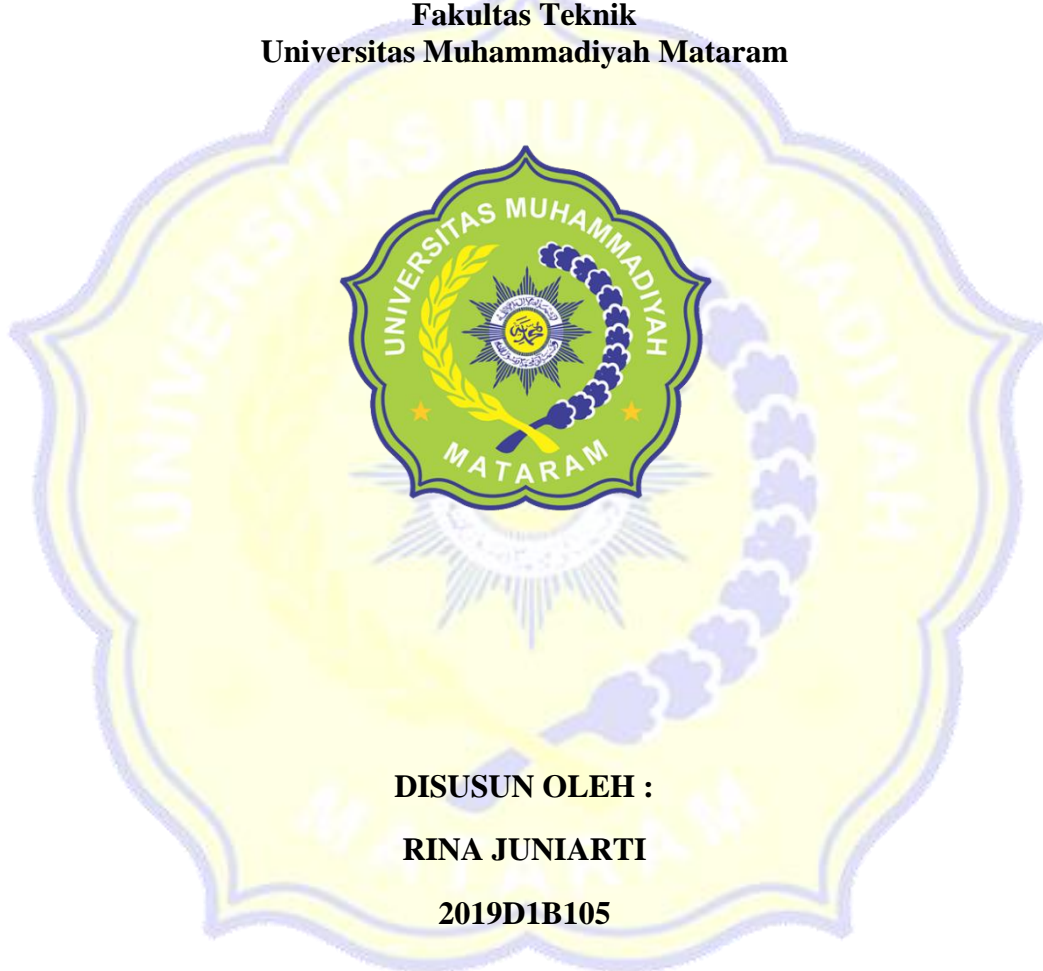


**SKRIPSI**  
**ANALISIS PENGARUH DERAJAT KEJENUHAN TANAH LEMPUNG**  
**EKSPANSIF TERHADAP PERILAKU PENURUNAN TANAH PADA**  
**KAWASAN EKONOMI KHUSUS (KEK) MANDALIKA MELALUI**  
**PENGUJIAN KONSOLIDASI**

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



**DISUSUN OLEH :**

**RINA JUNIARTI**

**2019D1B105**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM**  
**2023**

**HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING**

**TUGAS AKHIR**

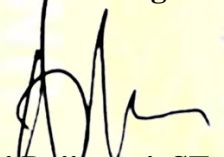
**ANALISIS PENGARUH DERAJAT KEJENUHAN TANAH LEMPUNG  
EKSPANSIF TERHADAP PERILAKU PENURUNAN TANAH PADA  
KAWASAN EKONOMI KHUSUS (KEK) MANDALIKA MELALUI  
PENGUJIAN KONSOLIDASI**

Disusun Oleh :

**RINA JUNIARTI**  
**2019D1B105**

**MATARAM, 23 JUNI 2023**

**Pembimbing I**

  
**Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT**  
**NIDN. 0828087201**

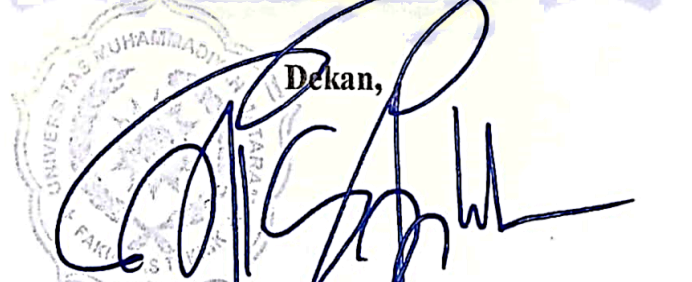
**Pembimbing II**

  
**M. Khalis Iلمي, ST., M.Eng.**  
**NIDN. 0831089401**

**Mengetahui,**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM  
FAKULTAS TEKNIK**

**Dekan,**

  
**Dr. H.Aji Syaiendra Ubaidillah, ST., M.Sc.**  
**NIDN.0806027101**

**HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI**

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PENGARUH DERAJAT KEJENUHAN TANAH LEMPUNG  
EKSPANSIF TERHADAP PERILAKU PENURUNAN TANAH PADA  
KAWASAN EKONOMI KHUSUS (KEK) MANDALIKA MELALUI  
PENGUJIAN KONSOLIDASI**

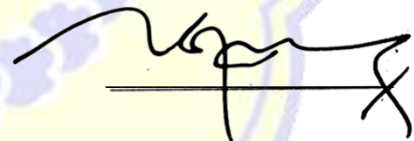
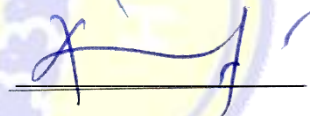
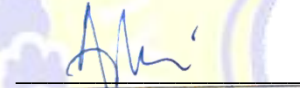
Dipersiapkan dan Disusun Oleh:

**RINA JUNIARTI**  
**2019D1B105**

Telah Dipresentasikan Di depan Tim Penguji  
Pada Hari Senin, 26 Juni 2023  
Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat

**Susunan Tim Penguji**

1. Penguji I : Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT.
2. Penguji II : M. Khalis Ilmi, ST., M.Eng.
3. Penguji III : Isfanari, ST., MT.



**Mengetahui,**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM  
FAKULTAS TEKNIK**

**Dekan,**



**Dr. H.Aji Syaiendra Ubaidillah, ST., M.Sc.**  
**NIDN.0806027101**

## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir/skripsi dengan judul :

**“ANALISIS PENGARUH DERAJAT KEJENUHAN TANAH LEMPUNG EKSPANSIF TERHADAP PERILAKU PENURUNAN TANAH PADA KAWASAN EKONOMI KHUSUS (KEK) MANDALIKA MELALUI PENGUJIAN KONSOLIDASI”**

Benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide dan hasil penelitian maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam tugas akhir/skripsi ini disebut dalam daftar pustaka. Bila terbukti di kemudian hari bahwa tugas akhir/skripsi ini merupakan hasil plagiasi, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya.

Demikian pernyataan ini saya buat tanpa tekanan dari pihak manapun dan dalam keadaan kesadaran penuh terhadap tanggung jawab dan konsekuensi.

Mataram, 25 Juni 2023  
Yang Membuat Pernyataan



**Rina Juniarti**

**2019D1B105**



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](mailto:perpustakaan@ummat.ac.id)

SURAT PERNYATAAN BEBAS  
PLAGIARISME

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

Nama : Rima Juniarti  
NIM : 201901B105  
Tempat/Tgl Lahir : Denpasar, 20 Juni 2000  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
No. Hp : 082359209874  
Email : r.junaa2206@gmail.com

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

Analisa Pengaruh Derajat Kejenuhan Tanah Lempung Ekspansif  
Terhadap Perilaku Penurunan Tanah Pada Kawasan Ekonomi Khusus  
(KEK) Mandalika Melalui Pengujian Konsolidasi

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 49%

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.

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

Mataram, 17 Juli 2023  
Penulis

Mengetahui,  
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT

Rima Juniarti  
NIM. 201901B105

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](mailto:perpustakaan@ummat.ac.id)

**SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN  
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

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

Nama : Dina Juniarti  
 NIM : 2019D1B105  
 Tempat/Tgl Lahir : Denpasar, 20 Juni 2000  
 Program Studi : Teknik Sipil  
 Fakultas : Teknik  
 No. Hp/Email : 082359209 874  
 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 Pengaruh Derajat Kejenuhan Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Perilaku Penurunan Tanah Pada Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika Melalui Pengujian Konsolidasi

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, 12 Juli.....2023

Penulis

Dina Juniarti  
 NIM. 2019D1B105

Mengetahui,

Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT

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

## HALAMAN MOTTO

"Jangan bandingkan prosesmu dengan orang lain karena tidak semua bunga tumbuh mekar secara bersamaan."

"Meski sering gagal, aku tidak pernah berpikir bahwa angan-anganku itu merupakan sesuatu yang tidak mungkin. Karena jika sekali saja aku berpikir seperti itu, maka kekuatan untukku bertahan pun akan menghilang. Jadi, tidak peduli aku terlihat ceroboh dan bodoh, aku selalu berpikir bahwa aku pasti bisa."

- Geul Bae Woo

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya."

– QS Al Baqarah 286

"Menuntut ilmu adalah taqwa. Menyampaikan ilmu adalah ibadah. Mengulang-ulang ilmu adalah zikir. Mencari ilmu adalah jihad."

– Abu Hamid Al Ghazali

"Selamanya kita muda / Bahkan ketika aku jatuh dan melukai diri sendiri / aku terus berlari menuju impianku"

- BTS, "Epilogue: Young Forever"

"I believe in myself, my back hurts because it's to sprout my wings. I may be weak now but in the end, it will be an incredible jump, fly up in the sky"

- Suga BTS (Interlude : Wings)

## UCAPAN TERIMAKASIH

Tugas akhir ini dapat terselesaikan berkat bantuan dan dukungan secara moril maupun materil dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah Subhanhuwa Ta'ala yang telah memberi rahmat serta ridhonya sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi.
2. Ayah H. Suhaidi, ST. dan Ibu Haeniah yang penulis cintai, penulis ucapkan mohon maaf yang sebesar-besarnya dan terima kasih atas doa dan dukungannya sehingga penulis tidak menyerah dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Drs. Abdul Wahab, M.A. Selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Dr. Aji Syailendra Abdullah, M.Sc. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
5. Adryan Fitrayudha, ST., MT. sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram
6. Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing Utama yang selalu membimbing dan memberikan arahan dalam penelitian ini.
7. M. Khalis Ilmi, ST., M.Eng. sebagai Dosen Pembimbing Kedua yang dengan bijaksana selalu membimbing penulis dalam menyusun tugas akhir ini.
8. Kakak penulis tercinta Reni Apriani, ST. dan Bagus Pratama Putra, ST. beserta keponakan penulis yang tersayang Cinta Agnia Putri dan Al-Fatih Agnia Putra yang selalu memberikan dukungan baik secara moril maupun material sehingga tugas akhir ini berjalan dengan lancar
9. Wahyudi dan Tarizqa Putri Aurelia, S.Ak yang selalu membantu, memberi dukungan dan motivasi kepada penulis dari semasa waktu perkuliahan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
10. Teman-teman seperjuangan, Novi Suryadita Rahmadani, Nia Camelia, Yayi Anggraini Safitri, Nur Alivia Annisa Rizki, Rivaldi Umar, Mukhta Riqi Sab'it Tibaq beserta angkatan tahun 2019 yang tidak bisa penulis sebut semuanya, saya ucapkan terima kasih sudah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga teman-teman diberi kesehatan dan sukses dimasa yang akan datang.
11. Semua staf Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram

Semoga Allah SWT memberikan imbalan yang setimpal atas bantuan yang diberikan. Aamiin.



## PRAKATA



Alhamdulillah, segala puji syukur kehadiran Allah SWT. atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, akhirnya penyusunan skripsi ini dapat berjalan lancar dan terselesaikan tepat pada waktunya.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik untuk memenuhi derajat strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram. Adapun judul skripsi ini adalah “ANALISIS PENGARUH DERAJAT KEJENUHAN TANAH LEMPUNG EKSPANSIF TERHADAP PERILAKU PENURUNAN TANAH PADA KAWASAN EKONOMI KHUSUS (KEK) MANDALIKA MELALUI UJI KONSOLIDASI”.

Terselesainya Tugas Akhir ini tidak lepas atas keikutsertaan pihak-pihak yang dengan tulus dan ikhlas membantu dalam penyusunan skripsi ini. Dalam kesempatan ini, penyusun mengucapkan ucapan terima kasih atas terselesaikannya skripsi ini kepada:

1. Drs. Abdul Wahab, MA, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Dr. Aji Syailendra Ubaidillah, M.Sc, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Adrian Fitrayuda, ST., MT, selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Dr. Heni Pujiastuti, ST., MT, selaku dosen pembimbing utama.
5. M. Khalis Ilmi, ST., M.Eng, selaku dosen pembimbing pendamping.
6. Bapak/ibu dosen jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram yang telah ikut memberikan bimbingan dan bantuan.

7. Kedua orang tua penulis yang telah memberikan dorongan moral dan materi.
8. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Sebagai manusia biasa, penyusun sadar bahwa masih banyak kekurangan pada laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang sifatnya membangun diharapkan dari semua pihak demi kesempurnaan tugas akhir ini. Dan semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi saya pribadi dan kita semua (pembaca) pada umumnya.



Mataram, 25 Juni 2023

Penyusun

## INTISARI

Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika terletak di sebelah selatan Pulau Lombok, di Kabupaten Lombok Tengah merupakan sebuah kawasan pariwisata di Lombok yang sedang dikembangkan. Pembangunan infrastruktur di kawasan pariwisata Mandalika Lombok berada pada permukaan tanah lempung yang cukup tebal dengan kejenuhan air yang tinggi, hal ini mempengaruhi stabilitas tanah dan struktur yang bisa menyebabkan penurunan, penggelinciran ataupun keruntuhan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui penurunan dengan perbandingan nilai  $C_c$  (indeks pemampatan),  $C_v$  (koefisien konsolidasi),  $a_v$  (koefisien pemampatan) dan  $t_{90}$  pada saat pembebanan dan pengembangan pada uji konsolidasi standar terhadap derajat kejenuhan tanah.

Penelitian dilakukan di laboratorium mekanika tanah Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram dengan pengujian konsolidasi berdasarkan SNI 2812-2011. Pengujian dilakukan menggunakan 3 sampel dengan variasi kadar air berdasarkan pengujian pemadatan tanah *dry side of optimum* 26,7% dengan derajat kejenuhan 44,901%, kadar air optimum 31,7% dengan derajat kejenuhan 54,017%, dan *wet side of optimum* 36,7% dengan derajat kejenuhan 60,94%. Kemudian dilakukan penambahan pembebanan pada sampel dengan beban bertahap 1000 gr, 2000 gr, 4000 gr, 8000 gr dengan waktu pembacaan 0', 15'', 30'', 1', 2', 4', 8', 15', 30', 1, 2, 4, 8 dan 24 jam. Pemberian beban yang bertahap bertujuan untuk mengetahui nilai Koefisien Konsolidasi ( $C_v$ ), Indeks pemampatan ( $C_c$ ), dan Koefisien pemampatan ( $a_v$ ) yang terjadi pada masing-masing sampel.

Hasil pengujian pengaruh derajat kejenuhan tanah lempung ekspansif terhadap penurunan tanah pada Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika, sampel A derajat kejenuhan 44,901% merupakan sampel yang terbaik diantara sampel B derajat kejenuhan 54,017% dan sampel C derajat kejenuhan 60,94%, karena waktu penurunan yang cepat dan besaran penurunan yang terendah serta nilai koefisien pemampatan ( $a_v$ ) paling rendah. Nilai indeks pemampatan ( $C_c$ ) sebesar 0,080, nilai koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) sebesar 0,747  $\text{cm}^2/\text{detik}$ , nilai koefisien pemampatan ( $a_v$ ) sebesar 0,026  $\text{cm}^2/\text{kg}$ , penurunan konsolidasi sebesar 0,220 cm dan nilai pengembangan sebesar 4,5%.

**Kata kunci:** Penurunan tanah, tanah lempung ekspansif, derajat kejenuhan, konsolidasi, Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika.

## ABSTRACT

The Mandalika Special Economic Zone (SEZ) is situated in the southern region of Lombok Island, specifically in the Central Lombok Regency. This area is being developed as a tourism destination. The infrastructure development in the Mandalika Lombok tourism area faces challenges due to the presence of thick clay soil with high water saturation. This condition impacts the stability of the soil and structures, potentially causing issues like subsidence, sliding, or collapse. The objective of this study was to assess the settlement behavior of the soil by comparing various parameters, including the compression index ( $C_c$ ), coefficient of consolidation ( $C_v$ ), compression coefficient ( $\alpha_v$ ), and the time required for loading and swelling during the standard consolidation test at different degrees of soil saturation.

The research was conducted at the soil mechanics laboratory of the Civil Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Muhammadiyah University of Mataram, following the guidelines of SNI 2812-2011. The testing involved three samples with different water content levels, determined through soil compaction testing. The samples included an optimum dry side with a water content of 26.7% and a degree of saturation of 44.901%, an optimum moisture content of 31.7% with a degree of saturation of 54.017%, and a wet side of optimum with a water content of 36.7% and a degree of saturation of 60.94%. Additional loading was applied gradually to each sample, with weights of 1000 gr, 2000 gr, 4000 gr, and 8000 gr, and readings were taken at specific time intervals ranging from minutes to hours. The purpose of this gradual loading was to determine the consolidation coefficient ( $C_v$ ), compression index ( $C_c$ ), and compression coefficient ( $\alpha_v$ ) for each sample.

The findings revealed that sample A, with a degree of saturation of 44.901%, performed the best among samples B (degree of saturation of 54.017%) and C (degree of saturation of 60.94%). This conclusion was based on the fastest settlement time, the lowest settlement magnitude, and the lowest compression coefficient ( $\alpha_v$ ). The compression index ( $C_c$ ) was determined to be 0.080, the consolidation coefficient ( $C_v$ ) was 0.747 cm<sup>2</sup>/second, the compression coefficient ( $\alpha_v$ ) was 0.026 cm<sup>2</sup>/kg, the consolidation settlement was 0.220 cm, and the expansion was 4.5%.

**Keywords:** Land Subsidence, Expansive Clay Soil, Degree of Saturation, Consolidation, Mandalika Special Economic Zone (SEZ).



## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUT	
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN .....	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	v
SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vi
HALAMAN MOTTO .....	vii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	viii
PRAKATA .....	ix
INTISARI.....	xi
ABSTRAK .....	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR .....	xviii
DAFTAR PERSAMAAN .....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxiii
DAFTAR NOTASI .....	xxiv
BAB I. PENDAHULUAN .....	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.1.1. Penelitian Terdahulu .....	5
2.2 Landasan Teori .....	11
2.2.1 Tanah .....	11
2.2.2 Klasifikasi Tanah .....	11
2.2.3 Tanah Lempung Ekspansif .....	18
2.2.4 Kembang Susut Tanah Lempung.....	20
2.2.5 Proses Pembasahan .....	22

2.2.6	Komposisi Tanah .....	23
2.2.7	Batas-Batas Atterberg .....	26
2.2.8	Derajat Kejenuhan .....	29
2.2.9	Pemadatan Tanah .....	30
2.2.10	Konsolidasi .....	31
2.2.11	Analogi Konsolidasi Satu Dimensi .....	31
2.2.12	<i>Lempung Normal Normally Consolidated dan Overconsolidated</i> .....	34
2.2.13	Pengujian Konsolidasi .....	36
2.2.14	Interpretasi Hasil Pengujian Konsolidasi .....	38
2.2.15	Pengaruh Gangguan Benda Uji Pada Grafik E-Log P....	39
2.2.16	Koefisien Pemampatan ( <i>Coefficient Of Compression</i> ) ( $a_v$ ) Dan Koefisien Perubahan Volume ( $m_v$ ) ( <i>Coefficient Of Volume Change</i> ) .....	42
2.2.17	Tekanan Prakonsolidasi ( $P_c'$ ) ( <i>Preconsolidation Pressure</i> ) .....	45
2.2.18	Indeks Pemampatan ( $C_c$ ) ( <i>Compression Index</i> ) .....	46
2.2.19	Koefisien Konsolidasi ( $C_v$ ) ( <i>Coefficient Of Consolidation</i> ) .....	48
2.2.20	Metode Akar Waktu ( <i>Square Root of Time Method</i> ).....	49
2.2.21	Hitungan Penurunan Konsolidasi .....	50
2.2.22	Konsolidasi Sekunder .....	53
<b>BAB III. METODE PENELITIAN .....</b>		
3.1	Lokasi Penelitian .....	55
3.2	Persiapan Penelitian.....	55
3.2.1.	Pengambilan Sampel Tanah.....	55
3.3	Alat Dan Bahan Penelitian .....	56
3.3.1	Alat.....	56
3.3.2	Bahan .....	63
3.4	Pelaksanaan Pengujian .....	63
3.5	Pelaksanaan Pengujian di Laboratorium .....	63
3.5.1.	Kadar Air .....	63
3.5.2.	Berat Jenis .....	64
3.5.3.	Berat Volume .....	65
3.5.4.	Batas Plastis Dan Indeks Plastisitas.....	66
3.5.5.	Batas Cair .....	67
3.5.6.	Analisa Hidrometer.....	68
3.5.7.	Analisa Saringan.....	69

3.5.8. Uji Pemadatan Standar.....	70
3.5.9. Uji Konsolidasi .....	71
3.6. Prosedur Pengujian Utama .....	72
3.6.1. Pengujian Fisik Tanah: .....	72
3.6.2. Uji Pemadatan Standar.....	72
3.6.3. Tahapan Uji Pemadatan Standar.....	72
3.6.4. Prosedur Pengujian Utama Konsolidasi .....	73
3.7. Tahapan Penelitian .....	75
3.7.1. Studi Pustaka.....	75
3.7.2. Studi Pustaka.....	75
3.7.3. Analisis Data.....	75
3.8. Bagan Alir Penelitian.....	76
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	
4.1. Hasil Pengujian Sifat Fisik .....	77
4.1.1. Kadar Air Tanah .....	77
4.1.2. Berat Isi Tanah.....	77
4.1.3. Berat Jenis Tanah.....	79
4.1.4. Batas Cair Tanah.....	80
4.1.5. Batas Plastis Dan Indeks Plastis .....	80
4.1.6. Analisa Saringan dan Hidrometer.....	82
4.1.7. Klasifikasi Tanah .....	83
4.2. Hasil Pengujian Sifat Mekanis .....	83
4.2.1. Uji Pemadatan Standar.....	83
4.2.2. Analisa Hasil Pengujian Konsolidasi.....	85
4.2.3. Variasi Hubungan $S_r$ Dengan Nilai $C_v$ , $C_c$ , Dan $A_v$ .....	98
4.2.4. Perhitungan Penurunan Konsolidasi ( $S_c$ ) .....	102
4.2.5. Perhitungan Pengembangan ( <i>Swelling</i> ) .....	93
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	
5.1. Kesimpulan.....	104
5.2. Saran .....	105
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>106</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu .....	5
Tabel 2.2. Klasifikasi Tanah Menggunakan Sistem AASHTO.....	14
Tabel 2.3. . Klasifikasi Tanah Menggunakan Sistem USCS .....	17
Tabel 2.4. Hubungan Indeks Plastisitas terhadap <i>Swelling Potential</i> .....	19
Tabel 2.5. Hubungan Persentase Pengembangan terhadap Tingkat Pengembangan .....	19
Tabel 2.6. Klasifikasi tanah ekspansif didasarkan pada uji pengembangan tanah tak terganggu pada tekanan <i>overburden</i> di tempat.....	22
Tabel 4.1. Pengujian Kadar Air.....	77
Tabel 4.2. Pengujian Berat Isi Tanah .....	78
Tabel 4.3. Berat Jenis Tanah .....	79
Tabel 4.4. Pengujian Batas plastis tanah .....	81
Tabel 4.5. Nilai indeks plastisitas.....	81
Tabel 4.6. Hasil pengujian sifat fisik.....	83
Tabel 4.7. Hasil Derajat Kejenuhan .....	85
Tabel 4.8. Rekapitulasi hasil perhitungan $t_{90}$ .....	95
Tabel 4.9. Nilai koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) pada derajat kejenuhan 44,901%.....	96
Tabel 4.10. Nilai koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) pada derajat kejenuhan 54,017%.....	96
Tabel 4.11. Nilai koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) pada derajat kejenuhan 60,940%.....	97
Tabel 4.12. Nilai koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) pada derajat kejenuhan 75,496%.....	97
Tabel 4.13. Rekapitulasi nilai koefisien konsolidasi ( $C_v$ ).....	97
Tabel 4.14. Perhitungan indeks pemampatan ( $C_c$ ) & koefisien konsolidasi ( $a_v$ ).....	98
Tabel 4.15. Nilai $C_v$ dan $S_r$ .....	99
Tabel 4.16. Nilai $C_c$ dan $S_r$ .....	100
Tabel 4.17. Nilai $a_v$ dan $S_r$ .....	101



Tabel 4.18. Nilai penurunan konsolidasi (Sc) ..... 102

Tabel 4.19. Nilai pengembangan (*swelling*)..... 103

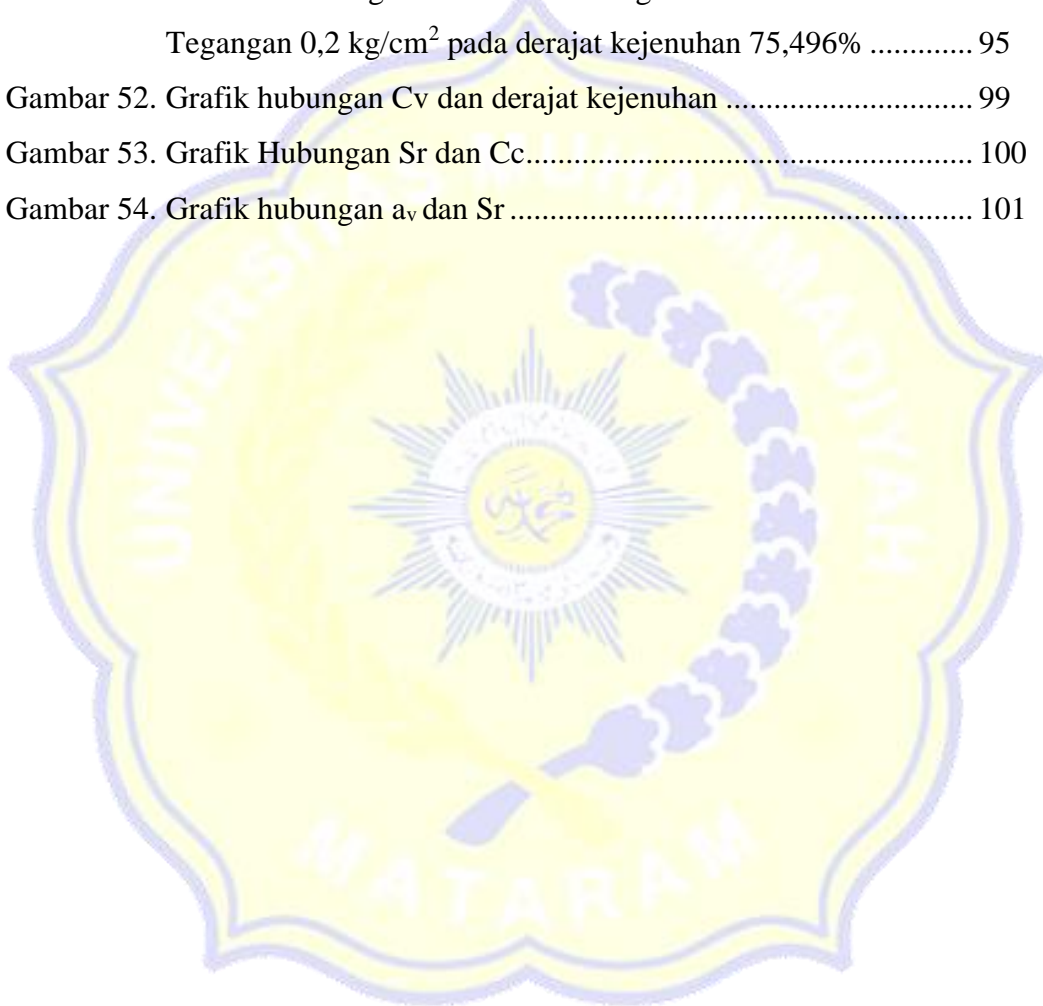


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Alat Uji Pengembangan .....	23
Gambar 2. Elemen Tanah Dalam Keadaan Asli .....	23
Gambar 3. Tiga Fase Elemen Tanah.....	24
Gambar 4. Analogi Piston dan Pegas .....	32
Gambar 5. Reaksi tekanan air pori terhadap beban pondasi.....	33
Gambar 6. Gambar skema alat pengujian konsolidasi.....	36
Gambar 7. Sifat khusus grafik hubungan $\Delta H$ terhadap $\log t$ .....	37
Gambar 8. Sifat khusus grafik hubungan $e$ - $\log p'$ .....	38
Gambar 9. Fase Konsolidasi .....	39
Gambar 10. Pengaruh gangguan contoh pada kurva pemampatan.....	41
Gambar 11. Hasil Pengujian Konsolidasi .....	43
Gambar 12. Cara menentukan $p_c'$ .....	46
Gambar 13. Indeks pemampatan $C_c$ .....	47
Gambar 14. Metode Akar Waktu .....	49
Gambar 15. Peta Lokasi Pengambilan Sampel.....	55
Gambar 16. Pengambilan Sampel Tanah.....	56
Gambar 17. Cawan. ....	56
Gambar 18. Picnometer .....	57
Gambar 19. Pengaduk Tanah.....	57
Gambar 20. Timbangan .....	58
Gambar 21. Alat Cassagrande .....	58
Gambar 22. Plat kaca.....	59
Gambar 23. Gelas ukur .....	59
Gambar 24. Saringan .....	60
Gambar 25. Penumbuk .....	60
Gambar 26. Silinder mold.....	61
Gambar 27. Oven.....	61
Gambar 28. Oedometer test .....	62
Gambar 29. Spatula .....	62
Gambar 30. Mesin Penggetar .....	63

Gambar 31. Penyusunan modul ke sel konsolidasi .....	74
Gambar 32. Bagan alir penelitian .....	76
Gambar 33. Batas Cair (LL) .....	80
Gambar 34. Grafik hasil pengujian analisa saringan dan Hidrometer .....	82
Gambar 35. Grafik hubungan kadar air dengan volume tanah kering.....	84
Gambar 36. Grafik Hubungan Penurunan Dengan Akar Waktu Pada Tegangan 0,05 kg/cm <sup>2</sup> pada derajat kejenuhan 44,901% .....	86
Gambar 37. Grafik Hubungan Penurunan Dengan Akar Waktu Pada Tegangan 0,1 kg/cm <sup>2</sup> pada derajat kejenuhan 44,901% .....	86
Gambar 38. Grafik Hubungan Penurunan Dengan Akar Waktu Pada Tegangan 0,2 kg/cm <sup>2</sup> pada derajat kejenuhan 44,901% .....	87
Gambar 39. Grafik Hubungan Penurunan Dengan Akar Waktu Pada Tegangan 0,41 kg/cm <sup>2</sup> pada derajat kejenuhan 44,901% .....	87
Gambar 40. Grafik Hubungan Penurunan Dengan Akar Waktu Pada Tegangan 0,05 kg/cm <sup>2</sup> pada derajat kejenuhan 54,017% .....	88
Gambar 41. Grafik Hubungan Penurunan Dengan Akar Waktu Pada Tegangan 0,1 kg/cm <sup>2</sup> pada derajat kejenuhan 54,017% .....	89
Gambar 42. Grafik Hubungan Penurunan Dengan Akar Waktu Pada Tegangan 0,2 kg/cm <sup>2</sup> pada derajat kejenuhan 54,017% .....	89
Gambar 43. Grafik Hubungan Penurunan Dengan Akar Waktu Pada Tegangan 0,41 kg/cm <sup>2</sup> pada pada derajat kejenuhan 54,017% .....	90
Gambar 44. Grafik Hubungan Penurunan Dengan Akar Waktu Pada Tegangan 0,05 kg/cm <sup>2</sup> pada derajat kejenuhan 60,940% .....	91
Gambar 45. Grafik Hubungan Penurunan Dengan Akar Waktu Pada Tegangan 0,1 kg/cm <sup>2</sup> pada derajat kejenuhan 60,940% .....	91
Gambar 46. Grafik Hubungan Penurunan Dengan Akar Waktu Pada Tegangan 0,2 kg/cm <sup>2</sup> pada derajat kejenuhan 60,940% .....	92
Gambar 47. Grafik Hubungan Penurunan Dengan Akar Waktu Pada Tegangan 0,41 kg/cm <sup>2</sup> pada derajat kejenuhan 60,940% .....	92

Gambar 48. Grafik Hubungan Penurunan Dengan Akar Waktu Pada Tegangan $0,05 \text{ kg/cm}^2$ pada derajat kejenuhan $75,496\%$ .....	93
Gambar 49. Grafik Hubungan Penurunan Dengan Akar Waktu Pada Tegangan $0,1 \text{ kg/cm}^2$ pada derajat kejenuhan $75,496\%$ .....	94
Gambar 50. Grafik Hubungan Penurunan Dengan Akar Waktu Pada Tegangan $0,2 \text{ kg/cm}^2$ pada pada derajat kejenuhan $75,496\%$ .....	94
Gambar 51. Grafik Hubungan Penurunan Dengan Akar Waktu Pada Tegangan $0,2 \text{ kg/cm}^2$ pada derajat kejenuhan $75,496\%$ .....	95
Gambar 52. Grafik hubungan $C_v$ dan derajat kejenuhan .....	99
Gambar 53. Grafik Hubungan $S_r$ dan $C_c$ .....	100
Gambar 54. Grafik hubungan $a_v$ dan $S_r$ .....	101



## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1	Perhitungan Indeks Kelompok.....	13
Persamaan 2.2	Perhitungan Berat Jenis.....	24
Persamaan 2.3	Perhitungan Kadar Air .....	25
Persamaan 2.4	Perhitungan Berat Volume Tanah Basah ( $\gamma_b$ ) .....	25
Persamaan 2.5	Perhitungan Berat Volume Tanah Kering ( $\gamma_d$ ).....	25
Persamaan 2.6	Perhitungan Berat Volume Tanah Jenuh Air ( $\gamma_{sat}$ ).....	26
Persamaan 2.7	Perhitungan Berat Volume Tanah Terendam Air ( $\gamma'$ ).....	26
Persamaan 2.8	Perhitungan Batas Cair ( <i>Liquid Limit</i> ).....	28
Persamaan 2.9	Perhitungan Indeks Plastisitas ( <i>Plasticity Index</i> ).....	29
Persamaan 2.10	Perhitungan Batas Susut / <i>Shrinkage Limit</i> (SI).....	29
Persamaan 2.11	Perhitungan Angka Pori.....	29
Persamaan 2.12	Perhitungan Porositas.....	30
Persamaan 2.13	Perhitungan Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) .....	35
Persamaan 2.14	Perhitungan Fase Konsolidasi .....	38
Persamaan 2.15	Perhitungan Perubahan Tebal .....	39
Persamaan 2.16	Perhitungan Perubahan Volume Hanya Dalam Arah Vertikal.....	42
Persamaan 2.17	Perhitungan Kemiringan Kurva $E - P'$ ( $A_v$ ) .....	42
Persamaan 2.18	Perhitungan Perubahan Volume a. Perubahan Volume.....	44
	b. Perubahan Volume.....	44
Persamaan 2.19	Perhitungan Indeks Pemampatan .....	46
Persamaan 2.20	Perhitungan Indeks Pemampatan Untuk Tanah <i>Normally Consolidated</i> .....	47
Persamaan 2.21	Perhitungan Indeks Pemampatan Untuk Lempung Chicago .....	47
Persamaan 2.22	Perhitungan Indeks Pemampatan Untuk Lempung Brasilia .....	47
Persamaan 2.23	Perhitungan Indeks Pemampatan Untuk Lempung Chicago .....	48

Persamaan 2.24 Perhitungan Indeks Pemampatan Untuk Tanah Organik, Gambut.....	48
Persamaan 2.25 Perhitungan Koefisien Konsolidasi.....	50
Persamaan 2.26 Perhitungan Pengurangan Volume Persatuan Volume .....	51
Persamaan 2.27 Perhitungan Tegangan Pada Beban 1.....	51
Persamaan 2.28 Perhitungan Penurunan Konsolidasi .....	51
Persamaan 2.29 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Untuk Lempung <i>Overconsolidated</i> Bila, $P_1' < P_c'$ .....	52
Persamaan 2.30 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Untuk Lempung <i>Overconsolidated</i> Bila, $P_1' > P_c'$ .....	52
Persamaan 2.31 Perhitungan Indeks Pemampatan Pada Kurva Penambahan Beban Atau Pada $P' > P_c'$ .....	53
Persamaan 2.32 Perhitungan Indeks Pemampatan Kembali Pada Kurva Pelepasan Beban Atau Pada $P' < P_c'$ .....	53
Persamaan 2.33 Perhitungan Indeks Pemampatan Sekunder .....	53
Persamaan 2.34 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Sekunder .....	54

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Surat-Surat.....
- Lampiran 2. Hasil Sifat Fisik Tanah.....
- Lampiran 3. Hasil Pengujian Mekanik Tanah.....
- Lampiran 4. Dokumentasi.....



## NOTASI



$\gamma$	= Berat volume ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
$\gamma_{dry}$	= berat volume kering ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
$\gamma_{wet}$	= berat volume basah ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
$\gamma_u$	= berat volume maksimum ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
$\omega$	= Kadar air (%)
$G_s$	= Berat jenis ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
$LL$	= Batas cair (%)
$PL$	= Batas plastis (%)
$IP$	= Indeks plastisitas (%)
$SL$	= Batas susut (%)
$q$	= Persentase berat tanah lolos saringan (%)
$W_{ai}$	= Berat tanah tertahan (gr)
$W_{bi}$	= Berat saringan + Tanah tertahan (gr)
$W_1$	= Berat cawan (gr)
$W_2$	= Berat cawan + tanah basah (gr)
$W_3$	= Berat cawan + tanah kering (gr)
$W_4$	= Berat tanah kering (gr)
$W_w$	= Berat air (gr)
$W_n$	= Kadar air pada ketukan ke-n (%)
$e_0$	= Angka pori awal
$e_1$	= Angka pori saat kondisi primer selesai/ diberi pembebanan
$\Delta e$	= Besar perubahan angka pori
$C_c$	= Indeks Pemampatan



$C_v$  = Koefisien pemampatan

$C_r$  = Rekompresi indeks

$C_a$  = indeks pemampatan sekunder

$a_v$  = Koefisien pemampatan

$H_0$  = Tinggi awal

$H_1$  = Tinggi setelah diberi pembebanan

$\Delta H$  = Perubahan tinggi

$V$  = Volume awal

$\Delta V$  = Perubahan volume

$U$  = Derajat konsolidasi saat waktu tertentu pada kedalaman  $z$  (0-100%)

$P_c'$  = Tekanan prakonsolidasi

$\Delta t$  = Perubahan waktu

$t_2$  =  $t_1 + \Delta t$

$t_1$  = Waktu setelah konsolidasi primer selesai.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Lombok merupakan sebuah pulau yang terletak di sebelah timur Bali, Indonesia. Pulau ini terkenal karena keindahan alamnya yang memukau, pantai-pantainya yang menakjubkan, serta kekayaan budayanya. Sebagai tujuan pariwisata yang populer, Lombok menawarkan berbagai tempat wisata menarik yang layak untuk dikunjungi, termasuk Pantai Kuta Lombok, Gili Trawangan, Gunung Rinjani, dan Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika.

Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika, sebuah kawasan pariwisata di Lombok yang saat ini sedang dikembangkan, terletak di bagian selatan Pulau Lombok, tepatnya di Kabupaten Lombok Tengah. Kawasan ini dirancang untuk menjadi pusat pariwisata yang terpadu dengan berbagai fasilitas dan atraksi menarik, seperti hotel mewah, arena olahraga, restoran, pusat perbelanjaan, dan sebagainya. Namun, peningkatan pembangunan infrastruktur di area ini dapat memiliki dampak pada permukaan tanah. Ketika infrastruktur baru seperti jalan, bangunan, jembatan, atau fasilitas lainnya dibangun, beban struktural dari infrastruktur tersebut akan dialihkan ke tanah di sekitarnya. Jika beban yang ditransfer ke tanah terlalu besar, tanah dapat mengalami penurunan atau subsiden. Tanah yang tidak mampu menahan beban tambahan tersebut dapat mengalami penurunan permukaan yang terus-menerus.

Menurut Ardiansah (2020) Pembangunan infrastruktur di kawasan pariwisata Mandalika Lombok berada pada permukaan tanah lempung yang cukup tebal. Berdasarkan susunan mineralnya, tanah lempung diklasifikasikan menjadi tanah lempung ekspansif dan non ekspansif. Tanah lempung ekspansif terdiri dari mineral lempung yang memiliki karakteristik apabila terjadi perubahan kadar air maka akan mempengaruhi tingkat kembang dan susutnya. Pengaruh dari perubahan kadar air terjadi dikarenakan tanah lempung ekspansif mengandung jenis-jenis mineral tertentu yang mampu mengakibatkan tanah lempung ekspansif memiliki luas permukaan cukup besar dan sangat mudah meresap air dalam jumlah besar. Tanah

lempung ekspansif merupakan salah satu jenis tanah yang memerlukan tindakan tersendiri agar dapat dijadikan sebagai dasar konstruksi.

Kekurangan kekuatan geser pada tanah dapat menyebabkan batasan pada beban yang dapat ditempatkan di atasnya, baik beban sementara maupun beban permanen. Sementara itu, sifat kompresibilitas yang tinggi pada tanah dapat mengakibatkan penurunan setelah selesai dibangun. Kemampuan tanah dalam menahan tegangan dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk tingkat kejenuhan, kandungan mineral, dan metode pengujian yang digunakan.

Pada keadaan tanah lempung mengalami kejenuhan air yang tinggi, volume tanah bisa meningkat karena adanya pengembangan (*swelling*). Namun ketika tanah lempung kehilangan air akan mengalami penurunan derajat kejenuhan karena mengalami penyusutan, hal ini mempengaruhi stabilitas tanah dan struktur yang bisa menyebabkan penurunan, penggelinciran ataupun keruntuhan. Untuk itu perlu dilakukan pengujian tanah lempung pada Kawasan Ekonomi Eksekutif (KEK) Mandalika terhadap derajat kejenuhan tanah sebagai langkah awal untuk mengantisipasi potensi penurunan dan melindungi struktur dari kerusakan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan penjelasan latar belakang masalah yang telah disampaikan, maka penelitian akan difokuskan pada beberapa permasalahan, yaitu:

1. Bagaimana sifat fisik tanah lempung ekspansif di Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika?
2. Bagaimana perbandingan nilai  $C_c$  (*coefficient of compressibility*),  $C_v$  (*coefficient of consolidation*),  $a_v$  (*coefficient of volume compressibility*), dan  $t_{90}$  pada variasi saat pembebanan dan pelepasan beban dalam uji konsolidasi standar terhadap variasi derajat kejenuhan tanah?
3. Bagaimana besar penurunan konsolidasi terhadap variasi derajat kejenuhan yang ditinjau dan pengembangan tanah yang terjadi?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk menentukan sifat fisik tanah lempung ekspansif di Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika.
2. Bagaimana perbandingan nilai  $C_c$  (*coefficient of compressibility*),  $C_v$  (*coefficient of consolidation*),  $a_v$  (*coefficient of volume compressibility*), dan  $t_{90}$  pada variasi saat pembebanan dan pelepasan beban dalam uji konsolidasi standar terhadap variasi derajat kejenuhan tanah?
3. Untuk menentukan besar penurunan konsolidasi terhadap variasi derajat kejenuhan yang ditinjau dan pengembangan tanah yang terjadi.

### 1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Muhammadiyah Mataram adapun lingkup dibatasi dengan beberapa hal sebagai berikut:

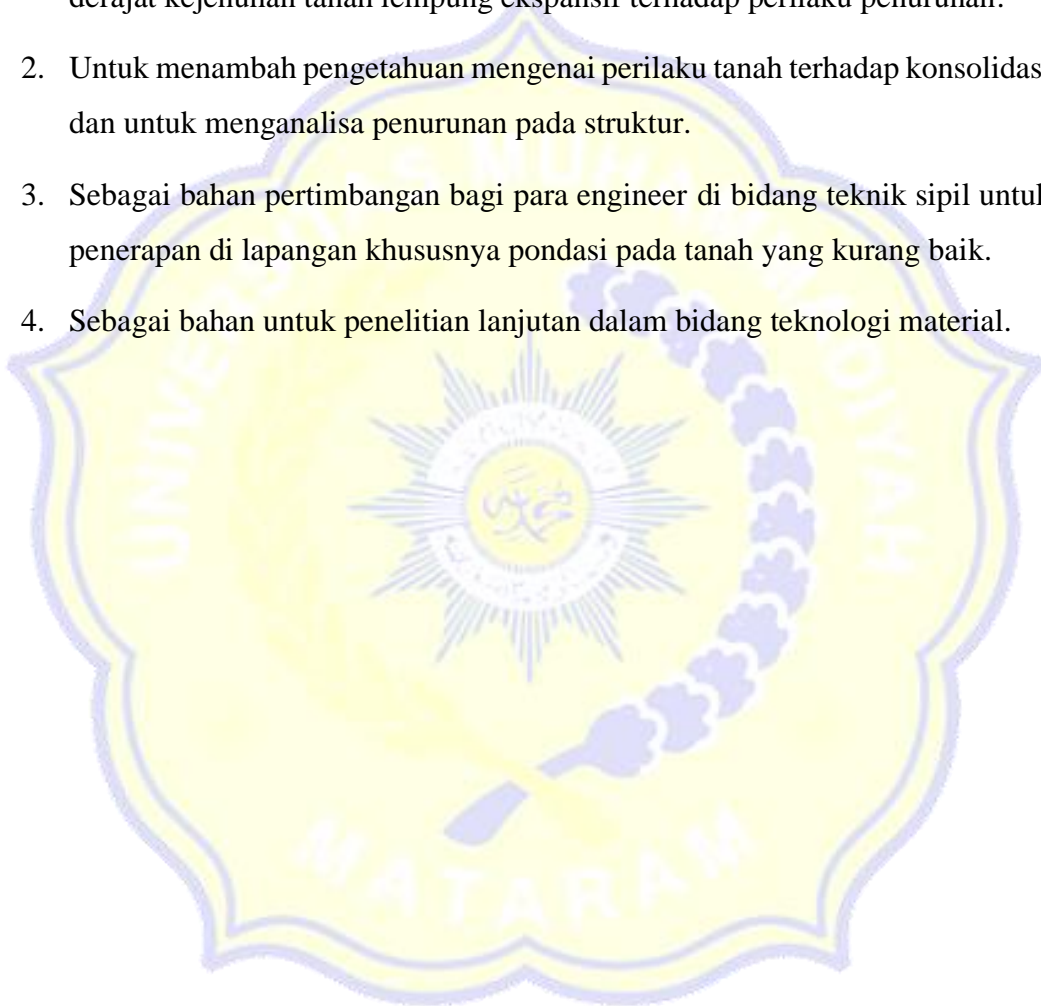
1. Sampel tanah yang diuji menggunakan material tanah lempung ekspansif yang berasal dari Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah.
2. Penelitian ini tidak menguji kandungan mineral pada tanah.
3. Penelitian ini tidak menguji kandungan kimia pada tanah.
4. Penelitian hanya melakukan pengujian sifat fisik dan mekanik tanah saja.
5. Pengujian sifat fisik tanah yang dilakukan adalah:
  - a. Pengujian kadar air.
  - b. Pengujian berat volume.
  - c. Pengujian analisa saringan.
  - d. Pengujian berat jenis.
  - e. Pengujian batas atterberg
6. Pengujian sifat mekanik tanah yang dilakukan adalah:

- a. Pengujian pemadatan tanah (*Compaction Test*).
- b. Pengujian konsolidasi.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi tentang pengaruh derajat kejenuhan tanah lempung ekspansif terhadap perilaku penurunan.
2. Untuk menambah pengetahuan mengenai perilaku tanah terhadap konsolidasi dan untuk menganalisa penurunan pada struktur.
3. Sebagai bahan pertimbangan bagi para engineer di bidang teknik sipil untuk penerapan di lapangan khususnya pondasi pada tanah yang kurang baik.
4. Sebagai bahan untuk penelitian lanjutan dalam bidang teknologi material.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka adalah sebuah rangkuman yang berhubungan dengan isu-isu yang ada dalam studi kasus, didasarkan pada penelitian atau karya sebelumnya yang telah dilakukan oleh orang lain, dan digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini.

##### 2.1.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merujuk pada studi yang telah dilakukan sebelumnya, yang menggunakan objek atau topik yang relevan dengan penelitian saat ini. Penelitian-penelitian tersebut menjadi referensi dalam menyusun penelitian ini agar keaslian dan validitas penelitian dapat diidentifikasi. Selain itu, tinjauan pustaka yang berasal dari berbagai penelitian juga disertakan sebagai berikut.

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu

No	Penelitian	Judul	Metode	Hasil
1.	M. Anwar Inderawan, Ari (2014)	Pengaruh Derajat Kejenuhan Tanah Lempung Terhadap Perilaku Penurunan Tanah.	Uji sifat fisik meliputi uji kadar air, berat isi tanah, berat jenis tanah, batas atterberg, analisa saringan dan hidrometer. Sedangkan uji mekanik meliputi uji pemadatan standar dan uji konsolidasi.	Sampel C memiliki penurunan terendah dengan Kadar Air Optimum sebesar 27%, dan nilai rata-rata derajat kejenuhan sebesar 45%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) tercepat terdapat pada sampel C, yaitu sebesar $0,175 \text{ cm}^2/\text{detik}$ . Selain itu, diperoleh nilai indeks pemampatan ( $C_c$ ) sebesar 0,46. Sampel C juga memiliki nilai koefisien

No	Penelitian	Judul	Metode	Hasil
				<p>pemampatan (<math>a_v</math>) yang rendah, dengan nilai rata-rata sebesar 0,06 cm<sup>2</sup>/Kg. Semakin kecil nilai indeks pemampatan, maka penurunan yang terjadi juga semakin kecil. Proses pemampatan yang rendah pada jenis tanah tersebut dapat mengurangi risiko kerusakan pada struktur di atasnya.</p>
2.	Anton Sangaji, (2014)	Pengaruh Derajat Kejenuhan Tanah Organik Terhadap Perilaku Penurunan Tanah.	<p>Uji sifat fisik meliputi uji kadar air, berat isi tanah, berat jenis tanah, batas atterberg, analisa saringan dan hidrometer. Sedangkan uji mekanik meliputi uji pemadatan standar dan uji konsolidasi.</p>	<p>Dalam pengujian pengaruh derajat kejenuhan terhadap perilaku penurunan tanah, ditemukan bahwa sampel terbaik adalah yang memiliki kecepatan proses penurunan tercepat dan penurunan terkecil. Sampel dengan nilai derajat kejenuhan terendah menunjukkan proses penurunan yang lebih cepat dan penurunan yang lebih kecil. Proses penurunan yang cepat dianggap menguntungkan karena tanah mencapai lapisan</p>

No	Penelitian	Judul	Metode	Hasil
				<p>stabil dengan lebih cepat, sementara penurunan yang kecil mengindikasikan pemampatan tanah yang lebih rendah dan mengurangi risiko kerusakan pada konstruksi di atasnya. Sampel A merupakan sampel terbaik di antara sampel B dan sampel C, karena memiliki waktu penurunan yang tidak terlalu lambat dan nilai koefisien pemampatan (<math>a_v</math>) terendah. Hal ini terlihat dari diagram yang menggambarkan hubungan persentase derajat kejenuhan dengan <math>C_v</math> sebesar 0,185 cm<sup>2</sup>/detik, <math>C_c</math> sebesar 2,218, dan <math>a_v</math> sebesar 0,27 cm<sup>2</sup>/Kg. Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa tanah organik dalam kondisi baik memiliki persentase derajat kejenuhan terendah pada pengujian konsolidasi.</p>
3.	Lalu Ayup Taufik	Pengaruh Tingkat	Uji sifat fisik meliputi uji	Dari hasil pengujian pengembangan, ditemukan



No	Penelitian	Judul	Metode	Hasil
	Wirendanu, (2014)	Kepadatan Dan Kadar Air Terhadap Potensi Mengembang Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Desa Tanak Awu Kabupaten Lombok Tengah.	kadar air, berat isi tanah, berat jenis tanah, batas atterberg, analisa saringan dan hidrometer. Sedangkan uji mekanik meliputi uji pemadatan standar dan uji pengembangan ( <i>swelling</i> ) metode B.	bahwa potensi pengembangan terendah terjadi saat tanah berada dalam keadaan basah ( <i>wet side</i> ) dengan berat volume kering ( <i>γ<sub>d</sub></i> ) sebesar 1,34 gr/cm <sup>3</sup> dan kadar air awal ( <i>w</i> ) sebesar 29,43%. Pada kondisi tersebut, potensi pengembangan mencapai 24,35% dengan tekanan pengembangan sebesar 465 kPa. Di sisi lain, potensi pengembangan terbesar terjadi saat tanah berada dalam keadaan kering ( <i>dry side</i> ) dengan berat volume kering ( <i>γ<sub>d</sub></i> ) 1,34 gr/cm <sup>3</sup> dan kadar air awal ( <i>w</i> ) sebesar 17,64%. Pada kondisi tersebut, potensi pengembangan mencapai 37,24% dengan tekanan pengembangan sebesar 1250 kPa. Terlihat bahwa semakin rendah kadar air awal, potensi dan tekanan pengembangan yang terjadi semakin besar. Oleh karena

No	Penelitian	Judul	Metode	Hasil
				itu, dapat disimpulkan bahwa kondisi kadar air awal ( $w_0$ ) memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat pengembangan tanah ekspansif.
4.	Zaky Ansyarulhaq, (2017)	Ekspansifitas Tanah Lempung Penujak Dipadatkan Pada Variasi Kadar Air Dengan Tingkat Kepadatan Tetap	Uji sifat fisik meliputi uji kadar air, berat isi tanah, berat jenis tanah, batas atterberg, analisa saringan dan hidrometer. Sedangkan uji mekanik meliputi uji pemadatan standar dan uji pengembangan ( <i>swelling</i> ) metode B.	Hasil uji pengembangan diperoleh nilai potensi dan tekanan pengembangan sampel tanah pada kadar air awal 25,17% dengan nilai potensi pengembangan sebesar 38,28%. Sedangkan potensi dan tekanan pengembangan terkecil terjadi pada sampel tanah pada kadar air awal 30,77% dengan nilai potensi pengembangan sebesar 33,31% dan tekanan pengembangan sebesar 1200 kPa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil kadar air awal maka potensi dan tekanan pengembangan yang terjadi semakin besar dan sebaliknya semakin besar kadar air awal maka potensi

No	Penelitian	Judul	Metode	Hasil
				dan tekanan pengembangan yang terjadi semakin kecil.
5.	Ayu Purnama Sari, (2021)	Pengaruh Kadar Air Terhadap Besarnya Penurunan Pada Uji Konsolidasi	Uji sifat fisik meliputi uji kadar air, berat isi tanah, berat jenis tanah, batas atterberg, analisa saringan dan hidrometer. Sedangkan uji mekanik yaitu uji konsolidasi.	Dari hasil pengujian konsolidasi, diperoleh penurunan pada tanah asli dengan kadar air 40,17% sebesar 0,1864 cm. Pada tanah dengan variasi kadar air 35%, penurunannya sebesar 0,1677 cm, dan pada tanah dengan variasi kadar air 30%, penurunannya sebesar 0,1414 cm. Dapat disimpulkan bahwa semakin rendah persentase kadar air pada tanah, maka nilai kompresi tanah akan semakin kecil. Oleh karena itu, penurunan yang terjadi pada tanah juga akan lebih kecil.

Penelitian saat ini oleh Rina Juniarti (2023), menggunakan tanah lempung ekspansif sebagai sampel benda uji, dan lokasi sampel benda uji diambil dari Desa Sukadana, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat. Penelitian dilakukan dilaboratorium Mekanika Tanah Universitas Muhammadiyah Mataram untuk mengamati sifat fisik berupa pengujian kadar air, berat jenis, berat isi tanah, batas atterberg, analisa saringan dan hidrometer. Pengujian mekanik pada penelitian ini yaitu pengujian pemadatan standar dan pengujian konsolidasi.

Pengujian konsolidasi mengacu pada SNI – 2812:2011 tentang pelaksanaan pengujian konsolidasi satu dimensi. Adapun hasil penelitian yang diharapkan pada penelitian ini yaitu sebagai pengembangan dan pembaruan dari penelitian terdahulu. Pengujian konsolidasi dilakukan pada derajat kejenuhan *dry side optimum* dengan pengurangan kadar air 5% dari kadar air optimum, pada derajat kejenuhan kadar air optimum dan pada derajat kejenuhan *wet side optimum* dengan penambahan kadar air 5% dari kadar air optimum. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui besar penurunan konsolidasi terhadap variasi derajat kejenuhan yang ditinjau beserta pengembangan yang terjadi guna memahami sebagaimana tanah pada lokasi pengambilan sampel jenuh dengan air dan mengantisipasi kemungkinan penurunan yang terjadi.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Tanah**

Tanah dapat dijelaskan sebagai material yang terdiri dari butiran mineral padat yang tidak terikat satu sama lain, bersama dengan bahan organik dan partikel padat yang telah mengalami pelapukan. Di antara partikel-padat tersebut terdapat ruang-ruang kosong yang berisi zat cair dan gas. Beberapa sifat fisik tanah meliputi berat isi, porositas, sudut geser, dan berat volume. Berat isi adalah perbandingan antara berat total tanah (termasuk air dan udara) dengan volume totalnya. Sudut geser terjadi akibat gerakan antara butiran-butiran tanah atau hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser dalam tanah. Berat volume adalah perbandingan antara berat tanah kering dengan volume total tanah (Das, 1995)

Secara umum dari hasil survey lapangan dan test laboratorium tanah memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Permeabilitas tanah.
- b. Kemampuan dan konsolidasi tanah.
- c. Kekuatan tegangan geser tanah.
- d. Klasifikasi tanah.

### **2.2.2 Klasifikasi Tanah**

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu metode yang digunakan untuk mengelompokkan berbagai jenis tanah yang memiliki karakteristik serupa berdasarkan penggunaannya. Sistem ini memberikan suatu bahasa yang sederhana untuk menggambarkan sifat-sifat umum tanah yang sangat beragam tanpa perlu penjelasan terperinci. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang dikembangkan untuk keperluan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang relatif mudah diukur, seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas. Meskipun ada berbagai sistem klasifikasi tanah yang tersedia saat ini, tidak satupun dari sistem tersebut memberikan penjelasan yang komprehensif mengenai semua kemungkinan penggunaan tanah tersebut. Hal ini disebabkan oleh variasi yang sangat luas dalam sifat-sifat tanah. (Das, 1991)

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan oleh para ahli teknik sipil. Kedua sistem ini mempertimbangkan distribusi ukuran butiran dan batas Atterberg sebagai kriteria klasifikasi. Sistem Klasifikasi *Unified (Unified Soil Classification System)* dan Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) adalah dua sistem tersebut. Umumnya, para ahli geoteknik lebih suka menggunakan Sistem Klasifikasi *Unified* untuk keperluan teknik lainnya, sementara Departemen Jalan Raya di seluruh negara bagian Amerika Serikat menggunakan Sistem Klasifikasi AASHTO.

#### **2.2.2.1 Sistem AASHTO**

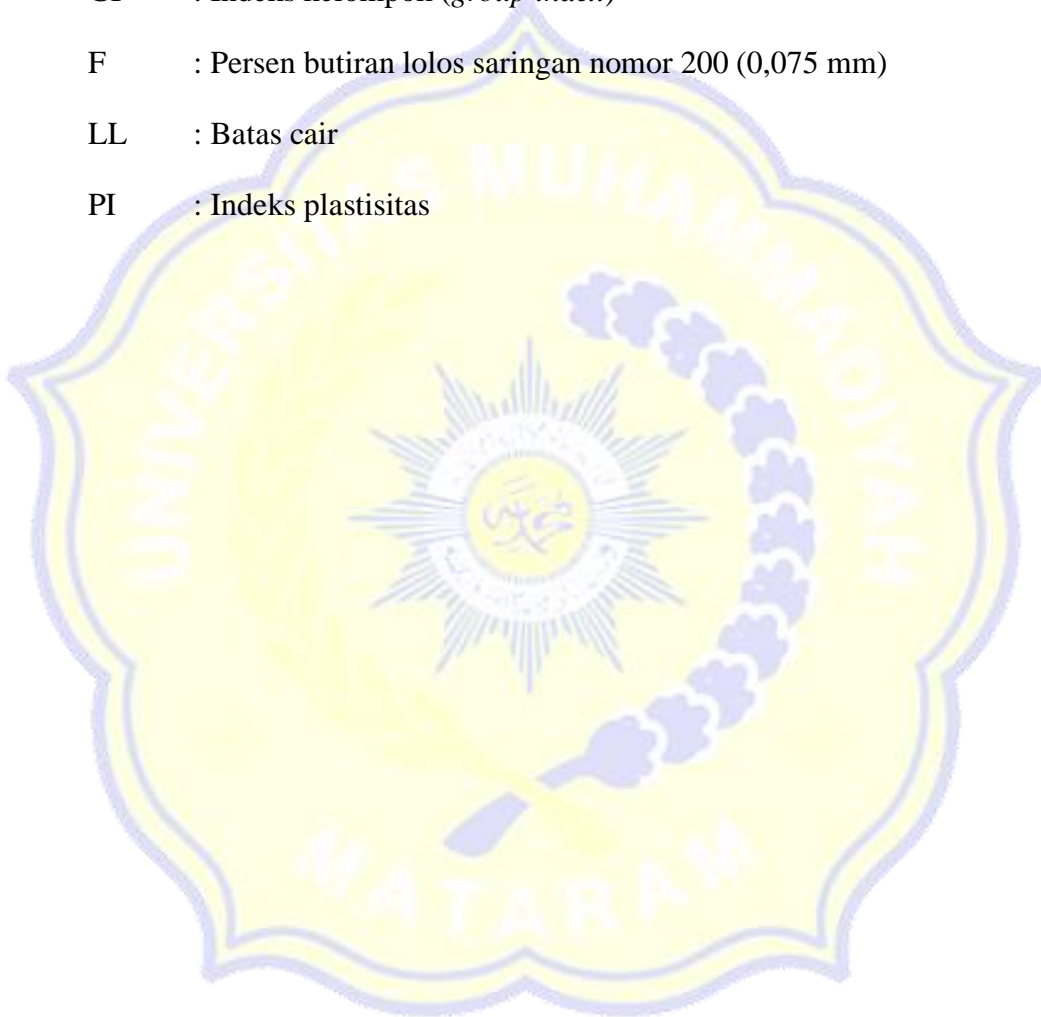
Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) digunakan untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, sub-grade, dan sub-base. Sistem ini membagi tanah menjadi beberapa kelompok, mulai dari kelompok A-1 hingga A-8, termasuk subkelompoknya. Setiap kelompok tanah dievaluasi berdasarkan indeks kelompok yang dapat dihitung menggunakan rumus empiris. Pengujian yang dilakukan meliputi analisis saringan dan batas Atterberg. Pada tabel 2.2 Sistem Klasifikasi AASHTO menunjukkan sistem klasifikasi AASHTO (Hardiyatmo, 2019).

Indeks kelompok (*group index*) atau GI digunakan untuk melakukan evaluasi lebih lanjut dalam pengelompokkan tanah. Indeks kelompok dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1 sebagai berikut:

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

dengan,

- GI : Indeks kelompok (*group index*)
- F : Persen butiran lolos saringan nomor 200 (0,075 mm)
- LL : Batas cair
- PI : Indeks plastisitas



Tabel 2.2. Klasifikasi Tanah Menggunakan Sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Material Granuler (<35% lolos saringan No.200)							Tanah-Tanah Lanau-Lempung (>35% lolos saringan No.200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi Kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6
Analisis Saringan (%lolos)											
2.00 mm (No.10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.425 mm (No.40)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0.075 mm (No.200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan No.40											
Batas Cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks Plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (G)	0		0	0	4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks	
Tipe material yang umum pada pokoknya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

(Sumber: Hardiatmo, 2019)

### 2.2.2.2 Sistem USCS

Metode klasifikasi tanah menggunakan sistem USCS (*Unified Soil Classification System*) merupakan metode yang banyak digunakan dalam bidang geoteknik. Sistem klasifikasi ini pertama kali diusulkan oleh A. Cassagrande pada tahun 1942 dan direvisi oleh *The Corps of Engineers dan The US Bureau of Reclamation* pada tahun 1952.

Menurut Hardiyatmo (2019), dalam sistem *Unified*, tanah diklasifikasikan sebagai tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, sedangkan tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Selanjutnya, tanah dibagi ke dalam kelompok dan subkelompok yang terdapat dalam Tabel 2.3 Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*. Simbol-simbol yang digunakan dalam klasifikasi tersebut adalah sebagai berikut

Adapun pembagian kedua jenis tanah tersebut sebagai berikut:

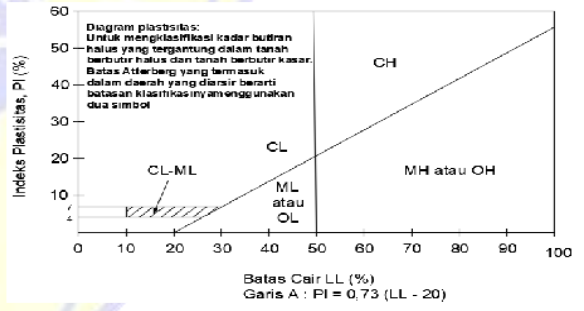
1. Tanah kasar dengan persyaratan kurang dari 50% tanah lolos saringan nomor 200. Kelompok ini diawali dengan simbol G atau S. Simbol G adalah singkatan dari kerikil (*gravell*), sedangkan S adalah singkatan dari pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah halus adalah tanah dengan 50% atau lebih yang lolos saringan nomor 200. Simbol kelompok ini diawali dengan prefiks M, yang merupakan singkatan dari lumpur anorganik, C yang merupakan singkatan dari lanau anorganik, dan O yang merupakan singkatan dari lumpur dan lanau organik. Simbol Pt digunakan untuk tanah gambut, tanah kotoran, dan tanah lain yang memiliki kadar organik yang tinggi. Simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi adalah sebagai berikut:
  - a. W – *well graded* (bergradasi baik).
  - b. P – *poorly graded* (bergradasi tidak baik)
  - c. L – plastisitas rendah (batas cair kurang dari 50).
  - d. H – plastisitas tinggi (batas cair lebih dari 50).



Untuk menentukan klasifikasi tanah dalam sistem USCS, dapat dilihat pada Tabel 2.3 sebagai acuan.



Tabel 2.3. Klasifikasi Tanah Menggunakan Sistem USCS

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Laboratorium			
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih tertahan saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kriteria untuk GW Batas - batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas - batas Atterberg di bawah garis A atau $PI > 7$ Jika batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol			
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus				
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir - lempung				
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir - lempung				
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kriteria untuk SW Batas - batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas - batas Atterberg di bawah garis A atau $PI > 7$ Jika batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol		
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus				
		SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau				
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung				
		Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	ML			Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	 <p>Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488</p>
			CL			Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (*lean clays*)	
OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah						
MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis						
CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gembuk (*fat clays*)						
OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi						
Tanah dengan kadar organik tinggi	P1	Gambut (*peat*) dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi					

(Sumber : Hardiatmo,2019)

### **2.2.3 Tanah Lempung Ekspansif**

Menurut Gunarso dkk (2017), tanah ekspansif adalah jenis lempung yang memiliki sifat khas, yaitu memiliki kandungan mineral ekspansif dengan kapasitas pertukaran ion yang tinggi. Oleh karena itu, tanah lempung ekspansif memiliki potensi pengembangan dan penyusutan yang tinggi ketika terjadi perubahan kadar air. Ketika kadar air meningkat, tanah ekspansif akan mengalami pengembangan yang disertai dengan peningkatan tekanan air di dalam pori-pori tanah.

Tanah ekspansif merupakan salah satu jenis tanah yang sering menjadi masalah dalam penggunaan jalan. Tanah ini mengalami perubahan volume sebagai respons terhadap fluktuasi kadar air. Ketika tanah basah, tanah ini akan mengembang, sedangkan ketika tanah kering, tanah ini akan menyusut. Oleh karena itu, tanah ekspansif sering disebut juga sebagai tanah kembang-susut atau tanah bergerak. Perilaku ini berdampak pada kerusakan jalan. Kerusakan pada jalan raya yang umum terjadi adalah retakan panjang atau retakan longitudinal. Dampak kerusakan ini cukup signifikan, dan hampir semua negara yang memiliki tanah ekspansif mengalami kerugian yang cukup besar.

Chen (1975) menyajikan tiga metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah lempung ekspansif, yaitu:

#### **2.2.3.1 Cara tidak langsung (*single index method*)**

Hasil dari berbagai pengujian indeks dasar pada tanah dapat digunakan untuk mengidentifikasi apakah tanah tersebut memiliki potensi ekspansi atau tidak. Pengujian indeks dasar meliputi uji batas Atterberg, uji susut linier (*linear shrinkage test*), uji potensi pengembangan bebas (*free swelling potential*), dan uji kandungan koloid. Menurut Chen (1975), potensi pengembangan tanah ekspansif secara signifikan terkait dengan indeks plastisitas. Oleh karena itu, Chen membuat klasifikasi potensi pengembangan pada tanah lempung berdasarkan indeks plastisitas, yang dijelaskan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Hubungan Indeks Plastisitas terhadap *Swelling Potential*

Indeks Plastisitas (%)	Potensial Pengembangan
0-15	Rendah
15-25	Sedang
25-55	Tinggi
>55	Sangat Tinggi

(Sumber: Chen (1975))

### 2.2.3.2 Cara pengukuran langsung

Untuk mengukur pengembangan tanah ekspansif secara langsung, metode yang dapat digunakan adalah menggunakan alat konsolidasi satu dimensi untuk memperoleh persentase pengembangan. Pendekatan ini dijelaskan oleh Chen (1975). Tingkat pengembangan suatu tanah ekspansif dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Hubungan Persentase Pengembangan terhadap Tingkat Pengembangan

Persentase Pengembangan (%)	Tingkat Pengembangan
100	Kritis
50-100	Batas
<50	Aman

(Sumber: Chen (1975))

#### 2.2.4 Kembang Susut Tanah Lempung

Tanah yang mengandung lempung memiliki kemampuan untuk mengalami perubahan volume saat terjadi perubahan kadar air. Ketika kadar air berkurang, lempung akan menyusut, sedangkan saat kadar air bertambah, lempung akan mengembang. Faktor-faktor seperti tipe dan jumlah mineral lempung, susunan tanah, konsentrasi garam dalam air pori, valensi kation, sementasi, adanya bahan organik, dan perubahan volume tanah yang besar mempengaruhi tingkat pengembangan tanah.

Pengembangan lempung terjadi akibat peningkatan ketebalan lapisan ion difusi saat air hadir. Kehadiran ion natrium yang dapat ditukar menyebabkan pengembangan lebih besar daripada ion kalsium. Susut tanah berbutir halus menjadi masalah serius, dan retakan dapat muncul akibat tekanan kapiler yang melebihi kekuatan tarik dan kohesi tanah. Retakan akibat pengeringan permukaan umumnya terjadi pada lempung lunak dan dapat berdampak negatif pada struktur perkerasan jalan.

Retakan yang terjadi akibat susut disebabkan oleh penguapan permukaan selama musim panas atau penurunan muka air tanah. Namun, saat musim hujan, tanah akan kembali mendapatkan air, dan volume tanah akan bertambah dan mengembang. Perubahan volume yang terjadi akibat proses kembang-susut ini seringkali merusak bangunan gedung ringan dan perkerasan jalan raya. Biasanya, perkerasan jalan atau pembangunan gedung dilakukan pada musim panas, sehingga tanah permukaan dalam kondisi kering. Ketika bangunan menutupi tanah, penguapan terhambat, sehingga tanah di bawahnya akan mengalami peningkatan kadar air akibat kapiler, yang menyebabkan tanah lempung mengembang. Jika tekanan yang ditahan oleh perkerasan atau bangunan kurang dari tekanan pengembangan (tekanan pembengkakan), maka permukaan tanah akan naik dan menyebabkan kerusakan pada bangunan yang berada di atasnya.

Selama proses kembang-susut, tanah tidak akan sepenuhnya kembali ke posisi semula. Tanah lempung akan mengalami kondisi *overconsolidated* dan mengalami pengurangan pemampatan akibat peningkatan tegangan efektif. Proses

pengembangan tanah merupakan proses yang relatif kompleks jika dibandingkan dengan proses penyusutan (Yong dan Warketin, 1975).

Untuk memperkirakan sifat kembang-susut tanah, uji pengembangan dapat dilakukan di laboratorium. Contoh tanah yang mengalami ekspansi vertikal dan perubahan tinggi dibagi tinggi awal dapat digunakan untuk menentukan potensi pengembangan tanah tersebut (dinyatakan dalam persentase). Pengujian ini dapat dilakukan menggunakan alat uji konsolidasi konvensional, seperti konsolidometer. Namun, karena belum adanya prosedur standar yang universal, spesifikasi pengujian dapat bervariasi dan hasil pengujian mungkin berbeda, sehingga tidak selalu dapat dibandingkan secara langsung (Sudjianto, 2015).

Dalam uji tersebut, diameter contoh tanah umumnya berkisar antara 50 hingga 112 mm, sedangkan tingginya berkisar antara 12 hingga 37 mm. Jika diameter contoh tanah lebih besar, hal ini dapat mempengaruhi gesekan pada dinding dan menyebabkan contoh tanah cenderung mengalami ekspansi yang lebih besar. Contoh tanah dapat berupa contoh asli (*undisturbed*) atau contoh yang dibentuk kembali (*remolded*). Jika contoh dibentuk kembali, perlu diperhatikan kepadatan, kadar air, dan proses pemadatan contoh tanah. Kadar air awal yang digunakan dapat berupa kadar air di tempat, kadar air optimum, atau kondisi kering udara. Beban yang diterapkan pada contoh tanah biasanya didistribusikan secara merata dan besarnya ditentukan. Umumnya, beban tersebut berkisar antara 2,9 hingga 71,8 kPa.

Snethen (1984) juga menyarankan bahwa beban yang diterapkan harus mempertimbangkan kemungkinan adanya beban luar, seperti beban dari pondasi. Dengan menggunakan kriteria pengujian yang disarankan oleh Snethen, klasifikasi tanah ekspansif dapat ditentukan seperti yang terlihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Klasifikasi tanah ekspansif didasarkan pada uji pengembangan tanah tak terganggu pada tekanan *overburden* di tempat.

Potensi pengembangan	Klasifikasi pengembangan
< 0,5	Rendah
0,5 – 1,5	Sedang
> 1,5	Tinggi

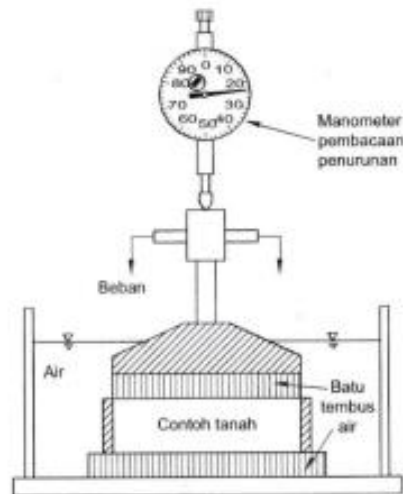
(Sumber: Snethen, 1984)

### 2.2.5 Proses Pembasahan

Regangan pengembangan yang terjadi di lapangan tidak selalu sebanding dengan yang terjadi di laboratorium. Hal ini dikarenakan tanah di lapangan mungkin belum mencapai kondisi kejenuhan yang sempurna. Rasio antara regangan aktual yang terjadi dengan regangan potensi pengembangan tanah disebut sebagai koefisien pembasahan. Derajat kejenuhan sangat bergantung pada beberapa hal seperti:

- a. Kecepatan dan lama waktu air merembes ke dalam tanah akibat pembasahan dan rembesan keluar akibat penguapan.
- b. Kecepatan air masuk ke tanah.
- c. Kondisi tanah berlapis-lapis.

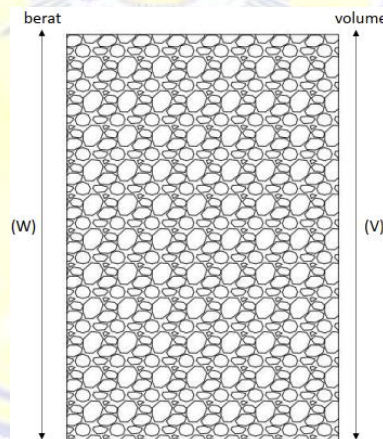
Untuk pengujian pengembangan tanah dapat digunakan untuk melakukan pengujian *swelling pressure*. Pengujian ini melibatkan pengukuran pengembangan tanah setelah pembebanan dan kemudian melepas beban secara perlahan sampai tanah kembali ke volume awalnya. Metode ini umumnya menghasilkan tekanan pengembangan. Gambar 1 di bawah ini menggambarkan alat uji pengembangan tersebut.



Gambar 1. Alat uji pengembangan  
(Sumber: *Mekanika Tanah I, Hardiyatmo, 2019*)

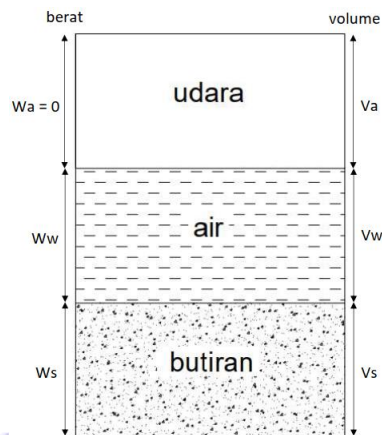
### 2.2.6 Komposisi Tanah

Umumnya, jenis tanah terdiri dari tiga fase, yaitu butiran tanah (padat) itu sendiri, air, dan udara yang terdapat dalam ruang di antara butiran-butiran tersebut. Ruang kosong ini disebut pori (*voids*). Hal ini dijelaskan oleh Nawawi (2022).



Gambar 2. Elemen Tanah Dalam Keadaan Asli  
(Sumber: *Mekanika Tanah I, Hardiyatmo, 2019*)





Gambar 3. Tiga Fase Elemen Tanah

(Sumber: Mekanika Tanah I, Hardiyatmo, 2019)

Berikut adalah beberapa hubungan volume yang umum digunakan dalam analisis elemen tanah:

#### 2.2.6.1. Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Menurut SNI 1964:2008, berat jenis adalah rasio antara berat isi butir tanah dan berat isi air suling pada temperatur dan volume yang sama. Berat jenis tanah diperlukan untuk melakukan perhitungan indeks properti tanah, seperti angka pori, berat isi tanah, derajat kejenuhan, serta karakteristik pemampatan dan sifat lainnya.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w} \quad (2.2)$$

dengan,

$G_s$  : Berat jenis tanah (specific gravity) (gr/cm<sup>3</sup>)

$W_s$  : Berat volume butiran (gram)

$\gamma_s$  : Berat volume butiran (gr/cm<sup>3</sup>)

$\gamma_w$  : Berat volume air (gr/cm<sup>3</sup>)

$V_s$  : Volume butiran

### 2.2.6.2. Kadar Air

Kadar air adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah tersebut, yang biasanya dinyatakan dalam persentase. Menurut SNI 1965:2008, penentuan kadar air untuk tanah dan batuan dilakukan di laboratorium dengan menggunakan contoh tanah atau batuan yang diambil dari lapangan. Hasil uji kadar air ini memiliki berbagai kegunaan, termasuk untuk menentukan konsistensi dan sifat perilaku material tersebut. Pada tanah kohesif, konsistensi tanah sangat bergantung pada nilai kadar airnya. Kadar air juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perilaku tanah, terutama dalam proses pengembangannya. Lempung dengan kadar air rendah memiliki potensi pengembangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lempung yang memiliki kadar air tinggi. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa lempung dengan kadar air alami yang rendah memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menyerap air.

Rumus:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (2.3)$$

dengan,

$W$  : Kadar air (%)

$W_w$  : Berat air (gram)

$W_s$  : Berat tanah kering (gram)

### 2.2.6.3. Berat Volume (*Unit Weight*)

Berat satuan atau berat volume ( $\gamma$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat tanah dengan volume massa tanah. Adapun persamaan yang digunakan untuk berat volume tanah adalah sebagai berikut:

a) Berat volume tanah basah ( $\gamma_b$ ) (2.4)

$$\gamma_b = \frac{W}{V}$$

b) Berat volume tanah kering ( $\gamma_d$ ) (2.5)

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

c) Berat volume tanah jenuh air ( $\gamma_{sat}$ ) (2.6)

$$\gamma_{sat} = \frac{W_w + W_s}{V}$$

d) Berat volume tanah terendam air ( $\gamma'$ ) (2.7)

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

dengan,

$W$  : Kadar air (%)

$W_w$  : Berat air (gram)

$W_s$  : Berat tanah kering (gram)

$V$  : Volume massa tanah ( $\text{cm}^3$ )

$\gamma_b$  : Berat volume basah ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$\gamma_d$  : Berat volume kering ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$\gamma_{sat}$  : Berat volume butiran ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$\gamma_w$  : Berat volume air ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$\gamma'$  : Berat volume apung ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

### 2.2.7 Batas-Batas Atterberg

Albert Atterberg memperkenalkan konsep Batas Atterberg pada tahun 1911 sebagai metode untuk mengklasifikasikan tanah berbutir halus dan menentukan sifat indeks tanah. Batas Atterberg mencakup empat parameter, yaitu batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), indeks plastisitas (*plasticity index*), dan batas susut (*shrinkage limit*).

Menurut Hardiyatmo (2002), sifat plastisitas adalah hal yang penting dalam tanah berbutir halus. Plastisitas terjadi karena adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Plastisitas dapat digambarkan sebagai kemampuan tanah untuk mengubah bentuknya tanpa mengalami retakan atau kerusakan pada volume yang konstan. Tergantung pada kadar airnya, tanah dapat berada dalam keadaan cair, plastis, semi padat, atau padat. Kedudukan kadar air di mana terjadi perubahan fase

ini bervariasi antara jenis tanah yang berbeda. Konsistensi adalah posisi fisik dari tanah berbutir halus pada kadar air tertentu. Konsistensi ini tergantung pada gaya tarik antar partikel mineral lempung. Ketika kadar air berkurang, tebal lapisan kation berkurang dan gaya tarik antar partikel meningkat.

Atterberg menyediakan metode untuk menggambarkan batas-batas konsistensi tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kadar air. Batas-batas tersebut meliputi batas susut, batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas.

#### **2.2.7.1. Batas Cair (*Liquid Limit*)**

Menurut Hardiyatmo (2002), Batas cair (LL) adalah kandungan air dalam tanah di titik di mana tanah berada pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yang merupakan batas atas dari daerah plastis. Batas cair ini biasanya ditentukan melalui pengujian Cassagrande (1948). Tujuan dari pengujian batas cair ini adalah untuk mengidentifikasi keadaan di mana tanah mencapai batas cair. Untuk menentukan batas cair ini untuk cara menentukan yaitu dimulai dari:

- a. Tentukan kadar air tiap-tiap contoh dan gambar dalam grafik.
- b. Tarik garis lurus melalui titik-titik tersebut.
- c. Kemudian kadar air didapatkan pada jumlah ketukan 25 kali adalah nilai batas cairnya.

Karena sulit untuk mengontrol kadar air tepat saat celah tertutup setelah 25 pukulan, biasanya eksperimen ini dilakukan beberapa kali. Percobaan tersebut melibatkan penggunaan berbagai kadar air yang berbeda dan jumlah pukulan yang berkisar antara 15 hingga 35. Selanjutnya, hubungan antara kadar air dan jumlah pukulan direpresentasikan dalam bentuk grafik semilogarithmic untuk menentukan kadar air pada titik di mana celah tertutup setelah 25 pukulan.

#### **2.2.7.2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)**

Menurut Hardiyatmo (2002), Batas plastis (PL) adalah kadar air di mana tanah berada pada posisi antara keadaan plastis dan semi padat. Hal ini dinyatakan sebagai persentase kadar air di mana tanah dengan diameter silinder 3 mm mulai retak ketika digulung. Pengujian ini lebih bergantung pada penilaian subjektif

operator daripada pengujian batas cair. Batas plastis merupakan titik terendah dari tingkat keplastisan suatu tanah.

### 2.2.7.3. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Menurut Hardiyatmo (2002), Indeks Plastisitas adalah rentang kadar air di mana tanah masih memiliki sifat plastis. Oleh karena itu, indeks plastisitas mencerminkan elastisitas tanah. Jika tanah memiliki rentang kadar air dalam daerah plastis yang sempit, kondisi tersebut disebut sebagai tanah kurus. Sebaliknya, jika tanah memiliki rentang kadar air dalam daerah plastis yang luas, disebut sebagai tanah gemuk. Nilai indeks plastisitas dapat dihitung menggunakan pendekatan sebagai berikut:

$$IP = LL - PL \quad (2.8)$$

dengan,

$IP$  : Indeks plastisitas (%)

$LL$  : Batas cair (%)

$PL$  : Batas plastis (%)

### 2.2.7.4. Batas Susut /*Shrinkage Limit* (SL)

Batas susut (SL) didefinisikan sebagai kadar air di mana tanah berada pada posisi antara daerah semi padat dan padat. Ini adalah persentase kadar air di mana pengurangan lebih lanjut dalam kadar air tidak akan mengubah volume tanahnya. Batas ini memiliki signifikansi yang cukup penting di daerah yang kering dan untuk jenis tanah tertentu yang mengalami perubahan volume yang signifikan dengan perubahan kadar air. Penting untuk dicatat bahwa semakin kecil batas susut, tanah akan lebih mudah mengalami perubahan volume terhadap nilai wadahnya (wadah susut), yang berarti lebih sedikit air yang diperlukan untuk mengubah volume tanah tersebut. Tanah lempung dalam kondisi ini akan menjadi keras, sesuai dengan penjelasan Bowles (1991).

$$SL = w - \frac{V_1 - V_2}{W} \quad (2.9)$$

dengan,

$SL$  : Batas susut (%)

$W$  : Berat tanah kering (gram)

$w$  : Kadar air tanah basah (%)

$V_l$  : Volume tanah basah (cm<sup>3</sup>)

$V_2$  : Volume tanah kering (cm<sup>3</sup>)

### 2.2.8 Derajat Kejenuhan (Sr)

Menurut Ari (2014), terdapat hubungan volume yang umum digunakan dalam elemen tanah, yaitu angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*), dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

Angka pori didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat, yaitu :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.10)$$

dengan,

$e$  : Angka pori (*Void ratio*)

$V_v$  : Volume pori

$V_s$  : Volume butiran padat

Porositas merupakan perbandingan antara volume ruang kosong di dalam tanah dengan volume total tanah, termasuk volume partikel padat dan volume pori. Adapun rumus porositas yaitu:

$$\eta = \frac{V_v}{V} \quad (2.11)$$

dengan,

$\eta$  : Porositas (*Porosity*)

$V_v$  : Volume pori

$V$  : Volume tanah total

Derajat kejenuhan merupakan perbandingan antara volume air yang ada dalam pori-pori tanah dengan volume total pori dalam tanah tersebut. Adapun rumus derajat kejenuhan yaitu:

$$Sr = \frac{V_w}{V_v} \quad (2.12)$$

dengan,

$Sr$  : Derajat kejenuhan (*degree of saturation*)

$V_v$  : Volume pori

$V_w$  : Volume tanah total

### 2.2.9 Pemadatan Tanah (*Compaction*)

Menurut Bowles (1991), pemadatan tanah (*compaction*) adalah proses meningkatkan kepadatan tanah dengan menggunakan energi mekanis untuk mengompaksi partikel-partikelnya. Tanah dapat dipadatkan melalui metode pengeringan, penambahan air, agregat (butiran-butiran), atau dengan penambahan bahan stabilisasi. Pemadatan terjadi ketika berat volume kering tanah meningkat akibat beban dinamis yang diterapkan.

Tujuan dari pemadatan adalah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis massa tanah. Beberapa manfaat yang diperoleh melalui pemadatan antara lain:

- a. Mengurangi penurunan permukaan tanah (*subsidence*), yaitu pergerakan vertikal di dalam tanah yang disebabkan oleh pengurangan angka pori.
- b. Meningkatkan kekuatan tanah.
- c. Mengurangi penyusutan dan volume berkurang akibat pengurangan kadar air dari nilai referensi saat pengeringan.
- d. Mengurangi permeabilitas.
- e. Meningkatkan kekuatan geser tanah.

Tanah dapat didefinisikan dalam konteks pemadatan berdasarkan metode Proctor, yang meliputi proses pemadatan atau energi pemadatan yang digunakan,

jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel, dll), kadar air, dan berat isi kering. (Bowles, 1991).

#### **2.2.10 Konsolidasi**

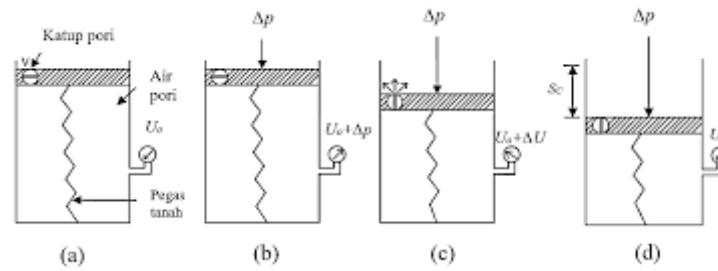
Menurut Barimbing (2017), konsolidasi adalah proses perlahan penurunan volume yang terjadi pada tanah yang sudah jenuh sempurna dan memiliki tingkat permeabilitas yang rendah akibat aliran sebagian air pori. Proses ini berlangsung secara berkelanjutan hingga tekanan air pori yang berlebihan, yang disebabkan oleh peningkatan tegangan total, sepenuhnya hilang.

#### **2.2.11 Analogi Konsolidasi Satu Dimensi**

Teori konsolidasi satu arah, yang diperkenalkan oleh Terzaghi, digunakan untuk memprediksi penurunan tanah. Teori ini menjelaskan bahwa deformasi dan aliran terjadi hanya dalam satu arah, yaitu secara vertikal.

Menurut Hardiyatmo (2018), gambar 4 menjelaskan mengenai mekanisme konsolidasi satu dimensi (*one dimensional consolidation*). Pada gambar tersebut, terdapat silinder dengan piston yang berlubang yang terhubung dengan pegas. Silinder diisi dengan air hingga penuh. Pegas diasumsikan bebas dari tegangan dan tidak ada gesekan antara silinder dengan tepi piston. Pegas menggambarkan sifat tanah yang mudah mampet, sementara air menggambarkan air pori dan lubang pada piston mewakili kemampuan tanah dalam melepaskan air atau permeabilitasnya. Gambar 4.a menggambarkan kondisi di mana sistem berada dalam keseimbangan. Kondisi ini setara dengan susunan tanah yang berada dalam keseimbangan dengan tekanan *overburden*. Peralatan pengukur tekanan yang terhubung dengan silinder menunjukkan tekanan hidrostatik sebesar  $u_0$  pada posisi tertentu di dalam tanah.





Gambar 4. Analogi piston dan pegas

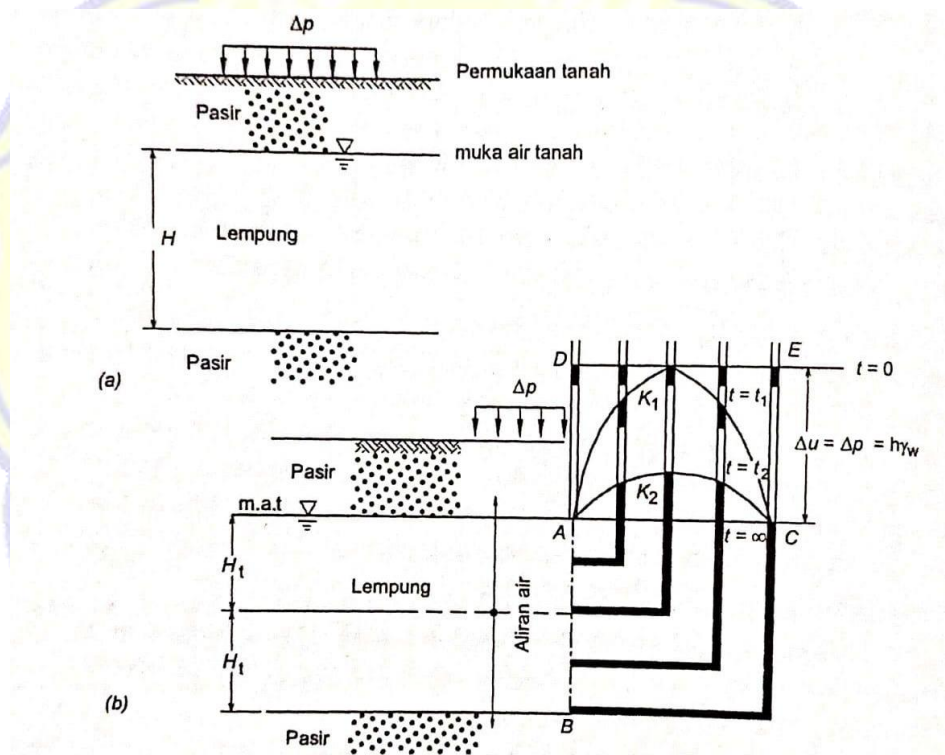
(Sumber: Hardiatmo, 2018)

Jika tegangan  $\Delta p$  diterapkan di atas piston dengan katup V tertutup (Gambar 4.b), piston tidak akan bergerak karena air tidak mudah mampat. Pada kondisi ini, tekanan pada piston tidak dialihkan ke pegas, tetapi sepenuhnya didukung oleh air. Pengukur tekanan air dalam silinder menunjukkan peningkatan tekanan  $\Delta u = \Delta p$ , atau pembacaan tekanan sebesar  $u_0 + \Delta p$ . Peningkatan tekanan  $\Delta u$  disebut sebagai kelebihan tekanan air pori (*excess pore water pressure*). Kondisi ketika katup V tertutup menggambarkan kondisi tanah tanpa drainase (*undrained*).

Ketika katup V kemudian dibuka, air keluar melalui lubang dengan kecepatan yang bergantung pada ukuran lubangnya. Hal ini menyebabkan piston bergerak ke bawah, dan pegas secara bertahap mendukung beban akibat  $\Delta p$  (Gambar 4.c). Setiap peningkatan tekanan yang didukung oleh pegas, kelebihan tekanan air pori ( $\Delta u$ ) di dalam silinder berkurang. Dapat dilihat pada (Gambar 4.d), tekanan air pori mencapai nol dan seluruh tekanan didukung oleh pegas, dan piston menjadi diam. Kondisi ini menggambarkan kondisi dengan drainase (*drained*).

Pada setiap saat, tekanan yang ada pada pegas mewakili tegangan efektif di dalam tanah, sementara tekanan air di dalam silinder mewakili tekanan air pori. Peningkatan tekanan  $\Delta p$  akibat beban yang diterapkan mewakili penambahan tegangan normal yang bekerja. Gerakan piston mengindikasikan perubahan volume tanah, yang dipengaruhi oleh kompresibilitas pegas, dan setara dengan kompresibilitas tanah.

Meskipun permodelan ini digambarkan secara sederhana, namun cukup mewakili apa yang terjadi ketika tanah kohesif jenuh diberi beban di laboratorium maupun di lapangan. Sebagai contoh konkret, dapat dilihat pada Gambar 5. Gambar tersebut menunjukkan pondasi yang dibangun di atas tanah lempung yang dikelilingi oleh susunan tanah pasir dengan air tanah di bawah susunan lempung bagian atas. Setelah diberi beban, susunan lempung mengalami peningkatan tegangan  $\Delta p$ . Air pori di dalam susunan lempung dapat mengalir dengan baik ke susunan pasir, sementara aliran air hanya terjadi ke atas dan ke bawah. Diasumsikan pula bahwa penambahan tegangan  $\Delta p$  memiliki nilai yang sama pada setiap kedalaman susunan lempung.



Gambar 5. Reaksi tekanan air pori terhadap beban pondasi

- a Pondasi pada tanah lempung jenuh
- b Diagram perubahan tekanan air pori dengan waktu

(Sumber: Hardiatmo, 2018)

Proses konsolidasi dapat diamati melalui pipa-pipa piezometer yang dipasang sepanjang kedalaman tanah (Gambar 5.b), diatur sedemikian rupa

sehingga tinggi air dalam pipa piezometer mengindikasikan kelebihan tekanan air pori di kedalaman pipa tersebut.

Akibat penambahan tekanan  $\Delta p$ , yang terjadi segera setelah beban pondasi diterapkan, tinggi air dalam pipa piezometer naik sebesar  $h = \Delta p / \gamma_w$ , atau mengikuti garis  $DE$ . Garis  $DE$  tersebut mencerminkan distribusi awal kelebihan tekanan air pori. Dalam jangka waktu tertentu, tekanan air pori pada lapisan yang lebih dekat dengan lapisan pasir akan berkurang, sementara tekanan air pori pada lapisan lempung di tengah tetap. Keadaan ini diwakili oleh kurva  $K1$ . Pada tahap waktu berikutnya, tinggi air dalam pipa piezometer ditunjukkan oleh kurva  $K2$ . Setelah waktu yang cukup lama, tinggi air dalam pipa piezometer mencapai tingkat yang sama dengan muka air tanah (garis  $AC$ ). Garis  $AC$  tersebut menunjukkan bahwa proses konsolidasi telah selesai, yaitu ketika kelebihan tekanan air pori mencapai nol.

Pada awalnya, setiap peningkatan beban didukung sepenuhnya oleh tekanan air pori, yang dalam hal ini merupakan kelebihan tekanan air pori  $\Delta u$  yang memiliki nilai yang sama dengan  $\Delta p$ . Pada kondisi tersebut, tidak ada perubahan tegangan efektif di dalam tanah. Namun, seiring dengan perlahan keluarnya air pori, tanah secara bertahap mengalami pemadatan, beban secara perlahan ditransfer ke partikel tanah, dan tegangan efektif meningkat. Akhirnya, kelebihan tekanan air pori menjadi nol. Pada kondisi ini, tekanan air pori sama dengan tekanan hidrostatik yang disebabkan oleh air tanah.

### **2.2.12 Lempung *Normal Normally Consolidated* dan *Overconsolidated***

Menurut Hardiyatmo (2018), istilah "*normally consolidated*" dan "*overconsolidated*" digunakan untuk menggambarkan sifat penting dari lapisan tanah lempung. Lapisan tanah lempung biasanya terbentuk melalui proses pengendapan. Selama proses pengendapan, lempung mengalami konsolidasi atau penurunan akibat tekanan dari lapisan tanah di atasnya. Lapisan-lapisan tanah di atasnya pada suatu waktu mungkin hilang karena proses alami. Ini berarti bahwa tanah di lapisan bawah pada masa geologi tertentu pernah mengalami konsolidasi akibat tekanan yang lebih besar daripada tekanan yang bekerja saat ini. Lapisan

semacam ini disebut lapisan "*overconsolidated*" (*OC*) atau terkonsolidasi berlebihan. Jika tegangan efektif saat ini adalah tegangan maksimumnya, maka endapan lempung ini disebut "*normally consolidated*" (*NC*) atau terkonsolidasi normal.

Dalam kondisi lempung yang terkonsolidasi normal, tekanan pra-konsolidasi (*preconsolidation pressure*) ( $p_c'$ ) sama dengan tekanan *overburden* efektif ( $p_o'$ ). Sedangkan dalam kondisi lempung yang terkonsolidasi berlebihan, tegangan pra-konsolidasi lebih besar daripada tekanan *overburden* efektif yang ada saat ini ( $p_c' > p_o'$ ). Nilai perbandingan "*overconsolidation ratio*" (*OCR*) didefinisikan sebagai perbandingan antara tekanan pra-konsolidasi dan tegangan efektif yang ada, atau dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$OCR = \frac{p_c'}{p_o'} \quad (2.13)$$

dengan,

*OCR* : *Overconsolidation ratio*

$P_c'$  : Tekanan Prakonsolidasi

$p_o'$  : Tekanan *overburden* efektif

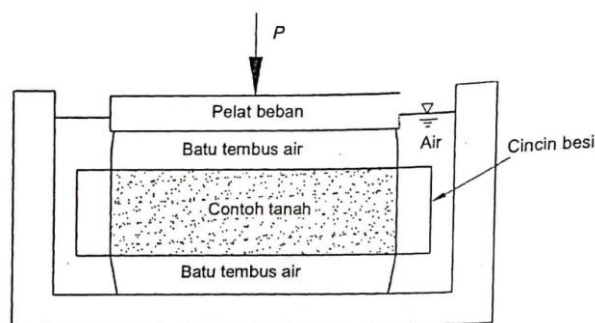
Tanah yang terkonsolidasi normal memiliki nilai  $OCR = 1$ , sedangkan tanah dengan  $OCR > 1$  adalah *overconsolidated*. Dalam beberapa kasus, tanah lempung memiliki nilai  $OCR < 1$ . Dalam hal ini, tanah berada dalam kondisi konsolidasi (*underconsolidated*). Kondisi *underconsolidated* dapat terjadi pada tanah yang baru saja mengendap secara geologis atau oleh aktivitas manusia. Pada kondisi ini, lapisan lempung belum mencapai keseimbangan akibat beban di atasnya. Jika tekanan air pori diukur dalam kondisi *underconsolidated*, tekanannya akan melebihi tekanan hidrostatik.

Seperti yang telah disebutkan, tanah dapat menjadi *overconsolidated* akibat perubahan tegangan efektif, misalnya karena perubahan tegangan total atau perubahan tekanan air pori. Meskipun lapisan tanah yang terkonsolidasi sebenarnya dianggap dalam kondisi seimbang, perubahan volume dan pergerakan

tanah (*creep*) masih mungkin terjadi. Dalam lapisan tanah asli, di mana permukaan tanah horizontal, keseimbangan mungkin tercapai. Namun, jika tanah tersebut memiliki kemiringan, pergerakan dan perubahan volume masih mungkin terjadi.

### 2.2.13 Pengujian Konsolidasi

Menurut Hardiyatmo (2018), Pengujian konsolidasi satu dimensi (*one-dimensional consolidation*). umumnya dilakukan di laboratorium menggunakan alat yang disebut oedometer atau konsolidometer. Skema alat ini dapat dilihat pada Gambar 6.



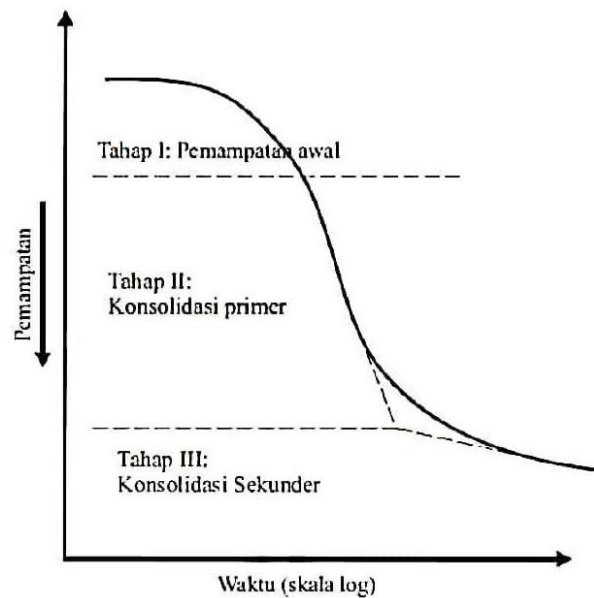
Gambar 6. Gambar skema alat pengujian konsolidasi

(Sumber: Hardiatmo, 2018)

Contoh tanah yang mewakili elemen tanah yang mudah mampat pada lapisan tanah yang diselidiki, dimasukan secara hati-hati ke dalam cincin besi. Bagian atas dan bawah dari benda uji dibatasi oleh batu tembus air (*porous stone*).

Beban  $P$  diterapkan pada sampel uji tersebut, dan penurunan diukur menggunakan arloji pembacaan (*dial gauge*). Beban diterapkan selama periode 24 jam, dengan sampel uji tetap terendam dalam air. Penambahan beban dilakukan secara periodik pada contoh tanah. Penelitian yang dilakukan oleh Leonard (1962) menunjukkan bahwa hasil yang optimal diperoleh dengan penambahan beban dua kali lipat dari beban sebelumnya, dengan urutan beban 1; 2; 4; 8 kg. Untuk setiap penambahan beban, deformasi dan waktu dicatat, kemudian diplot dalam grafik semi-logaritmik. Gambar 6 menunjukkan karakteristik khusus dari grafik yang menggambarkan hubungan antara penurunan  $\Delta H$  dan logaritma waktu ( $\log t$ ).

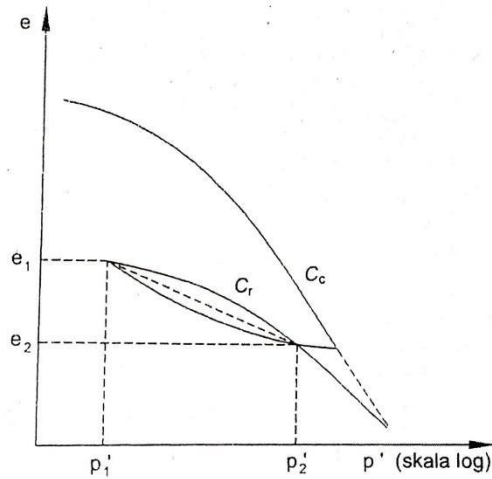
Bagian atas kurva (posisi 1) mewakili kompresi awal yang disebabkan oleh beban awal pada sampel uji. Bagian garis lurus (posisi 2) menunjukkan proses konsolidasi primer. Bagian garis lurus terendah (posisi 3) menunjukkan proses konsolidasi sekunder.



Gambar 7. Sifat khusus grafik hubungan  $\Delta H$  terhadap  $\log t$

(Sumber: Hardiyatmo, 2018)

Selama pengujian, setiap penambahan beban menghasilkan tegangan efektif pada sampel. Dengan mencatat berat jenis tanah (*specific gravity*), dimensi awal, dan penurunan pada setiap pembebanan, nilai angka pori ( $e$ ) dapat ditentukan. Selanjutnya, hubungan antara tegangan efektif dan angka pori ( $e$ ) diplot dalam grafik semi-logaritmik (Gambar 8).



Gambar 8. Sifat khusus grafik hubungan e-log p'

(Sumber: Hardiatmo, 2018)

#### 2.2.14 Interpretasi Hasil Pengujian Konsolidasi

Menurut Hardiyatmo (2018), dalam konsolidasi satu dimensi, perubahan tinggi ( $\Delta H$ ) per satuan tinggi awal ( $H$ ) adalah setara dengan perubahan volume ( $\Delta V$ ) per satuan volume awal atau:

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta V}{V} \quad (2.14)$$

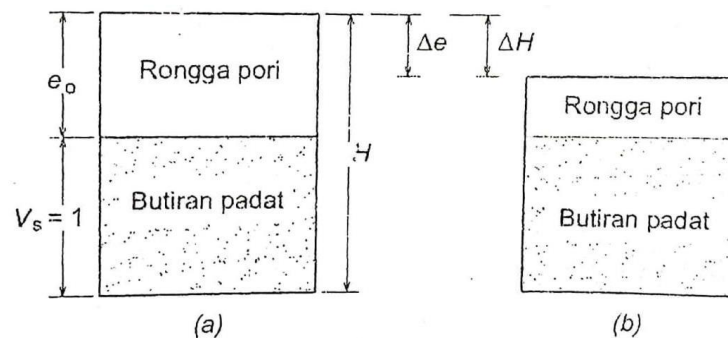
dengan,

$\Delta H$  : Perubahan tebal

$H$  : Tebal lapisan tanah awal

$V$  : Volume awal

$\Delta V$  : Perubahan volume



Gambar 9. Fase Konsolidasi

a) Sebelum konsolidasi

b) Sesudah konsolidasi

(Sumber: Hardiatmo, 2018)

Jika volume padat awal adalah  $V_s = 1$  dan volume pori awal adalah  $e_0$ , maka dalam Gambar 9. dapat dilihat posisi akhir dari proses konsolidasi. Volume padat tetap konstan, sedangkan angka pori berkurang karena adanya perubahan  $\Delta e$ . Persamaan dapat diperoleh dari Gambar 9.

$$\Delta H = H \frac{\Delta e}{1+e_0} \quad (2.15)$$

dengan,

$\Delta H$  : Perubahan tebal

$H$  : Tebal lapisan awal

$\Delta e$  : Perubahan angka pori

$e_0$  : angka pori awal

### 2.2.15 Pengaruh Gangguan Benda Uji pada Grafik e-log p

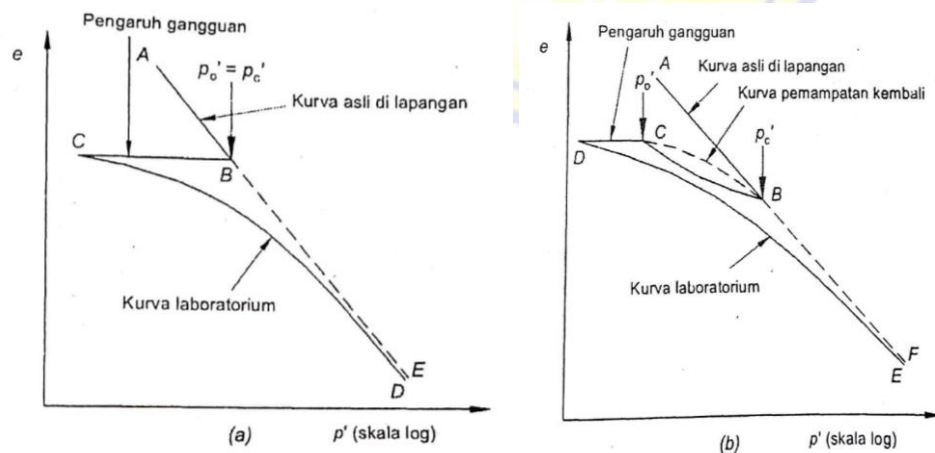
Menurut Hardiyatmo (2018), terdapat perbedaan reaksi terhadap pembebanan antara tanah yang diuji di laboratorium dan tanah asli di lapangan, seperti yang terlihat dalam grafik e-log p yang diperoleh dari pengujian oedometer. Perbedaan ini disebabkan oleh gangguan tanah benda uji (*soil*



*disturbance*) selama persiapan pengujian di laboratorium. Untuk memahami hubungan antara angka pori dan tegangan efektif pada kondisi asli di lapangan, perlu dilakukan koreksi terhadap hasil pengujian laboratorium.

Di lapangan, elemen tanah dipengaruhi oleh tegangan efektif vertikal  $\sigma_z'$  dan tegangan efektif horizontal  $\sigma_z' = K_o \sigma_z'$  (dengan  $K_o$  adalah koefisien tekanan lateral tanah diam). Umumnya,  $K_o$  tidak sama dengan 1, yaitu lebih kecil dari 1 untuk lempung yang terkonsolidasi normal atau sedikit terkonsolidasi berlebihan (*slightly overconsolidated*), dan lebih besar dari 1 untuk lempung yang terkonsolidasi sangat berlebihan (*heavily overconsolidated*). Saat contoh tanah diambil dari dalam tanah dengan pengeboran, tekanan keliling luar hilang. Tanah yang diambil cenderung mengembang karena hilangnya tekanan keliling, tetapi ditekan oleh tegangan kapiler akibat tegangan air pori negatif (*capillary tension*). Jika udara tidak keluar dari larutan tanah, volume contoh tidak berubah dan tegangan keliling efektif ( $\sigma_z'$ ) sama dengan tekanan air pori negatif ( $-u$ ). Dalam kondisi ini,  $\sigma_z' = \sigma_z'n$ .

Dengan demikian, nilai rasio  $\sigma_z' / \sigma_z'$  berubah tergantung pada nilai  $K_o$ . Deformasi yang terjadi menyebabkan kerusakan pada benda uji atau gangguan pada benda uji. Pengaruh ini telah diteliti oleh Skempton dan Sowa (1963), Ladd dan Lambe (1963), dan Ladd (1964). Pengaruh dari pengambilan contoh tanah dan gangguan benda uji lainnya diperlihatkan dalam Gambar 10.



Gambar 10. Pengaruh gangguan contoh pada kurva pemampatan

a) *Lempung Normally Consolidated*

b) *Lempung Overconsolidated*

(Sumber: Hardiatmo, 2018)

Sejarah pembebanan pada sampel tanah lempung yang terkonsolidasi normal disajikan dalam Gambar 10a. Kurva pemampatan asli tanah di lapangan ditunjukkan sebagai garis penuh *AB*, yang menggambarkan kondisi asli di lapangan dengan  $P_{o'} = P_{c'}$ . Penambahan beban pada lapisan tanah akan menyebabkan perubahan angka pori ( $e$ ) sesuai dengan garis putus-putus *BE*, yang merupakan perpanjangan kurva pemampatan asli di lapangan. Namun, ketika sampel tanah dibawa ke laboratorium, gangguan terhadap tekanan konsolidasi efektif pada benda uji berkurang, meskipun angka pori tetap. Ketika sampel tanah kembali diberi beban di laboratorium, penurunan angka pori terjadi karena gangguan tersebut, seperti yang ditunjukkan oleh kurva laboratorium *CD*.

Pada tanah lempung yang terkonsolidasi berlebihan (Gambar 10b), sejarah tegangan di lapangan ditunjukkan oleh kurva pemampatan asli hingga mencapai titik tekanan prakonsolidasi ( $P_{c'}$ ) (bagian *AB*). Setelah itu, karena suatu alasan di masa lalu, beban berkurang hingga mencapai tekanan *overburden* ( $P_{o'}$ ). Kurva garis penuh *BC* menunjukkan hubungan  $e$ - $\log P'$  di lapangan selama pengurangan beban. Penambahan beban di lapangan akan mengikuti kurva pemampatan ulang yang ditunjukkan oleh garis putus-putus *CB*, dan jika beban melebihi tekanan prakonsolidasi, kurva akan terus melanjutkan dengan meratakan kurva pemampatan asli di lapangan (bagian *BF*). Akibat gangguan, tekanan konsolidasi efektif berkurang dengan angka pori tetap, dan ketika pengujian dilakukan di laboratorium, kurva akan mengikuti garis penuh *DE*. Penambahan tingkat gangguan pada benda uji menyebabkan kurva laboratorium cenderung bergeser ke kiri.

### 2.2.16 Koefisien Pemampatan (*Coefficient of Compression*) ( $a_v$ ) dan koefisien perubahan Volume ( $m_v$ ) (*Coefficient of Volume Change*)

Menurut Hardiyatmo (2018), koefisien pemampatan ( $a_v$ ) adalah ukuran yang menggambarkan kemiringan kurva tekanan efektif ( $e$ ) terhadap perubahan tekanan pori ( $p$ ). Jika sebuah tanah dengan volume awal  $V_1$  mengalami pemampatan sehingga volumenya berkurang menjadi  $V_2$ , dan pemampatan tersebut diasumsikan hanya terjadi karena pengurangan rongga pori, maka perubahan volume hanya terjadi dalam arah vertikal dan dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$\frac{V_1 - V_2}{V_1} = \frac{(1+e_2) - (1+e_1)}{1+e_1} = \frac{e_1 - e_2}{1+e_1} \quad (2.16)$$

dengan,

$e_1$  : angka pori pada tegangan  $P_1$ '

$e_2$  : angka pori pada tegangan  $P_2$ '

$V_1$  : Volume pada tegangan  $P_1$ '

$V_2$  : Volume pada tegangan  $P_2$ '

Kemiringan kurva  $e - p'$  ( $a_v$ ) didefinisikan sebagai :

$$\begin{aligned} a_v &= \frac{\Delta e}{\Delta p} \\ &= \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1} \end{aligned} \quad (2.17)$$

dengan,

$a_v$  : Koefisien pemampatan

$e_1$  : Angka pori pada tegangan  $P_1$ '

$e_2$  : Angka pori pada tegangan  $P_2$ '

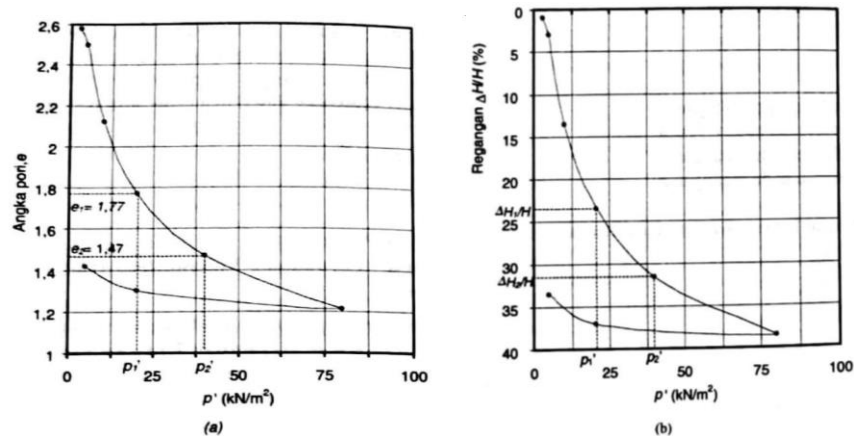
$p_1$  : Tegangan efektif 1

$p_2$  : Tegangan efektif 2

$\Delta e$  : Perubahan angka pori

$\Delta p$  : Perubahan tegangan

Dimana kurva  $e - p'$  (av) berturut-turut adalah angka pori pada tegangan  $P1'$  dan  $P2'$ .



Gambar 11. Hasil pengujian konsolidasi

a) Plot Angka pori vs. Tegangan efektif  $e - p'$

b) Plot regangan vs tegangan efektif  $\Delta H/H - P'$

(Sumber: Hardiatmo, 2018)

Koefisien perubahan volume ( $m_v$ ) didefinisikan sebagai perubahan volume relatif terhadap peningkatan tegangan efektif. Satuan dari  $m_v$  adalah kebalikan dari tegangan ( $\text{cm}^2/\text{kg}$ ). Perubahan volume dapat diukur dengan perubahan ketebalan atau perubahan angka pori. Jika terjadi peningkatan tegangan efektif dari  $p'_1$  ke  $p'_2$ , maka angka pori akan berkurang dari  $e_1$  ke  $e_2$  (lihat Gambar 11.b) dengan perubahan  $\Delta H$ .

Rumus perubahan volume adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{V_1 - V_2}{V_1} &= \frac{H_1 - H_2}{H_1} \text{ (karena area contoh tetap)} \\ &= \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \end{aligned} \quad (2.18a)$$

dengan,

$V_1$  : Volume pada tegangan  $P_1'$

- $V_2$  : Volume pada tegangan  $P_2'$
- $H_1$  : Tebal lapisan pada tegangan  $P_1'$
- $H_2$  : Tebal lapisan pada tegangan  $P_2'$
- $e_1$  : Angka pori pada tegangan  $P_1$

Substitusi Persamaan (2.18a) ke Persamaan (2.17) diperoleh:

Perubahan Volume yaitu

$$\frac{a_v - \Delta p}{1 + e_1}$$

dengan,

- $a_v$  : Koefisien pemampatan
- $\Delta p$  : Perubahan tegangan
- $e_1$  : Angka pori pada tegangan  $P_1'$

Karena koefisien perubahan volume ( $m_v$ ) adalah rasio perubahan volume terhadap peningkatan tegangan, maka:

$$\begin{aligned} m_v &= \frac{a_v - \Delta p}{1 + e_1} \frac{1}{\Delta p} \\ &= \frac{a_v - \Delta p}{1 + e_1} \end{aligned} \quad (2.18b)$$

dengan,

- $m_v$  : Perubahan volume penambahan tegangan
- $a_v$  : Koefisien pemampatan
- $\Delta p$  : Perubahan tegangan
- $e_1$  : Angka pori pada tegangan  $P_1'$
- $e_2$  : Angka pori pada tegangan  $P_2'$
- $p_1$  : Tegangan efektif 1

$p_2$  :Tegangan efektif 2

Nilai koefisien perubahan volume ( $m_v$ ) untuk suatu jenis tanah tidak konstan, melainkan bergantung pada besarnya tegangan yang sedang diamati.

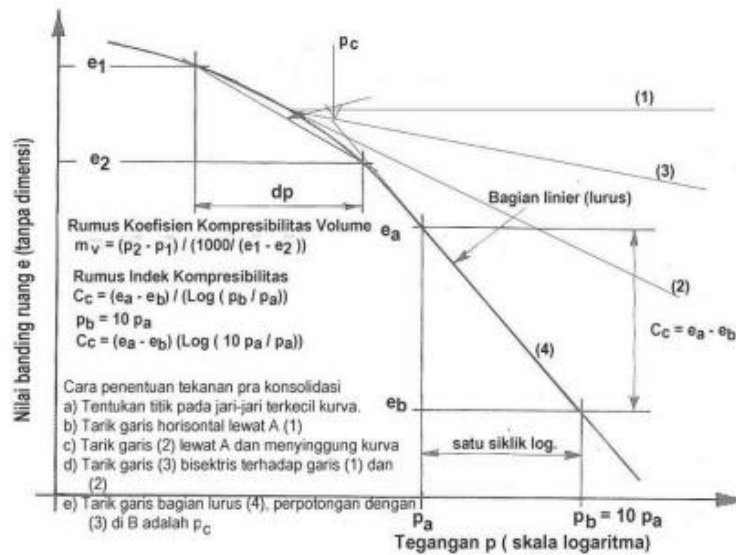
### 2.2.17 Tekanan Prakonsolidasi ( $p_c'$ ) (*Preconsolidation Pressure*)

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menentukan nilai tekanan prakonsolidasi ( $p_c'$ ). Salah satu metode yang umum digunakan adalah metode Casagrande (1936), yang menggunakan grafik hubungan antara  $e$ -log  $p'$  (Gambar 12).

Berikut adalah langkah-langkah yang diusulkan oleh Casagrande (1936) untuk menentukan tekanan prakonsolidasi ( $p_c'$ ):

- a. Pilih satu titik yang memiliki jari-jari minimum (atau titik pada puncak kurva) pada kurva konsolidasi (titik A dalam Gambar).
- b. Gambarlah garis horizontal melalui titik A (sejajar dengan sumbu x).
- c. Gambarkan garis singgung pada kurva yang melewati titik A.
- d. Bagi dua sudut yang terbentuk oleh garis (2) dan (3).
- e. Perpanjang garis lurus dari kurva pemampatan asli hingga memotong garis sudut yang dibagi (4). Titik potong dari kedua garis ini adalah tekanan prakonsolidasi ( $p_c'$ ). Titik ini disebut sebagai titik B pada Gambar 12.

Dengan mengikuti langkah-langkah tersebut, nilai tekanan prakonsolidasi ( $p_c'$ ) dapat ditentukan menggunakan metode Casagrande (1936).



Gambar 12. Cara menentukan  $p_c'$

(Sumber : Casagrande (1936) dalam Hardiyatmo, 2003)

### 2.2.18 Indeks Pemampatan ( $C_c$ ) (*Compression Index*)

Menurut Hardiyatmo (2018), indeks pemampatan  $C_c$  merupakan kemiringan dari garis lurus yang menghubungkan dua titik pada bagian linear grafik  $e \log p'$ . Dalam Gambar 13, indeks pemampatan  $C_c$  dapat dinyatakan melalui persamaan sebagai berikut:

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log p'_2 - \log p'_1} = \frac{\Delta e}{\log p'_2 / p'_1} \quad (2.19)$$

dengan,

$C_c$  : Indeks Pemampatan

$e_1$  : Angka pori pada tegangan  $P_1'$

$e_2$  : Angka pori pada tegangan  $P_2'$

$p_1$  : Tegangan efektif 1

$p_2$  : Tegangan efektif 2

Untuk tanah yang mengalami kondisi konsolidasi normal, Terzaghi dan Peck (1967) memberikan hubungan antara angka kompresi  $C_c$  sebagai berikut:

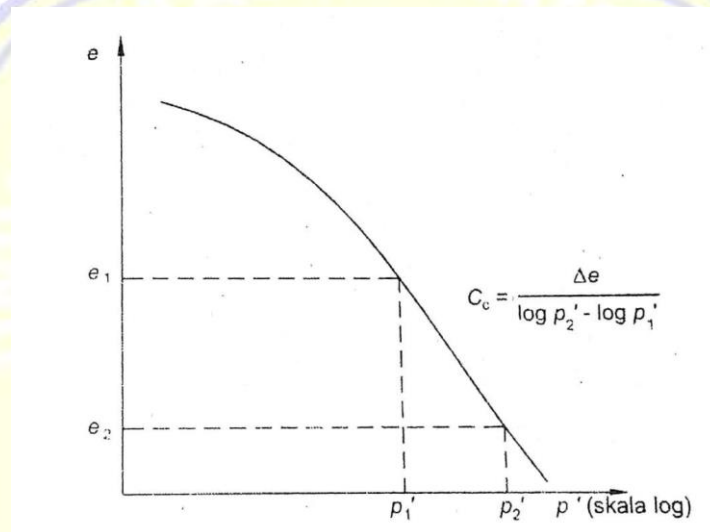
$$C_c = 0,009 (LL - 10) \quad (2.20)$$

dengan,

$C_c$  : Indeks Pemampatan

$LL$  : Batas Cair

Persamaan yang diberikan dapat digunakan untuk menghitung pengurangan volume persatuan volume pada tanah lempung tak organik dengan sensitivitas rendah hingga sedang, dengan asumsi kesalahan sekitar 30%. Namun, perlu dicatat bahwa rumus ini seharusnya tidak digunakan untuk tanah lempung dengan sensitivitas lebih besar dari 4.



Gambar 13. Indeks pemampatan  $C_c$

(Sumber: Hardiatmo, 2018)

Beberapa nilai  $C_c$ , yang didasarkan pada sifat-sifat tanah pada tempat-tempat tertentu yang diberikan oleh azzouz dkk, (1976) sebagai berikut :

a.  $C_c = 0,01 W_N$  (untuk lempung Chicago) (2.21)

b.  $C_c = 0,0046 (LL - 9)$  (untuk lempung Brasilia) (2.22)

c.  $C_c = 0,208 e_o + 0,0083$  (untuk lempung Chicago) (2.23)

d.  $C_c = 0,0115 W_N$  (untuk tanah organik, gambut) (2.24)



dengan,

$C_c$  : Indeks Pemampatan

$W_N$  : Kadar air asli

$e_o$  : Angka pori

### **2.2.19 Koefisien Konsolidasi ( $C_v$ ) (*Coefficient of Consolidation*)**

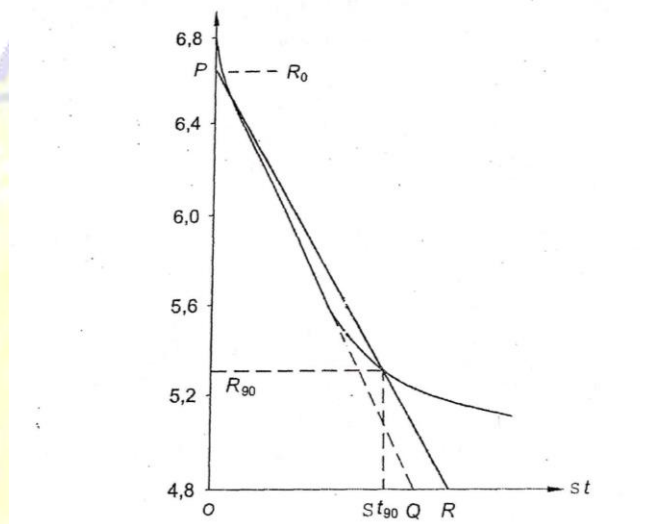
Menurut Hardiyatmo (2018), perhitungan kecepatan penurunan dapat dilakukan menggunakan koefisien konsolidasi ( $C_v$ ). Kecepatan penurunan menjadi penting jika penurunan konsolidasi pada suatu struktur diperkirakan sangat signifikan. Namun, jika penurunan tersebut sangat kecil, kecepatan penurunan tidak begitu penting karena perbedaan yang dihasilkan akibat penurunan tersebut akan menjadi tidak begitu besar seiring berjalannya waktu.

Untuk menentukan derajat konsolidasi pada waktu tertentu, grafik penurunan versus waktu dapat digunakan dengan menerapkan beban tertentu pada alat konsolidometer. Caranya adalah dengan mengukur penurunan total pada akhir fase konsolidasi. Dari data penurunan dan waktu tersebut, dapat ditentukan waktu tertentu yang berkaitan dengan derajat konsolidasi rata-rata tertentu (misalnya  $U = 50\%$ ). Namun, meskipun fase konsolidasi telah berakhir dan tekanan air pori mencapai nol, benda uji dalam konsolidometer masih akan terus mengalami penurunan akibat konsolidasi sekunder. Oleh karena itu, pengukuran tekanan air pori mungkin diperlukan selama proses pembebanan atau interpretasi data penurunan dan waktu harus dilakukan untuk menentukan kapan konsolidasi sebenarnya selesai.

Jika sedikit udara terhisap masuk ke dalam air pori karena penurunan tekanan pori dari lokasi aslinya di lapangan, kemungkinan terjadi penurunan yang cepat yang tidak terkait dengan proses konsolidasi. Oleh karena itu, tinggi awal atau kondisi sebelum terjadinya penurunan saat proses konsolidasi dimulai juga harus diinterpretasikan.

### 2.2.20 Metode Akar Waktu (*Square Root of Time Method*) (Taylor, 1948)

Metode ini digunakan untuk menganalisis hasil pengujian konsolidasi dengan menggambarkan grafik hubungan antara akar waktu dan penurunan (Gambar 14). Biasanya, kurva teoritis yang terbentuk bersifat linier hingga sekitar 60% konsolidasi. Metode ini menggunakan karakteristik hubungan akar waktu untuk menentukan derajat konsolidasi  $U = 90\%$ . Pada  $U = 90\%$ , absis  $OR$  akan menjadi 1,15 kali absis  $OQ$ . Berikut adalah langkah-langkah untuk mendapatkan derajat konsolidasi  $U = 90\%$ :



Gambar 14. Metode Akar Waktu

(Sumber: Taylor (1948) dalam Hardiatmo, 2018)

- Gambarlah grafik hubungan antara penurunan dan akar waktu dari data pengujian konsolidasi pada beban tertentu yang diterapkan.
- Titik  $U = Q$  diperoleh dengan memperpanjang garis lurus dari awal kurva sehingga memotong ordinat pada titik  $P$  dan memotong absis pada titik  $Q$ . Asumsi bahwa kurva awal berupa garis lurus konsisten dengan asumsi bahwa kurva awal berbentuk parabola.
- Gambarlah garis lurus  $PR$  dengan absis  $OR$  sama dengan 1,15 kali absis  $OQ$ . Titik perpotongan antara garis  $PR$  dan kurva menentukan titik  $R_{90}$  pada absis.

- d.  $T_v$  (nilai waktu yang diperlukan untuk mencapai  $U = 90\%$ ) adalah 0,848. Pada kondisi ini, koefisien konsolidasi  $C_v$  diberikan berdasarkan persamaan:

$$C_v = \frac{0,848H_r^2}{t_{90}} \quad (2.25)$$

dengan,

$C_v$  : Koefisien konsolidasi

$H_r$  : Tinggi benda uji rata-rata

$t_{90}$  : Waktu 90% konsolidasi

Jika ingin menghitung batas konsolidasi primer  $U = 100\%$ , titik  $R_{100}$  pada kurva dapat diperoleh dengan mempertimbangkan perbandingan posisinya. Dalam penggambaran kurva log-waktu, kurva akar waktu akan terus memanjang melampaui titik 100% ke dalam daerah konsolidasi sekunder. Metode akar waktu membutuhkan pembacaan penurunan (kompresi) dalam periode waktu yang lebih pendek dibandingkan dengan metode log-waktu. Namun, tidak selalu mungkin mendapatkan garis lurus dalam metode akar waktu. Jika hal ini terjadi, sebaiknya menggunakan metode log-waktu.

### 2.2.21 Hitungan Penurunan Konsolidasi

Menurut Hardiyatmo (2018), dalam konteks lapisan tanah lempung jenuh dengan tebal  $H$ , ketika ada beban yang bekerja, lapisan tanah menerima tambahan beban ( $\Delta p$ ). Dalam analisis ini, diasumsikan bahwa tidak ada regangan arah lateral. Pada akhir proses konsolidasi, terjadi peningkatan tegangan efektif vertikal sebesar ( $\Delta p$ ). Akibat penambahan tegangan dari  $po'$  ke  $pI'$  (dengan  $p' = po + \Delta p$ ), terjadi pengurangan angka pori dari  $eo$  ke  $eI$ . Pengurangan volume persatuan volume lempung dapat diungkapkan melalui persamaan angka pori berikut:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta H}{H} = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \quad (2.26)$$

dengan,

- $V$  : Volume awal  
 $H$  : Tebal lapisan tanah awal  
 $\Delta V$  : Perubahan volume  
 $\Delta H$  : Perubahan tebal  
 $e_0$  : Angka pori awal  
 $e_1$  : Angka pori pada perubahan volume tertentu  
 $\Delta e$  : Perubahan angka pori

Untuk lempung tertentu, penurunan konsolidasi primer total dinyatakan oleh persamaan-persamaan berikut ini.

Bila didefinisikan:

$$p_1' = p_o' + \Delta p \quad (2.27)$$

dengan,

- $p_1$  : Tegangan efektif 1  
 $p_o'$  : Tegangan pada beban awal  
 $\Delta p$  : Perubahan tegangan

- a. Penurunan untuk lempung *normally consolidated* ( $p_c' = p_o'$ ) dengan tegangan efektif sebesar  $p_1'$ .

$$S_c = C_c \frac{H}{1+e_0} \log \frac{p_1'}{p_o'} \quad (2.28)$$

- $S_c$  : Penurunan konsolidasi  
 $C_c$  : Indeks Pemampatan  
 $H$  : Tebal benda uji  
 $p_1$  : Tegangan pada beban 1  
 $p_o'$  : Tegangan pada beban awal  
 $e_0$  : Angka pori awal

b. Untuk lempung *overconsolidated* ( $p_c' > p_o'$ ) penurunan konsolidasi primer total dinyatakan oleh persamaan yang bergantung nilai  $p_1'$

1) Bila,  $p_1' < p_c'$

$$S_c = C_r \frac{H}{1+e_0} \log \frac{p_1'}{p_o'} \quad (2.29)$$

dengan,

$S_c$  : Penurunan konsolidasi

$C_r$  : Indeks pemampatan kembali

$H$  : Tebal benda uji

$p_1$  : Tegangan pada beban 1

$p_o'$  : Tegangan pada beban awal

$e_0$  : Angka pori awal

2) Bila,  $p_1' > p_c'$

$$S_c = C_r \frac{H}{1+e_0} \log \frac{p_c'}{p_o'} + C_c \frac{H}{1+e_0} \log \frac{p_1'}{p_c'} \quad (2.30)$$

dengan,

$S_c$  : Penurunan konsolidasi

$C_r$  : Indeks pemampatan kembali

$H$  : Tebal benda uji

$p_1$  : Tegangan pada beban 1

$p_o'$  : Tegangan pada beban awal

$e_0$  : Angka pori awal

$p_c'$  : Tekanan prakonsolidasi

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \log p'} ; \text{ pada kurva penambahan beban atau pada } p' > p_c \quad (2.31)$$

$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log \log p'} ; \text{ pada kurva pelepasan beban atau pada } p' < p_c' \quad (2.32)$$

dengan,

$C_r$  : Indeks pemampatan kembali

$C_c$  : Indeks pemampatan

$H$  : Tebal lapisan tanah

$p_c'$  : Tekanan prakonsolidasi

$e_o$  : Angka pori awal

$\Delta p$  : Tambahan tegangan akibat beban pondasi

$P_o'$  : Tekanan *overburden* efektif mula-mula sebelum dibebani.

### 2.2.22 Konsolidasi Sekunder

Menurut Hardiyatmo (2018), konsolidasi sekunder terjadi setelah konsolidasi primer berhenti. Lintasan kurva konsolidasi sekunder ditentukan oleh kemiringan kurva ( $C_\alpha$ ) pada bagian akhir kurva  $\Delta H$ - $\log t$  atau kurva  $e$ - $\log t$ . Untuk mendapatkan kemiringan kurva konsolidasi sekunder yang akurat, diperlukan perpanjangan pengamatan pengujian di laboratorium. Dengan cara ini, perhitungan kemiringan kurva kompresi sekunder  $C_\alpha$  dapat lebih mudah dilakukan. Dengan merujuk pada gambar 7, persamaan untuk mendapatkan  $C_\alpha$  dapat diturunkan sebagai berikut:

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\log t_2/t_1} \quad (2.33)$$

Dengan

$C_\alpha$  : Indeks pemampatan sekunder

$\Delta e$  : Perubahan angka pori

$t_2$  :  $t_1 + \Delta t$

$t_1$  : saat waktu setelah konsolidasi primer selesai.

Penurunan akibat konsolidasi sekunder, dihitung dengan persamaan

$$S_s = H \frac{C_\alpha}{1+e_p} \log \log \frac{t_2}{t_1} \quad (2.34)$$

dengan,

$S_s$  = Penurunan konsolidasi sekunder

$e_p$  = Angka pori saat konsolidasi primer selesai

$H$  = Tebal benda uji awal atau tebal lapisan tanah yang ditinjau

$\Delta H$  = Perubahan tebal benda uji di laboratorium dari  $t_1$  ke  $t_2$

$t_2$  =  $t_1 + \Delta t$

$t_1$  = saat waktu setelah konsolidasi primer selesai.

Pada tanah organik tinggi dan beberapa jenis lempung lunak, konsolidasi sekunder dapat memiliki dampak yang sebanding dengan konsolidasi primer. Namun, pada sebagian besar jenis tanah, pengaruh konsolidasi sekunder biasanya sangat kecil sehingga sering diabaikan.

Penurunan yang disebabkan oleh konsolidasi harus dihitung secara terpisah. Nilai penurunan yang diperoleh dari konsolidasi primer dan penurunan segera harus dijumlahkan untuk mendapatkan nilai total penurunan.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Desa Sukadana, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah. Lokasi tersebut dipilih sebagai tempat pengambilan sampel tanah lempung ekspansif yang akan digunakan dalam pengujian dalam penelitian.



Gambar 15. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

(Sumber: Google Maps)

### 3.2 Persiapan Penelitian

#### 3.2.1. Pengambilan sampel tanah

Pengambilan sampel tanah dilaksanakan di Desa Sukadana, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah. Untuk keperluan pengambilan sampel, digunakan alat ukur seperti meteran, linggis, plastik, dan karung. Proses pengambilan sampel tanah dilakukan hingga kedalaman 30 cm.





Gambar 16. Pengambilan Sampel Tanah

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.3.1. Alat

Alat – alat yang digunakan dalam penelitian antara lain:

##### 1. Cawan

Digunakan sebagai wadah benda uji.



Gambar 17. Cawan.

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

2. Piknometer

Digunakan untuk pengujian berat jenis.



Gambar 18. Picnometer

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

3. Pengaduk tanah

Digunakan untuk mengaduk ataupun mengambil tanah.



Gambar 19. Pengaduk Tanah

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

#### 4. Timbangan

Untuk menimbang sampel.



Gambar 20. Timbangan

*(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*

#### 5. Alat Cassagrande

Digunakan pada pengujian batas cair.



Gambar 21. Alat Cassagrande

*(Sumber: Dokumentasi Pribadi)*

6. Plat kaca

Digunakan pada pengujian batas plastis.



Gambar 22. Plat kaca

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

7. Gelas ukur

Digunakan dalam pengujian hidrometer.



Gambar 23. Gelas ukur

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

8. Saringan

Digunakan untuk menyaring tanah pada pengujian analisa saringan (uji gradasi).



Gambar 24. Saringan

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

9. Penumbuk

Digunakan untuk menumbuk tanah pada pengujian pemadatan tanah.



Gambar 25. Penumbuk

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

10. Silinder mold

Digunakan sebagai cetakan pada pengujian pemadatan tanah.



Gambar 26. Silinder mold

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

#### 11. Oven

Digunakan untuk mengeringkan sampel tanah.



Gambar 27. Oven

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

#### 12. Oedometer Test

Digunakan untuk menguji konsolidasi tanah.



Gambar 28. Oedometer test

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

13. Spatula



Gambar 29. Spatula

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

14. Mesin penggetar

Digunakan sebagai pengayak otomatis pada uji gradasi.



Gambar 30. Mesin Penggetar

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

### 3.3.2. Bahan

Bahan yang digunakan sebagai sampel adalah tanah yang diambil dari Desa Sukadana, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah yang kemudian dilakukan pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Muhammadiyah Mataram.

### 3.4 Pelaksanaan Pengujian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah yang terletak di Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram.

### 3.5 Pelaksanaan Pengujian di Laboratorium

#### 3.5.1. Kadar Air

Pengujian ini dilakukan pada tanah lempung dengan tujuan untuk menentukan perbandingan antara nilai kadar air dalam satuan tanah dan berat kering tanah, sesuai dengan metode standar ASTM D 2216 – 71.

1. Bahan – bahan yang diuji antara lain:
  - a. Sampel tanah seberat 40 – 50 gr



2. Peralatan yang diperlukan:

- a. Cawan sebanyak 3 buah
- b. Oven
- c. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gr

3. Perhitungan:

a. Berat air (A)  $= W_2 - W_3$

b. Berat tanah kering (B)  $= W_3 - W_1$

c. Kadar air ( $\omega$ )  $= \frac{A}{B} \times 100\%$

dengan,

W1 : Berat cawan yang digunakan

W2 : Berat cawan + tanah basah

W3 : Berat cawan + tanah kering

Perbedaan kadar air antara ketiga sampel tersebut memiliki selisih maksimum sebesar 5% dari nilai rata-rata sampel.

### 3.5.2. Berat Jenis

Pengujian ini dilakukan pada tanah lempung asli dengan tujuan untuk menentukan perbandingan antara berat butiran tanah dengan berat air destilasi di udara pada volume yang sama, dengan pengukuran dilakukan pada suhu normal sekitar 27° C. Benda uji yang digunakan dalam pengujian ini adalah tanah kering yang telah melewati saringan 40, sesuai dengan standar ASTM D854 – 72.

1. Bahan – bahan yang diuji antara lain:

- a. Sampel tanah seberat 10 gram.
- b. Air .

2. Peralatan yang diperlukan:

- a. Labu ukur 100 ml

- b. Termometer dengan ketelitian 0,01 C.
- c. Timbangan ketelitian 0,01 gram.
- d. Boiler (tungku pemanas) atau hot plate

3. Perhitungan:

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$$

dengan,

$G_s$  : Berat Jenis

$W_1$  : Berat picnometer (gr)

$W_2$  : Berat picnometer dan tanah kering (gr)

$W_3$  : Berat picnometer tanah dan air (gr)

$W_4$  : Berat picnometer dan air (gr)

### 3.5.3. Berat Volume

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat volume basah tanah asli, yang merupakan perbandingan antara berat total tanah asli dengan volume seluruh tanah asli dalam keadaan yang besar.

1. Bahan – bahan yang diuji antara lain:

Sampel tanah seberat 60 -70 gram sebanyak 2 sampel.

- a. Peralatan yang diperlukan:
- b. Ring (cincin).
- c. Spatula.
- d. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.

2. Perhitungan:

- a. Berat ring ( $W_1$ ).
- b. Volume cincin ( $\text{cm}^3$ ).

c. Berat tanah basah (W3) = W2 – W1

d. Berat volume ( $\gamma$ )

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

dengan,

$\gamma$  : Berat volume (gr/cm<sup>3</sup>)

W : Berat (gr)

V : Volume (cm<sup>3</sup>)

#### 3.5.4. Batas Plastis dan Indeks Plastisitas

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan batas plastis suatu tanah. Batas plastis tanah adalah kadar air minimum (dinyatakan dalam persentase) di mana tanah masih dalam keadaan plastis. Tanah dikatakan dalam keadaan plastis ketika digiling menjadi batang-batang dengan diameter 3 mm dan mulai muncul retakan-retakan, sesuai dengan standar ASTM D 4318 - 00.

1. Bahan – bahan yang diuji antara lain:
  - a. Tanah lolos saringan no. 40 seberat 10 -20 gram.
  - b. Air sebanyak 50 cc
2. Peralatan yang diperlukan:
  - a. Spatula.
  - b. Gelas ukur 100 cc.
  - c. 3 buah cawan.
  - d. Plat kaca.
  - e. *Porselin dish*.
  - f. Timbangan dengan tingkat ketelitian 0,01 gram.
  - g. Oven.
3. Perhitungan:

- a. Batas plastisitas (PL) merupakan rata-rata kadar air dari ketiga sampel yang diuji.
- b. Indeks plastisitas (IP) merupakan selisih antara batas cair (LL) dikurangi batas plastisitas (PL) ( $IP = LL - PL$ ).

### 3.5.5. Batas Cair

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan kadar air pada batas plastis dan batas cair. Pengujian ini dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM D-4318-00.

1. Bahan – bahan yang diuji antara lain:
  - a. Sampel tanah yang telah dioven
  - b. Air sebanyak 300 cc
2. Berikut adalah peralatan yang diperlukan:
  - a. Mangkuk Cassagrande (alat batas cair).
  - b. *Grooving tool* (alat pembuat alur).
  - c. Spatula.
  - d. Gelas ukur dengan kapasitas 100 cc.
  - e. 8 buah cawan.
  - f. Porselin dish.
  - g. Timbangan dengan tingkat ketelitian 0,01 gram.
  - h. Oven.

3. Perhitungan:

- a. Menghitung kadar air ( $w$ ) pada masing – masing sampel sesuai dengan jumlah ketukan.
- b. Membuat grafik semi logaritmik hubungan antara jumlah ketukan pada sumbu x dan kadar air pada sumbu y
- c. Menarik garis lurus dari keempat titik yang tergambar.

**3.5.6. Analisa Hidrometer**

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan distribusi partikel tanah dengan diameter kurang dari 0,074 mm (lolos saringan no 200 ASTM) menggunakan metode pengendapan (*Hydrometer Analysis*), sesuai dengan standar ASTM D 1140 - 00.

1. Bahan – bahan yang diuji antara lain:
  - a. Tanah asli seberat 50 gram.
  - b. Air bersih 1500 cc.
2. Peralatan yang diperlukan:
  - a. Gelas ukur.
  - b. *Meniscus Correction* tipe 152 H.
  - c. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.
  - d. *Stopwatch*.
  - e. Termometer.
  - f. Pengaduk mekanis.
  - g. *Water glass*.
  - h. Saringan no. 200.
  - i. *Oven*.

3. Perhitungan:

- a. Hitung ukuran butir terbesar D (mm) dengan rumus:

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}}$$

dengan,

K : konstanta yang dipengaruhi temperatur dan berat jenis.

L : Kedalaman efektif.

T : waktu saat pembacaan (menit).

- b. Hitung persentase berat P dari butir yang lebih kecil dengan rumus:

$$P = \frac{R \times a}{W} \times 100$$

dengan,

R : Pembacaan hidrometer terkoreksi

a : Angka koreksi untuk hidrometer terhadap berat jenis

W : Berat benda uji (gram).

### 3.5.7. Analisa Saringan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel tanah dengan rentang diameter antara 4.75 mm hingga 0.075 mm, atau partikel yang lolos saringan no 4 ASTM dan tertahan pada saringan no 200 ASTM, menggunakan metode yang sesuai dengan standar ASTM D 422-63.

1. Bahan – bahan yang diuji antara lain:

Butiran yang tertahan pada saringan no 200

2. Peralatan yang diperlukan:

- a. Saringan dari no. 4 sampai no. 200.
- b. Mesin penggetar.
- c. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gr.

d. Pan.

3. Perhitungan:

- a. Berat masing – masing saringan beserta sampel tanah yang tertahan ( $W_{ci}$ )
- b. Berat tanah diatas saringan ( $W_{bi}$ )
- c. Berat tanah yang tertahan ( $W_{ai}$ ) =  $W_{bi} - W_{ci}$
- d. Jumlah seluruh berat tanah yang tertahan di atas saringan ( $SW_{ai} \approx W_{tot}$ ).
- e. Persentase tanah yang tertahan pada masing – masing saringan ( $P_i$ )

$$P_i = \frac{W_{bi} - W_{ci}}{W_{total}} \times 100\%$$

dengan,

$P_i$  : Persentase tanah tertahan

$W_{bi}$  : Berat tanah diatas saringan

$W_{ci}$  : Berat masing-masing saringan

$W$  : Berat tanah

f. Persentase berat tanah yang melewati masing-masing saringan:

$q_i$  :  $100\% - p_i\%$

### 3.5.8. Uji pemadatan standar

Uji pemadatan standar, juga dikenal sebagai uji pemadatan proctor, adalah metode yang digunakan untuk mengukur kemampuan tanah untuk menahan gaya pemadatan berdasarkan ASTM D698.

1. Bahan – bahan yang diuji antara lain:

Tanah yang telah diperam selama 24 jam.

2. Peralatan yang diperlukan:

- a. Silinder.
- b. Penumbuk.
- c. Pisau perata.
- d. Pengaduk.
- e. Timbangan dengan ketelitian 5 gram.
- f. *Extrude*
- g. Saringan no.4
- h. *Oven*.

### 3.5.9. Uji Konsolidasi

Uji konsolidasi tanah bertujuan untuk menentukan karakteristik pemadatan tanah, termasuk kemampuan tanah untuk mengalami deformasi akibat pembebanan dan laju konsolidasi tanah tersebut berdasarkan SNI – 2812:2011

1. Bahan – bahan yang diuji antara lain:
  - a. Sampel tanah asli yang diambil melalui contoh tabung.
  - b. Air bersih secukupnya.
2. Peralatan yang diperlukan:
  - a. Frame alat konsolidasi (*Consolidometer*).
  - b. Cincin (cetakan) benda uji.
  - c. *Extruder*.
  - d. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.
  - e. *Stopwatch*.
  - f. *Dial* deformasi.
  - g. *Oven*.
  - h. Spatula.



### **3.6 Prosedur Pengujian Utama**

#### **3.6.1. Pengujian sifat fisik tanah:**

- a. Kadar air tanah
- b. Berat isi tanah
- c. Berat jenis tanah
- d. Batas cair tanah
- e. Batas plastis tanah
- f. Analisa saringan dan hidrometer

#### **3.6.2. Uji pemadatan standar**

Melakukan uji pemadatan standar dengan menggabungkan sampel tanah asli dengan berbagai tingkat kejenuhan. Sampel-sampel yang digunakan adalah Sampel A, Sampel B, dan Sampel C, masing-masing terdiri dari 3 sampel.

##### **a. Sampel A**

Sampel tanah asli dicampur dengan air sehingga mencapai kandungan air optimal (KAO) sebesar 31,7%, menghasilkan derajat kejenuhan sekitar 54,017%.

##### **b. Sampel B**

Sampel tanah asli dicampur dengan air sehingga mencapai kandungan air optimal (KAO) sebesar 36,7%, menghasilkan derajat kejenuhan sekitar 60,94%.

##### **c. Sampel C**

Sampel tanah asli dicampur dengan air sehingga mencapai kandungan air optimal (KAO) sebesar 26,7%, menghasilkan derajat kejenuhan sekitar 44,901%.

#### **3.6.3. Tahapan uji pemadatan standar**

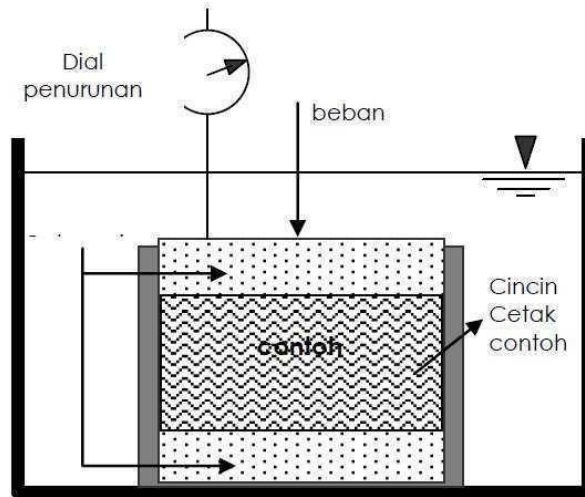
- a. Persiapan sampel tanah asli dengan berat sebesar 2000 gr.
- b. Menyiapkan gelas ukur berkapasitas 1000 ml.

- c. Melakukan pencampuran tanah dengan mengikuti perencanaan KAO yang ditentukan.
- d. Setelah mencampurkan air dengan sampel tanah, diamkan selama kurang lebih 24 jam.
- e. Setelah periode perendaman selama  $\pm 24$  jam, memasukkan sampel tanah ke dalam wadah khusus (mol) untuk dilakukan pemadatan standar.
- f. Pemadatan dilakukan dalam 3 lapisan, dengan setiap lapisan ditumbuk atau dipadatkan sebanyak 25 kali tumbukan.
- g. Setelah pemadatan selesai, menimbang berat mol beserta tanah yang ada di dalamnya, kemudian mengambil sebagian untuk mengukur kadar air sampel tersebut.

#### **3.6.4. Prosedur Pengujian Utama Konsolidasi**

Pengujian konsolidasi ini dilakukan pada sampel tanah dengan tingkat kejenuhan yang berbeda. Berikut adalah langkah-langkah prosedur pengujian:

- a. Memasukkan sampel tanah yang telah dicampur dengan air dan dipadatkan ke dalam cetakan benda uji, sehingga cetakan terisi penuh dengan sampel tanah.
- b. Setelah sampel dicetak dalam cetakan benda uji, dilakukan penyusunan modul-modul ke dalam sel konsolidasi dengan urutan sebagai berikut:
  - 1) Batu porous
  - 2) Kertas pori
  - 3) Sampel tanah dalam ring
  - 4) Kertas pori
  - 5) Batu porous
  - 6) Silinder tembaga yang berfungsi meratakan beban
  - 7) Penahan dengan 3 mur



Gambar 31. Penyusunan modul ke sel konsolidasi

(Sumber : Ari (2014))

- c. Mencatat pembacaan awal pada dial tanpa adanya pengisian air, dan memberikan beban awal pada alat konsolidasi. Besarnya beban awal dihitung dengan rumus:

$$P_o = \gamma_w \cdot h \cdot V_o$$

dengan,

$\gamma_w$  : Berat isi basah

$H$  : Kedalaman pengambilan tanah

$V_o$  : Volume sampel tanah

- d. Setelah 24 jam, membaca dial dengan pembebanan sebesar 1000 gr dan mencatat hasilnya. Pembacaan dilakukan pada interval waktu 0", 15", 30", 1', 2', 4', 8', 15', 30', 1, 2, 4, 8, dan 24 jam.
- e. Mengulang langkah sebelumnya untuk setiap pembebanan 1000, 2000, 4000, dan 8000 gr dengan interval waktu 24 jam, dan mencatat pembacaan pada saat dilakukan pengukuran dial.
- f. Setelah melakukan pembacaan untuk pembebanan 1000, 2000, 4000, dan 8000 gr, melakukan pembacaan pengembangan.

- g. Pengembangan awal dilakukan dengan melepas beban hingga tersisa beban seberat 2000 gr, kemudian membaca dial pada interval waktu yang sama seperti sebelumnya.
- h. Mengeluarkan sampel tanah uji dari alat konsolidasi, melakukan penimbangan, dan memasukkan ke dalam oven untuk mendapatkan berat kering sampel ( $W_d$ ) sehingga dapat ditentukan kadar airnya.

### **3.7 Tahapan Penelitian**

#### **3.7.1 Studi Pustaka**

Studi pustaka adalah proses menyelidiki dan menganalisis sumber-sumber tertulis yang relevan dengan topik penelitian atau studi tertentu. Ini melibatkan pencarian, pemilihan, pembacaan, dan evaluasi literatur yang ada untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif tentang topik yang sedang diteliti.

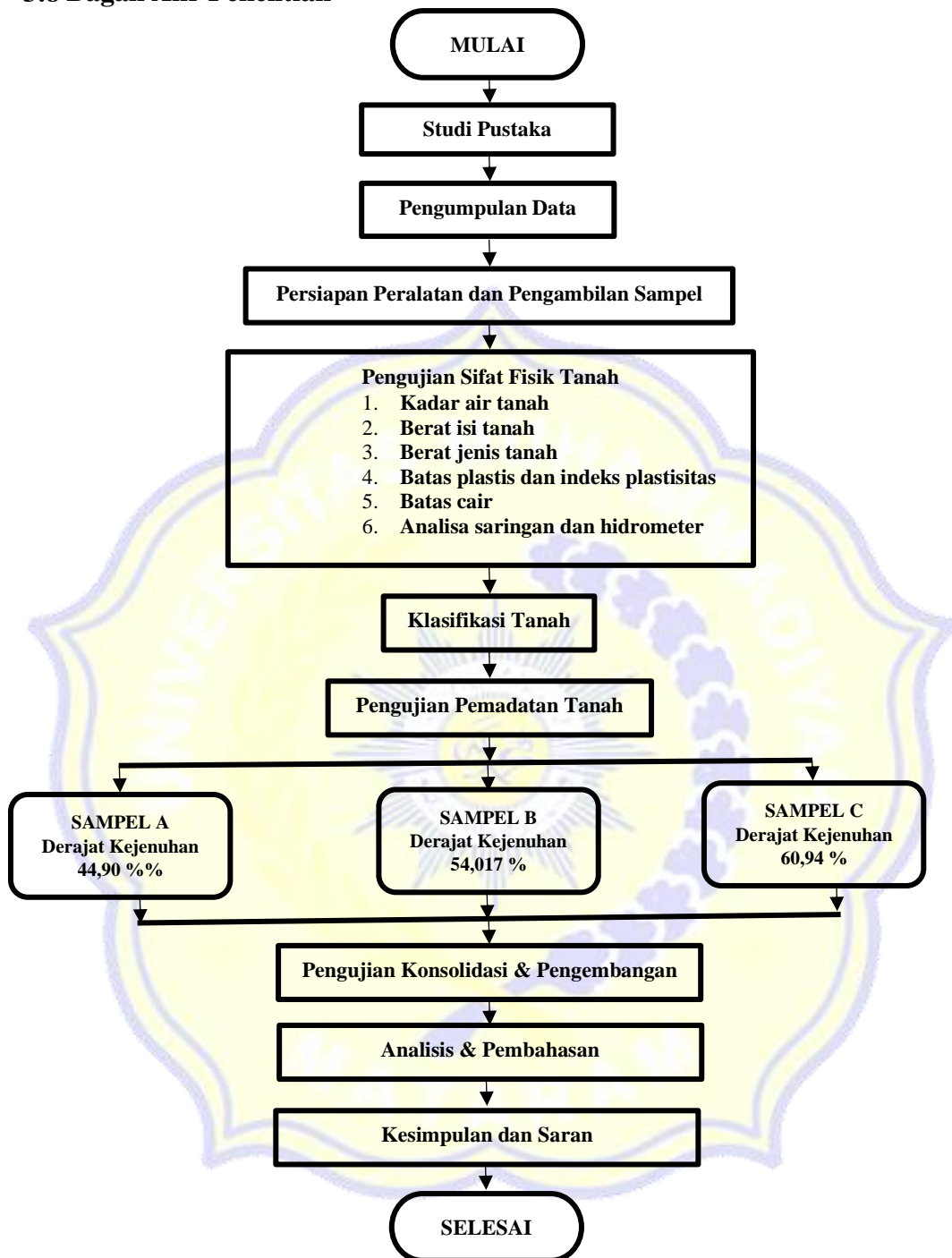
#### **3.7.2 Pengumpulan Data**

Proses pengumpulan data dilakukan dengan cermat untuk menghindari kesalahan dalam membaca hasil uji. Pengumpulan data ini melibatkan pengujian sampel tanah lempung ekspansif di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Muhammadiyah Mataram. Tujuan pengujian ini adalah untuk memperoleh informasi atau pemahaman tentang penurunan konsolidasi.

#### **3.7.3 Analisis Data**

Data hasil yang diperoleh dari percobaan yang telah dilakukan diolah dan kemudian ditampilkan dalam bentuk tabel serta grafik. Data ini berisi hasil pembacaan penurunan tanah lempung dengan variasi derajat kejenuhan yang berbeda.

### 3.8 Bagan Alir Penelitian



Gambar 32. Bagan alir penelitian