

**STUDI PERBAIKAN TANAH LEMPUNG LUNAK DENGAN PASIR GRADASI
BAIK TERHADAP PARAMETER KONSOLIDASI TANAH LEMPUNG LUNAK**

(Skripsi)

Oleh

CAROLINE CLARA CARISSA

1915011013



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

STUDI PERBAIKAN TANAH LEMPUNG LUNAK DENGAN PASIR GRADASI BAIK TERHADAP PARAMETER KONSOLIDASI TANAH LEMPUNG LUNAK

Oleh

CAROLINE CLARA CARISSA

Tanah lempung memiliki partikel kecil yang mampu menyerap air dan memiliki sifat pengembangan yang signifikan. Dalam infrastruktur, tanah lempung rentan mengalami penurunan saat diberi beban karena sifat plastisitas tingginya. Oleh karena itu, tanah lempung memerlukan waktu lama untuk mengalami konsolidasi karena permeabilitasnya yang rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi peningkatan gradasi tanah lempung melalui penambahan pasir, untuk memperoleh daya dukung tanah yang sesuai sebagai *subgrade* dalam proyek konstruksi. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sampel tanah lempung yang diperoleh dari wilayah Umbul Lioh, Palembang, Kalianda, Lampung Selatan. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian sifat fisik dan mekanis. Hasil pengujian dari tanah lempung diklasifikasikan sebagai jenis lempung A-7-5 (AASHTO) dan OH/MH (USCS). Selanjutnya, dilakukan campuran antara tanah lempung dan pasir dengan variasi 4%, 8%, 10%, 12%, dan 16%. Seiring dengan penambahan pasir, terjadi penurunan nilai kadar air optimum (KAO) dan peningkatan berat volume kering maksimum. Hasil uji konsolidasi menunjukkan bahwa penambahan pasir mengakibatkan penurunan nilai indeks pemampatan (C_c), koefisien pemampatan (a_v), koefisien perubahan volume (m_v), dan penurunan konsolidasi (S_c), sementara nilai koefisien konsolidasi (c_v) meningkat. Selain itu, uji nilai CBR (*California Bearing Ratio*) setelah empat hari perendaman menunjukkan peningkatan seiring dengan penambahan pasir, sementara nilai pengembangan tanah mengalami penurunan.

Kata kunci: tanah lempung, pasir, konsolidasi, CBR, *swelling*.

ABSTRACT

STUDY OF SOFT CLAY SOIL IMPROVEMENT WITH WELL-GRADED SAND ON SOFT CLAY SOIL CONSOLIDATION PARAMETERS

By

CAROLINE CLARA CARISSA

Clay soils contain small particles capable of absorbing water and having significant developing properties. The high plasticity of clay soils makes them susceptible to settlement under load in an infrastructure context. Their low permeability also results in a protracted consolidation process. The purpose of this study is to evaluate the improvement of clay gradation by the addition of sand to achieve a favorable soil bearing capacity, suitable for subgrade in construction projects. This study was conducted using clay soil samples from Umbul Lioh area, Palembang, Kalianda, South Lampung. The sampled clayey soil was tested to determine physical and mechanical properties. The test results classified the clay soil as belonging to A-7-5 (AASHTO) and OH/MH (USCS) clay types. In addition, a mixture of sand and clay was prepared with varying percentages of 4%, 8%, 10%, 12%, and 16%. With the addition of sand, the optimal moisture content (OMC) value decreased and the maximum dry volume weight increased. The consolidation test results showed that the values of compression index (C_c), compression coefficient (a_v), coefficient of volume change (m_v), and consolidation settlement (S_c) decreased with the addition of sand, while the value of consolidation coefficient (c_v) increased. Sand addition also increased CBR after 4 days of immersion, while decreasing soil development.

Keywords: clay, sand, consolidation, CBR, swelling.

**STUDI PERBAIKAN TANAH LEMPUNG LUNAK DENGAN PASIR
GRADASI BAIK TERHADAP PARAMETER KONSOLIDASI TANAH
LEMPUNG LUNAK**

Oleh

CAROLINE CLARA CARISSA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi

: **STUDI PERBAIKAN TANAH LEMPUNG
LUNAK DENGAN PASIR GRADASI BAIK
TERHADAP PARAMETER KONSOLIDASI
TANAH LEMPUNG LUNAK**

Nama Mahasiswa

: **Caroline Clara Carissa**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915011013

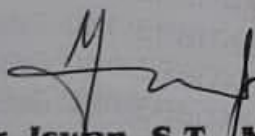
Program Studi

: S1 Teknik Sipil

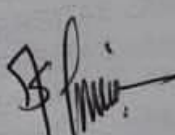
Fakultas

: Teknik




Ir. Iswan, S.T., M.T.

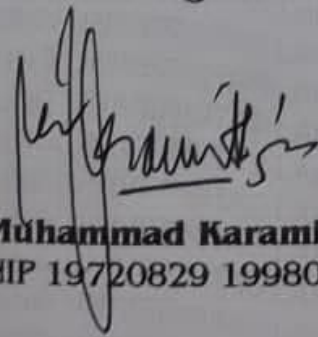
NIP 19720608 200501 1 001


Ir. Aminudin Syah, S.T., M.Eng.

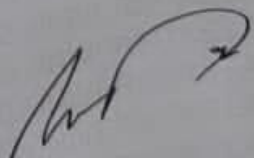
NIP 19880323 201903 1 019

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP 19720829 199802 1 001

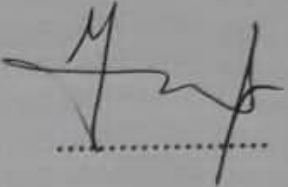

Ir. Laksmi Irianti, M.T.

NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

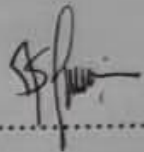
1. Tim Penguji

Ketua : **Ir. Iswan, S.T., M.T.**



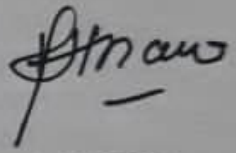
.....

Sekretaris : **Ir. Aminudin Syah, S.T., M.Eng.**



.....

Penguji
Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Ir. Lusmella Afriani,
D.E.A., I.P.M., ASEAN Eng.**



.....

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **8 November 2023**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Caroline Clara Carissa

NPM : 1915011013

Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul "*STUDI PERBAIKAN TANAH LEMPUNG LUNAK DENGAN PASIR GRADASI BAIK TERHADAP PARAMETER KONSOLIDASI TANAH LEMPUNG LUNAK*" tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka. Ide penelitian didapat dari Pembimbing I, oleh karena itu baik atas data penelitian berada pada Saya dan Pembimbing I, Bapak Ir. Iswan, S.T., M.T.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 8 November 2023



Caroline Clara Carissa

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Menggala pada tanggal 13 Januari 2001, merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Trimo dan Ibu Elisabeth. Penulis memiliki satu orang saudara yaitu adik perempuan yang bernama Isabel Steffi Clesia Manuella. Penulis memulai jenjang pendidikan tingkat dasar di SDS Indolampung Perkasa pada tahun 2007-2013, lalu dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di SMP Sugar Group yang diselesaikan pada tahun 2016 dan dilanjutkan menempuh pendidikan tingkat atas di SMAS Sugar Group yang diselesaikan pada tahun 2019.

Pada tahun 2019 penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi seorang mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS UNILA) sebagai Anggota Kaderiasai Periode 2020-2021 dan Anggota Usaha dan Karya Periode 2021-2022. Penulis juga telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode I di Kelurahan Karang Maritim, Kecamatan Panjang, Bandar Lampung selama 40 hari, Januari – Februari 2022. Di tahun yang sama, tepatnya di bulan Juli – Oktober penulis juga telah melakukan kerja praktik di Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Bersama Politeknik Negeri Lampung selama 3 bulan.

Selama masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi kampus dan menjadi Bendahara Pelaksana pada acara *Civil Bring Evolution 7* yang merupakan acara berskala Nasional untuk organisasi HIMATEKS UNILA. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul “Studi Perbaikan Tanah Lempung Lunak Dengan Pasir Gradasi Baik Terhadap Parameter Konsolidasi Tanah Lempung Lunak”.

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

Tuhan Yesus yang telah memberikan kekuatan serta kemampuan kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini. Karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya skripsi ini dapat selesai.

Bapak dan Ibu yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan, semangat, dan motivasi.

Almamaterku Universitas Lampung

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“STUDI PERBAIKAN TANAH LEMPUNG LUNAK DENGAN PASIR GRADASI BAIK TERHADAP PARAMETER KONSOLIDASI TANAH LEMPUNG LUNAK”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 di Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terimakasih kepada:

1. Tuhan Yesus yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya, serta senantiasa memudahkan dalam segala urusan hamba-Nya.
2. Bapak Dr. Eng. Helmi Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung.
4. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Prodi S1 Teknik Sipil, Universitas Lampung.
5. Bapak Ir. Iswan, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam pengerjaan skripsi.
6. Bapak Ir. Aminudin Syah, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II dan Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam pengerjaan skripsi dan mata kuliah.

7. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran terkait isi skripsi.
8. Keluarga tercinta terutama kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan moral dan materil kepada penulis.
9. Dody, Ainaya, Silfa, Tiara, Mayang, Anggita, Sabrina, dan Nadhira senantiasa menjadi tempat berkeluh kesah terbaik dan selalu mendukung dalam menjalani proses perkuliahan.
10. Keluarga besar Teknik Sipil Angkatan 2019 (SOLID 19) yang telah berjuang bersama, berbagi kenangan dan pengalaman yang tak terlupakan.
11. Terakhir, terimakasih untuk diri sendiri karena telah mampu berjuang dan bertahan sejauh ini untuk menyelesaikan skripsi dengan sebaik dan semaksimal mungkin.

Penulis menyadari akan keterbatasan pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki penulis sehingga masih terdapat kekurangan dalam penulisan Skripsi ini. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak yang berkepentingan. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat untuk pihak yang memerlukan.

Bandar Lampung,

2023

Caroline Clara Carissa

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR NOTASI	vii
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Penelitian	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Tanah.....	5
2.2. Tanah Lempung Lunak	6
2.3. Mineral Lempung.....	6
2.4. Klasifikasi Tanah	8
2.4.1. Sistem Klasifikasi AASHTO	9
2.4.2. Sistem Klasifikasi USCS	10
2.5. Sifat-sifat Fisik.....	13
2.5.1. Kadar Air	13
2.5.2. Berat Volume	13
2.5.3. Berat Jenis	14
2.5.4. Batas Cair (<i>Liquid Limit</i>)	14

2.5.5. Batas Plastis (<i>Plasticity Limit</i>)	15
2.5.6. Analisa Saringan	15
2.5.7. Analisis Hidrometer	16
2.6. Pasir.....	17
2.7. Konsolidasi	19
2.8. CBR.....	24
2.9. Uji Pengembangan	25
2.10. Perbaikan Tanah.....	25
2.11. Tanah Dasar (<i>Subgrade</i>)	26
2.12. Penelitian Terdahulu	27
III. METODE PENELITIAN	
3.1. Lokasi Penelitian.....	29
3.2. Diagram Alir Penelitian	30
3.3. Bahan Penelitian	31
3.4. Persiapan Alat	32
3.5. Pelaksanaan Pengujian.....	32
(1) Pengujian Pasir	32
(2) Pengujian Indeks Propertis Tanah	32
(3) Pengujian Mekanis Propertis Tanah.....	37
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Uji Tanah Lempung	42
4.2. Hasil Uji Material Bergradasi	43
4.3. Hasil Pengujian Tanah Asli	46
4.3.1. Uji Analisis Ukuran Butiran.....	46
4.3.2. Uji Berat Jenis	48
4.3.3. Batas-batas <i>Atterberg</i>	48
4.3.4. Uji Pemadatan Tanah	49
4.3.5. Uji CBR.....	50
4.3.6. Uji <i>Swelling</i>	52
4.3.7. Uji Konsolidasi.....	52
4.4. Hasil Sifat Fisik Tanah Lempung dengan Material Bergradasi.....	54
4.5. Hasil Uji Pemadatan Tanah Lempung dengan Material Bergradasi.....	55

4.6. Hasil Uji CBR Tanah Lempung dengan Material Bergradasi	58
4.7. Hasil Uji Pengembangan Tanah Lempung dengan Material Bergradasi	59
4.8. Hasil Uji Konsolidasi Tanah lempung dengan Material Bergradasi	62
V. PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	69
5.2. Saran	70

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A (HASIL UJI LABORATORIUM)

LAMPIRAN B (DOKUMETASI)

LAMPIRAN C (LEMBAR ASISTENSI)

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur atom <i>kaolinite</i>	7
2. Struktur atom <i>illite</i>	7
3. Struktur atom <i>montmorillonite</i>	8
4. Diagram struktur dari (a) <i>kaolinite</i> ; (b) <i>illite</i> ; (c) <i>montmorillonite</i>	8
5. Nilai batas cair dan indeks plastisitas untuk tanah	10
6. Diagram plastisitas	13
7. Variasi volume dan kadar air pada batas cair, batas plastis dan batas susut	15
8. Analisis kurva distribusi ukuran partikel.....	17
9. Analisis distribusi ukuran butiran	19
10. Diagram skematik konsolidometer.....	20
11. Lokasi pengambilan sampel tanah lempung lunak.....	29
12. Titik pengambilan sampel tanah lempung lunak.....	30
13. Titik pengambilan sampel pasir	30
14. Diagram alir penelitian	31
15. Hasil uji analisa saringan material bergradasi	44
16. Hasil uji analisa saringan material bergradasi baik	45
17. Hasil uji ukuran butiran tanah lempung asli.....	46
18. Klasifikasi tanah lempung hasil pengujian berdasarkan USCS	47
19. Klasifikasi tanah lempung hasil pengujian berdasarkan AASHTO	48
20. Hasil pemadatan tanah asli	49
21. Hubungan nilai CBR dengan berat volume kering	51
22. Hubungan angka pori dengan tekanan efektif	53
23. Kurva pemadatan tanah lempung dengan campuran pasir	56
24. Hubungan kadar air optimum dan campuran pasir	57

25. Hubungan berat volume kering dan campuran pasir.....	57
26. Hubungan penambahan pasir dengan nilai CBR.....	58
27. Hubungan penambahan pasir dengan nilai pengembangan tanah.....	60
28. Variasi potens penambahan dengan kandungan pasir.....	61
29. Hubungan penambahan pasir dengan C_c	62
30. Hubungan penambahan pasir dengan c_v	63
31. Hubungan penambahan pasir dengan a_v	64
32. Hubungan penambahan pasir dengan m_v	65
33. Hubungan penambahan pasir dengan S_c	66
34. Hubungan angka pori dan tekanan efektif pada tanah campuran.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sistem Klasifikasi AASHTO.....	11
2. Sistem Klasifikasi USCS.....	12
3. Ukuran Saringan berdasarkan ASTM	16
4. Klasifikasi Kompresibilitas berdasarkan Nilai C_c	21
5. Hasil Uji Sifat Fisik Tanah Lempung.....	42
6. Hasil Uji Analisa Saringan Tanah Lempung.....	43
7. Hasil Uji Analisis Hidrometer Tanah Lempung.....	43
8. Hasil Uji Material Bergradasi.....	44
9. Hasil Uji Material Bergradasi Baik	45
10. Berat Jenis Tanah	48
11. Klasifikasi Tanah Lempung berdasarkan PI	49
12. Hasil Pengujian CBR Laboratorium.....	50
13. Nilai CBR Penetrasi 0,1”.....	50
14. Nilai CBR Tanah Dasar.....	51
15. Klasifikasi Pengembangan Tanah	52
16. Hasil Uji Konsolidasi	53
17. Hasil dan Klasifikasi pada Campuran Pasir dan Tanah Lempung	54
18. Kriteria Pengembangan Berdasarkan Indeks Plastisitas	55
19. Hasil Pengujian Pemadatan Standar Tanah Lempung dengan Pasir.....	55
20. Hasil pengujian CBR Tanah Campuran	58
21. Hasil Uji Pengembangan Tanah Campuran	59
22. Hasil Uji Konsolidasi Tanah Campuran.....	62

DAFTAR NOTASI

AASHTO	=	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
a_v	=	Koefisien pemampatan
ASTM	=	<i>American Society for Testing and Material</i>
CBR	=	<i>California Bearing Ratio</i>
C_c	=	Indeks pemampatan
C_c	=	Koefisien gradasi
CH	=	Lempung plastisitas tinggi
C_u	=	Koefisien keseragaman
C_r	=	Indeks pemampatan Kembali
c_v	=	Koefisien konsolidasi
D_{10}	=	Diameter yang bersesuaian dengan 10% lolos ayakan
D_{30}	=	Diameter yang bersesuaian dengan 30% lolos ayakan
D_{60}	=	Diameter yang bersesuaian dengan 60% lolos ayakan
e_0	=	Angka pori awal
e_1	=	Angka pori pada tegangan p_1'
e_2	=	Angka pori pada tegangan p_2'
G_s	=	Berat Spesifik
H	=	Tebal lapisan tanah awal (m)
KAO	=	Kadar Air Optimum
LL	=	Batas Cair
MH	=	Lanau plastisitas tinggi
m_v	=	Koefisien perubahan volume
OH	=	Lanau atau lempung organik plastisitas tinggi
p_c'	=	tekanan prakonsolidasi (kN/m ²)

PL	= Batas plastis
PI	= Indeks Plastisitas
p_0'	= Tekanan <i>overburden</i> efektif awal sebelum dibebani (kN/m ²)
p_1'	= Tegangan efektif
p_2'	= Tegangan efektif
S	= Potensi pengembangan
S_c	= Penurunan konsolidasi
SC	= Pasir berlempung
SM	= Pasir berlanau
SP	= Pasir gradasi baik
SW	= Pasir gradasi buruk
USCS	= <i>Unified Soil Classification System</i>
USBR	= <i>United State Bureau of Reclamation</i>
V	= Volume Tanah (cm ³)
w	= Kadar air %
W_s	= Berat butiran (gr)
W_w	= Berat air (gr)
W	= Berat Tanah (gr)
Δe	= Perubahan angka pori
ΔH	= Perubahan tebal
ΔV	= Perubahan volume
Δp	= Tambahan tegangan akibat beban fondasi (kN/m ²)
γ_b	= Berat Volume Basah (gr/cm ³)
γ_d	= Berat Volume Kering (gr/cm ³)
γ_s	= Berat Volume Butiran Padat (gr/cm ³)
γ_w	= Berat Volume Air Suling (gr/cm ³)

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tanah memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Dalam infrastruktur bangunan, tanah berperan penting sebagai penahan beban dari fondasi dan beban lainnya di atas tanah. Oleh karena itu, kekokohan dan ketahanan bangunan sangat tergantung pada kondisi tanah. Tanah lempung dan pasir adalah jenis tanah yang sering ditemukan dalam konstruksi. Tanah lempung memiliki sifat plastisitas tinggi sehingga mudah mengalami deformasi atau penurunan ketika dikenakan beban. Volume tanah dapat membesar saat basah dan menyusut saat kering, serta kandungan air dapat memengaruhi kondisi tanah ketika dikenakan beban.

Pembangunan jalan raya sering menggunakan timbunan tanah untuk meninggikan elevasi jalan dan mencegah banjir. Namun, timbunan dapat mempengaruhi lapisan *subgrade* di bawahnya. Jika timbunan ditempatkan di atas *subgrade* yang lemah, dapat terjadi masalah seperti pengendapan, ketidakstabilan, atau deformasi pada bangunan atau jalan yang dibangun di atasnya. Perbaikan tanah dengan menambahkan material bergradasi pada tanah lempung lunak dapat mempengaruhi kemampuan tanah untuk diikat karena tanah lempung lunak cenderung lengket dan tidak stabil sehingga mudah berubah bentuk dan struktur. Material bergradasi yang baik dapat meningkatkan kekuatan tanah lempung lunak dengan mengikat butiran-butiran tanah sehingga lebih kokoh. Sehingga tanah lempung lunak menjadi lebih stabil dan memiliki daya dukung yang lebih baik. Hal ini dapat mengurangi risiko keretakan pada konstruksi yang dibangun di atasnya.

Penelitian oleh Prasad & Sharma (2014) menunjukkan bahwa penambahan pasir halus dengan variasi 10%; 20%; 30% dan 40% pada tanah lempung dapat meningkatkan nilai CBR dari 2,47% menjadi 3,75%. Penelitian lainnya oleh Kurniawan dkk. (2015) menunjukkan bahwa penambahan pasir dengan variasi 10%; 20% dan 30% pada tanah lempung dapat menaikkan nilai koefisien konsolidasi (c_v), penurunan pada nilai indeks pemampatan (C_c) dan koefisien pemampatan (a_v). Penelitian oleh Wijaya dkk. (2016) menunjukkan bahwa penambahan pasir kasar dan halus dengan variasi 0%; 10%; 20%; 30%; 40% dan 50 pada tanah lempung ekspansif dapat menaikkan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) sebesar 0,25% - 1,20% untuk pasir kasar, 0,18% - 2,18% untuk pasir halus dan menurunkan nilai *swelling* sebesar 2,3% untuk pasir kasar dan 2,81% untuk pasir halus.

Penelitian ini menggunakan tanah lempung lunak sebagai material yang akan dilakukan perbaikan. Berdasarkan penelitian oleh Ariana (2021) tanah yang berasal dari daerah Dusun 3 Umbul Lioh, Palembang, Kalianda termasuk tanah lempung lunak yang memiliki nilai batas cair sebesar 71,22%, nilai indeks plastisitas sebesar 48,4% dan termasuk dalam kelompok CH, yaitu lempung tak organik dengan plastisitas tinggi. Penelitian terdahulu belum melakukan perbaikan tanah lempung lunak dengan menambahkan material bergradasi baik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh material bergradasi baik terhadap parameter konsolidasi, CBR, nilai *swelling* serta sifat-sifat fisik.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan pasir gradasi baik terhadap parameter konsolidasi tanah lempung lunak?
2. Bagaimana pengaruh penambahan pasir gradasi baik terhadap sifat-sifat fisik tanah lempung lunak?
3. Bagaimana pengaruh penambahan pasir gradasi baik terhadap nilai CBR

dan nilai *swelling*?

1.3. Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Sampel uji tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung lunak berasal dari Desa Umbul Lioh, Palembang, Kalianda, Lampung Selatan.
2. Material bergradasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir dengan gradasi baik dengan nilai kriteria $1 < C_c < 3$ dengan $C_u > 6$.
3. Parameter yang ditinjau adalah parameter konsolidasi, nilai CBR, nilai *swelling* dan sifat-sifat fisik tanah.
4. Uji dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Lampung.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan pasir gradasi baik terhadap parameter konsolidasi tanah lempung lunak.
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan pasir gradasi baik terhadap sifat-sifat fisik tanah lempung lunak.
4. Untuk mengetahui pengaruh penambahan pasir gradasi baik terhadap nilai CBR dan nilai *swelling*.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui tentang ilmu tanah dalam memperbaiki tanah yang bermasalah.
2. Dapat membantu mengatasi masalah kestabilan dan daya dukung tanah lempung yang buruk dengan memanfaatkan pasir gradasi baik sebagai

bahan perbaikan.

3. Dapat memberikan informasi baru tentang karakteristik dan mekanisme perbaikan tanah lempung dengan pasir gradasi baik.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dalam penulisan pada penelitian ini terdiri dari sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori yang mendukung mengenai penelitian yang akan dilakukan.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi uraian mengenai gambaran umum dan metode yang akan digunakan untuk memperoleh data – data yang dibutuhkan.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil pengumpulan data, pengolahan data, analisis serta pembahasan data berdasarkan teori yang ada.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan akhir yang merupakan hasil dari pembahasan yang didapat dari pengolahan data dan saran dari hasil tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah

Tanah merupakan suatu material yang terdiri dari mineral, bahan organik, air, dan gas. Tanah memiliki sifat deformasi serta sifat-sifat fisis dan mekanis yang khas dalam mekanika tanah. Dalam konstruksi bangunan seperti gedung, jembatan, jalan raya, jalan tol, dan bendungan, tanah berperan sebagai fondasi yang menopang struktur di atasnya. Oleh karena itu, tanah harus memenuhi persyaratan tertentu agar mampu menahan beban yang diberikan di atasnya. Tanah yang baik sebagai fondasi harus memiliki daya dukung dan stabilitas yang cukup untuk mendukung berbagai struktur. Pemahaman karakteristik tanah sangat penting dalam rekayasa geoteknik untuk merancang struktur yang aman dan tahan lama.

Tanah terbentuk melalui dua proses, yaitu proses pelapukan batuan dan proses geologi. Pelapukan batuan dapat terjadi melalui proses fisik dan kimia. Proses fisik mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau perubahan suhu dan cuaca. Sementara itu, proses kimia terjadi akibat pengaruh oksigen, air, karbondioksida, dan proses kimia lainnya (Hardiyatmo, 2012).

Tanah dapat dinamai berdasarkan ukuran partikelnya yang dominan, antara lain kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*) atau lempung (*clay*) (Das, 1995). Istilah ini dapat pula digunakan untuk menggambarkan sifat khusus dari suatu tanah. Tanah biasanya terdiri lebih dari satu ukuran partikel, variasi ukurannya berkisar lebih besar dari 100 mm hingga lebih kecil dari 0,001 mm (Hardiyatmo, 2012).

2.2. Tanah Lempung Lunak

Tanah lempung lunak adalah jenis tanah yang terdiri dari butiran-butiran tanah halus dengan kandungan lempung yang tinggi. Tanah lempung memiliki kemampuan untuk menahan air dan sifat yang cukup lembut. Partikel tanah lempung memiliki diameter butiran yang sangat kecil, yaitu kurang dari 0,002 mm (Hardiyatmo, 2012). Sifat utama dari tanah lempung adalah kemampuannya menyerap air dengan sangat baik dan sifat plastisitasnya yang tinggi. Tanah lempung memiliki nilai pengembangan dan penyusutan yang cukup besar, sehingga dapat merusak struktur yang dibangun di atasnya (Prasenda, 2015).

Lempung lunak, juga dikenal sebagai lempung ekspansif, adalah jenis tanah lempung yang tergolong dalam kategori tanah dengan tingkat perubahan volume yang signifikan. Tanah lempung yang dapat diklasifikasikan sebagai lempung ekspansif memiliki potensi perubahan volume yang sangat tinggi, dengan batasan nilai indeks plastisitasnya biasanya melebihi 35% (Idrus, 2021). Lapisan tanah lunak ditandai oleh gaya geser yang minim, tingkat kepadatan yang tinggi, tingkat permeabilitas yang rendah, dan kemampuan mendukung beban yang terbatas (Siska & Yakin, 2016).

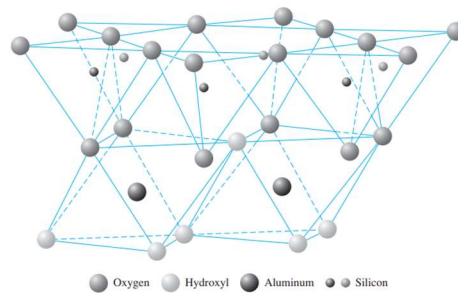
Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Susunan kebanyakan tanah lempung terdiri dari silika tetrahedra dan aluminium oktahedra. Berbagai macam lempung terbentuk oleh kombinasi tumpukan dari susunan lempeng dasarnya dengan bentuk yang berbeda-beda (Hardiyatmo, 2012).

2.3. Mineral Lempung

Mineral lempung adalah silikat aluminium yang kompleks terdiri dari dua unit dasar, yaitu tetrahedron silika dan oktahedron alumina. Berdasarkan Das

(2010) terdapat tiga mineral lempung yang penting, yaitu:

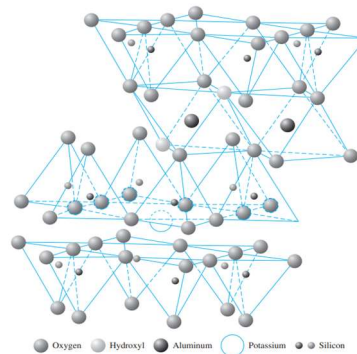
- a. *Kaolinite* terbentuk oleh lapisan-lapisan yang berulang dari lembaran silika-gibsit, seperti yang digambarkan dalam Gambar 1 dan 4. Lapisan-lapisan ini diikat bersama oleh ikatan hidrogen. *Kaolinite* ada dalam bentuk trombosit, dengan dimensi lateral antara 1000 hingga 20.000 Å dan ketebalan sekitar 100 hingga 1000 Å. Permukaan partikel *kaolinite* memiliki luas sekitar 15 m²/gr per satuan massa, yang disebut sebagai permukaan spesifik.



Sumber: Das (2010)

Gambar 1. Struktur atom *kaolinite*.

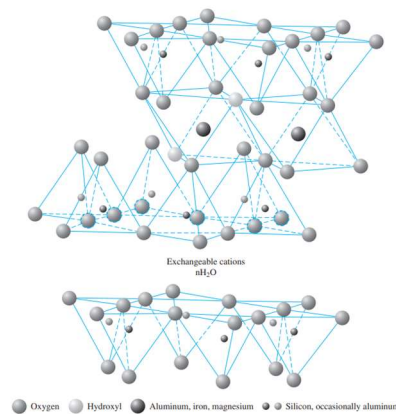
- b. *Illite* terdiri dari lembaran *gibbsite* yang dihubungkan dengan dua lembaran silika, satu di bagian atas dan satu lagi di bagian bawah yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan 4. Lapisan *illite* diikat oleh ion kalium, dengan muatan negatif untuk menyeimbangkan ion kalium yang berasal dari substitusi aluminium dengan beberapa silikon dalam lembaran tetrahedra. Partikel *illite* biasanya memiliki dimensi lateral antara 1000 hingga 5000 Å dan ketebalan antara 50 hingga 500 Å. Permukaan spesifik partikel ini adalah sekitar 80 m²/gr.



Sumber: Das (2010)

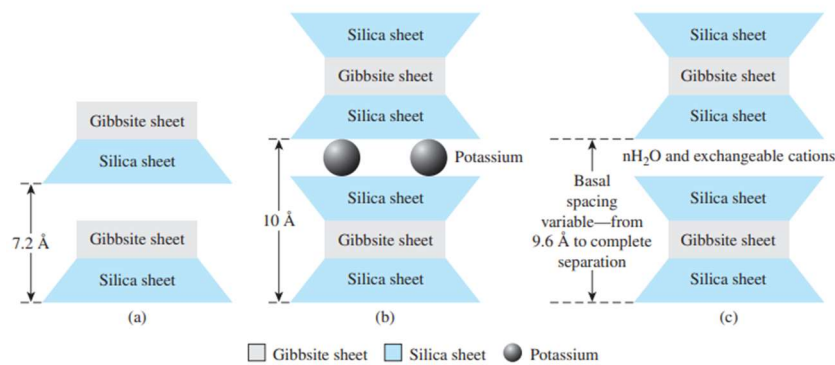
Gambar 2. Struktur atom *illite*.

c. *Montmorillonite* memiliki struktur yang serupa dengan *illite*, yaitu terdiri dari satu lembar *gibbsite* yang terletak di antara dua lembar silika yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4. Di *montmorillonite*, terjadi substitusi isomorfis antara magnesium dan besi dengan aluminium pada lembaran oktahedra. Partikel *montmorillonite* memiliki dimensi lateral antara 1000 hingga 5000 Å dan ketebalan antara 10 hingga 50 Å. Permukaan spesifiknya sekitar 800 m²/gr.



Sumber: Das (2010)

Gambar 3. Struktur atom *montmorillonite*.



Sumber: Das (2010)

Gambar 4. Diagram struktur dari (a) *kaolinite*; (b) *illite*; (c) *montmorillonite*.

2.4. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah didasari oleh distribusi ukuran partikel. Properti fisik tanah sangat dipengaruhi oleh jumlah dan jenis mineral lempung yang terdapat dalam fraksi halus. Dalam hal ini, terdapat dua sistem klasifikasi

tanah umum yang digunakan, yaitu Sistem USCS (*Unified Soil Classification System*) dan Sistem AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Kedua sistem ini mempertimbangkan sebaran ukuran partikel dan juga batas-batas *Atterberg* sebagai faktor penting. Sistem USCS digunakan secara luas untuk mengelompokkan tanah secara umum, sementara sistem AASHTO lebih sering digunakan untuk klasifikasi tanah pada lapisan dasar (*subgrade*) (Das, 2010).

2.4.1. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi tanah AASHTO pertama kali dikembangkan pada tahun 1929 sebagai sistem klasifikasi untuk jalan umum. Seiring berjalannya waktu, sistem ini telah mengalami beberapa revisi, dan versi yang saat ini diusulkan oleh Komite Klasifikasi Bahan untuk *Subgrade* dan Jalan Tipe Granular dari Badan Penelitian Jalan Raya, mulai diterapkan pada tahun 1945. Dalam sistem ini, tanah dikelompokkan ke dalam tujuh kategori utama, yaitu A-1 hingga A-7. Tanah dikategorikan sebagai A-1, A-2, dan A-3 jika kurang dari 35% partikelnya melewati saringan nomor 200. Sedangkan, jika lebih dari 35% partikelnya melewati saringan nomor 200, tanah diklasifikasikan sebagai A-4, A-5, A-6, atau A-7. Kelompok-kelompok ini biasanya terdiri dari lumpur dan jenis material lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria dan ditunjukkan pada Tabel 1:

a. Ukuran butiran

Kerikil: tanah yang lolos ayakan 75 mm (3 inci) dan tertahan ayakan nomor 10 (2 mm).

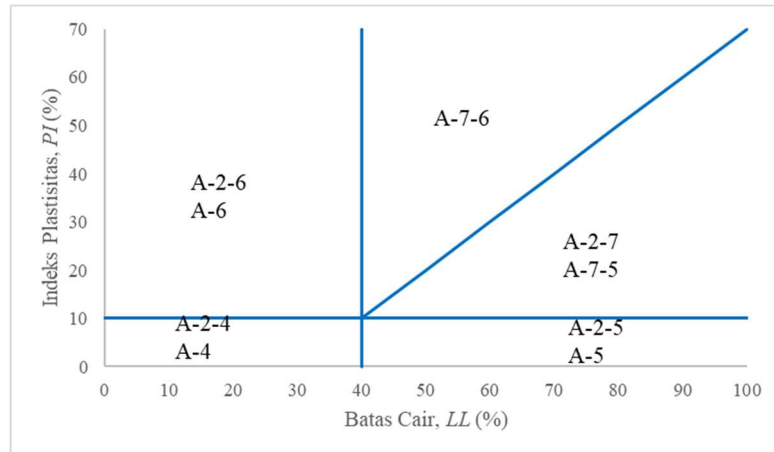
Pasir: tanah yang lolos ayakan nomor 10 (2 mm) dan tertahan ayakan nomor 200 (0,075 mm).

Lanau dan lempung: tanah yang lolos ayakan nomor 200.

b. Plastisitas: istilah lanau digunakan ketika fraksi halus tanah memiliki indeks plastisitas sebesar 10 atau kurang. Istilah lempung digunakan ketika fraksi halus memiliki indeks plastisitas

sebesar 11 atau lebih.

- c. Apabila batu-batuan dan pecahan batu dengan ukuran di atas 75 mm terdeteksi, mereka tidak termasuk dalam bagian sampel tanah yang digunakan untuk melakukan klasifikasi. Tetapi, persentase material tersebut tetap dicatat.



Sumber: Das (2010)

Gambar 5. Nilai batas cair dan indeks plastisitas untuk tanah.

2.4.2. Sistem Klasifikasi USCS

Pada tahun 1942, Casagrande bersama dengan *United State Bureau of Reclamation* (USBR) mengusulkan sistem ini dan direvisi pada tahun 1952. Sistem klasifikasi USCS ditunjukkan dalam Tabel 2. Sistem ini membagi tanah ke dalam dua kategori besar:

- Tanah berbutir kasar yang mengandung kerikil dan pasir dengan persentase kurang dari 50% yang melewati ayakan nomor 200. Kelompok ini ditandai dengan awalan G atau S, di mana G singkatan dari *gravel* (kerikil) dan S untuk *sand* (pasir).
- Tanah berbutir halus adalah tanah di mana 50% atau lebih partikelnya melewati ayakan nomor 200. Kelompok ini ditandai dengan awalan M untuk lanau anorganik, C untuk lempung anorganik, atau O untuk lanau dan lempung organik. Simbol Pt digunakan untuk tanah gambut, lumpur, dan tanah organik yang sangat tinggi.

Tabel 1. Sistem Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh sampel lolos ayakan No. 200)							Tanah lanau - lempung (lebih dari 35% dari seluruh sampel lolos ayakan No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A6	A-7-5 ^a A-7-6 ^b
Klasifikasi Kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisi Ayakan (% lolos)											
No. 10	50 maks										
No. 40	30 maks	50 maks	51 min								
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 yang lolos ayakan No. 40											
Batas Cair (LL)				40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks Plastisitas (PI)				10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Tipe material dominan	Batu pecah, kerikil, dan pasir		NP Pasir Halus	Kerikik dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah lanau		Tanah Lempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar				Sangat baik hingga baik				Biasa sampai buruk			

^aUntuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$

^bUntuk A-7-6, $PI > LL - 30$

Sumber: Das (2010)

Tabel 2. Sistem Klasifikasi USCS

Kriteria untuk menetapkan simbol kelompok				Kelompok Simbol	
Tanah berbutir kasar Lebih dari 50% dari tertahan saringan No. 200	Kerikil	Kerikil Bersih (Butir halus < 5% ^a)	$C_u \geq 4$ dan $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW	
	Lebih dari 50% fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil dengan butir halus (Butir halus > 12% ^{a,d})	$C_u \geq 4$ dan/atau $C_c < 1$ atau $C_c > 3^c$	GP	
			$PI < 4$ atau plot dibawah garis "A" (Gambar 6)	GM	
	Pasir 50% atau lebih fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir dengan butir halus (Butir halus > 12% ^{b,d})	Pasir bersih (Butir halus < 5% ^b)	$PI > 7$ atau plot pada atau diatas garis "A" (Gambar 6)	GC
				$C_u \geq 6$ dan $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW
			Pasir dengan butir halus (Butir halus > 12% ^{b,d})	$C_u \geq 6$ dan/atau $C_c < 1$ atau $C_c > 3^c$	SP
$PI < 4$ atau plot dibawah garis "A" (Gambar 6)				SM	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan No. 200	Lanau dan lempung Batas cair kurang dari 50%	Non organik	$PI > 7$ atau plot pada atau diatas garis "A" (Gambar 6) ^e	CL	
			$PI < 4$ atau plot dibawah garis "A" (Gambar 6) ^e	ML	
	Lanau dan lempung Batas cair 50% atau lebih	Organik	Non organik	$\frac{Batas\ cair - kering\ oven}{Batas\ cair - tidak\ kering} < 0,75$	OL
				Organik	PI plot pada atau diatas garis "A" (Gambar)
		Organik	Non organik		PI plot dibawah garis "A" (Gambar)
				Organik	Organik
Tanah Berorganik	Secara primer terdiri atas zat-zat organik, bewarna gelap, dan berbau organik				

^aKerikil dengan kehalusan 5 hingga 12% memerlukan simbol ganda: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

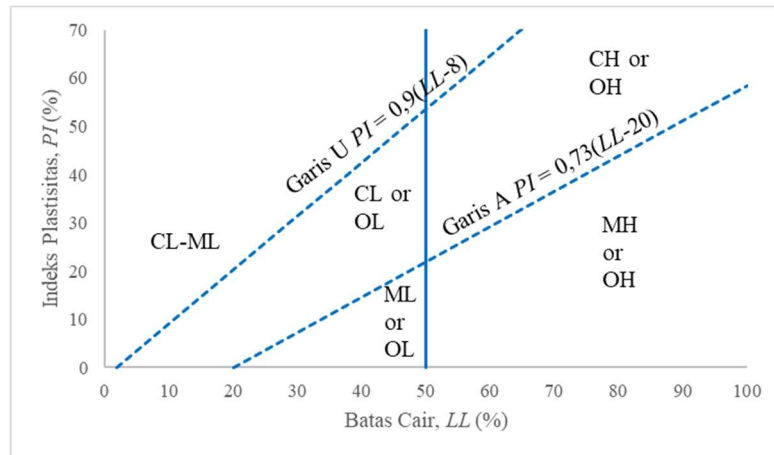
^bPasir dengan kehalusan 5 hingga 12% memerlukan simbol ganda: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

$$^c C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})}$$

^dJika $4 \leq PI \leq 7$ dan plot di area yang ditetaskan pada Gambar 6, gunakan simbol ganda GC-GM atau SC-SM.

^eJika $4 \leq PI \leq 7$ dan dan plot di area yang ditetaskan pada Gambar 6, gunakan simbol ganda CL-ML.

Sumber: Das (2010)



Sumber: Das (2010)

Gambar 6. Diagram plastisitas.

2.5. Sifat-sifat Fisik

2.5.1. Kadar Air

Kadar air (w) didefinisikan sebagai perbandingan berat air terhadap berat padatan dalam volume tanah tertentu (Das, 2010). Persamaan kadar air dinyatakan sebagai berikut:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (1)$$

dengan:

w = Kadar air %

W_w = Berat air (gr)

W_s = Berat butiran (gr)

2.5.2. Berat Volume

Berat volume adalah berat dari tanah yang diukur per satuan volume (Das, 2010). Untuk berat volume basah:

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (2)$$

Dalam banyak kasus, untuk mengatasi masalah pekerjaan tanah, kita

perlu mengetahui berat per volume tanah yang tidak mengandung air. Berat ini disebut berat satuan kering (Das, 2010). Untuk berat volume kering:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (3)$$

dengan:

$$\gamma_b = \text{Berat Volume Basah (gr/cm}^3\text{)}$$

$$W = \text{Berat Tanah (gr)}$$

$$V = \text{Volume Tanah (cm}^3\text{)}$$

$$\gamma_d = \text{Berat Volume Kering (gr/cm}^3\text{)}$$

$$W_s = \text{Berat Butiran Padat (gr)}$$

2.5.3. Berat Jenis

Berat jenis didefinisikan sebagai perbandingan antara berat satuan suatu bahan tertentu dengan berat satuan air. Berat jenis padatan tanah sering digunakan dalam berbagai perhitungan dalam mekanika, dan dapat diukur dengan akurat melalui pengujian di laboratorium dan dinyatakan sebagai berikut (Das, 2010):

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (4)$$

dengan:

$$G_s = \text{Berat Spesifik}$$

$$\gamma_s = \text{Berat Volume Butiran Padat (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\gamma_w = \text{Berat Volume Air Suling (gr/cm}^3\text{)}$$

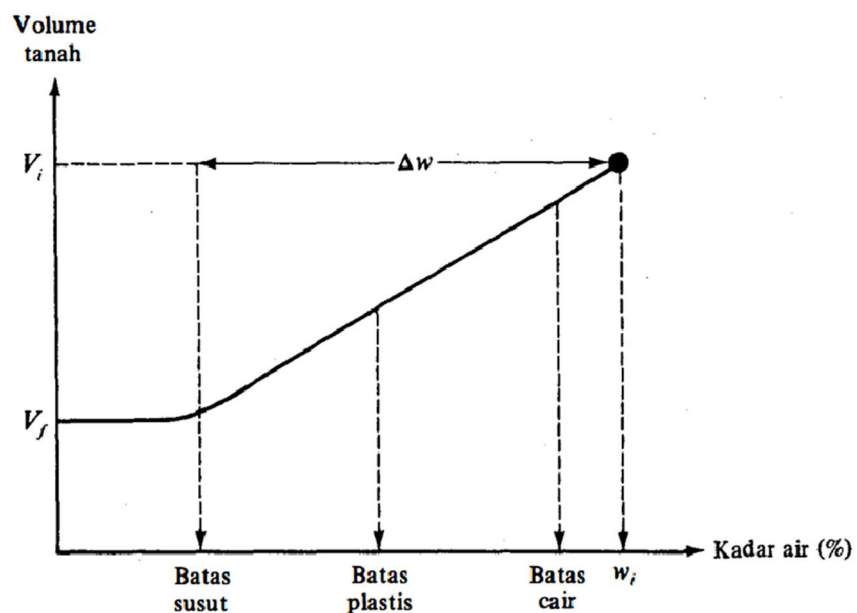
2.5.4. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair tanah adalah jumlah air minimum yang dibutuhkan agar sifat suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi keadaan plastis. Besarnya batas cair tanah digunakan untuk menentukan karakteristik

dan mengklasifikasikan tanah. Dilakukan tiga pengujian pada tanah yang sama dengan kadar air yang berbeda-beda, di mana jumlah pukulan, N , yang diperlukan untuk mencapai penutupan berkisar antara 15 hingga 35. Kadar air yang sesuai dengan N 25, yang ditentukan dari kurva aliran, menjadi titik di mana batas cair tanah ditentukan (Das, 2010).

2.5.5. Batas Plastis (*Plasticity Limit*)

Batas plastis adalah titik di mana tingkat kadar air berada di antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air ketika tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai mengalami retakan ketika digulung (Das, 2010).



Sumber: Das (1995)

Gambar 7. Variasi volume dan kadar air pada batas cair, batas plastis dan batas susut.

2.5.6. Analisa Saringan

Proses analisa saringan melibatkan pengayakan sampel tanah melalui serangkaian saringan dengan lubang yang semakin kecil. Tabel 3 memberikan nomor saringan beserta ukuran butirannya berdasarkan

ASTM. Dalam pengujian ini, untuk saringan ukuran terkecil yang digunakan adalah nomor 200. Setelah tanah diayak, berat tanah yang tertinggal pada masing-masing saringan dihitung.

Tabel 3. Ukuran Saringan berdasarkan ASTM

No Saringan	Ukuran (mm)	No Saringan	Ukuran (mm)
4	4,75	35	0,500
5	4,00	40	0,425
6	3,35	50	0,355
7	2,80	60	0,250
8	2,36	70	0,212
10	2,00	80	0,180
12	1,70	100	0,150
14	1,40	120	0,125
16	1,18	140	0,106
18	1,00	170	0,090
20	0,85	200	0,075
25	0,71	270	0,053
30	0,60		

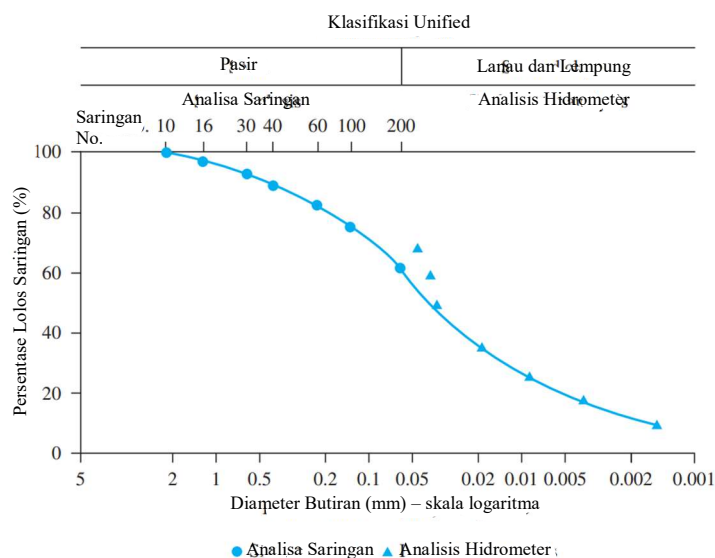
Sumber: Das (2010)

2.5.7. Analisis Hidrometer

Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip pengendapan partikel tanah dalam air. Ketika sampel tanah diaduk dengan air, partikel-partikel akan mengendap pada kecepatan yang bervariasi, tergantung pada karakteristik seperti bentuk, ukuran, berat, dan viskositas air. Metode ini membantu mengidentifikasi distribusi ukuran partikel tanah lebih rinci.

Ketika hasil analisa saringan dengan analisis hidrometer dijadikan satu, seringkali terdapat perpotongan pada rentang di mana data-data ini bersinggungan. Ini terjadi karena partikel-partikel tanah umumnya memiliki bentuk yang tidak teratur. Analisa saringan memberikan dimensi tengah dari partikel, sementara analisis hidrometer memberikan diameter bola ekuivalen yang akan mengendap dengan kecepatan yang sama dengan partikel tanah. Grafik hasil uji distribusi

ukuran partikel dapat dilihat dalam Gambar 8.



Sumber: Das (1995)

Gambar 8. Analisis kurva distribusi ukuran partikel.

2.6. Pasir

Pasir adalah tanah non kohesif. Tanah non kohesif memiliki sifat antar butiran lepas. Hal ini dapat diamati dari partikel-partikel tanah yang akan terpisah saat mengering dan hanya akan bergabung kembali saat ada gaya tarik permukaan yang bekerja. Sifat lainnya yaitu tidak memiliki garis batas antara plastis dan non plastis karena tanah ini tidak plastis untuk semua nilai kadar air (Sagala, 2014).

Pasir terdiri dari butiran tanah dengan ukuran antara 0,006 hingga 2 mm. Pasir memiliki permeabilitas tinggi sehingga mudah ditembus oleh air. Dalam hal respons terhadap deformasi, pasir menunjukkan reaksi terhadap beban yang tiba dengan cepat melalui penyumbatan pori-pori dan pengaturan ulang butiran yang menyebabkan padatan. Permeabilitas tinggi pasir sangat cocok untuk konstruksi filtrasi air dan pondasi dengan kemampuan drainase baik. Perubahan bentuk atau deformasi pasir pada dasarnya memiliki sifat plastis, dengan sedikit kompresi elastis yang terjadi di antara butiran-butirannya. Tingkat kompresi ini terhubung dengan distribusi kepadatan yang bervariasi dan intensitas tegangan yang diterapkan (Kurniawan dkk., 2015).

Berdasarkan klasifikasi USCS tanah diklasifikasikan menjadi berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200 dengan simbol G untuk kerikil (*gravel*) dan S untuk pasir (*sand*). Jika tanah berbutir kasar lebih dari 50% lolos saringan nomor 4 (4,75 mm) maka dikategorikan sebagai pasir.

1. SW (*Sand Well-graded*): jenis pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus. Memiliki kriteria $1 < C_c < 3$ dengan $C_u > 6$ dengan persamaan yang ditunjukkan pada Persamaan 5 dan 6.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (5)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})} \quad (6)$$

dengan:

D_{60} = diameter yang bersesuaian dengan 60% lolos ayakan

D_{10} = diameter yang bersesuaian dengan 10% lolos ayakan

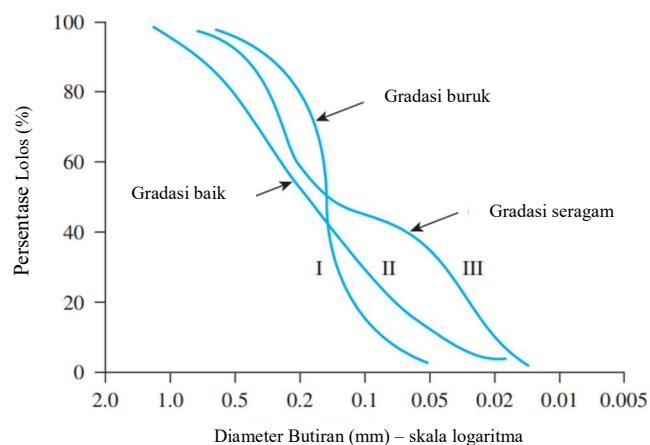
D_{30} = diameter yang bersesuaian dengan 30% lolos ayakan

2. SP (*Sand Poorly-graded*): jenis pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus. Pasir dengan simbol SP tidak memenuhi kriteria $1 < C_c < 3$ dengan $C_u > 6$.
3. SM (*Sand Silt*): jenis pasir berlanau, campuran pasir – lanau. Memiliki kriteria batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau $PI < 4$.
4. SC (*Sand Clay*): jenis pasir berlempung, campuran pasir – lempung. Memiliki kriteria batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau $PI > 7$.

Kurva distribusi ukuran digunakan untuk membandingkan jenis tanah yang berbeda-beda. Terdapat tiga parameter yang dapat ditentukan melalui kurva dan dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berbutir kasar (Das, 1995). Parameter-parameter tersebut adalah:

1. Ukuran efektif
2. Koefisien keseragaman

3. Koefisien gradasi



Sumber: Das, (2010)

Gambar 9. Analisis distribusi ukuran butiran.

Kurva I merupakan tanah dengan sebagian besar dari butirannya memiliki ukuran yang sama dan dinamakan tanah bergradasi buruk. Kurva II merupakan tanah dengan ukuran butirannya terbagi merata dan dinamakan tanah bergradasi baik. Kurva III merupakan tanah dengan kombinasi dua atau lebih fraksi dengan gradasi yang sama dan dinamakan tanah bergradasi buruk.

2.7. Konsolidasi

Lapisan tanah jenuh dengan permeabilitas rendah dibebani membuat tekanan air pori di dalam tanah bertambah. Perbedaan tekanan air pori pada lapisan tanah mengakibatkan air mengalir ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah, yang diikuti penurunan tanahnya. Konsolidasi merupakan proses berkurangnya volume tanah akibat pembebanan yang dipengaruhi oleh kecepatan air yang keluar dari rongga tanah (Hardiyatmo, 2018).

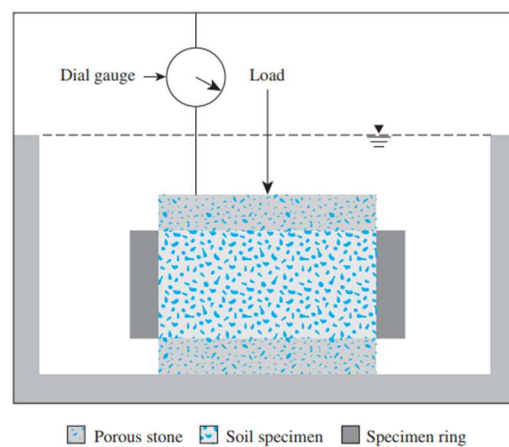
Secara umum, Das (1995) menjelaskan jika penurunan pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dibagi menjadi dua kelompok, yaitu:

1. Penurunan konsolidasi, merupakan perubahan volume tanah jenuh air akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.
2. Penurunan segera, merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering,

basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas.

Penambahan beban yang diberi pada lapisan tanah jenuh air akan mengakibatkan angka pori naik. Dalam tanah lempung perubahan volume yang disebabkan oleh keluarnya air dari dalam pori akan terjadi sesudah penurunan segera. Penurunan konsolidasi tersebut biasanya jauh lebih besar dan lebih lambat serta lama dibandingkan dengan penurunan segera (Das, 2010).

Tanah yang memiliki sifat kohesif dan sudah jenuh akan mengalami proses konsolidasi yang mengakibatkan pengurangan volume pori dan kandungan air dalam tanahnya sehingga volume tanahnya akan berkurang. Ketika air pori mulai keluar dari rongga pori tanah lempung, tanah tersebut secara bertahap akan mampat dan beban akan secara perlahan-lahan ditransfer ke butiran tanah, sehingga tegangan efektif akan meningkat. Proses ini merupakan bagian penting dari perubahan struktural tanah yang memengaruhi sifat mekanisnya. Lapisan tanah lempung biasanya terbentuk melalui proses pengendapan dan selama proses pengendapan, lempung akan mengalami konsolidasi atau penurunan akibat tekanan tanah yang ada di atasnya (Hardiyatmo, 2018).



Sumber: Das (2010)

Gambar 10. Diagram skematik konsolidometer.

a. Indeks Pemampatan (C_c)

Nilai indeks pemampatan (C_c) diperlukan untuk mengetahui besarnya pemampatan dari tanah lempung lunak. Nilai pemampatan digunakan untuk melakukan perencanaan pembangunan. Perhitungan pemampatan dilakukan untuk menghindari adanya *differential settlement* yang mengakibatkan adanya retak pada struktur bangunan. Indeks pemampatan atau indeks kompresi (C_c) adalah kemiringan dari bagian lurus grafik e - $\log p'$. Untuk nilai C_c dinyatakan oleh Persamaan 7.

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} = \frac{e_1 - e_2}{\log p_2' - \log p_1'} = \frac{e_1 - e_2}{\log(p_2'/p_1')} \quad (7)$$

dengan:

e_1 = angka pori pada tegangan p_1'

e_2 = angka pori pada tegangan p_2'

p_1' = tegangan efektif

p_2' = tegangan efektif

Tabel 4. Klasifikasi Kompresibilitas berdasarkan Nilai C_c

Kompresibilitas	C_c
Sedikit atau rendah	< 0,2
Sedang atau menengah	0,2 – 0,4
Tinggi	> 0,4

Sumber: Kulhawy dan Mayne (1990); Ameratunga (2016)

b. Koefisien Pemampatan (a_v)

Koefisien pemampatan adalah koefisien yang menyatakan perubahan angka pori persatuan perubahan tegangan atau yang menyatakan kemiringan kurva angka pori (e) dan tegangan efektif (p') dengan kemiringan kurva e - p' didefinisikan dalam Persamaan 8:

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta p} = \frac{e_1 - e_2}{p_2' - p_1'} \quad (8)$$

dengan:

e_1 = angka pori pada tegangan p_1'

e_2 = angka pori pada tegangan p_2'

p_1' = tegangan efektif

p_2' = tegangan efektif

c. Koefisien Perubahan Volume (m_v)

Koefisien yang menyatakan perubahan volume per satuan pada setiap perubahan tegangan atau sebagai rasio perubahan volume per satuan penambahan tegangan efektif. Perubahan volume dinyatakan dengan perubahan ketebalan atau angka pori. Telah kita ketahui bahwa m_v adalah rasio perubahan volume persatuan penambahan tegangan, maka didefinisikan dalam persamaan:

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_1} \quad (9)$$

dengan:

a_v = koefisien pemampatan

e_1 = angka pori

d. Koefisien Konsolidasi (c_v)

Kecepatan penurunan konsolidasi dapat dihitung dengan menggunakan koefisien konsolidasi (c_v). Kecepatan penurunan perlu diperhitungkan bila penurunan konsolidasi yang terjadi pada struktur diperkirakan besar. Bila penurunan sangat kecil, kecepatan penurunan sejalan dengan waktunya tidak menghasilkan perbedaan yang berarti.

Metode akar waktu digunakan untuk menentukan c_v dengan cara menggambarkan hasil uji konsolidasi pada grafik hubungan akar waktu terhadap penurunan. Metode akar waktu (*square root of time method*) oleh Taylor, 1948 dinyatakan dalam Persamaan 10:

$$c_v = \frac{0,848H_t^2}{t_{90}} \quad (10)$$

e. Perhitungan Penurunan Konsolidasi

Pada lapisan tanah lempung jenuh dengan tebal H mengakibatkan adanya beban yang bekerja sehingga lapisan tanah menerima tambahan tegangan sebesar Δp . Regangan pada arah lateral dianggap nol. Sebagai akibat

penambahan tegangan dari p_0' ke p_1' (dengan $p_1' = p_0' + \Delta p$) terjadi pengurangan angka pori dari e_0 ke e_1 . Hubungan perubahan volume dengan angka pori didefinisikan dalam Persamaan 11:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta H}{H} = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \quad (11)$$

dengan:

V = volume awal

H = tebal lapisan tanah awal

ΔV = perubahan volume

ΔH = perubahan tebal

e_0 = angka pori awal

e_1 = angka pori pada perubahan volume tertentu

Δe = perubahan angka pori

Persamaan penurunan konsolidasi total dengan menggunakan grafik e - $\log p$ dinyatakan dalam Persamaan 12:

$$S_c = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H \quad (12)$$

Bila $p_1' = p_0' + \Delta p$ maka:

1) Lempung *normally consolidated* ($p_c' = p_0'$)

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_0'} \quad (13)$$

2) Lempung *over consolidated* ($p_c' > p_0'$)

a) Jika $p_1' < p_c'$ maka $S_c = C_r \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_0'} H \quad (14)$

b) Jika $p_1' > p_c'$ maka $z \quad (15)$

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'}$$

pada kurva penambahan beban pada $p' > p'_c$

$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'}$$

pada kurva penambahan beban pada $p' > p'_c$

dengan:

C_r = indeks pemampatan kembali

C_c = indeks pemampatan

H = tebal lapisan tanah (m)

p'_c = tekanan prakonsolidasi (kN/m^2)

e_0 = angka pori awal

Δp = tambahan tegangan akibat beban fondasi (kN/m^2)

p'_0 = tekanan *overburden* efektif awal sebelum dibebani (kN/m^2)

2.8. CBR

Harga CBR adalah nilai kemampuan bantuan tanah yang telah dikompaksi dengan tingkat kelembaban tertentu dibandingkan dengan standar bahan, seperti batu pecah, yang memiliki nilai 100% dalam menanggung beban lalu lintas (Wijaya, 2016). Nilai CBR umum digunakan dalam mengevaluasi kekuatan *subgrade* dan sebagai standar dalam perencanaan perkerasan fleksibel. Secara definisi, CBR adalah perbandingan antara beban uji dengan beban standar yang diungkapkan sebagai persentase (Kusuma, 2010).

Dalam laboratorium, ada dua jenis pengujian CBR yang berbeda, yaitu CBR laboratorium dengan kondisi perendaman dan CBR laboratorium tanpa kondisi perendaman. Kondisi perendaman mencerminkan kondisi lapangan yang lebih realistis, sementara pengujian tanpa kondisi perendaman memberikan informasi dasar tentang kekuatan tanah yang mendasarinya. Kedua jenis pengujian ini digunakan untuk menilai sifat-sifat tanah setelah proses pemadatan, dengan pengujian perendaman membantu mengidentifikasi kondisi kritis daya dukung tanah (Teodore, 2011).

2.9. Uji Pengembangan

Tanah dengan tingkat lempung yang tinggi akan mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Kurangnya air akan menyebabkan penyusutan, sementara peningkatan kadar air akan menyebabkan ekspansi. Biasanya, pembangunan perkerasan jalan atau bangunan dilakukan pada musim panas ketika tanah permukaan cenderung kering. Bangunan yang menutup tanah ini dapat mencegah penguapan, sehingga tanah di bawahnya akan menyerap lebih banyak air melalui kapilaritas, yang menyebabkan ekspansi tanah lempung. Jika tekanan yang diterapkan oleh perkerasan atau bangunan kurang dari tekanan ekspansi tanah, maka permukaan tanah akan naik, berpotensi merusak struktur bangunan yang ada di atasnya (Warman, 2019).

Persamaan potensi pengembangan berdasarkan Hardiyatmo (2012) dinyatakan sebagai berikut:

$$S = (2,16 \times 10^{-3})(PI)^{2,44} \quad (16)$$

dengan:

S = potensi pengembangan

PI = indeks plastisitas

2.10. Perbaikan Tanah

Perbaikan tanah merupakan stabilisasi tanah untuk memperbaiki atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah, dengan menggunakan bahan *additive* (kimiawi), pencampuran tanah (*re-gradation*), pengeringan tanah (*dewatering*) atau melalui penyaluran energi statis/dinamis ke dalam lapisan tanah. Prinsip dari teknik perbaikan tanah yaitu tanah yang memiliki kapasitas kurang baik dalam berbagai aspek sehingga dapat ditingkatkan melalui peningkatan sifat-sifat dari tanah itu sendiri sesuai dengan tujuan perbaikan yang diinginkan (Panguriseng, 2018). Dalam proyek konstruksi, perbaikan tanah merupakan metode penting untuk meningkatkan kualitas tanah.

Namun, pemilihan metode perbaikan tanah yang efektif harus mempertimbangkan karakteristik tanah dan persyaratan teknis proyek konstruksi yang sedang berlangsung.

Pencampuran tanah atau *re-gradation* merupakan suatu proses yang bertujuan untuk memodifikasi atau memperbaiki karakteristik fisik tanah dengan mengatur kembali tingkat kandungan air, kerapatan, dan teksturnya. Proses ini dilakukan dengan mencampurkan tanah yang sudah ada dengan bahan tambahan seperti pasir, kerikil, atau material organik. Tujuan utama dari pencampuran tanah adalah untuk menciptakan lapisan tanah yang stabil dan konsisten sesuai dengan standar teknis yang dibutuhkan, sehingga dilakukan pencampuran tanah alami dengan bahan tambahan (Panguriseng, 2017).

2.11. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah sebagai pondasi yang secara langsung menerima beban lalu lintas dari suatu perkerasan yang berada di atasnya, disebut tanah dasar (*subgrade*). Karena tanah dasar merupakan bagian dasar, dimana pondasi bawah (*subbase*), pondasi (*base*) atau perkerasan berada, maka integritas dari struktur perkerasan bergantung pada stabilitas struktur tanah dasar (Brilliant Nisa, 2017).

Tanah dasar merupakan pondasi bagi perkerasan, baik perkerasan yang terdapat pada lalu-lintas maupun bahu. Dengan demikian, tanah dasar merupakan konstruksi terakhir yang menerima beban kendaraan yang disalurkan oleh perkerasan. Tanah dasar dapat terdiri atas tanah asli tanpa perlakuan dan dapat juga terdiri atas tanah asli pada galian atau bagian atas timbunan yang dipadatkan (Sihite dkk., 2017).

Masalah-masalah yang sering muncul pada *subgrade* lapisan tanah dasar adalah:

- a. *Subgrade* yang kurang kokoh atau stabil dapat menyebabkan penurunan atau retak pada lapisan di atasnya seperti jalan, landasan pacu, atau pondasi bangunan. Kekurangan daya dukung dapat disebabkan oleh kepadatan tanah yang kurang, kandungan air yang tinggi, atau material *subgrade* yang tidak sesuai.
- b. *Subgrade* yang mengalami deformasi dapat mengakibatkan penurunan atau kerusakan pada permukaan di atasnya. Deformasi dapat disebabkan oleh beban berlebih atau pengaruh cuaca yang ekstrem.
- c. Tanah pada *subgrade* harus memiliki kepadatan yang cukup tinggi agar dapat menahan beban yang di atasnya. Jika tanah terlalu lembut atau terlalu padat, maka dapat mempengaruhi stabilitas struktur di atasnya.
- d. Tanah pada *subgrade* yang memiliki kadar air yang tinggi dapat mempengaruhi stabilitas dan daya dukungnya. Kadar air yang tinggi juga dapat mempengaruhi tingkat konsolidasi dan sifat-sifat mekanik tanah pada *subgrade*.

2.12. Penelitian Terdahulu

Penelitian oleh Prasad & Sharma (2014) melakukan pencampuran pasir dengan variasi 10%; 20%; 30% dan 40% pada tanah lempung untuk melihat nilai CBR. Nilai CBR rendaman tanah lempung dengan penambahan pasir 40% adalah sebesar 3,75%. Dihasilkan juga nilai pengembangan tanah lempung yang mengalami penurunan dimana nilai awal sebesar 8% dan setelah ditambahkan pasir menjadi 4%.

Penelitian oleh Huat (2015) melakukan pencampuran pasir halus dengan variasi 0%; 10%; 20%; 30%; 40%; 50%; 60% dan 80% terhadap tanah lempung. Didapatkan hasil tanah lempung yang dicampur dengan kandungan pasir halus, menunjukkan bahwa rasio pori menurun dengan peningkatan kandungan pasir halus hingga mencapai kandungan pasir halus 60% serta menunjukkan hasil bahwa indeks kompresi (C_c), indeks pembengkakan (C_s), koefisien kompresibilitas volume (m_v), tekanan pembengkakan dan potensi

pembengkakan menurun seiring dengan peningkatan kandungan pasir halus.

Penelitian oleh Kurniawan dkk. (2015) melakukan pencampuran pasir dengan variasi 10%; 20% dan 30% pada tanah lempung. Berdasarkan hasil penelitian ini terlihat bahwa perilaku tanah lempung tanpa campuran pasir dan setelah pencampuran pasir, mengalami peningkatan pada nilai koefisien konsolidasi (c_v), penurunan pada nilai indeks pemampatan (C_c) dan koefisien pemampatan (a_v).

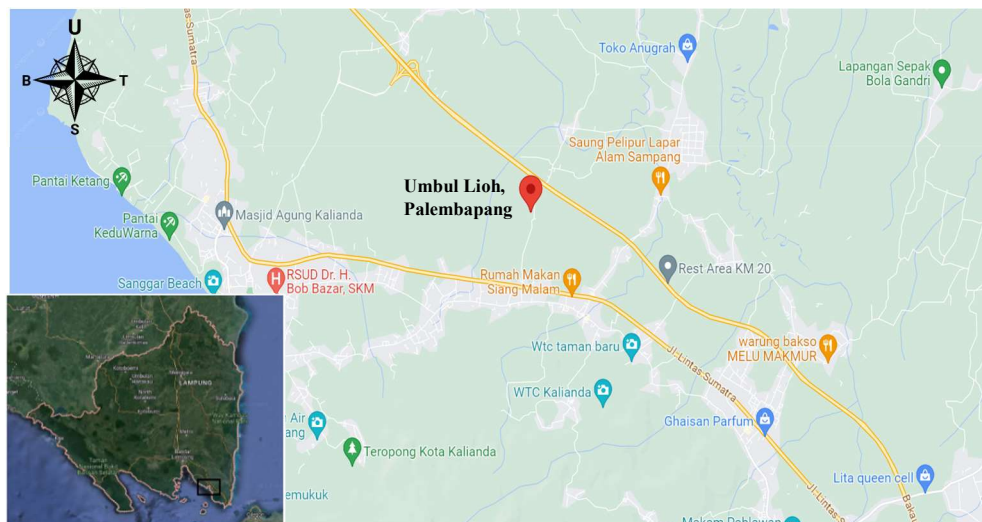
Penelitian juga dilakukan oleh Wijaya dkk. (2016) dengan penambahan pasir pada variasi 0%; 10%; 20%; 30%; 40% dan 50% pada tanah lempung ekspansif. Diperoleh dari hasil penelitian dengan nilai CBR tanpa rendaman campuran 0% pasir adalah 2,51%, pada penambahan 50% pasir kasar nilai CBR sebesar 4,15%, sedangkan pada penambahan 50% pasir halus nilai CBR sebesar 2,31%. Untuk CBR rendaman campuran 0% pasir nilai CBR sebesar 0,43% dengan nilai *swelling* sebesar 3,17%, pada penambahan 50% pasir kasar didapat nilai CBR sebesar 1,08% dan nilai *swelling* sebesar 0,87%, sedangkan pada penambahan 50% pasir halus memiliki nilai CBR sebesar 2,61% dan nilai *swelling* sebesar 0,36%.

Penelitian oleh Iswan & Zakaria (2021) melakukan pencampuran pasir seragam dengan variasi campuran 5%; 10% dan 15% pada tanah lempung. Diperoleh hasil pengujian menunjukkan CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) dan rendaman (*soaked*) maksimum terjadi pada campuran pasir 15% dengan nilai CBR *unsoaked* 13,2% dan CBR *Soaked* dengan besar nilai 2,9%. Pada nilai *swelling* mengalami penurunan dari 11,4% menjadi 7,4% pada penambahan pasir seragam 15%.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Tanah lempung lunak pada penelitian ini diambil dari Dusun 3 Umbul Lioh, Desa Palembapang, Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ariana dkk. (2021) pada parameter sifat fisik menunjukkan bahwa tanah di daerah Dusun 3 Umbul Lioh, Desa Palembapang termasuk kedalam tanah lempung dengan plastisitas tinggi, yaitu nilai batas cair sebesar 71,225 dan indeks plastisitas sebesar 48,4%. Hasil distribusi ukuran butiran juga menunjukkan 95,69% termasuk kedalam tanah lempung dan diklasifikasikan kedalam CH berdasarkan USCS.



Gambar 11. Lokasi pengambilan sampel tanah lempung lunak.

Pada Gambar 12 menunjukkan titik pengambilan sampel tanah lempung lunak. Pengambilan sampel menggunakan cangkul, sehingga kondisi tanah menjadi terganggu (*disturbed sample*).



Gambar 12. Titik pengambilan sampel tanah lempung lunak.

Pasir dalam penelitian ini dibeli di pasaran dan berasal dari Gunung Sugih, Kabupaten Lampung Tengah.

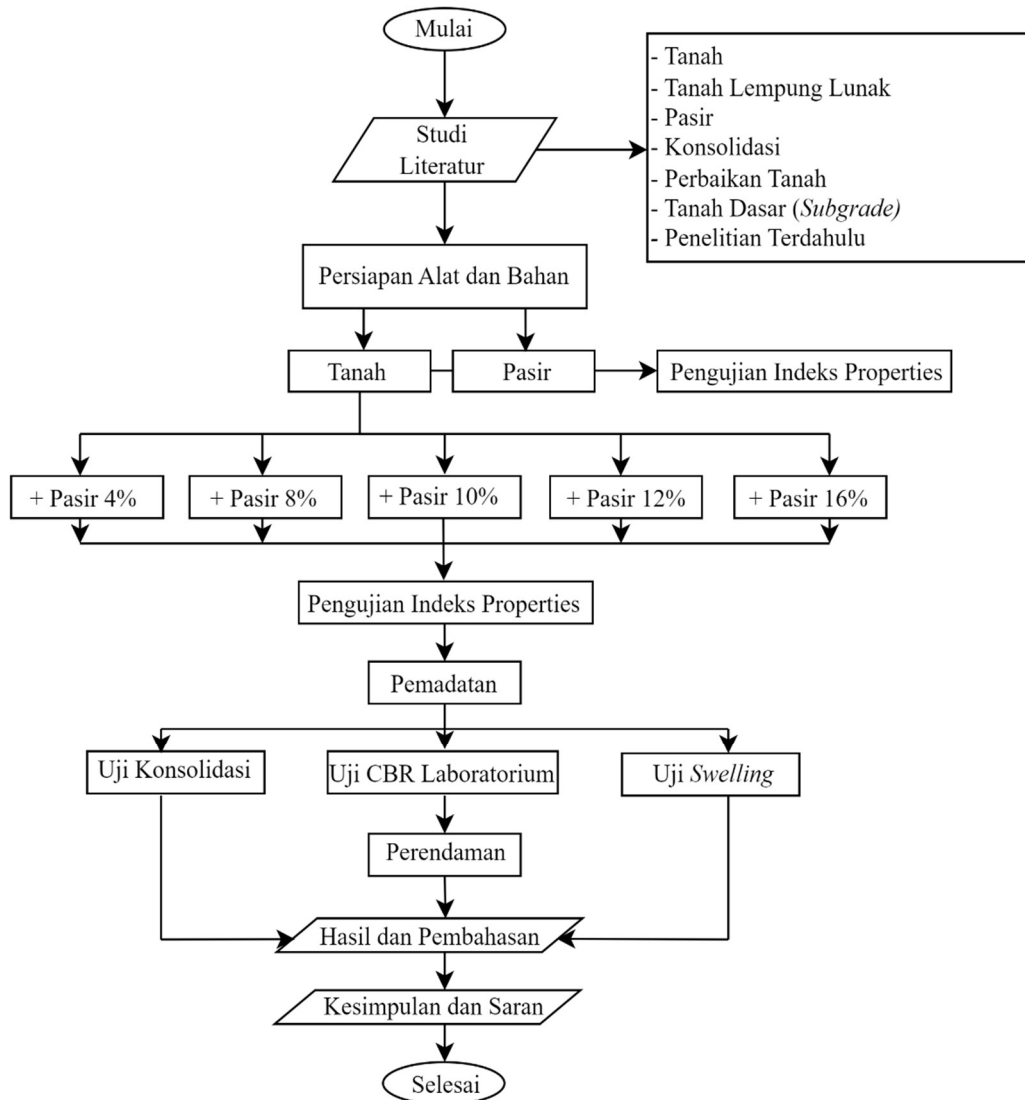


Gambar 13. Titik pengambilan sampel pasir.

3.2. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tanah lempung lunak dan tanah lempung lunak yang telah dicampur oleh pasir gradasi baik dengan beberapa variasi kadar bahan campuran. Adapun diagram alir yang digunakan dalam penelitian dapat

dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Diagram alir penelitian.

3.3. Bahan Penelitian

Sampel tanah lempung yang akan digunakan pada penelitian ini termasuk kedalam klasifikasi jenis tanah lempung lunak berdasarkan penelitian oleh Ariana (2021).

Pasir yang digunakan pada penelitian ini adalah material bergradasi dalam perbaikan tanah lempung lunak.

3.4. Persiapan Alat

Alat yang digunakan pada penelitian terdapat di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3.5. Pelaksanaan Pengujian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Lampung. Adapun pengujian-pengujian yang akan dilaksanakan yaitu:

(1) Pengujian Pasir

Dalam penelitian ini pasir dilakukan pengujian analisa saringan untuk mengetahui karakteristik ukuran gradasi pasir. Setelah dilakukan pengujian sesuai SNI 3423:2008 dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c). Jika nilai tersebut tidak sesuai dengan karakteristik tanah gradasi baik, maka dipilih ukuran butiran dari setiap saringan agar memenuhi kriteria gradasi baik yaitu $1 < C_c < 3$ dengan $C_u > 6$ untuk pasir (Hardiyatmo, 2012).

(2) Pengujian Indeks Propertis Tanah

a. Uji Berat Jenis

Uji berat jenis dilakukan dengan melihat pedoman pada SNI 1964:2008. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui besarnya berat jenis tanah yaitu perbandingan berat butir tanah dengan berat air diudara pada suhu dan volume yang sama.

Bahan yang perlu disiapkan dalam pengujian yaitu sampel tanah yang lolos saringan No. 4 dan telah dikeringkan. Alat yang perlu

disiapkan dalam pengujian ini yaitu piknometer, saringan No.4, timbangan dengan ketelitian 0,01 gram, oven dengan temperatur $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, termometer dan boiler atau *hot plate*.

Langkah-langkah yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Piknometer ditimbang.
2. Sampel tanah sebanyak 25-50 gram dimasukkan ke dalam piknometer.
3. Piknometer yang telah terisi sampel tanah ditimbang.
4. Air dimasukkan ke dalam piknometer sebanyak $\frac{2}{3}$ volume piknometer.
5. Didihkan piknometer diatas tungku pemanas. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan udara di dalam butir-butir tanah.
6. Setelah mendidih, piknometer didinginkan hingga temperature piknometer sama dengan suhu ruangan.
7. Piknometer yang berisi tanah dan air ditimbang kembali.

b. Uji Kadar Air

Uji kadar air dilakukan dengan melihat pedoman pada SNI 1965:2008. Tujuannya sebagai perbandingan antara berat air pori atau air bebas yang ada dalam material tanah terhadap berat partikel padatnya yang dinyatakan dalam bentuk persen.

Dalam pengujian ini bahan yang disiapkan yaitu sampel tanah atau campuran tanah. Kemudian menyiapkan alat uji berupa oven dengan temperatur $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, timbangan dengan ketelitian 0,01 gram, dan cawan. Langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

1. Timbang cawan.
2. Sampel tanah yang telah disiapkan sebanyak 30-50 gram dimasukkan kedalam cawan.
3. Cawan yang berisi sampel tanah ditimbang.
4. Sampel tanah dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam.

5. Sampel tanah yang telah dioven kembali ditimbang.

c. Uji Berat Volume Tanah

Uji berat volume dilakukan dengan melihat pedoman pada SNI 03-3637-1994. Tujuannya untuk menentukan berat volume tanah basah dalam keadaan asli dengan membandingkan berat tanah dengan volume tanah. Dengan mengetahui berat volume tanah, maka akan memudahkan dalam menentukan volume tanah yang diperlukan dan berapa banyak bahan tambahan yang dibutuhkan untuk mencampur dengan tanah tersebut.

Bahan yang disiapkan pada pengujian ini yaitu sampel tanah. Alat yang dipersiapkan pada pengujian ini yaitu ring, pisau, timbangan dengan ketelitian 0,01 gram, alat pendorong sampel, dan oli. Langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

1. Bersihkan dan timbang ring yang diberikan oli. Tujuan diberikan oli supaya tanah tidak melekat pada ring.
2. Dimensi ring diukur dan dicatat.
3. Tanah dimasukkan ke dalam tabung dengan menekan ring contoh sehingga ring contoh terisi oleh tanah.
4. Permukaan tanah diratakan setinggi ring.
5. Ring dan sampel ditimbang.

d. Uji Distribusi Ukuran Butiran

- Analisa Saringan

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan gradasi tanah serta persentase ukuran dan susunan butiran tanah dari suatu jenis tanah yang tertahan di atas saringan No. 200. Pengujian ini berpedoman pada SNI 3423:2008.

Bahan pada pengujian ini yaitu sampel tanah yang telah dikeringkan dan tertahan ayakan No. 200. Alat yang dipersiapkan pada pengujian ini yaitu saringan satu set, kuas halus, timbangan dengan ketelitian 0,01 gram, kontainer dan oven. Langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

1. Siapkan sampel tanah 500 gram.
2. Saringan disusun sesuai urutan di atas mesin penggetar.
3. Sampel tanah dimasukkan ke dalam susunan yang paling atas dan ditutup rapat.
4. Hidupkan mesin penggetar selama kira-kira 15 menit. Setelah penggetaran, mesin dimatikan dan biarkan selama 3 menit agar debu-debu mengendap.
5. Timbang masing-masing saringan beserta sampel tanah yang tertahan diatas saringan.

- Analisa Hidrometer

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan gradasi tanah serta persentase ukuran dan susunan butiran tanah dari suatu jenis tanah yang lolos saringan No. 200. Pengujian ini berpedoman pada SNI 3423:2008.

Bahan yang disiapkan pada pengujian ini yaitu sampel tanah yang telah lolos ayakan No. 200. Alat yang dipersiapkan pada pengujian ini yaitu saringan satu set dibawah 2,00 mm, gelas silinder, timbangan dengan ketelitian 0,01 gram, termometer dan *stopwatch*. Langkah-langkah yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Sampel tanah dikeringkan selama 24 jam di oven. Kemudian dihaluskan dan disaring menggunakan saringan No. 200.
2. Sampel sebanyak 50 gram diambil dan dicampurkan dengan 1000 cc air serta 5 gram *reagent*.
3. Campuran diaduk menggunakan *mixer*, kemudian suspensi

dipindahkan ke dalam gelas silinder.

4. Gelas silinder ditutup dengan penutup karet dan suspensi dikocok secara vertikal sebanyak 60 kali.
5. Lakukan pembacaan hidrometer.

e. Uji Batas-batas *Atterberg*

- Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair merupakan nilai batas atas pada daerah plastis. Tujuan dari pengujian ini adalah menentukan konsistensi perilaku material dan sifatnya pada tanah kohesif. Konsistensi tanah tergantung dari nilai batas cairnya. Disamping itu nilai batas cair ini dapat digunakan untuk menentukan nilai indeks plastisitas tanah yaitu nilai batas cair dikurangi dengan nilai batas plastis. Pada pengujian ini berpedoman pada SNI 1967:2008.

Bahan pada pengujian ini yaitu sampel tanah yang telah dikeringkan. Alat yang dipersiapkan dalam pengujian ini yaitu spatula, mangkuk *Cassagrande*, timbangan dengan ketelitian 0,01 gram, alat batas cair dan alat pembuat alur. Langkah-langkah yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Sampel tanah diayak menggunakan saringan No.40 dan sampel tanah yang lolos saringan diambil sebanyak 150-200 gram.
2. Tambahkan air secara bertahap pada sampel tanah, kemudian diaduk sampai merata hingga menjadi sebuah adonan.
3. Tinggi jatuh mangkuk *Cassagrande* diatur sebesar 10 mm.
4. Adonan dimasukkan ke dalam mangkuk *Cassagrande* dan permukaannya diratakan hingga padat.
5. Alur tepat di tengah dibuat menggunakan *grooving tool* atau alat pembuat alur.
6. Tuas mangkuk *Cassagrande* diputar hingga kedua sisi adonan

menyatu sambil menghitung jumlah pukulan.

7. Adonan sebanyak 30-50 gram diambil ke dalam cawan, lalu dioven selama 24 jam.
8. Adonan yang telah di oven kembali ditimbang.

- **Batas Plastis (*Plastic Limit*)**

Batas plastis merupakan nilai kadar air terendah pada tanah lempung dengan kedudukan antara daerah plastis dengan daerah semi padat. Tujuan dari pengujian ini adalah menentukan batas terendah kadar air ketika tanah dalam keadaan plastis, dan angka indeks plastisitas suatu tanah. Pengujian ini berpedoman pada SNI 1966:2008.

Bahan pada pengujian ini yaitu sampel tanah yang telah dikeringkan. Alat yang dipersiapkan pada pengujian ini yaitu spatula, timbangan dengan ketelitian 0,01 gram, cawan dan oven. Langkah-langkah yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Sampel tanah diayak menggunakan saringan No. 40 dan sampel tanah yang lolos saringan diambil sebanyak 150-200 gram.
2. Tambahkan air secara bertahap pada sampel tanah, kemudian diaduk sampai merata hingga menjadi sebuah adonan.
3. Ambil adonan sebesar ibu jari kemudian digulung hingga memanjang berdiameter 3 mm.
4. Adonan sebanyak 30-50 gram diambil ke dalam cawan, lalu di oven selama 24 jam.
5. Adonan yang telah di oven kembali ditimbang.

(3) Pengujian Mekanis Propertis Tanah

a. Uji Pemadatan Tanah

Uji pemadatan *proctor* digunakan untuk menentukan kadar air

optimal pada suatu jenis tanah serta mencapai kepadatan kering maksimum. Pengujian ini berpedoman pada SNI 1742:2008. Langkah kerja dari pengujian pemadatan sebagai berikut:

1. Siapkan sampel tanah, kemudian dijemur jika sampel tersebut masih basah.
2. Setelah sampel tanah sedikit kering, tanah yang masih menggumpal dihancurkan dengan palu karet atau diremas dengan tangan.
3. Tanah diayak menggunakan saringan No. 4 tanah yang melewati saringan No. 4 dibagi menjadi 5 bagian, masing-masing bagian beratnya adalah 2 kg.
4. Sebagian dari sampel diambil untuk melakukan uji kadar air.
5. Sampel seberat 2 kg diambil dan dicampur dengan sedikit air hingga merata. Tanah dianggap siap apabila tidak hancur dan lengket ketika dikepalkan dengan tangan.
6. Tambahkan air dengan selisih 5% untuk setiap 2 kg tanah.
7. Timbang *mold* beserta ukur dimensinya.
8. *Collar* dipasang pada *mold* dan diolesi dengan oli hingga merata.
9. Tahap pertama masukkan tanah setinggi $\frac{1}{3}$ *mold* dan tumbuk menggunakan *hammer* sebanyak 25 kali sampai merata. Dan untuk tahap kedua dan ketiga dilakukan dengan cara yang sama.
10. Timbang *mold* berisi sampel tanah yang sudah dipadatkan.
11. Ulangi kembali prosedur 8 dan 9 sampai didapat 5 data hasil pemadatan.

b. Uji Konsolidasi

Tujuan dari uji konsolidasi adalah untuk mengetahui sifat-sifat pemampatan dan perubahan volume suatu jenis tanah pada saat menerima suatu beban tertentu serta meresponsnya dengan mengalami penurunan volume secara bertahap. Selain itu untuk

memperoleh parameter koefisien kompresibilitas dan koefisien konsolidasi tanah. Pengujian ini berpedoman pada SNI 2812:2011, langkah kerja dari pengujian konsolidasi laboratorium sebagai berikut:

1. Masukkan sampel tanah pada cetakan benda uji.
2. Timbang cetakan dan sampel tanah.
3. Pasang kertas saring pada kedua permukaan (atas dan bawah) sampel tanah.
4. Masukkan sampel tanah kedalam sel konsolidasi.
5. Letakkan penekan (piringan) diatas batu pori dan letakkan bola baja ditengah-tengah atas pelat penekan. Isi sel konsolidasi dengan air hingga penuh.
6. Atur posisi *dial* deformasi dalam posisi tertekan dan buat pada posisi nol.
7. Pasang beban pertama yang menghasilkan tekanan pada sampel tanah sebesar $0,25 \text{ kg/cm}^2$ (beban 500 gr).
8. Setelah 24 jam, tambahkan beban kedua, hingga beban maksimum.
9. Setelah dilakukan pembebanan maksimum, lakukan *unloading* dengan pengurangan beban.
10. Timbang sampel tanah dan dioven untuk menentukan kadar air dan berat volume setelah sampel selesai pengujian.

c. UJI CBR

Uji CBR adalah salah satu uji laboratorium untuk menentukan kemampuan daya dukung tanah atau kekuatan tanah pada saat diberi beban yang diadaptasi pada perencanaan konstruksi seperti jalan raya, landasan pacu pesawat terbang, dan sebagainya. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengetahui nilai CBR pada kepadatan dan kadar air tertentu serta menentukan kapasitas daya dukung tanah pada kondisi yang terkompaksi dan jenuh air. Pengujian ini

berpedoman pada SNI 1744:2012, langkah kerja dari pengujian CBR laboratorium sebagai berikut:

1. Siapkan sampel tanah kemudian dijemur jika sampel tersebut masih basah.
2. Setelah sampel tanah sedikit kering, tanah yang masih menggumpal dihancurkan dengan palu karet atau diremas dengan tangan.
3. Tanah diayak menggunakan saringan No. 4 tanah yang melewati saringan No. 4 dibagi menjadi 3 bagian, masing-masing bagian beratnya adalah 5 kg.
4. Sebagian dari sampel diambil untuk melakukan uji kadar air.
5. Tentukan kadar air optimum (OMC) dari sampel pengujian pemadatan tanah.
6. Hitung penambahan air yang dibutuhkan sesuai kadar air optimum (OMC) untuk penumbukan sampel.
7. Sampel seberat 5 kg diambil dan dicampur dengan sedikit air hingga merata. Tanah dianggap siap apabila tidak hancur dan lengket ketika dikepalkan dengan tangan.
8. Timbang *mold* beserta ukur dimensinya.
9. *Collar* dipasang pada *mold* dan diolesi dengan oli hingga merata.
10. Tahap pertama masukkan tanah setinggi $\frac{1}{3}$ *mold* dan tumbuk menggunakan *hammer* sebanyak 10 kali sampai merata untuk sampel pertama.
11. Lakukan langkah 4-9 untuk sampel kedua. Tumbuk sampel tanah menggunakan *hammer* sebanyak 25 kali sampai merata setiap tiga lapisan.
12. Lakukan langkah 4-9 untuk sampel ketiga. Tumbuk sampel tanah menggunakan *hammer* sebanyak 56 kali sampai merata setiap tiga lapisan.
13. Timbang *mold* berisi sampel tanah yang sudah dipadatkan.
14. Pasang kertas saring dikedua permukaan tanah pada *mold*.

15. Letakkan alat pengukur pengembang (*tripod* dan *dial*) dan letakkan keping beban seberat 10 Lbs di atasnya.
16. Rendam *mold* dalam bak perendam selama 4 x 24 jam (4 hari).
17. Lakukan pembacaan *dial* setiap 24 jam untuk perhitungan *swelling* total terhadap tinggi sampel.
18. Lakukan pengujian CBR setelah sampel direndam 4 x 24 jam.
19. Letakkan *mold* berisi sampel tanah di atas plat penekan pada mesin penetrasi CBR.
20. Posisi *dial* beban diatur dan *dial* penetrasi di posisi nol, lakukan penetrasi dengan engkol diputar secara konstan.
21. Lakukan pembacaan *dial* beban pada penetrasi 0,0125", 0,025", 0,05" sampai 0,5".
22. Setelah selesai pembacaan penetrasi CBR, keluarkan sampel tanah dari *mold*, ambil sedikit sampel tanah untuk pemeriksaan kadar air.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di laboratorium dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian konsolidasi tanah asli menghasilkan nilai indeks pemampatan (C_c) sebesar 0,7703 dan terjadi penurunan nilai indeks pemampatan (C_c) sebesar 0,3209 pada penambahan pasir dengan variasi 16%. Koefisien konsolidasi (C_v) tanah asli sebesar 0,00021 cm²/detik mengalami kenaikan menjadi 0,00059 cm²/detik dengan penambahan pasir variasi 16%. Koefisien pemampatan pada penelitian ini mengalami penurunan dengan nilai awal pada tanah lempung asli sebesar 0,0720 m²/kN menjadi 0,0395 m²/kN pada penambahan pasir 16%. Perubahan volume pada penelitian ini mengalami penurunan dengan nilai tanah lempung asli 0,0338 m²/kN menjadi 0,0210 m²/kN pada penambahan pasir 16%. Nilai penurunan konsolidasi tanah lempung asli sebesar 0,2025 cm menurun saat penambahan pasir 16% menjadi 0,1227 cm. Penambahan pasir pada tanah lempung memengaruhi nilai terhadap parameter konsolidasi tanah lempung lunak.
2. Hasil pengujian dari sifat fisik dan mekanik tanah lempung dengan adanya penambahan pasir berpengaruh pada perubahan klasifikasi tanah, menaikkan nilai berat jenis tanah, menurunkan kadar persentase lolos saringan no. 200. Untuk nilai kadar air optimum mengalami penurunan, namun berat volume kering maksimum mengalami peningkatan, berdasarkan dari pengujian pemadatan tanah oleh *standard proctor*.
3. Nilai CBR mengalami kenaikan ketika tanah lempung asli dicampurkan dengan pasir. Nilai CBR rendaman tanah asli sebesar 0,6% mengalami

kenaikan menjadi 2,1% pada campuran pasir 16%. Setiap penambahan persentase pasir, nilai pengembangan mengalami penurunan. Nilai pengembangan tanah asli pada tumbukan 10 kali sebesar 4,66%, pada 25 kali sebesar 4,58% dan tumbukan 56 kali sebesar 4,08. Ketika terjadi penambahan pasir pada tanah lempung, nilai pengembangan menjadi menurun hingga penambahan persentase pasir 16%.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisa data dalam Tugas Akhir ini meliputi:

1. Untuk mendapatkan hasil nilai CBR efektif 6% maka sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan persentase campuran pasir.
2. Untuk meninjau sifat mekanis tanah lempung dengan campuran pasir perlu dilakukan pengujian sifat mekanis lainnya seperti kuat geser, permeabilitas dan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ameratunga, J., Sivakugan, N., & Das, Braja M. 2016. *Correlation of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*, Springer India. New Delhi.
- Ariana, S. I. A., Iswan, & Syah, A. 2021. Hubungan Sifat-Sifat Fisik Tanah dan Aktivitas Tanah Terhadap Nilai Koefisien Permeabilitas yang Dipengaruhi Campuran Semen Berdasarkan Uji Laboratorium. *Jrsdd*, 9(2), 365–376.
- ASTM International. 1996. *Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils (ASTM D4546 – 96)*. United State : ASTM International.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah. *SNI 3423 : 2008*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. Cara Uji Kepadatan Ringan Untuk Tanah. *SNI 1742 : 2008*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. Cara Uji Berat Jenis Tanah. *SNI 1964 : 2008*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah. *SNI 1967 : 2008*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. Cara Uji Penentuan Kadar Air untuk Tanah dan Batuan di Laboratorium. *SNI 1965 : 2008*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah. *SNI 1966 : 2008*.
- Badan Standarisasi Nasional. 1994. Metode Pengujian Berat Isi Tanah Berbutir Halus Dengan Cetakan Benda Uji. *SNI 03-3637-1994*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. Cara Uji Konsolidasi Tanah Satu Dimensi. *SNI 2812 : 2011*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Metode Uji CBR Laboratorium. *SNI 1744 : 2012*.
- Brilliant Nisa, F. O. U. 2017. Redesign Rigid Pavement Di Ruas Jl. Kolonel Hr

Hardijanto Kelurahan Sukorejo Kecamatan Gunungpati Kota Semarang Berdasarkan Evaluasi Terhadap Daya Dukung Tanah. Universitas Negeri Semarang.

- Das, B. M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Penerbit Erlangga, 1–300.
- Das, B. M. 2010. *Principle of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning, USA
- Dewi, O. Y., Hendri, O., & Sarie, F. 2022. Hubungan Batas Cair Dan Indeks Plastisitas Tanah Lempung Disubstitusi Pasir Terhadap Nilai Kohesi Tanah Pada Uji Geser Langsung. *Jurnal Deformasi*, 7(2), 183.
- Dwitya, F., Putra, A. P., & Iswan. 2021. Pengaruh Penambahan Semen pada Tanah Lempung terhadap Parameter Konsolidasi dan Kecepatan Penurunan. *Jrssd*, 9(2), 303–312.
- Hardiyatmo, H. C. 2012. *Mekanika Tanah 1*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. 2018. *Mekanika Tanah 2*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Idrus, S. T. H., Iswan, & Syah, A. 2021. Hubungan Sifat Fisik Tanah Yang Dicampur Dengan Kapur Terhadap Stabilitas Tanah Lempung Pada Tanggul. *JRSDD*, 9(2), 289-302.
- Iswan, Pratiwi, A., & Zakaria, A. 2021. Penggunaan Pasir Seragam pada Perbaikan Subgrade Ditinjau Terhadap Tebal Perkerasan Jalan (Swelling Potential dan Non Swelling Potential). *JRSDD, Edisi Juni 2021*, 9(2), 220–230.
- Huat, B. B. K. 2015. Behavior of Clay Soil Mixed With Fine Sand During Consolidation Behavior of Clay Soil Mixed With Fine Sand During Consolidation Article Info Abstract. *Applied Research Journal*, 1(8), 437–443.
- Kurniawan, D., Iswan, & Setyanto. 2015. Hubungan Nilai Konsolidasi dan Nilai Kuat Tekan Bebas pada Tanah Lempung yang Disubstitusi Material Pasir. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Design*, 3(1), 131–144.
- Kusuma, B. 2010. *Studi Nilai California Bearing Ratio (Cbr) Dan Dynamic Cone Penetrometer (Dcp) Pada Tanah Merah Depok Dicampur Kaolin Yang Dipadatkan*. Universitas Indonesia.
- Louafi, B., & Bahar, R. 2012. SAND: An Additive for Stabilization of Swelling Clay Soils. *International Journal of Geosciences*, 03(04), 719–725.
- Martha, Iswan, & Syah, A. 2020. Korelasi Nilai DDT Pada Tanah Lempung Daerah Lampung Selatan Yang Telah Di Swelling Menggunakan Abu Kelapa Sawit

- Terhadap Tebal Perkerasan Jalan Raya. *JRSDD* 8(2), 279–290.
- Panguriseng, D. 2017. *Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Pustaka AQ, Yogyakarta.
- Panguriseng, D. 2018. *Dasar-dasar Mekanika Tanah*. Pustaka AQ, Yogyakarta.
- Prasad, C. R. V., & Sharma, R. K. 2014. Influence of sand and fly ash on clayey soil stabilization. *Iosr-Jmce*, 2014(2013), 36–40.
- Prasenda, C. 2015. Pengaruh Penambahan Pasir Terhadap Tingkat Kepadatan dan Daya Dukung Tanah Lempung Lunak. *JRSDD*, 3(1), 91–102.
- Ramadhani, T., Iswan, Jafri, M. 2015. Hubungan Batas Cair dan Plastisitas Indeks Tanah Lempung yang disubsitusi Pasir terhadap Nilai Kohesi Tanah pada Uji Direct Shear. *JRSDD*, 3(2), 291-302.
- Sagala, P. 2014. Studi Pengaruh Penambahan Tanah Lempung a-7 Terhadap Kuat Geser Tanah Pasir Sungai. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 2(2), 231–237.
- Sihite, W. A. 2017. *Lapisan Subgrade Jalan Menggunakan Metode California Bearing Ratio Lapangan*. Universitas Medan Area.
- Siska, H. N., & Yakin, Y. A. 2016. Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Lunak di Gedebage. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 2(4), 44-55.
- Syarifudin, A., Djarwanti, N., & Surjandari, N. S. 2013. Perubahan Parameter Konsolidasi Tanah Lempung Tanon. *Matriks Teknik Sipil*, 1(4), 356–362.
- Teodore Ignatius Minaroy. 2011. *Stabilisasi Tanah Residual Depok Dengan Kapur Sebagai Lapisan Perkerasan*. Universitas Indonesia
- Warman, R. S. (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik Dan Pondasi*. 1–94.
- Wijaya, A., Hartono, E., Widiyanti, A. 2016. Pengaruh Gradasi Terhadap Nilai Cbr Dan Swelling Pada Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Pasir. *Naskah Publikasi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*. 1–16.
- Yuliet, R., Hakam, A., Febrian, G. 2011. Uji Potensi Mengembang pada Tanah Lempung dengan Metoda Free Swelling Test. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 7(1), 25–36.