuai ketentuan, kemudian hancurkan secara perlahan menggunakan alat penumbuk. Penumbukan dilakukan secukupnya agar butiran halus tidak melekat pada butiran kasar serta untuk mencegah pecahnya butiran batuan yang terdapat dalam sampel.
- b. Setelah proses penumbukan selesai, sampel tanah dikeringkan kembali di dalam

- oven untuk menghilangkan kadar air yang mungkin terserap selama proses penumbukan.
- c. Siapkan benda uji sesuai jumlah minimum yang dipersyaratkan berdasarkan ukuran butir maksimum, kemudian timbang dan catat berat awalnya sebagai W_1 .
 - d. Susun saringan yang akan digunakan mulai dari saringan No. 4 hingga saringan No. 200 secara berurutan, yaitu dari ukuran bukaan terbesar ke ukuran bukaan terkecil.
 - e. Pastikan sampel tanah memiliki kondisi plastis, mudah dibentuk menjadi bola, dan tidak terlalu melekat pada jari ketika ditekan.
 - f. Ambil contoh tanah seberat ± 8 gram, kemudian bentuk menjadi bola atau elipsoid dengan diameter sekitar 13 mm. Selanjutnya, gulung sampel di atas pelat kaca yang diletakkan pada bidang datar menggunakan telapak tangan dengan tekanan yang merata.
 - g. Proses penggulungan dilakukan dengan gerakan maju–mundur secara perlahan hingga terbentuk batang tanah yang seragam. Lanjutkan hingga diameter batang mencapai ketentuan dan mulai terlihat retakan pada permukaannya.
 - h. Pasang susunan saringan pada mesin penggetar (sieve shaker), kemudian masukkan benda uji ke dalam saringan. Jalankan mesin selama 10–15 menit, setelah itu matikan mesin dan lepaskan susunan saringan.
 - i. Timbang berat tanah yang tertahan pada setiap saringan, termasuk material yang lolos saringan No. 200, kemudian catat hasil penimbangannya.
 - j. Material yang lolos saringan No. 200 digunakan sebagai sampel untuk pengujian analisis hidrometer.
 - k. Campurkan sampel dengan larutan pendispersi (deflocculating agent), kemudian aduk hingga homogen menggunakan spatula dan biarkan campuran terendam selama 24 jam.
 - l. Siapkan 125 mL larutan deflocculating agent, kemudian masukkan ke dalam gelas ukur berkapasitas 1000 mL. Tambahkan air suling hingga mencapai volume 1000 mL, lalu aduk hingga larutan tercampur merata.
 - m. Setelah perendaman selesai, pindahkan seluruh campuran ke dalam mangkuk mixer. Tambahkan air suling hasil pembilasan gelas beker (beaker), kemudian

- aduk menggunakan mixer selama kurang lebih 2 menit hingga homogen.
- n. Tuangkan campuran ke dalam gelas ukur berkapasitas 1000 mL. Tambahkan air suling hasil pembilasan mangkuk mixer secara hati-hati hingga volume tepat mencapai 1000 mL.
 - o. Tutup rapat mulut gelas ukur menggunakan telapak tangan atau plastik agar larutan tidak tumpah, kemudian kocok selama ± 1 menit hingga campuran tercampur sempurna. Pastikan tidak ada material yang tertinggal pada dasar atau dinding tabung.
 - p. Setelah pengocokan selesai, segera tempatkan gelas ukur ke dalam water bath. Masukkan hidrometer secara perlahan hingga mengapung bebas, kemudian catat waktu awal pengujian beserta pembacaan hidrometer.
 - q. Pembacaan hidrometer (R_a) dan suhu menggunakan termometer dilakukan pada menit ke-2, 5, 30, 60, 250, hingga 1440. Pada setiap waktu pembacaan, masukkan hidrometer ke dalam tabung uji, tunggu hingga waktu yang ditentukan, kemudian catat hasilnya. Setelah pembacaan selesai, angkat hidrometer dan bersihkan menggunakan air suling.
 - r. Hidrometer dimasukkan kembali ke dalam tabung uji pada waktu pembacaan berikutnya sesuai jadwal yang telah ditentukan. Prosedur pembacaan dilakukan dengan cara yang sama hingga seluruh waktu pengamatan selesai.
 - s. Amati selisih antara batas atas meniskus permukaan air dan posisi pembacaan hidrometer. Nilai tersebut digunakan sebagai koreksi meniskus (M_c) selama proses analisis.
 - t. Setelah seluruh pengujian selesai, bersihkan semua peralatan, bahan, dan area kerja. Selanjutnya, simpan kembali seluruh peralatan pada tempat yang telah disediakan.

3.6. Pengujian Sifat Mekanis

Dalam mengidentifikasi sifat mekanis tanah, terdapat beberapa jenis pengujian yang umum digunakan, yaitu:

3.6.1. Pemadatan

Pengujian pemadatan tanah dapat dilakukan untuk menentukan hubungan antara kadar air atau berat isi kering tanah, sehingga dapat diperoleh nilai kadar air

optimum (*optimum moisture content*) serta berat isi kering maksimum (*maximum dry density*). Hasil pengujian ini digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi karakteristik pemadatan tanah. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian pemadatan tanah adalah sebagai berikut:

- a. Apabila sampel tanah masih dalam kondisi basah, lakukan pengeringan terlebih dahulu dengan cara diangin-anginkan atau menggunakan oven pada suhu tidak lebih dari 60°C. Pengeringan dilakukan secukupnya hingga gumpalan tanah mudah dihancurkan menjadi butiran menggunakan penumbuk karet.
- b. Ayak tanah yang telah dihancurkan menggunakan saringan No. 4. Material yang lolos saringan digunakan sebagai sampel pengujian, sedangkan butiran yang tertahan dibuang atau dihancurkan kembali apabila masih berupa gumpalan tanah.
- c. Siapkan tanah yang lolos saringan No. 4 sebagai benda uji dengan jumlah yang mencukupi. Setiap sampel memerlukan sekitar 2 kg tanah, dengan jumlah keseluruhan lima sampel untuk pelaksanaan pengujian.
- d. Bagi tanah menjadi lima bagian yang sama, kemudian tambahkan air pada masing-masing sampel secara bertahap hingga tercampur merata. Volume air yang diberikan dibuat berbeda pada setiap sampel agar diperoleh variasi kadar air.
- e. Sampel pertama diberi air paling sedikit sehingga tanah hanya menggumpal ketika digenggam dan masih relatif kering. Sebaliknya, sampel kelima diberi air paling banyak sehingga memiliki kadar air tertinggi. Penambahan air pada sampel kedua, ketiga, dan keempat dilakukan secara bertahap sehingga kadar airnya berada di antara kedua kondisi tersebut.
- f. Pada tanah lempung, air memerlukan waktu lebih lama untuk meresap secara merata ke dalam sampel. Oleh karena itu, diperlukan perlakuan khusus sebelum proses pemadatan, yaitu sebagai berikut.
 1. Setelah tanah dicampur dengan air hingga homogen, simpan setiap sampel di dalam wadah atau kantong plastik yang kedap udara agar kadar air tetap terjaga. Sampel kemudian didiamkan selama kurang lebih 12 jam sebelum dilakukan pengujian. Prosedur ini diterapkan pada seluruh sampel, dan

untuk tanah lempung disarankan menyiapkan benda uji dalam jumlah yang lebih banyak.

2. Siapkan lima benda uji dengan berat masing-masing sekitar 2 kg. Setiap sampel dicampur dengan volume air yang berbeda sehingga diperoleh variasi kadar air, kemudian disimpan dalam wadah tertutup atau kantong plastik kedap udara hingga waktu pengujian.
3. Bersihkan silinder pemadatan sebelum digunakan, kemudian timbang berat silinder kosong menggunakan timbangan dengan ketelitian ± 5 gram. Berat tersebut dicatat sebagai W_1 .
4. Setelah proses pemeraman selama ± 12 jam selesai, pasang pelat dasar dan silinder sambungan pada cetakan pemadatan. Tempatkan cetakan di atas alas yang kokoh dan stabil agar energi pemadatan tidak berkurang selama penumbukan. Apabila diperlukan, gunakan balok beton dengan berat minimum sekitar 90 kg sebagai alas penyangga.
5. Masukkan tanah ke dalam silinder dalam tiga lapisan dengan ketebalan yang sama. Setiap lapisan dipadatkan menggunakan penumbuk standar seberat 2,5 kg sesuai prosedur hingga tinggi tanah sedikit melebihi bibir cetakan sekitar 0,5 cm. Setelah proses pemadatan selesai, lepaskan silinder sambungan, ratakan permukaan tanah menggunakan spatula, dan tutup lubang-lubang kecil dengan tanah yang sama hingga permukaannya rata. Selanjutnya, timbang cetakan beserta tanah dan catat beratnya sebagai W_2 .
6. Keluarkan benda uji dari dalam silinder, kemudian ambil contoh tanah dari bagian atas, tengah, atau bawah secukupnya untuk pengujian kadar air. Masukkan sampel ke dalam cawan yang telah disiapkan, kemudian timbang dan catat beratnya sebagai W_3 .
7. Seluruh prosedur di atas diulangi hingga diperoleh lima data hasil pengujian dengan variasi kadar air yang berbeda, sehingga dapat ditentukan hubungan antara kadar air dan berat isi kering, termasuk nilai kadar air optimum (*optimum moisture content*) dan berat isi kering maksimum (*maximum dry density*).

3.6.2. Kuat Geser Langsung

Pengujian ini bertujuan sebagai pedoman dalam pelaksanaan uji geser langsung (*Direct Shear Test*) di laboratorium dengan metode terkonsolidasi dan terdrainase (*consolidated drained*). Pengujian dilakukan pada sampel tanah terganggu maupun tidak terganggu untuk memperoleh parameter kuat geser tanah, seperti nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ), dengan memberikan kesempatan terjadinya proses drainase serta menerapkan kecepatan pergeseran yang konstan selama pengujian. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian kuat geser langsung adalah sebagai berikut:

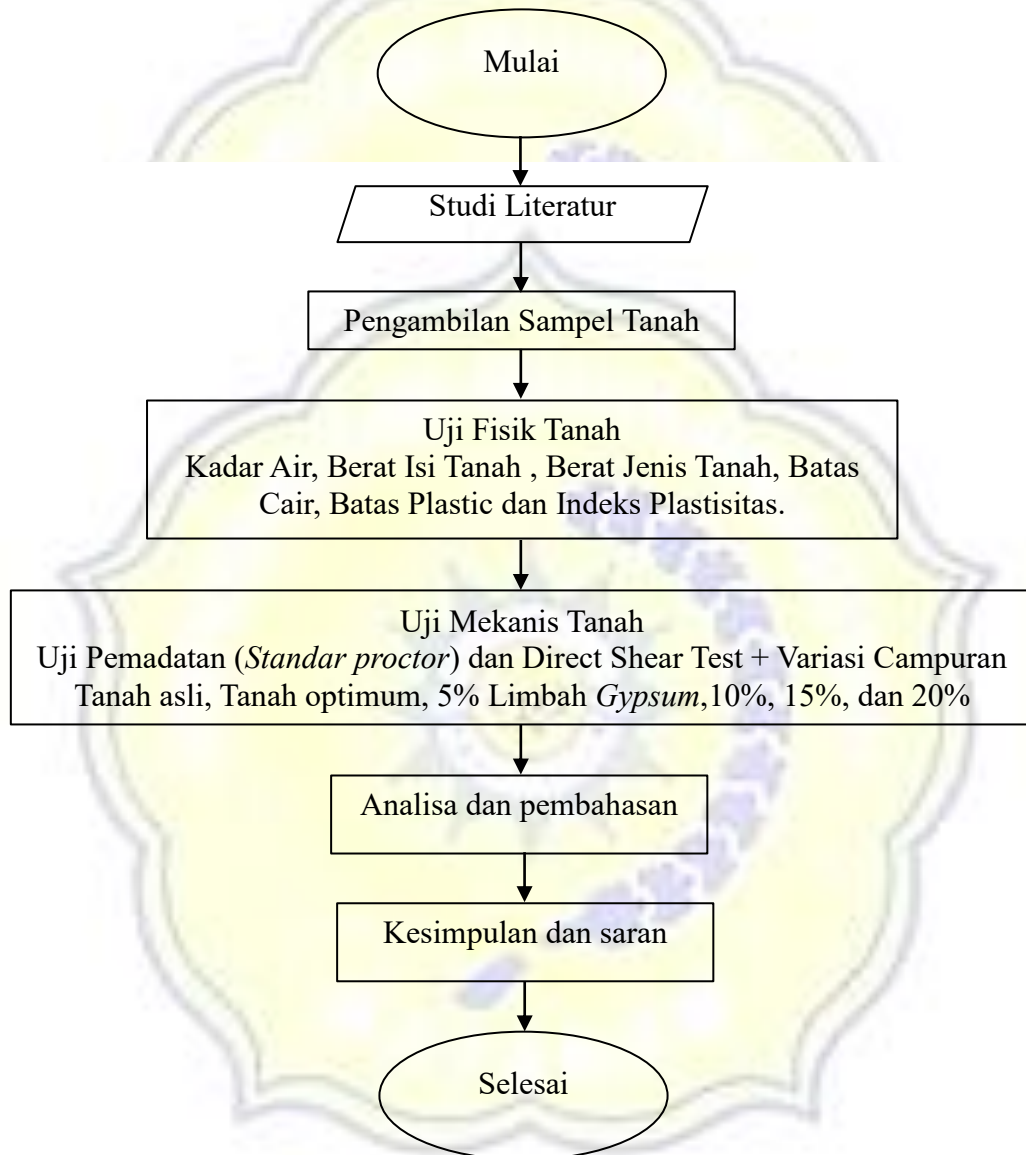
- a. Ukur diameter bagian dalam dan tinggi cincin cetak menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,1 mm. Selanjutnya, timbang cincin cetak menggunakan neraca dengan ketelitian 0,01 gram dan catat hasilnya.
- b. Siapkan benda uji di dalam cincin cetak, kemudian ratakan permukaan bagian atas dan bawah sampel menggunakan pisau perata atau gergaji kawat hingga diperoleh permukaan yang rata.
- c. Timbang benda uji beserta cincin cetak menggunakan neraca dengan ketelitian 0,01 gram.
- d. Keluarkan kotak geser (*shear box*) dari bak perendaman secara hati-hati, kemudian pasang baut pengunci pada bagian atas dan bawah agar kedua bagian kotak geser menyatu dan tidak bergeser selama pemasangan benda uji.
- e. Pasang pelat dasar pada bagian bawah kotak geser, kemudian letakkan batu pori (*porous stone*) di atas pelat tersebut.
- f. Pasang pelat berlubang yang beralur dengan posisi alur menghadap ke atas serta tegak lurus terhadap arah bidang geser.
- g. Tempatkan kembali kotak geser ke dalam bak air, kemudian kencangkan baut penjepit hingga posisi kotak geser stabil.
- h. Keluarkan benda uji dari cincin cetak menggunakan alat pendorong sampel, kemudian masukkan secara hati-hati ke dalam kotak geser.
- i. Letakkan batu pori pada bagian atas benda uji, kemudian pasang pelat pembebanan sehingga posisinya tepat di atas sampel.
- j. Pasang rangka pembebanan vertikal, kemudian atur posisinya hingga tegak lurus

terhadap benda uji sebagai posisi awal pengujian.

- k. Pasang dial indikator untuk mengukur deformasi vertikal, kemudian lakukan penyetelan hingga jarum penunjuk berada pada posisi nol.
- l. Pasang dial indikator untuk mengukur pergeseran horizontal, kemudian atur posisinya hingga menyentuh bak air dan pastikan pembacaan awal berada pada angka nol.
- m. Isi bak pengujian dengan air hingga seluruh benda uji dan batu pori terendam sempurna.
- n. Berikan beban normal pertama sesuai dengan prosedur dan ketentuan pengujian yang berlaku.
- o. Hubungkan alat ke sumber listrik, kemudian hidupkan alat dan atur kecepatan pergeseran menggunakan pengatur kecepatan (variable speed) sesuai kebutuhan. Setelah proses pembebanan geser dimulai, lakukan pembacaan pada proving ring dan dial indikator setiap 15 detik hingga tercapai beban maksimum atau deformasi sebesar 10% dari diameter benda uji.
- p. Untuk benda uji kedua, terapkan beban normal sebesar dua kali beban normal yang diberikan pada pengujian pertama, kemudian ulangi prosedur pengujian yang sama.
- q. Pada benda uji ketiga, berikan beban normal sebesar tiga kali beban normal awal.
- r. Selanjutnya, laksanakan pengujian pada benda uji tersebut dengan mengikuti prosedur yang sama seperti pada pengujian sebelumnya hingga seluruh data yang diperlukan diperoleh.

3.7. Bagan Alir Penelitian

Diagram Alir Penelitian Diagram ini menunjukkan alur kerja penelitian secara berurutan, mulai dari identifikasi masalah hingga kesimpulan.



Gambar 3.20 diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Penelitian terhadap sampel tanah dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram. Secara umum kegiatan penelitian ini dilakukan pada lokasi berasal dari Lokasi penelitian di tentukan yaitu Dusun Merendeng Desa Kuta. Pada sampel tanah dilakukan uji terhadap sifat fisik dan mekanik, berupa pengujian kadar air, berat jenis tanah, berat isi tanah, analisis hidrometer dan saringan gradasi butiran, batas-batas Atterberg, batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, pemadatan tanah dan kuat geser.

4.2. Hasil Uji Sifat-Sifat Fisik Tanah

4.2.1. Pengujian kadar air awal tanah

Nilai prosentase untuk pengujian kadar air yang dilakukan di lokasi Dusun Merendeng Kecamatan. Pujut Kabupaten Lombok Tengah. Setelah pengambilan sampel tanah dari tanah asli disajikan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pengujian kadar air tanah

No	No. Pengujian	Satuan	Sampel		
			1	2	3
1	Berat cawan kosong (W_1)	gr	5,21	5,45	5,22
2	Berat cawan + tanah basah (W_2)	gr	50,20	50,35	50,31
3	Berat cawan + tanah kering (W_3)	gr	41,47	40,83	40,51
4	Berat air ($A = W_2 - W_3$)	gr	8,73	9,52	9,8
5	Berat tanah kering ($B = W_3 - W_1$)	gr	36,26	35,38	35,29
6	Kadar Air ($W = A/B \times 100\%$)	%	24,08	26,91	27,77
7	Kadar air rata - rata	%	26,25		

(sumber: hasil analisa perhitungan, 2025)

hasil uji kadar air tanah asli, kadar air tanah Dusun Merendeng Kecamatan Pujut Kabupaten Lombok Tengah, sampel 1 sebesar 24,08%, sampel 2 sebesar 26,91%, sampel 3 sebesar 27,77% dan sampel 3 sebesar setiap benda uji. Hasil pengujian untuk kadar air rata-rata 26,25%

4.2.2. Pengujian Berat Volume Tanah

Pengujian pada berat volume tanah ini dilakukan agar menentukan berat isi tanah. Yaitu dilakukan perbandingan antara berat tanah basah atau volume kedalam satuan g/cm^3 . Pengujian ini menggunakan cincin (*ring*), jangka sorong, pisau atau spatula, serta timbangan dengan ketelitian 0,001 gram. Hasil pengujian berat volume dan kadar air tanah asli disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengujian berat isi tanah

No	Pengujian	Satuan	Sampel	
			1	2
1	Berat Cincin	gr	54,46	54,45
2	Berat cincin + Tanah Basah	gr	117,62	120,67
3	Berat Tanah Basah (W)	gr	72,38	75,57
2	Berat Cawan Kosong (W1)	gr	5,23	5,44
3	Berat Cawan + Tanah Basah (W2)	gr	67,71	67,82
4	Berat Cawan + Tanah Kering (W3)	gr	54,45	55,09
5	Berat Air A = (W2-W1)	gr	13,26	12,73
6	Berat Kering B = (W3-W1)	gr	49,22	49,65
7	Diameter Cincin	cm	5,5	5,5
8	Tinggi Cincin	cm	2	2
9	Volume Cincin	cm^3	47,51	47,51
10	Kadar Air (A/B) x 100%	%	26,94	25,64
11	Kadar Air Rata-rata	%	26,29	
12	Berat Isi Tanah Basah γ_b	gr/cm^3	1,52	1,59
13	Berat Isi Rata-rata Tanah Basah (w)	gr/cm^3	1,56	
14	Berat Isi Tanah Kering γ_d	gr/cm^3	1,29	

(Sumber: hasil analisa perhitungan, 2025)

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.2, tanah dari Dusun Merendeng memiliki berat isi basah rata-rata sebesar $1,56 \text{ g/cm}^3$ dan berat isi kering rata-rata sebesar $1,29 \text{ g/cm}^3$.

4.2.3. Berat jenis tanah

Pada pengujian berat jenis tanah (G_s) dimana dilakukan agar menentukan nilai pada perbandingan berat butiran tanah (γ_d) dan berat air (γ_b) dengan volume yang sama pada suhu tertentu, umumnya suhu yang digunakan sebesar 30°C dari hasil pengujian berat jenis dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Pengujian berat jenis tanah

No	Piknometer	satuan	Sampel	
			1	2
1	Berat Piknometer Kosong (W1)	gr	25,58	25,21
2	Berat Piknometer + Tanah Kering (W2)	gr	57,31	57,28
3	Berat Piknometer + Tanah + Air (W3)	gr	96,40	95,90
4	Berat Piknometer + Air (W4)	gr	78,89	78,56
5	Temperatur	°C	30	30
6	A = W2-W1		31,73	32,07
7	B = W3-W4		17,51	17,34
8	C = A-B		14,22	14,73
9	Berat jenis G1 = A/C		2,23	2,18
10	Rata-rata G1		2,20	
11	Berat jenis air pada suhu t°C		0,9957	
12	$G \text{ untuk } 27,5 - G1 = \frac{BJ \text{ AIR } 30^{\circ}\text{C}}{BJ \text{ AIR } 27,5^{\circ}\text{C}} = 2,13 \frac{0,9957}{0,9964}$		2,20	

(sumber: hasil analisa perhitungan, 2025)

Dari hasil pengujian berat jenis menunjukkan bahwa nilai berat jenis tanah pada Dusun Merendeng, Desa Kuta, Kabupaten Lombok Tengah, sebesar 2.20.

4.2.4. Pengujian Batas Cair Tanah (*liquid limit*)

Pada pengujian batas cair tanah dimana menggunakan alat Casagrande dengan berbagai variasi jumlah pukulan 10–15, 15–20, 20–30, dan 30–40 kali. Nilai batas cair diperoleh dari tabel hubungan antara kadar air dan jumlah pukulan. Pengujian ini bertujuan mengetahui tingkat plastisitas tanah, menilai respons tanah terhadap perubahan kadar air, membantu klasifikasi tanah, serta menjadi dasar perhitungan indeks plastisitas ($IP = LL - PL$).

1. Pengujian batas cair tanah asli.

pengujian batas cair dilakukan dengan menggunakan alat casagrande 100-150 per seri percobaan dan telah lolos saringan No. 40. Untuk hasil pengujian batas cair Sampel tanah asli dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.4 Pengujian batas cair tanah asli

no	percobaan no.	satuan	I		II		III		IV	
	jumlah pukulan		33		28		24		17	
	no.cawan		1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
1	berat cawan kosong (W1)	gr	5,29	5,24	5,41	5,48	5,30	5,46	5,23	5,31
2	berat cawan + tanah basah (W2)	gr	41,35	39,59	34,41	33,82	38,92	38,93	38,61	39,76
3	berat cawan + tanah kering (W3)	gr	30,64	29,38	25,08	24,73	27,45	27,36	26,41	27,21
4	berat air (Ww=W2-W3)	gr	10,71	10,21	9,33	9,09	11,47	11,57	12,2	12,55
5	Berat tanah kering (Ws=W3-W1)	gr	25,35	24,14	19,67	19,25	22,15	21,9	21,18	21,9
6	kadar air (w=Ww/Ws X 100%)	%	42,25	42,29	47,43	47,22	51,78	52,83	57,60	57,31
7	Kadar air tanah rata-rata	%	42,27		47,33		52,31		57,45	
8	BATAS CAIR	%	50,32							

(sumber: hasil analisa perhitungan, 2025)

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa semakin sedikit pukulan yang dihasilkan maka semakin besar kadar air yang diperoleh. nilai rata rata kadar air yang paling kecil didapatkan ada pada pukulan 33 sebesar 42,27% dan paling besar ada pada pukulan 17 sebesar 57,45% berikut adalah grafik yang dibuat menggunakan nilai rata rata kadar air tanah dengan jumlah pukulan untuk mengetahui batas cair tanah.



Gambar 4.1 Grafik batas cair tanah asli

(sumber: Hasil analisa Perhitungan 2025)

$$X = 25$$

$$Y = -0,9594x + 74,305$$

$$Y = -0,9594 \times (25) + 74,305$$

$$Y = 50,32\%$$

Dari hasil grafik diatas, diperoleh batas cair tanpa campuran sebesar 50,32%.

2. Batas cair pada variasi campuran tanah asli dan campuran limbah gypsum 5%
Hasil dari pengujian batas cair tanah asli dan campuran limbah gypsum 5% dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.5 Pengujian batas cair tanah asli + limbah gypsum 5%

no	percobaan no.	satuan	I		II		III		IV	
	jumlah pukulan		32		27		23		16	
	no.cawan		1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
1	berat cawan kosong (W1)	gr	5,32	5,31	5,45	5,28	5,27	5,34	5,42	5,33
2	berat cawan + tanah basah (W2)	gr	53,16	48,32	56,97	56,29	57,21	57,60	54,75	54,75
3	berat cawan + tanah kering (W3)	gr	39,56	36,27	41,58	41,17	40,75	40,96	38,22	38,23
4	berat air (Ww=W2-W3)	gr	13,6	12,05	15,39	15,12	16,46	16,64	16,53	16,52
5	Berat tanah kering (Ws=W3-W1)	gr	34,24	30,96	36,13	35,89	35,48	35,62	32,8	32,9
6	kadar air (w=Ww/Ws X 100%)	%	39,72	38,92	42,60	42,13	46,39	46,72	50,40	50,21
7	Kadar air tanah rata-rata	%	39,32		42,36		46,55		50,30	
8	BATAS CAIR	%	44,28							

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

Dari tabel diatas menunjukan bahwa semakin sedikit pukulan yang dihasilkan maka semakin besar kadar air yang diperoleh. nilai rata rata kadar air yang paling kecil didapatkan ada pada pukulan 32 sebesar 39,32% dan paling besar ada pada pukulan 16 sebesar 50,30% berikut adalah grafik yang dibuat menggunakan nilai rata rata kadar air tanah dengan jumlah pukulan untuk mengetahui batas cair tanah.



Gambar 4.2 Grafik penentuan batas cair tanah asli + limbah gypsum 5 %

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

$$X = 25$$

$$Y = -0,7049x + 61,903$$

$$Y = -0,7049 \times (25) + 61,903$$

$$Y = 44,28\%$$

Dari hasil grafik diatas, diperoleh batas cair tanah asli + limbah gysum 5% sebesar 44,28%.

3. Batas cair pada variasi campuran tanah asli dan limbah gypsum 10%

Hasil dari pengujian batas cair tanah asli dan campuran limbah gypsum 10% dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.6 Pengujian batas cair tanah asli + limbah gypsum 10%

no	percobaan no.	satuan	I		II		III		IV	
	jumlah pukulan		31		26		22		15	
	no.cawan		1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
1	berat cawan kosong (W1)	gr	5,27	5,52	5,38	5,30	5,19	5,17	5,35	5,27
2	berat cawan + tanah basah (W2)	gr	59,59	60,30	60,46	60,42	60,30	60,37	61,56	60,67
3	berat cawan + tanah kering (W3)	gr	45,22	46,19	44,70	44,88	43,71	43,76	43,49	42,92
4	berat air (Ww=W2-W3)	gr	14,37	14,11	15,76	15,54	16,59	16,61	18,07	17,75
5	Berat tanah kering (Ws=W3-W1)	gr	39,95	40,67	39,32	39,58	38,52	38,59	38,14	37,65
6	kadar air (w=Ww/Ws X 100%)	%	35,97	34,69	40,08	39,26	43,07	43,04	47,38	47,14
7	Kadar air tanah rata-rata	%	35,33		39,67		43,06		47,26	
8	BATAS CAIR	%	40,21							

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

Dari tabel diatas menunjukan bahwa semakin sedikit pukulan yang dihasilkan maka semakin besar kadar air yang diperoleh. nilai rata rata kadar air yang paling kecil didapatkan ada pada pukulan 31 sebesar 35,33% dan paling besar ada pada pukulan 15 sebesar 47,26% berikut adalah grafik yang dibuat menggunakan nilai rata rata kadar air tanah dengan jumlah pukulan untuk mengetahui batas cair tanah.



Gambar 4.3 Grafik penentuan batas cair tanah asli + limbah gypsum 10%

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

$$X = 25$$

$$Y = -0,7456x + 58,852$$

$$Y = -0,7456 \times (25) + 58,852$$

$$Y = 40,21\%$$

Dari hasil grafik diatas, diperoleh batas cair tanah asli + limbah gysum 10% sebesar 40,21%.

4. Batas cair pada variasi campuran tanah asli dan limbah gypsum 15%

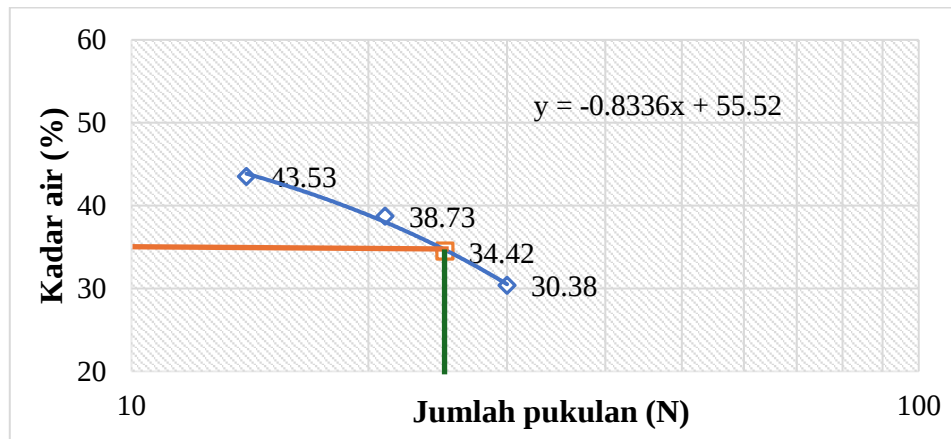
Hasil dari pengujian batas cair tanah asli dan campuran limbah gypsum 15% dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.7 Pengujian batas cair tanah asli + limbah gypsum 15%

no	percobaan no.	satuan	I		II		III		IV	
	jumlah pukulan		30		25		21		14	
	no.cawan		1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
1	berat cawan kosong (W1)	gr	5,19	5,35	5,38	5,47	5,23	5,48	5,41	5,34
2	berat cawan + tanah basah (W2)	gr	57,53	56,20	59,62	59,17	58,74	58,74	59,75	58,65
3	berat cawan + tanah kering (W3)	gr	45,45	44,24	45,73	45,42	43,81	43,86	43,55	42,21
4	berat air (Ww=W2-W3)	gr	12,08	11,96	13,89	13,75	14,93	14,88	16,2	16,44
5	Berat tanah kering (Ws=W3-W1)	gr	40,26	38,89	40,35	39,95	38,58	38,38	38,14	36,87
6	kadar air (w=Ww/Ws X 100%)	%	30,00	30,75	34,42	34,42	38,70	38,77	42,48	44,59
7	Kadar air tanah rata-rata	%	30,38		34,42		38,73		43,53	
8	BATAS CAIR	%	34,68							

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

Dari tabel diatas menunjukan bahwa semakin sedikit pukulan yang dihasilkan maka semakin besar kadar air yang diperoleh. nilai rata rata kadar air yang paling kecil didapatkan ada pada pukulan 30 sebesar 30,38% dan paling besar ada pada pukulan 14 sebesar 43,53% berikut adalah grafik yang dibuat menggunakan nilai rata rata kadar air tanah dengan jumlah pukulan untuk mengetahui batas cair tanah.



Gambar 4.4 Grafik penentuan batas cair tanah asli + limbah gypsum 15%
(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

$$X = 25$$

$$Y = -0,8336x + 55,52$$

$$Y = -0,8336 \times (25) + 55,52$$

$$Y = 34,68\%$$

Dari hasil grafik diatas, diperoleh batas cair tanah asli + limbah gypsum 15% sebesar 34,68%.

5. Batas cair pada variasi campuran tanah asli dan limbah gypsum 20%

Hasil dari pengujian batas cair tanah asli dan campuran limbah gypsum 20% dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

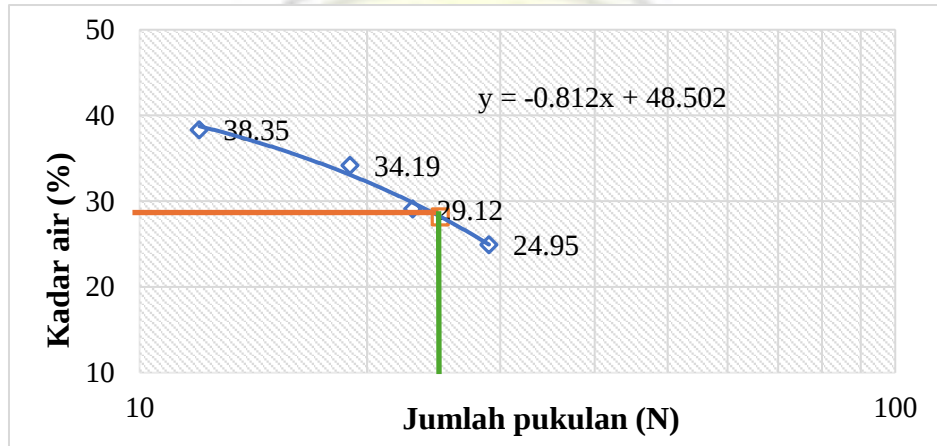
Tabel 4.8 Pengujian batas cair tanah asli + limbah gypsum 20%

no	percobaan no.	satuan	I		II		III		IV	
	jumlah pukulan		29		23		19		12	
	no.cawan		1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
1	berat cawan kosong (W1)	gr	5,15	5,26	5,52	5,31	5,25	5,40	5,41	5,34
2	berat cawan + tanah basah (W2)	gr	58,53	58,20	59,62	59,53	58,74	58,74	59,75	58,65
3	berat cawan + tanah kering (W3)	gr	47,85	47,65	47,37	47,35	45,12	45,14	44,75	43,81
4	berat air (Ww=W2-W3)	gr	10,68	10,55	12,25	12,18	13,62	13,6	15	14,84
5	Berat tanah kering (Ws=W3-W1)	gr	42,7	42,39	41,85	42,04	39,87	39,74	39,34	38,47
6	kadar air (w=Ww/Ws X 100%)	%	25,01	24,89	29,27	28,97	34,16	34,22	38,13	38,58
7	Kadar air tanah rata-rata	%	24,95		29,12		34,19		38,35	
8	BATAS CAIR	%	28,20							

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

Dari tabel diatas menunjukan bahwa semakin sedikit pukulan yang dihasilkan maka semakin besar kadar air yang diperoleh. nilai rata rata kadar air yang paling kecil didapatkan ada pada pukulan 29 sebesar 24,95% dan paling besar

ada pada pukulan 12 sebesar 38,35% berikut adalah grafik yang dibuat menggunakan nilai rata rata kadar air tanah dengan jumlah pukulan untuk mengetahui batas cair tanah.



Gambar 4.5 Grafik penentuan batas cair tanah asli + limbah gypsum 20%

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

$$X = 25$$

$$Y = -0,812x + 48,502$$

$$Y = -0,812 \times (25) + 48,502$$

$$Y = 28,20\%$$

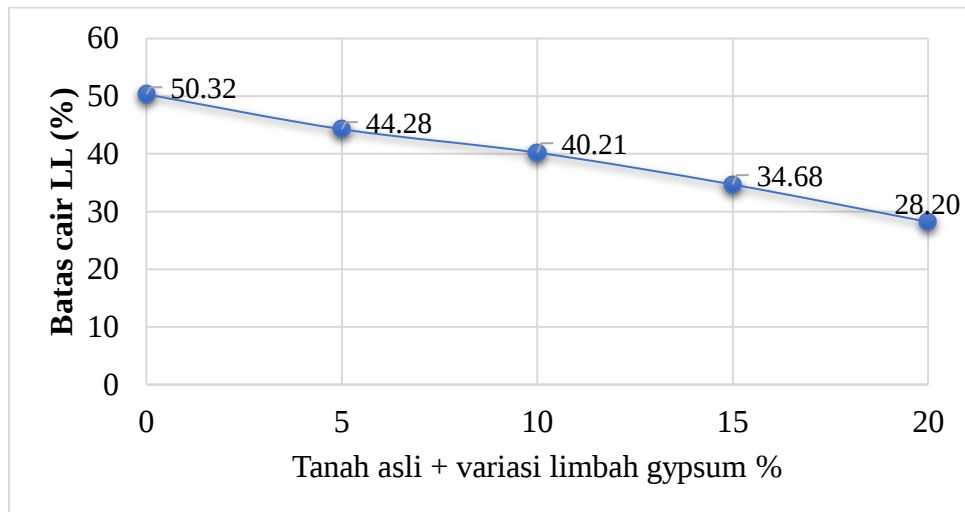
Dari hasil grafik diatas, diperoleh batas cair tanah asli + limbah gypsum 20% sebesar 28,20%.

Rekapitulasi hasil dari pengujian batas cair tanah pada sampel tanah asli dengan variasi campuran limbah gypsum 5%, 10%, 15% 20% dapat dilihat pada Tabel dibawah ini:

Tabel 4.9 Pengujian batas cair campuran

NO	Pengujian	LL
1	Tanah asli	50,32
2	Tanah asli+ limbah gypsum 5%	44,28
3	Tanah asli+ limbah gypsum 10%	40,21
4	Tanah asli+ limbah gypsum 15%	34,68
5	Tanah asli+ limbah gypsum 20%	28,20

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)



Gambar 4.6. Grafik Hubungan batas cair tanah asli dengan variasi limbah gypsum

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa pengaruh penambahan limbah gypsum mengalami penurunan pada batas cair di setiap variasinya. Semakin banyak penambahan bahan limbah gypsum, maka batas cair tanah semakin turun, dimana sebelum penambahan bahan limbah gypsum nilai batas cair tanah asli 50,32% sedangkan setelah penambahan limbah gypsum 5% nilai batas cair turun menjadi 44,28%, variasi limbah gypsum 10% sebesar 40,21%, dan variasi limbah gypsum 15% nilai batas cair 34,68% dan pada variasi limbah gypsum 20% menjadi 28,20%. Hal ini dikarenakan penambahan limbah gypsum menyebabkan penurunan batas cair tanah. Karena gypsum mengurangi plastisitas tanah sehingga daya ikat tanah terhadap air berkurang.

4.2.5. Batas Plastis

Pengujian batas plastis dilakukan dengan cara tanah yang sudah disaring dengan saringan No. 40 dan dicampur dengan air lalu di gulung-gulung dengan diameter 3 mm hingga retak. Untuk perhitungan berat volume tanah dapat dihitung menggunakan persamaan 2-8. Berikut hasil pengujian batas plastis sampel tanah asli dengan variasi limbah gypsum 5% 10% 15% 20%.

1. Batas Plastis Tanah Asli

Hasil pengujian batas plastis tanah asli dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.10 Pengujian batas plastis tanah asli

NO.	Pengujian	Satuan	Sampel	
			1	2
1	berat cawan kosong (W1)	Gr	5,30	5,29
2	berat cawan + tanah basah (W2)	Gr	20,30	20,38
3	berat cawan + tanah kering (W3)	Gr	17,10	17,12
4	berat air ($W_w = W_2 - W_3$)	Gr	3,20	3,26
5	Berat tanah kering ($W_s = W_3 - W_1$)	Gr	11,80	11,83
6	kadar air ($w = W_w / W_s \times 100\%$)	%	27,12	27,56
7	kadar air rata-rata = batas plastis	%	27,34	

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

LL=50,32%

PL=27,34%

PI=22,98%

Pada Tabel 4.10 diatas, memperoleh nilai batas plastis sampel tanah asli sebesar 27,34%. tanah tersebut harus bebas atau telah bebaskan dari butiran-butiran yang lebih besar dari 0,425 mm (yang tertahan oleh saringan No 40). contoh tanah yang memang tidak mengandung butiran-butiran kasar lebih besar dari 0,425 mm dapat langsung diperiksa tanpa persiapan terlebih dahulu.

2. Batas plastis tanah asli dan campuran limbah gypsum 5%

Hasil dari pengujian batas plastis tanah asli dan campuran limbah gypsum 5% pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.11 Pengujian batas plastis campuran limbah gypsum 5%

NO.	Pengujian	Satuan	Sampel	
			1	2
1	berat cawan kosong (W1)	Gr	5,30	5,29
2	berat cawan + tanah basah (W2)	Gr	20,40	20,41
3	berat cawan + tanah kering (W3)	Gr	17,27	17,27
4	berat air ($W_w = W_2 - W_3$)	Gr	3,13	3,14
5	Berat tanah kering ($W_s = W_3 - W_1$)	Gr	11,97	11,98
6	kadar air ($w = W_w / W_s \times 100\%$)	%	26,15	26,21
7	kadar air rata-rata = batas plastis	%	26,18	

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

LL = 44,82%

PL = 26,18%

PI = 17,64%

Berdasarkan Tabel 4.11 diatas, memperoleh nilai batas plastis sampel tanah asli + campuran limbah gypsum 5% sebesar 26,18%. Rekapitulasi hasil uji batas plastis.

3. Batas plastis tanah asli dan campuran limbah gypsum 10%

Hasil dari pengujian batas plastis tanah asli dan campuran limbah gypsum 10% pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.12 Pengujian batas plastis campuran limbah gypsum 10%

NO.	Pengujian	Satuan	Sampel	
			1	2
1	berat cawan kosong (W1)	Gr	5,25	5,40
2	berat cawan + tanah basah (W2)	Gr	20,71	20,76
3	berat cawan + tanah kering (W3)	Gr	17,57	17,59
4	berat air ($W_w = W_2 - W_3$)	Gr	3,14	3,17
5	Berat tanah kering ($W_s = W_3 - W_1$)	Gr	12,32	12,19
6	kadar air ($w = W_w / W_s \times 100\%$)	%	25,49	26,00
7	kadar air rata-rata = batas plastis	%	25,75	

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

LL = 40,21%

PL = 25,75%

PI = 14,46%

Berdasarkan Tabel 4.12 diatas, memperoleh nilai batas plastis sampel tanah asli + campuran limbah gypsum 10% sebesar 25,78%.Rekapitulasi hasil uji batas plastis.

4. Batas plastis tanah asli dan campuran limbah gypsum 15%

Hasil dari pengujian batas plastis tanah asli dan campuran limbah gypsum 15% pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.13 Pengujian batas plastis campuran limbah gypsum 15%

NO.	Pengujian	Satuan	Sampel	
			1	2
1	berat cawan kosong (W1)	Gr	5,65	5,47
2	berat cawan + tanah basah (W2)	Gr	20,45	20,46
3	berat cawan + tanah kering (W3)	Gr	17,64	17,35
4	berat air ($W_w = W_2 - W_3$)	Gr	2,81	3,11
5	Berat tanah kering ($W_s = W_3 - W_1$)	Gr	11,99	11,88
6	kadar air ($w = W_w / W_s \times 100\%$)	%	23,44	26,18
7	kadar air rata-rata = batas plastis	%	24,81	

(sumber : Hasil pengujian, 2025)

LL = 34,68%

PL = 24,81%

PI = 9,87%

Berdasarkan Tabel 4.13 diatas, memperoleh nilai batas plastis sampel tanah asli + campuran limbah gypsum 15% sebesar 24,81%. Rekapitulasi hasil uji batas plastis.

5. Batas plastis tanah asli dan campuran limbah gypsum 20%

Hasil dari pengujian batas plastis tanah asli dan campuran limbah gypsum 20% pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.14 Pengujian batas plastis campuran limbah gypsum 20%

NO.	Pengujian	Satuan	Sampel	
			1	2
1	berat cawan kosong (W1)	Gr	5,35	5,42
2	berat cawan + tanah basah (W2)	Gr	20,45	20,46
3	berat cawan + tanah kering (W3)	Gr	17,74	17,78
4	berat air ($W_w = W_2 - W_3$)	Gr	2,71	2,68
5	Berat tanah kering ($W_s = W_3 - W_1$)	Gr	12,39	12,36
6	kadar air ($w = W_w / W_s \times 100\%$)	%	21,87	21,68
7	kadar air rata-rata = batas plastis	%	21,78	

(sumber : Hasil pengujian, 2025)

LL = 28,20%

PL = 21,78%

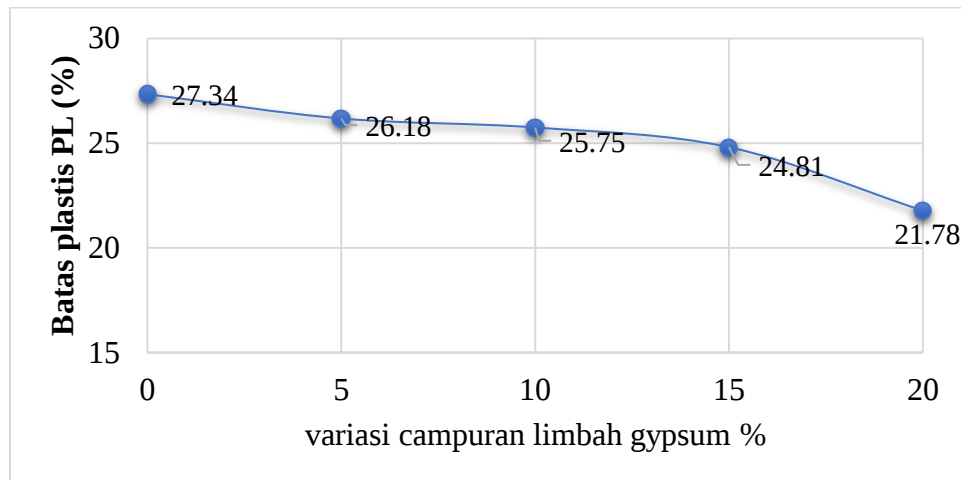
PI = 6,42%

Berdasarkan Tabel 4.14 diatas, diperoleh nilai batas plastis sampel tanah asli + campuran limbah gypsum 20% sebesar 21,78%. hasil uji batas plastis.

Tabel 4.15 Hasil rekapitulasi batas plastis campuran

NO	Pengujian	PL
1	Tanah asli	27,34
2	Tanah asli+ limbah gypsum 5%	26,18
3	Tanah asli+ limbah gypsum 10%	25,75
4	Tanah asli+ limbah gypsum 15%	24,81
5	Tanah asli+ limbah gypsum 20%	21,78

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)



Gambar 4.7. Hubungan batas plastis dengan campuran tanah dan limbah gypsum

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

Berdasarkan data pada grafik diatas menunjukkan bahwa batas plastis yang disubstitusikan dengan limbah gypsum mengalami penurunan kadar air pada variasi 5% dari nilai plastis tanah asli sebesar 27,34% menjadi 26,18%. setelah penambahan variasi campuran limbah gypsum 10% nilai batas plastis turun menjadi 25,75%, dan variasi campuran limbah gypsum 15% sebesar 24,81% dan variasi campuran limbah gypsum 20% menjadi 21,78%. Hal Ini menunjukkan bahwa penurunan kadar air nilai batas plastis (PL) tanah campuran limbah gypsum terjadi karena berkurangnya air yang terikat, efek pengisian pori, dominasi material non plastis, dan perubahan struktur mikro tanah.

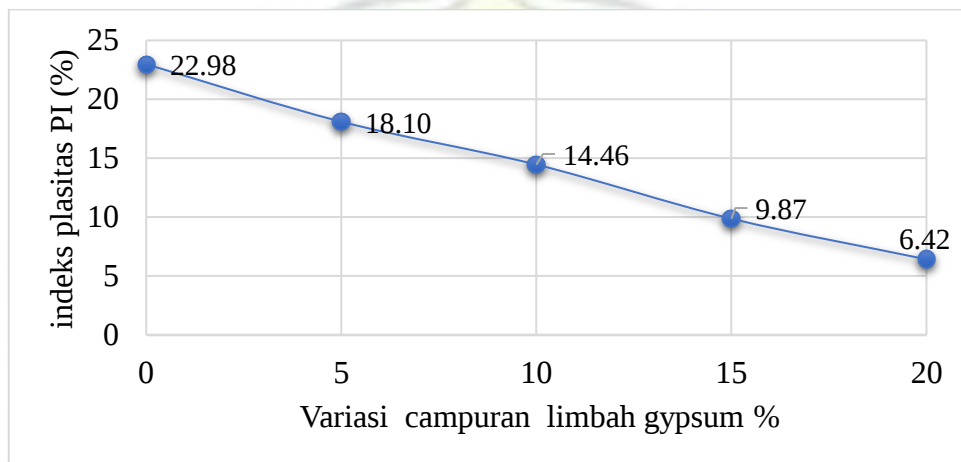
4.2.6 Indeks Plastisitas

Indeks plastis didefinisikan sebagai selisih antar batas cair (LL) dan batas plastis (PL) dimana indeks plastis (PI) adalah parameter penting yang menunjukkan rentang kadar air plastis tanah.

Tabel 4.16 Hasil rekapitulasi batas cair dan batas plastis

NO	Pengujian	PI
1	Tanah asli	22,98
2	Tanah asli+ limbah gypsum 5%	18,10
3	Tanah asli+ limbah gypsum 10%	14,46
4	Tanah asli+ limbah gypsum 15%	9,87
5	Tanah asli+ limbah gypsum 20%	6,42

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)



Gambar 4.8 Grafik PI dan variasi limbah gypsum

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

Gypsum mengalami penurunan pada batas cair dan batas plastik di setiap variasinya . Semakin banyak penambahan bahan variasi maka batas cair dan batas plastik tanah semakin turun, dimana sebelum penambahan bahan limbah gypsum nilai batas cair dan batas plastis 22,98% sedangkan setelah penambahan limbah gypsum 5% nilai batas cair turun menjadi 18,10%, variasi limbah gypsum 10% sebesar 14,46%, dan variasi limbah gypsum 15% nilai batas cair dan batas plastis 9,87% dan pada variasi limbah gypsum 20% menjadi 6,42%. Hal ini dikarenakan gypsum mengurangi daya ikat air pada tanah, struktur tanah menjadi lebih padat, tanah menjadi lebih stabil dan kurang lengket.

4.2.7. Analisis saringan hidrometer

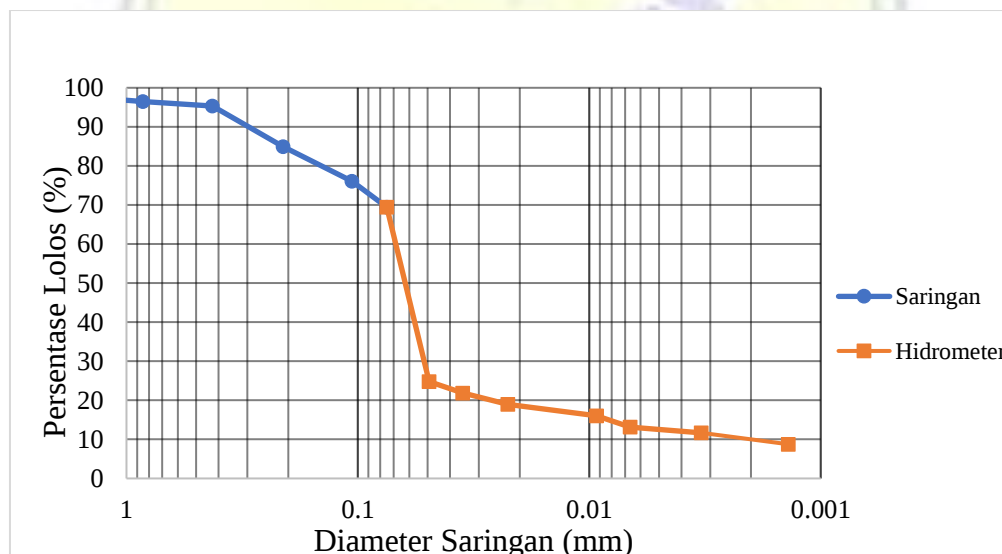
Pengujian analisis saringan dan hidrometer dilakukan agar mengetahui distribusi pada ukuran butiran (gradasi) tanah. Analisis saringan dapat digunakan

sebagai material yang memiliki ukuran butir lebih besar dari bukaan saringan No. 200 ($\varnothing 0,075$ mm), sedangkan material yang telah lolos saringan No. 200 ($\varnothing 0,075$ mm) dianalisis menggunakan metode hidrometer. Pengujian analisis saringan dilaksanakan dengan memanfaatkan serangkaian ayakan yang memiliki ukuran bukaan berbeda, sementara paada analisis hidrometer didasarkan pada prinsip dan pengendapan (*sedimentasi*) partikel tanah di dalam air. Hasil pengujian analisis saringan dan hidrometer disajikan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.17 Hasil pengujian saringan hydrometer

No. Ayak	Diameter Lubanng (mm)	Berat Tertahan (gr)	Jlh berat tertahan (gr)	Butiran yang lolos
4	4,75	0	0	100,00%
10	2	0,9	0,9	98,20%
20	0,85	0,85	1,75	96,50%
40	0,425	0,57	2,32	95,36%
60	0,21	5,23	7,55	84,90%
140	0,106	4,40	11,95	76.10%
200	0,075	3,33	15,28	69,44%
PAN				0
Berat Tanah > 0.075		15,28	-	-
Berat Tanah < 0.075		34,72	69,44	-
Jumlah (W)		50	100	-

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)



Gambar 4.9 Grafik distribusi ukuran butiran saringan dan hidrometer

(sumber: hasil analisa perhitungan, 2025)

Dalam uji hidrometer (analisis ukuran butir tanah halus), biasanya data yang didapat berupa hubungan antara waktu pengendapan dengan persen butiran yang masih tersuspensi. Dari data itu kemudian dibuat grafik, dengan sumbu X = diameter butiran (d) (skala logaritmik) dan sumbu Y = persen lolos kumulatif (%passing).

Grafik distribusi ukuran butiran menunjukkan bahwa persentase lolos saringan No.200 sebesar 69,44% yang menandakan tanah didominasi oleh faksi halus. Kurva gradasi hasil penggabungan uji saringan dan hydrometer memperlihatkan distribusi ukuran butiran yang tidak seragam dengan kecenderungan butiran halus lebih dominan, sehingga tanah termasuk ke dalam kategori tanah berbutir halus.

4.2.8. Klasifikasi tanah

Klasifikasi tanah dalam penelitian ini menggunakan metode *Unified Soil Classification System* (USCS). Pada penentuan jenis tanah yang didasarkan pada hasil pengujian batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, dan analisis saringan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa 69,44% sampel tanah yang lolos saringan No. 200. Karena nilainya melebihi 50%, tanah tersebut dikategorikan termasuk tanah berbutir halus (*fine-grained soil*). Pengujian batas Atterberg menghasilkan batas cair (*liquid limit/LL*) sebesar 50,32%, batas plastis (*plastic limit/PL*) sebesar 27,34%, dan indeks plastisitas (*plasticity index/PI*) sebesar 22,98%.

Berdasarkan sistem klasifikasi USCS dan diagram plastisitas Casagrande, titik LL 50,32% dan PI 22,98% berada di atas Garis A, sehingga tanah digolongkan sebagai lempung (C). Nilai LL yang lebih besar dari 50% menunjukkan plastisitas tinggi (H). Dengan demikian, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai **CH**, yaitu lempung anorganik dengan plastisitas tinggi (*inorganic clay with high plasticity*).

Tabel 4.18 Devisi utama tanah asli system USCS

Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no.200 (0.075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung
		CL	Lempung tak berorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (<i>"lean clays"</i>)
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (<i>"fat clays"</i>)
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi

(Sumber : Hardiyatmo 2017)

Berdasarkan sistem klasifikasi USCS yang di jelaskan pada Tabel 4.18, tanah yang digunakan dalam penelitian ini dikategorikan sebagai tanah jenis lempung dengan plastisitas tinggi (CH).

4.3. Hasil Uji Sifat-Sifat Mekanis Tanah

4.3.1 Pemadatan Tanah Asli

Uji pemadatan standar Proctor bertujuan menentukan kadar air optimum tanah atau berat volume kering maksimum tanah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat volume kering meningkat seiring penambahan pada kadar air hingga mencapai nilai maksimum. Setelah itu, nilainya menurun karena kelebihan air mengisi pori-pori tanah.

Dalam pengujian ini, tanah yang dikeringkan lalu diayak menggunakan saringan No. 40. Selanjutnya, tanah ditimbang dan dicampur dengan variasi kadar air. Sampel dimasukkan ke dalam *mold* sebanyak tiga lapisan, dengan setiap lapisan dipadatkan menggunakan 25 tumbukan. Hasil dari uji pemadatan ini menentukan kadar air optimum disajikan pada Tabel 4.8.

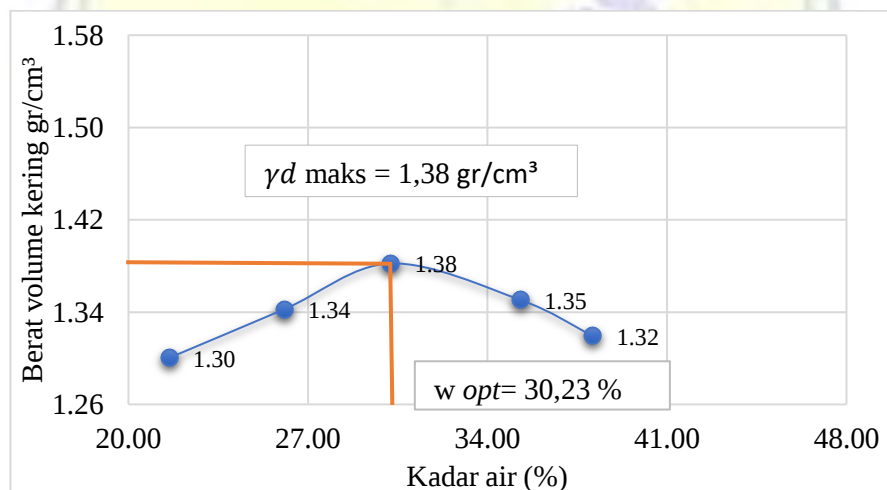
1. Pengujian pemadatan tanah asli

Hasil pengujian tanah asli dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.19 Rekapitulasi pengujian pemadatan tanah asli

Uraian	Satuan	No sampel				
		1	2	3	4	5
Tinggi silinder	cm	11	11	11	11	11
Diameter silinder	cm	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Berat silinder	gr	1705.70	1705.70	1705.70	1705.70	1705.70
Volume silinder	cm ³	880,85	880,85	880,85	880,85	880,85
Penambahan air	ml	200	250	300	350	400
Berat silinder + tanah basah	gr	2785,80	3196,60	3291,20	3315,10	3310,80
Berat tanah basah	gr	1392,90	1490,90	1585,50	1609,40	1605,10
berat volume tanah basah (γ_b) = (W2-W1)/V	gr/cm ³	1.58	1.69	1.80	1.83	1.82
Kadar air rata rata	%	21,60	26,08	30,23	35,29	38,11
Berat volume kering (γ_d) = $\gamma_b / (1 + (w/100))$	gr/cm ³	1.30	1.34	1.38	1.35	1.32

(Sumber: hasil Analisa perhitungan 2025)



Gambar 4.10 Grafik pemadatan tanah asli

(Sumber: hasil Analisa perhitungan 2025)

Berdasarkan grafik di atas menunjukan kadar air optimum sebesar 30,23% dengan berat kering 1,38 g/cm³.

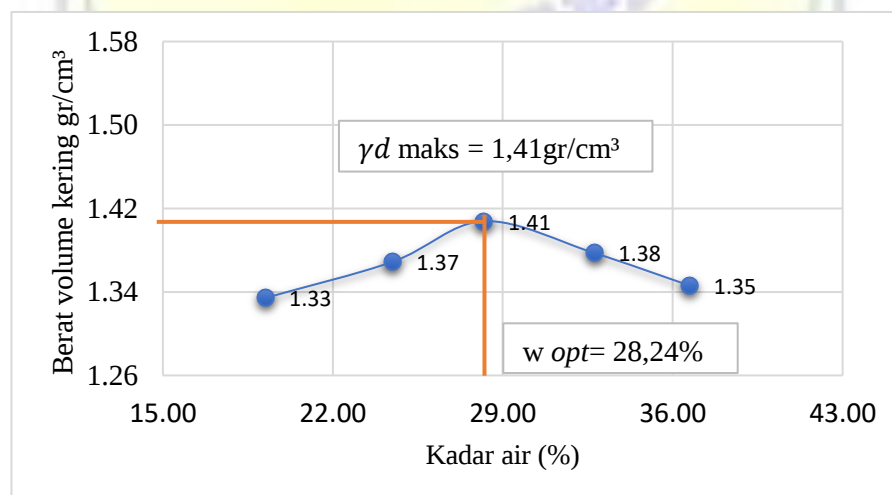
2. Pengujian pemadatan tanah asli dengan variasi campuran limbah gypsum 5%

Hasil dari pengujian pada tanah asli dengan variasi campuran limbah gypsum sebesar 5% dapat di liat pada tabel dibaa ini.

Tabel 4.20 Rekapitulasi pengujian pemadatan tanah asli + 5% limbah gypsum

Uraian	Satuan	No sampel				
		1	2	3	4	5
Tinggi silinder	cm	11	11	11	11	11
Diameter silinder	cm	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Berat silinder	gr	1698,50	1698,50	1698,50	1698,50	1698,50
Volume silinder	cm ³	880,85	880,85	880,85	880,85	880,85
Penambahan air	ml	250	300	350	400	450
Berat silinder + tanah basah	gr	3099,60	3199,20	3288,70	3309,30	3319,40
Berat tanah basah	gr	1401,10	1585,70	1585,50	1609,40	1605,10
berat volume tanah basah (γ_b) = (W2-W1)/V	gr/cm ³	1.59	1.70	1.81	1.83	1.84
Kadar air rata rata	%	19,22	24,46	28,24	32,78	36,71
Berat volume kering (γ_d)= $\gamma_b/(1+(w/100))$	gr/cm ³	1.33	1.37	1.41	1.38	1.35

(Sumber: hasil Analisa perhitungan 2025)



Gambar 4.11 Grafik pemadatan tanah asli + limbah gypsum 5%

(Sumber: hasil Analisa perhitungan 2025)

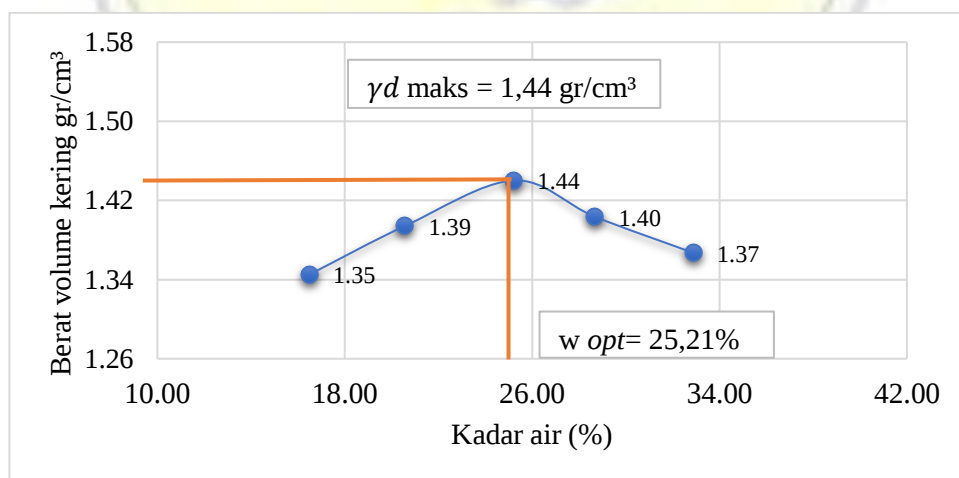
Berdasarkan grafik di atas menunjukan kadar air optimum sebesar 28,24% dengan berat kering 1,41 g/cm³.

3. Pengujian pemadatan tanah asli dengan variasi campuran limbah gypsum 10%
Hasil dari pengujian tanah asli dengan variasi campuran limbah gypsum 10% dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.21 Rekapitulasi pengujian pemadatan tanah asli + 10% limbah gypsum

Uraian	Satuan	No sampel				
		1	2	3	4	5
Tinggi silinder	cm	11	11	11	11	11
Diameter silinder	cm	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Berat silinder	gr	1698,50	1698,50	1698,50	1698,50	1698,50
Volume silinder	cm ³	880,85	880,85	880,85	880,85	880,85
Penambahan air	ml	275	325	400	450	500
Berat silinder + tanah basah	gr	3078,70	3179,10	3286,90	3289,40	3310,80
Berat tanah basah	gr	1380,20	1480,60	1588,40	1590,90	1605,10
berat volume tanah basah (γ_b) = (W2-W1)/V	gr/cm ³	1.57	1.68	1.80	1.81	1.82
Kadar air rata rata	%	16,49	20,18	25,21	28,68	32,88
Berat volume kering (γ_d) = $\gamma_b / (1 + (w/100))$	gr/cm ³	1.35	1.39	1.44	1.40	1.37

(Sumber: hasil Analisa perhitungan 2025)



Gambar 4.12 Grafik pemadatan tanah asli + limbah gypsum 10%

(Sumber: hasil Analisa perhitungan 2025)

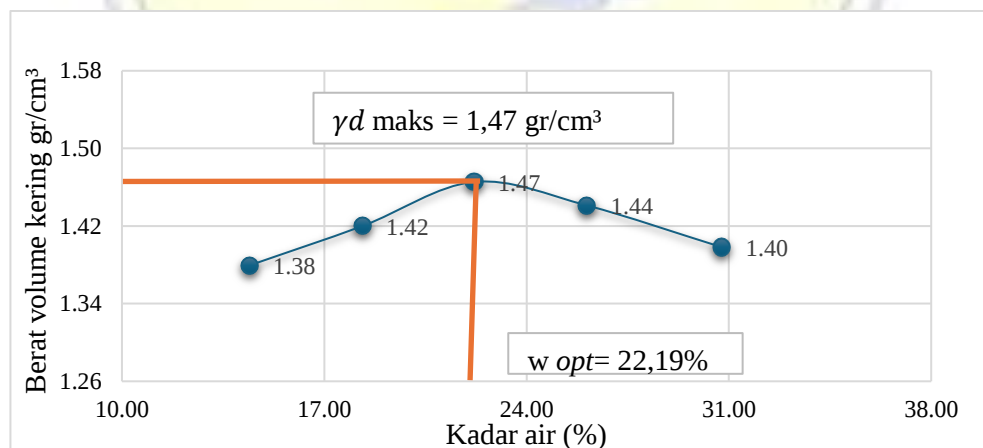
Berdasarkan grafik di atas menunjukan kadar air optimum sebesar 25,21% dengan berat kering 1,44 g/cm³.

4. Pengujian pemadatan tanah asli dengan variasi campuran limbah gypsum 15%
Hasil dari pengujian tanah asli dengan variasi campuran limbah gypsum 15% dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.22 Rekapitulasi pengujian pemadatan tanah asli + 15% limbah gypsum

Uraian	Satuan	No sampel				
		1	2	3	4	5
Tinggi silinder	cm	11	11	11	11	11
Diameter silinder	cm	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Berat silinder	gr	1698,50	1698,50	1698,50	1698,50	1698,50
Volume silinder	cm ³	880,85	880,85	880,85	880,85	880,85
Penambahan air	ml	300	350	450	500	550
Berat silinder + tanah basah	gr	3088,70	3178,60	3275,80	3299,20	3308,90
Berat tanah basah	gr	1392,20	1480,10	1577,30	1600,70	1610,40
berat volume tanah basah (γ_b) = (W2-W1)/V	gr/cm ³	1.58	1.68	1.79	1.82	1.83
Kadar air rata rata	%	14,41	18,33	22,19	26,09	30,76
Berat volume kering (γ_d) = $\gamma_b / (1 + (w/100))$	gr/cm ³	1,38	1.42	1.47	1.44	1.40

(Sumber: hasil Analisa perhitungan 2025)



Gambar 4.13 Grafik pemadatan tanah asli + limbah gypsum 15%/

(Sumber: hasil Analisa perhitungan 2025)

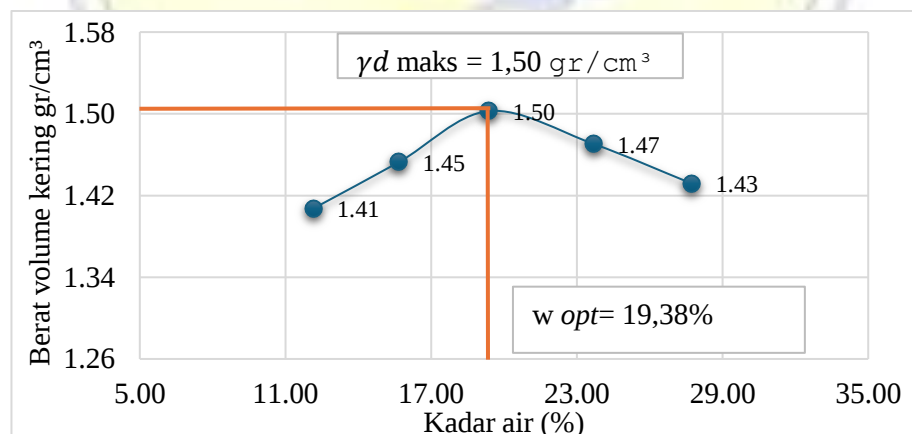
Berdasarkan grafik di atas menunjukan kadar air optimum sebesar 22,19% dengan berat kering 1,47 g/cm³.

5. Pengujian pemadatan tanah asli dengan variasi campuran limbah gypsum 20%
Hasil dari pengujian tanah asli dengan variasi campuran limbah gysum 20% dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.23 Rekapitulasi pengujian pemadatan tanah asli + 20% limbah gypsum

Uraian	Satuan	No sampel				
		1	2	3	4	5
Tinggi silinder	cm	11	11	11	11	11
Diameter silinder	cm	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Berat silinder	gr	1698,50	1698,50	1698,50	1698,50	1698,50
Volume silinder	cm ³	880,85	880,85	880,85	880,85	880,85
Penambahan air	ml	375	400	475	525	575
Berat silinder + tanah basah	gr	3088,60	3178,60	3278,60	3300,60	3309,40
Berat tanah basah	gr	1390,10	1480,10	1580,10	1602,10	1610,90
berat volume tanah basah (γ_b) = (W2-W1)/V	gr/cm ³	1.58	1.68	1.79	1.82	1.83
Kadar air rata rata	%	12,14	15,98	19,38	23,68	27,73
Berat volume kering (γ_d) = $\gamma_b / (1 + (w/100))$	gr/cm ³	1.41	1.45	1.50	1.47	1.43

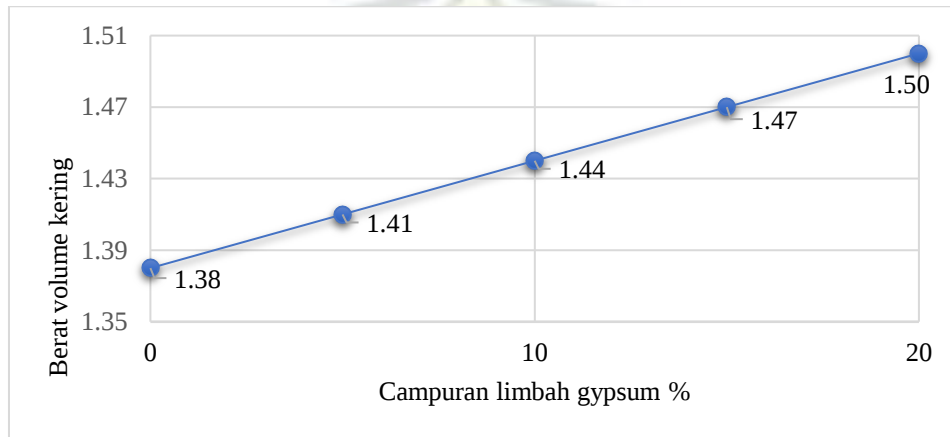
(Sumber: hasil Analisa perhitungan 2025)



Gambar 4.14 Grafik pemadatan tanah asli + limbah gypsum 20%

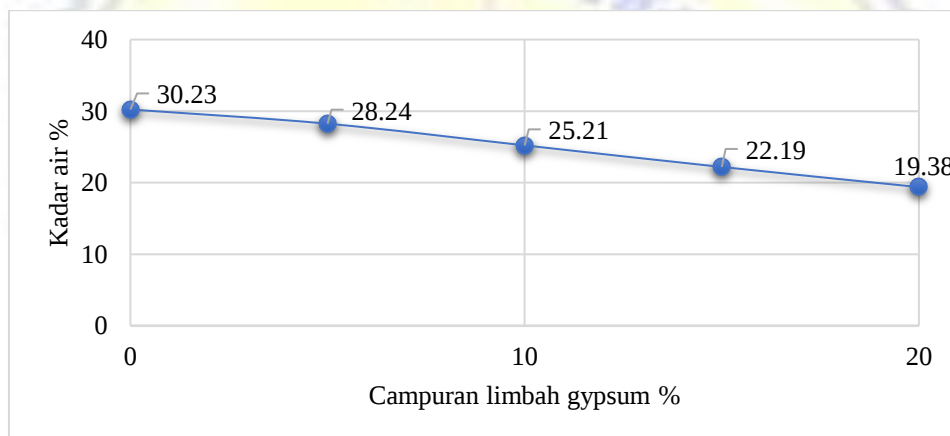
(Sumber: hasil Analisa perhitungan 2025)

Berdasarkan grafik di atas menunjukan kadar air optimum sebesar 19,38% dengan berat kering 1,50 g/cm³.



(Sumber: hasil Analisa perhitungan 2025)

Gambar 4.15 hubungan berat volume kering optimum variasi



(Sumber: hasil Analisa perhitungan 2025)

Gambar 4.16 hubungan kadar air optimum variasi campuran limbah gypsum

Berdasarkan Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 terlihat bahwa penambahan limbah gypsum pada sampel tanah menyebabkan berat volume kering optimum meningkat, sedangkan kadar air optimum justru mengalami penurunan. Berat volume kering meningkat karena limbah gypsum umumnya lebih halus dibandingkan butiran tanah asli. Saat di campurankan partikel gypsum mengisi rongga antar butir tanah sehingga susunan tanah menjadi lebih rapat, porositas berkurang, sehingga berat volume kering meningkat. Sedangkan kadar air optimum pada

variasi campuran mengalami penurunan di karenakan gypsum menyebabkan penurunan kadar air optimum pada uji pemadatan karena kemampuan gypsum menyerap air, reaksi kalsium yang mengurangi lapisan air teradsorpsi, serta perbaikan struktur tanah.

4.3.2 Uji Kuat geser Tanah (*Direct Shear Test*)

Percobaan pengujian kuat geser secara langsung dilakukan untuk menghitung nilai kohesi dan sudut geser pada tanah asli dengan berbagai berikut:

Berat Ring = 0,953 kg

Diameter Ring = 6,4 cm

Kalibrasi = 0,46

Berat beban :

Beban 1 = 3,167 kg

Beban 2 = 6,334 kg

Beban 3 = 9,501 kg

Analisis Output Pengujian Data Uji Geser Langsung Contoh perhitungan :

Sampel tanah asli

a. Tegangan normal (σ)

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

σ = tegangan normal (kg/cm²)

P = gaya normal (N)

A = luas penampang

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

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

$$= 32,15 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{\text{Berat Beban}}{\text{Luas penampang}}$$

$$= \frac{3,176}{32,15}$$

$$= 0,098 \text{ kg/cm}^2$$

b. Tegangan geser (τ)

$$\tau = \frac{T}{A}$$

τ = tegangan geser (kg/cm²)

T = gaya geser (kg)

A = luas bidang geser (m²)

Hasil keseluruhan analisis pengujian kuat geser langsung pada sampel tanah kondisi *Optimum* dengan penambahan variasi campuran limbah gypsum. Hasil lebih rinci dapat dilihat pada tabel 4.24 berikut ini.

Tabel 4.24 Hasil Pengujian *direct shear*

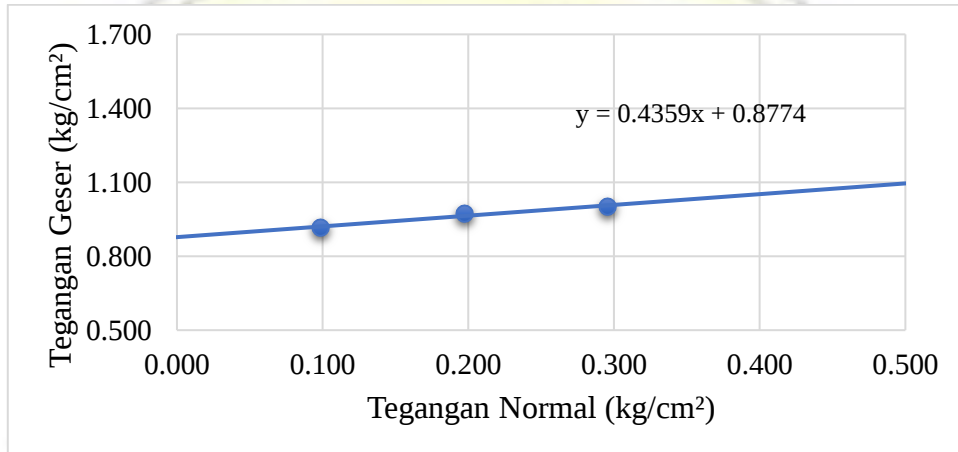
Sampel	Beban	Koreksi Beban	Pembacaan dial	Tegangan Normal	Tegangan Geser
Tanah asli	1	3.167 kg	64	0,098	0,916
	2	6.334 kg	68	0,197	0,973
	3	9.501 kg	64	0,295	1,001
Tanah Optimum 0%	1	3.167 kg	53	0,098	0,758
	2	6.334 kg	57	0,197	0,815
	3	9.501 kg	60	0,295	0,858
Tanah Optimum + 5 Limbah gypsum	1	3.167 kg	70	0,098	1,001
	2	6.334 kg	75	0,197	1,073
	3	9.501 kg	78	0,295	1,116
Tanah Optimum + 10 Limbah gypsum	1	3.167 kg	78	0,098	1,116
	2	6.334 kg	85	0,197	1,216
	3	9.501 kg	89	0,295	1,273
Tanah optimum + 15 Limbah gypsum	1	3.167 kg	85	0,098	1,216
	2	6.334 kg	92	0,197	1,316
	3	9.501 kg	97	0,295	1,388
Tanah Optimum + 20 Limbah gypsum	1	3.167 kg	73	0,098	1,044
	2	6.334 kg	78	0,197	1,116
	3	9.501 kg	83	0,295	1,187

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

Berdasarkan data pada Tabel 4.24, dibuat pada grafik hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser dapat menentukan nilai kohesi dan sudut geser dalam. Setiap contoh tanah yang diuji mengandung limbah gypsum dengan variasi campuran yang berbeda. Sedangkan nilai tegangan normal atau tegangan geser dari setiap variasi beban diplot ke dalam grafik, kemudian dihubungkan dengan sebuah garis. Garis tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam pada masing-masing variasi campuran tanah.

1. Hasil uji geser tanah asli

Hasil pengujian kuat geser sampel tanah asli dapat dilihat pada Gambar 4.17 dibawah ini:



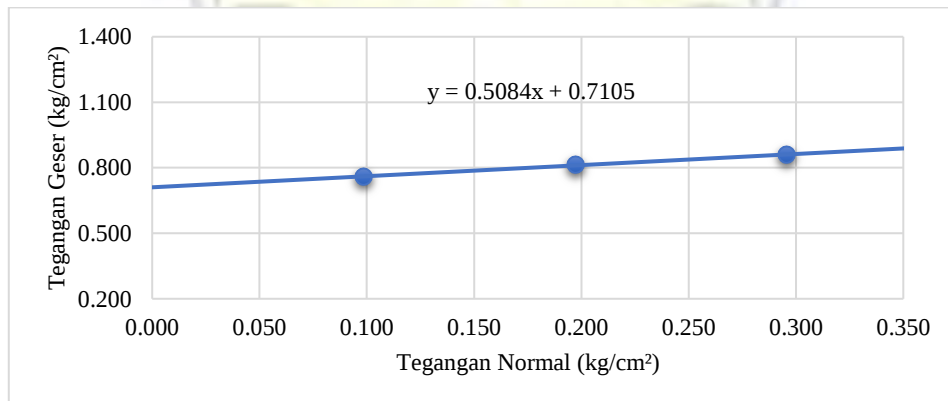
Gambar 4.17 Grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser pada Tanah asli

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

Berdasarkan grafik pada gambar 4.17 didapatkan nilai dari sudut geser dalam sampel tanah asli tanpa campuran sebesar $26,951^\circ$ dengan nilai kohesi sebesar $0,877 \text{ kg/cm}^2$.

2. Hasil uji geser tanah optimum 0%

Hasil pengujian kuat geser sampel tanah optimum dapat dilihat pada Gambar 4.18 dibawah ini:



Gambar 4.18 Grafik Hubungan tegangan normal dan tegangan geser pada

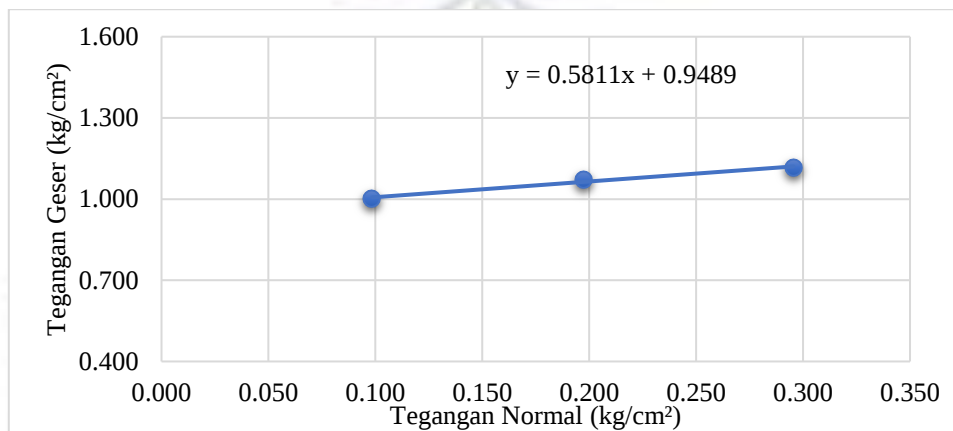
Tanah optimum 0%

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

Berdasarkan grafik pada gambar 4.18 didapatkan nilai dari sudut geser dalam sampel tanah optimum tanpa campuran sebesar $26,951^\circ$ dengan nilai kohesi sebesar $0,710 \text{ kg/cm}^2$.

3. Hasil uji geser tanah optimum + campuran limbah gypsum 5%

Hasil pengujian kuat geser sampel tanah optimum dapat dilihat pada Gambar 4.19 dibawah ini:



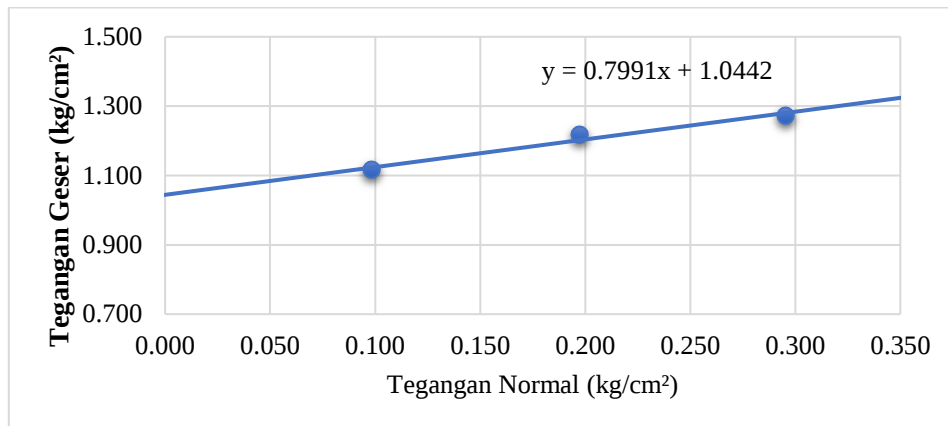
Gambar 4.19 Grafik Hubungan tegangan normal dan tegangan geser pada tanah optimum + campuran limbah gypsum 5%

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

Berdasarkan grafik pada gambar 4.19 didapatkan nilai dari sudut geser dalam sampel tanah optimum + campuran limbah gypsum 5% sebesar $30,163^\circ$ dengan nilai kohesi sebesar $0,949 \text{ kg/cm}^2$.

4. Hasil uji geser tanah optimum + campuran limbah gypsum 10%

Hasil pengujian kuat geser sampel tanah optimum + limbah gypsum dapat dilihat pada Gambar 4.20 dibawah ini:

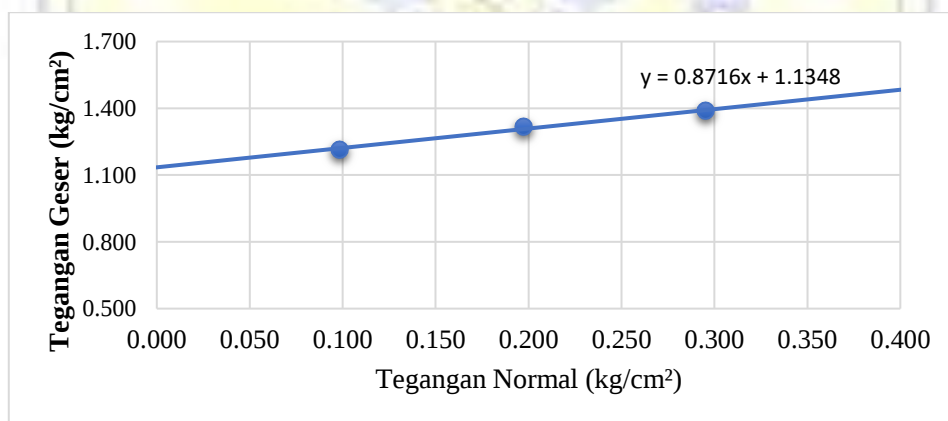


Gambar 4.20 Grafik Hubungan tegangan normal dan tegangan geser pada Tanah optimum + limbah gypsum 10%
(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

Berdasarkan Grafik pada Gambar 4.20 didapatkan nilai dari sudut geser dalam sampel tanah optimum + campuran limbah gypsum 10% sebesar $38,628^\circ$ dengan nilai kohesi sebesar $1,044 \text{ kg/cm}^2$.

5. Hasil uji geser tanah optimum + campuran limbah gypsum 15%

Hasil pengujian kuat geser sampel tanah optimum dapat dilihat pada Gambar 4.21 dibawah ini:



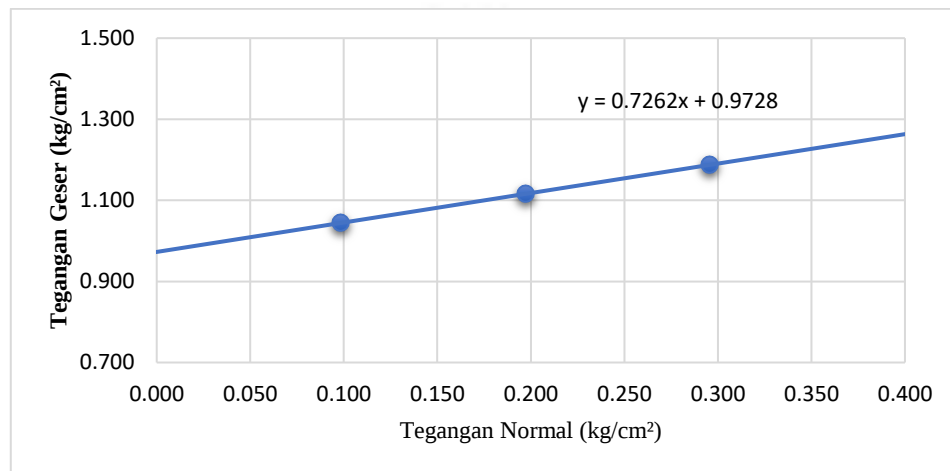
Gambar 4.21 Grafik Hubungan tegangan normal dan tegangan geser pada Tanah optimum + campuran limbah gypsum 15%
(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

Berdasarkan grafik pada gambar 4.21 didapatkan nilai dari sudut geser dalam sampel tanah optimum + campuran limbah gypsum 15% sebesar $41,077^\circ$ dengan nilai kohesi sebesar $1,134 \text{ kg/cm}^2$.

6. Hasil uji geser tanah optimum + campuran limbah gypsum 20%

Hasil pengujian kuat geser sampel tanah optimum dapat dilihat pada Gambar 4.22

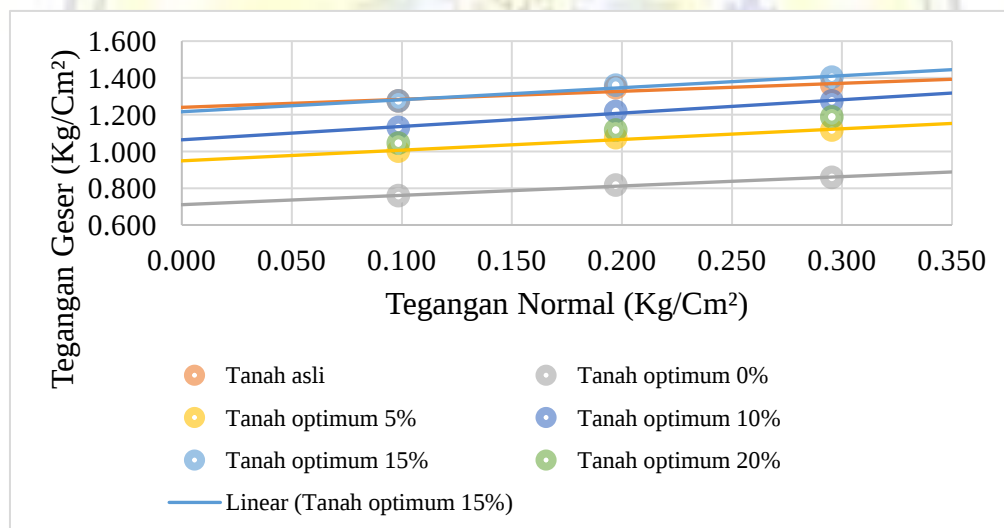
dibawah ini:



Gambar 4.22 Grafik Hubungan tegangan normal dan tegangan geser pada Tanah optimum + campuran limbah gypsum 20%

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

Berdasarkan grafik pada gambar 4.22 didapatkan nilai dari sudut geser dalam sampel tanah optimum + campuran limbah gypsum 20% sebesar $35,989^\circ$ dengan nilai kohesi sebesar $0,973 \text{ kg/cm}^2$.



Gambar 4.23 Grafik Rekapitulasi grafik hubungan tegangan normal dengan tegangan geser

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)

tegangan geser pada tanah asli dengan variasi campuran limbah gypsum

Secara keseluruhan, grafik tegangan normal dan tegangan geser kita dapat

mengetahui parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah.

Nilai Y pada grafik di atas adalah tegangan geser (kuat geser) tanah, yaitu kemampuan tanah untuk menahan gaya geser sebelum mengalami penurunan.

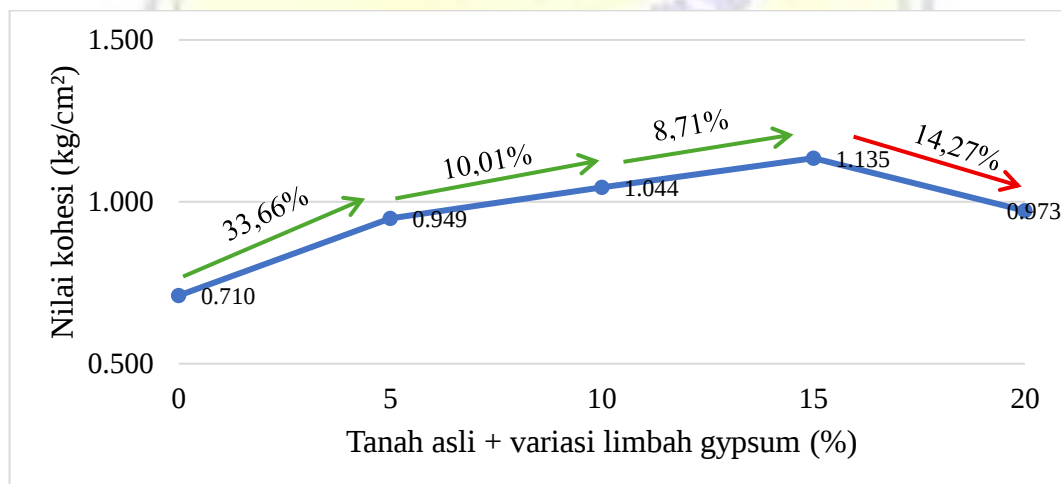
4.4. pengaruh penambahan limbah gypsum pada parameter kuat geser

Pengaruh limbah gypsum terhadap kuat geser tanah meningkatkan kuat geser tanah hingga kadar optimum, tetapi menurunkan kuat geser tanah jika jumlahnya berlebihan. dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23 dibawah ini:

Tabel 4.25 Rekapitulasi hasil grafik *direct shear test* sampel tanah optimum dengan variasi campuran limbah gypsum %

Kode sampel tanah	Variasi campuran			Hasil uji <i>direct shear</i>
	Limbah Gypsum (%)	Jumlah (%)	Kohesi (kg/cm ²)	Sudut geser (°)
Tanah Asli	0	100	0,710	26,951
TA + 5% limbah gysum	5	95	0,949	30,163
TA + 10% limbah gysum	10	90	1,044	38,628
TA + 15% limbah gysum	15	85	1,135	41,077
TA + 20% limbah gysum	20	80	0,973	35,989

(Sumber : Hasil pengujian, 2025)



Gambar 4.24 Grafik Hubungan kohesi dengan variasi campuran limbah gypsum pada tanah optimum

(Sumber:Hasil analisis, 2025)

Berdasarkan hasil Grafik 4.24 di atas menunjukan nilai kohesi dari tanah optimum sebesar 0,710% sedangkan untuk variasi 5% limbah gypsum mendapatkan nilai kohesi sebesar 0,949% dan untuk variasi 10% limbah gypsum mendapatkan nilai kohesi sebesar 1,044% sedangkan pada variasi 15% limbah gypsum mendapat kan nilai kohesi sebesar 1,135% sedangkan pada variasi 20% limbah gypsum mendapat kan nilai kohesi sebesar 0,973%.

1. Peningkatan dari tanah optimum ke 5% gypsum

$$\Delta c = 0,949 - 0,710 = 0,239$$

Persentase peningkatan:

$$\frac{0,239}{0,710} \times 100\% = 33,66\%$$

Terjadi peningkatan kohesi sebesar 0,239 (33,66%)

karena tanah asli masih memiliki ikatan antar butir yang lemah. Akibatnya kontak antar butiran bertambah sehingga kohesi meningkat cukup besar.

2. Peningkatan dari 5% ke 10% gypsum

$$\Delta c = 1,044 - 0,949 = 0,095$$

Persentase peningkatan:

$$\frac{0,095}{0,949} \times 100\% = 10,01\%$$

Terjadi peningkatan kohesi sebesar 0,095 (10,01%)

Karena gypsum berperang sebagai bahan pengikat sehingga ikatan antar partikel tanah semakin kuat, maka kohesi semakin naik.

3. Peningkatan dari 10% ke 15% gypsum

$$\Delta c = 1,135 - 1,044 = 0,091$$

Persentase peningkatan:

$$\frac{0,091}{1,044} \times 100\% = 8,71\%$$

Terjadi peningkatan kohesi sebesar 0,091 (8,71%)

Karena pada kadar 15% gypsum berada pada kondisi optimum sehingga ikatan antar butir tanah dan limbah gypsum sudah terbentuk dengan baik dan menyeluruh.

4. Penurunan dari 15% ke 20% gypsum

$$\Delta c = 0,973 - 1,135 = 0,162$$

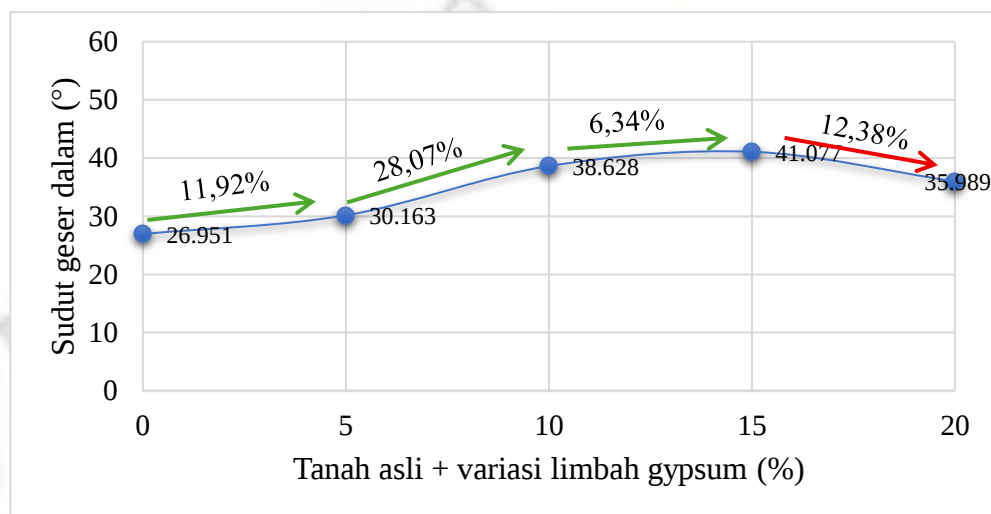
Persentase penurunan:

$$\frac{0,162}{1,135} \times 100\% = 14,27\%$$

Terjadi penurunan kohesi sebesar 0,162 (14,27%)

Karena gypsum yang di tambahkan terlalu banyak, akibatnya gypsum tidak lagi memperkuat ikatan tanah, sehingga butiran tanah dan gypsum mudah hancur.

Berdasarkan Tabel 4.25. diatas, dapat digambarkan grafik besaran kuat geser dalam seperti yang tersaji dalam Gambar 4.25 dibawah ini.



Gambar 4.25 Grafik hubungan sudut geser dalam sampel tanah optimum dengan variasi campuran limbah gypsum

(Sumber: Hasil analisis, 2025)

Berdasarkan hasil Grafik 4.23 di atas menunjukan bahwa nilai sudut geser dalam dari tanah asli sebesar 26.951° sedangkan untuk variasi 5% mendapatkan nilai sudut geser dalam sebesar 30,163° kemudian untuk variasi 10% mendapatkan nilai sudut geser dalam sebesar 38,628° sedangkan pada variasi 15% mendapatkan nilai sudut geser dalam sebesar 41,077° dan pada variasi campuran 20% mendapatkan nilai sudut geser dalam sebesar 35,989°.

1. Peningkatan dari tanah Optimum ke 5% gypsum

$$\Delta\varphi = 30,163 - 26,951 = 3,212^\circ$$

Persentase peningkatan:

$$\frac{3,212}{26,951} \times 100\% = 11,92\%$$

Terjadi peningkatan sebesar $3,212^\circ$ (11,92%)

Karena permukaan geser menjadi lebih kasar, sehingga gesekan antar butiran meningkatkan sudut geser naik.

2. Peningkatan dari 5% ke 10% gypsum

$$\Delta\varphi = 38,628 - 30,163 = 8,465^\circ$$

Persentase peningkatan:

$$\frac{8,465}{30,163} \times 100\% = 28,07\%$$

Terjadi peningkatan signifikan sebesar $8,465^\circ$ (28,07%)

Sedangkan 5% ke 10% nilai sudut geser terus meningkat karena gypsum membentuk agregat tanah yang lebih besar sehingga pada saat di beri beban butir tanah tidak mudah bergeser.

3. Peningkatan dari 10% ke 15% gypsum

$$\Delta\varphi = 41,077 - 38,628 = 2,449^\circ$$

Persentase peningkatan:

$$\frac{2,449}{38,628} \times 100\% = 6,34\%$$

Masih terjadi peningkatan, namun mulai melandai sebesar $2,449^\circ$ (6,34%)

Nilai sudut geser pada 15% sudah mencapai nilai maksimum hal ini dikarenakan struktur tanah sudah berada pada kondisi paling stabil.

4. Penurunan dari 15% ke 20% gypsum

$$\Delta\varphi = 35,989 - 41,077 = 5,088^\circ$$

Persentase penurunan:

$$\frac{5,088}{41,077} \times 100\% = 12,38\%$$

Terjadi penurunan sudut geser dalam sebesar $5,088^\circ$ (12,38%)

Pada campuran 20% gypsum sudah mengalami penurunan sudut geser, karena gypsum yang di tambahkan sudah melebihi kebutuhan tanah, sehingga tanah mudah rapuh dan mudah hancur.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik dan sifat mekanis tanah melalui uji *Direct Shear*, serta analisis terhadap data yang telah diperoleh, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian karakteristik fisik tanah asli didapatkan kadar air sebesar 26,25% berat isi kering (γ_d) = 1,29 gr/cm³, berat jenis (GS) = 2,20, batas cair (LL) = 50,32%, batas plastis (PL) = 27,34%, indeks plastis (PI) = 22,98
2. Pengujian pemadatan Asli yang di tambahkan dengan variasi campuran limbah gypsum dimana nilai berat volume kering pada tanah asli sebesar = 1,38 gr/cm³ dan untuk nilai kadar air rata-rata = 30,23% sedangkan pada variasi campuran limbah gypsum mengalami peningkatan pada berat volume kering sebesar = 1,41 gr/cm³, 1,44 gr/cm³, 1,47 gr/cm³, dan 1,50 gr/cm³. sedangkan pada kadar air rata-rata mengalami penurunan pada variasi campuran limbah gypsum sebesar = 28,24%, 25,21%, 22,21%, dan 19,38%. Penambahan campuran limbah terbukti dapat meningkatkan kuat geser tanah hingga kadar tertentu tanah asli sebesar 23,552° dan pada penambahan campuran 5% nilai sudut gesernya meningkat sebesar 30,163° hal ini di karena gypsum mampu mengisi rongga pori tanah. Sedangkan pada campuran 10% dan 15% peningkatan sudut geser terjadi lebih signifikan karena adanya ikatan antar partikel tanah dan gypsum, yang memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan daya tahan terhadap gaya geser. pada campuran 20% nilai menurun sebesar 35,989° terjadi akibat batas cair dan indeks plasitas tanah menurun sehingga tanah menjadi lunak.
3. Pengujian *Direct Shear* pada tanah lempung yang ditambahkan dengan variasi campuran Limbah Gypsum 5%, 10% , 15% dan 20% Nilai kohesi pada variasi 5% Limbah Gypsum diperoleh sebesar 0,949 kg/cm², pada variasi 10% Limbah Gypsum diperoleh sebesar 1,044 kg/cm², pada variasi 15% Limbah Gypsum diperoleh sebesar 1,135 kg/cm², dan pada variasi campuran 20%

limbah gypsum diperoleh 0,973 kg/cm². Adapun nilai sudut geser dalam tanah asli 0% 26,951°, pada variasi campuran 5% Limbah Gypsum diperoleh sebesar 30,163°, pada variasi 10% Limbah Gypsum diperoleh sebesar 38,628°, pada variasi 15% Limbah Gypsum diperoleh sebesar 41,077°, pada variasi campuran yang 20% limbah gypsum diperoleh 35,989°. Penambahan Limbah Gypsum yang berlebihan dapat mengurangi kepadatan kering maksimum (γ_d maks) gypsum berlebihan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pada saat pengambilan dan pemindahan sampel dari lokasi penelitian ke laboratorium, kondisi tanah sebaiknya tetap dijaga dengan menyimpannya dalam wadah yang tertutup rapat agar karakteristik tanah asli tidak mengalami perubahan.
2. Dalam pelaksanaan pengujian analisis saringan dan hidrometer, pemilihan serta penggunaan ukuran saringan harus diperhatikan dengan cermat agar hasil pengujian akurat dan terhindar dari kesalahan selama proses pengujian.
3. Ketelitian dalam pencatatan data pada setiap tahapan pengujian perlu ditingkatkan, terutama saat membaca nilai dial beban pada pengujian Direct Shear, sehingga data yang diperoleh lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan.
4. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan dengan menggunakan variasi persentase campuran limbah gypsum yang lebih beragam untuk menentukan kadar optimum yang paling efektif dalam meningkatkan kualitas dan memperbaiki sifat tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif Wibawa, (2015). Pengaruh Penambahan Limbah Gypsum Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah Lempung. *Jurnal Fropil*, 3(2) 50.
<https://media.neliti.com/media/publications/56211-ID-pengaruh-penambahan-limbah-gypsum-terhad.pdf>
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (1990). SNI 1968-1990 Metode Pengujian Analisis Saringan 52. Jakarta. BSN
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (1994). SNI 03-3423-1994 Metode pengujian analisis ukuran butir tanah dengan alat hidrometer. Jakarta. BSN
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (1994). SNI 03-3637-1994 Metode pengujian berat Isi tanah berbutir halus dengan cetakan benda uji. Jakarta. BSN
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2008). SNI 1964-2008 Cara Uji Berat Jenis Tanah. Jakarta. BSN
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2008). SNI 1965-2008 Cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium. Jakarta. BSN
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2008). SNI 1966-2008 Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah. Jakarta. BSN
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2008). SNI 1967- 2008 Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah. Jakarta. BSN
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2008). SNI 3423-2008 Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah. Jakarta. BSN
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia (SNI 3420:2016), Metode uji kuat geser langsung tanah tidak terkonsolidasi dan tidak terdrainase. BSN
- Columb (1776). *Essay on an application of the rules of maxima and minima to some problems of statics related to architecture*. Prancis l'Académie Royale des Sciences.
- Craig, R. F. (1987). *Craig's soil mechanics (Ninth edition)*. London, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Casagrande, A. (1948). *Soil mechanics in engineering practice (1 ed.)* Amerika Serikat, John Wiley & Sons.
- Fakhri, N. dkk. 2018. *Stabilisasi Tanah Lempung Lunak Dengan Memanfaatkan Limbah Gypsum Dan Pengaruhnya Terhadap Nilai California Bearing*

- Ratio (CBR). *Jurnal Fondasi*, 7(1). Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten.
- Grim, R. E. (1953). *Clay mineralogy on platforms*. New York, McGraw-Hill.
- Harjowigeno, S. (1993). *Klasifikasi tanah dan pedogenesis*. Yogyakarta, Akademika Pressindo.
- H.C Hardiyatmo. (2012). *Buku Teknik Sipil—Pemeliharaan Jalan Raya Edisi Kedua (3 ed.)*. Yogyakarta, UGM Press.
- Herni. (2015). *Analisis Konsolidasi Dan Penurunan Tanah Yang Distabilisasi Dengan Semen [Skripsi]*. Bangka Belitung, Universitas Bangka Belitung. 8(1), 50-51.
<https://www.neliti.com/id/publications/56286/analisisperbandingan-penggunaan-limbah-gypsum-dengan-semen-sebagai-bahan-stabil>
- Ikhsan. (2013). *Pemanfaatan Gypsum sebagai Bahan Stabilisasi Tanah*.
- Landangkasiang, F. N., Sompie, O. B. A., & Sumampouw, J. E. R. (2020). *Analisis Geoteknik Tanah Lempung Terhadap Penambahan Limbah Gypsum*. *Jurnal Sipil Statik*, 8(2), 197–204.
<https://ejournal.unsrat.ac.id/v2/index.php/jss/article/view/27813>
- Mudhakhir, I. dkk. 2020. *Peningkatan Daya Dukung Tanah Ekspansif Menggunakan Limbah Gypsum Dan Serbuk Kaca*. *Jurnal Sipil*, 6(1). Universitas Sebelah Maret. Surakarta.
- Mariyanti, & Yayuk. (2016). *Analisis perbandingan penggunaan Limbah Gypsum Dengan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah lempung*. *Jurnal Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung*, 4(1),
<https://www.neliti.com/id/publications/56286/analisis-perbandingan-penggunaan-limbah-gypsum-dengan-semen-sebagai-bahan-stabil>
- M.Das, B. (1995). *Mekanika tanah (Prinsip Rekayasa Geoteknis) (1 ed.)*. Jakarta, Erlangga.
- Mitchell, J. K. (1976). *Fundamentals of soil behavior*. New York, Wiley.
- Pembuka, S. E. Y. (2020). *Pemanfaatan Limbah Gypsum [Skripsi]*. Makassar, Universitas Hasanuddin, 5-6.
<https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/29626/>
- Pujiastuti H, Hamdani, H., & Jaelani A.K.. (2023b). *Karakteristik Kuat Geser Material Random Tanah Bendungan Meninting Dengan Energi Kompaksi*

Yang Bervariasi. Prosiding *Seminar Nasional Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*. 315-319.

Pujiastuti, H. (2023). *Performance of footing on clay stabilized trass, calcium carbide residue (CCR) and waste plastic fiber*. ICST, 060005. <https://doi.org/10.1063/5.0123605>

Simbolon, S. 2017. *Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Gypsum, Kapur (CaO) Dan Semen Ditinjau Dari Nilai CBR (California Bearing Ratio)*. Universitas Sumatera Utara. Medan.

Supriatna, S. (1997). *Karakteristik Mineral Gypsum dan Pemanfaatannya*.

Sutejo, Y., Dewi, R., & Yudhistira, H. (2015). *Pengaruh penambahan abu tandan sawit dan gipsum terhadap tanah lempung lunak berdasarkan pengujian CBR*. The 18th FSTPT International Symposium, Unila, Bandar Lampung. 8(1), 2. <https://adoc.pub/pengaruh-penambahan-abu-tandan-sawit-dan-gipsum-terhadap-tan.html>

Widiantoro, I., dan Ahmad, F., 2017. *Stabilisasi Tanah Ekspansif Dengan Bahan Tambah Gypsum (Studi Kasus Di Kawasan Industri Candi Blok K-18)*. Jurnal Sipil, 1(1). Universitas Katolik Soegijapranata. Semarang.