

SKRIPSI

PENGARUH VARIASI KEDALAMAN KOLOM TANAH STABILISASI BAKTERI TERHADAP KUAT TEKAN BEBAS

Disusun dan diajukan oleh:

KLIO QABARI SUSELISU

D011 20 1125



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS

HASANUDDIN GOWA

2024



LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI KEDALAMAN KOLOM TANAH
STABILISASI BAKTERI TERHADAP KUAT TEKAN BEBAS**

Disusun dan diajukan oleh

**KLIO QABARI SUSELISU
D011 20 1125**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 25 September 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP. 196805292002121002

Menyetujui,
Pembimbing Utama,

Ir. Ariningsih Suprapti, S.T., M.T.
NIP : 197307122000032002



PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Klio Qabari Suselisu
NIM : D011 20 1125
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Pengaruh Variasi Kedalaman Kolom Tanah Tanah Stabilisasi Bakteri Terhadap
Kuat Tekan Bebas}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari dosen pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa,

Oktober 2024

Menyatakan

Klio Qabari Suselisu



ABSTRAK

KLIO QABARI SUSELISU. *Pengaruh Variasi Kedalaman Kolom Tanah Stabilisasi Bakteri Terhadap Kuat Tekan Bebas* (dibimbing oleh Ir. Ariningsih Suprapti, S.T., M.T)

Seiring berjalannya pembangunan, pekerjaan konstruksi di bidang Teknik Sipil berkaitan erat dengan struktur bangunan, khususnya aspek yang tak kalah penting yang dianggap sebagai langkah awal dalam memulai pembangunan adalah tanah. Selain sebagai langkah awal dalam pembangunan, tanah juga merupakan bagian terpenting untuk mendukung beban-beban yang akan dipikul di atas tanah tersebut. Tujuan pengujian ini mengetahui karakteristik fisik dan mekanis tanah lempung dan untuk mengetahui variasi kedalaman kolom tanah stabilisasi bakteri terhadap kuat tekan bebas. Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi 3 tahap yaitu uji kultur bakteri, pengujian sifat fisik dan mekanis tanah dan uji model variasi kolom. Uji kultur bakteri *Bacillus Subtillis* dilakukan untuk mengetahui sifat pertumbuhan bakteri melalui kurva pertumbuhan. Bakteri bacillus yang digunakan sebanyak 6 %. Pengujian sifat fisik dan mekanis yang dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanis tanah. Dan uji model setelah tekan dilakukan untuk dasar pembuatan sampel UCT dengan dilakukan pengeboran dengan diameter 9 cm dengan kedalaman 2xD, 4xD, 5xD, dan 7xD. Hasil pengujian fisik pada tanah asli didapatkan bahwa tanah dapat diklasifikasikan sebagai CH yaitu lempung dengan plastisitas tinggi menurut sistem klasifikasi USCS dan A-7-6 menurut klasifikasi AASTHO. Berdasarkan pengujian pengujian mekanis pada tanah asli, pada uji pemadatan nilai kadar air optimum sebesar 31,5% dengan berat volume kering sebesar 1,39 gram/cm³ dan nilai UCT tanah asli sebesar 44,54 kN/m². Dari hasil pengujian kuat tekan bebas dengan variasi kedalaman kolom 18 cm, 36 cm, 45 cm, 63 cm, dan tanpa bakteri didapatkan hasil kuat tekan bebas kedalaman 18 cm sebesar 1,143 Kg/cm², kedalaman 36 cm sebesar 1,500 Kg/cm², kedalaman 45 cm sebesar 1,667 kg/cm², kedalaman 63 cm sebesar 2,098 kg/cm², dan tanpa bakteri sebesar 0,520 kg/cm². Hasil ini menunjukkan peningkatan kekuatan tekan optimum setelah pengujian pembebanan variasi kolom diperoleh pada kedalaman 63 cm. Hasil ini menunjukkan pada variasi kedalaman kolom 18 cm naik sebesar 119% dari variasi tanpa bakteri. Pada variasi kedalaman kolom 36 cm naik sebesar 188% dari variasi tanpa bakteri. Pada variasi kedalaman kolom 45cm naik sebesar 220% dari variasi tanpa bakteri. Pada variasi kedalaman kolom 63cm naik sebesar 303% dari variasi tanpa bakteri.



nci : Tanah Lempung, *Bacillus Subtillis*, Kuat Tekan Bebas

ABSTRACT

KLIO QABARI SUSELISU. *Effect of Variation Depth of Bacteria Stabilized Soil Column on Unconfined Compression Test* (supervised by Ir. Ariningsih Suprapti, S.T., M.T)

As development progresses, construction work in the field of Civil Engineering is closely related to building structures, especially as an aspect that is no less important which is considered as the first step in starting construction is land. Apart from being the first step in development, land is also an important part in supporting the loads that will be borne on the land. The purpose of this test is to determine the physical and mechanical properties of clay soil and determine variations in the depth of the bacterial soil stabilization column on the unconfined compressive strength. The research was carried out in 3 stages, namely bacterial culture testing, soil physical and mechanical properties testing, and column variation model testing. The *Bacillus Subtillis* bacterial culture test was carried out to determine the nature of bacterial growth through a growth curve. The bacillus bacteria used were 6%. Physical and mechanical properties testing is carried out to determine the physical and mechanical properties of the soil. And model testing after compression was carried out as a basis for making UCT samples by drilling a diameter of 9 cm with depths of 2xD, 4xD, 5xD and 7xD. The results of physical tests on the original soil showed that the soil was classified as CH, namely clay with high plasticity according to the USCS classification system and A-7-6 according to the AASTHO classification. Based on mechanical tests on the original soil, in the compaction test the optimum air content value was 31.5% with a dry volume weight of 1.39 grams/cm³ and the UCT value of the original soil was 44.54 kN/m². From the results of the unconfined compressive strength test with variations in column depths of 18 cm, 36 cm, 45 cm, 63 cm, and without bacteria, the unconfined compressive strength results at a depth of 18 cm were 1,143 Kg/cm², a depth of 36 cm was 1,500 Kg/cm², depth 45 cm is 1.667 kg/cm², 63 cm deep is 2.098 kg/cm², and without bacteria it is 0.520 kg/cm². These results show an increase in optimum compressive strength after testing column variations obtained at a depth of 63 cm. These results show that the variation in column depth of 18 cm increased by 119% from the variation without bacteria. The variation in column depth of 36 cm experienced an increase of 188% from the variation without bacteria. The variation in column depth of 45 cm experienced an increase of 220% from the variation without bacteria. The variation in column depth of 63 cm experienced an increase of 303% from the variation without bacteria.



Is: Clay Soil, *Bacillus Subtillis*, Unconfined Compressive Strength

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN/SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tanah Lempung	4
2.2 Stabilisasi Tanah	5
2.3 Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	8
2.4 Kadar Air	11
2.5 Analisis Ukuran Butiran.....	12
2.5.1 Analisa Saringan.....	12
2.5.2 Analisa Hidrometer	12
2.6 Batas-Batas Atterberg.....	13
2.6.1 Batas Cair (<i>liquid limit</i>).....	14
2.6.2 Batas Plastis (<i>plastic limit</i>).....	14
2.6.3 Batas Susut (<i>shrinkage limit</i>).....	15
2.7 Berat Jenis.....	16
2.8 Kuat Tekan Bebas	17
2.9 Tanah (Kompaksi).....	18
2.10 Penelitian Terdahulu	20
BAB III METODE PENELITIAN	28
asi Penelitian.....	28
da Uji dan Alat.....	28
uksanaan Penelitian.....	29
r Penelitian	36



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Karakteristik Fisik Tanah.....	37
4.2 Karakteristik Sifat Mekanis	40
4.3 Pengaruh Kedalaman Kolom Stabilisasi Terhadap Kekuatan Tekan Bebas	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	49
Dokumentasi	50
Data Hasil Pengujian.....	53



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Grafik penentuan Gradasi Butiran	12
Gambar 2. Kurva distribusi ukuran butiran-analisa saringan dan analisa.....	13
Gambar 3. Kurva Penentuan Batas Cair.....	14
Gambar 4. Definisi Batas Susut.....	16
Gambar 5. Kurva hubungan kadar air dan berat volume kering	19
Gambar 6. Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	28
Gambar 7. Bak pengujian silinder	29
Gambar 8. Kurva Pertumbuhan Bakteri	30
Gambar 9. Sketsa Model	33
Gambar 10. Sketsa model ketinggian.....	34
Gambar 11. Gambar sketsa sampel UCT setelah core drill.....	34
Gambar 12. Gambar posisi sampel UCT.....	35
Gambar 13. <i>Flowchart</i> alur penelitian.....	36
Gambar 14. Grafik presentase ukuran butir tanah asli	37
Gambar 15. Grafik hasil pengujian batas cair	38
Gambar 16. Diagram Klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS	40
Gambar 17. Grafik hubungan Kadar Air dengan Berat Isi Kering Tanah.....	40
Gambar 18. Hasil UCT tanpa menggunakan bakteri.....	41
Gambar 19. Hasil UCT pada kedalaman kolom 18 cm.....	42
Gambar 20. Hasil UCT pada kedalaman kolom 36 cm.....	42
Gambar 21. Hasil UCT Variasi kedalaman kolom 45 cm.....	43
Gambar 22. Hasil UCT Variasi kedalaman kolom 63 cm.....	43
Gambar 23. Rekapitulasi hasil UCT setelah kuat tekan variasi kedalaman kolom	44
Gambar 24. Diagram hasil UCT terhadap variasi kedalaman	45



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Indeks Plastisitas	15
Tabel 2. Tabel Berat Jenis Partikel Tanah.....	16
Tabel 3. Hubungan Antar Konsistensi Tanah dengan Nilai Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung	17
Tabel 4. Parameter Uji dan Standar Pengujian Fisik dan Mekanik.....	32
Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah	39
Tabel 6. Tabel rekapan hasil berat isi tanah basah dan tanah kering.....	45



DAFTAR SINGKATAN/SIMBOL

SINGKATAN/SIMBOL	PENJELASAN
SNI	Standar Nasional Indonesia
w	Kadar air
v	Kecepatan pengendapan
γ_s	Berat volume partikel tanah
γ_b	Berat Volume basah
γ_w	Berat volume air
η	Kekentalan air
A	Luas penampang sampel
LL	Batas cair
PL	Batas plastis
PI	Indeks plastis
SL	Batas susut
UCT	Unconfined Compression Strenght test
CH	Lempung plastisitas tinggi
Gs	Berat Jenis
γ_d	Berat isi kering
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
USCS	Unified Soil Classification System
ω_{opt}	Kadar Air Optimum
$\gamma_{dry\ max}$	Beratr isi kering maksimum
W_N	Kadar air pada N tumbukan



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil UCT kedalaman 63 cm.....	53
Lampiran 2. Hasil UCT kedalaman 45 cm.....	54
Lampiran 3. Hasil UCT kedalaman 36 cm.....	55
Lampiran 4. Hasil UCT kedalaman 18 cm.....	56
Lampiran 5. Hasil UCT tanpa bakteri.....	57
Lampiran 6. Hasil pengujian kadar air.....	58
Lampiran 7. Hasil Pengujian Berat Isi.....	58
Lampiran 8. Hasil pengujian berat jenis.....	59
Lampiran 9. Hasil Pengujian Analisa Saringan dan Hidrometer.....	59
Lampiran 10. Hasil Pengujian Batas-Batas Atterberg.....	60
Lampiran 11. Grafik Determinasi Batas Cair.....	61



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa karena atas Berkat Karunia-Nya penulis menyelesaikan tugas akhir ini sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan program studi sarjana di departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tugas akhir ini menempuh proses yang tidak mudah dan tidak singkat. Segala hal yang dilalui penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari tanggungan berbagai pihak yang senantiasa memberikan bantuan, baik berupa materi maupun moril. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada :

1. Orang tua saya, **Frederich Suselisu, Se** dan terlebih khusus Almarhum Ibu saya **Almh Margaretha, S.Pd.K.** meskipun mama sudah tidak ada, ajaran dan nasehatnya yang selalu saya kenang dan jadikan penyemangat, yang selalu memberikan dorongan, dukungan, doa, dan perhatian selama ini. Penulis tidak akan mampu menyelesaikan tugas akhir ini tanpa adanya nasihat dan doa yang tiada hentinya yang mereka panjatkan kepada Tuhan Yesus.
2. **Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.,** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. **Bapak Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng.,** dan **Bapak Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, S.T., M.T.,** selaku ketua dan sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. **Ibu Ir. Ariningsih Suprpti, S.T., M.T** selaku dosen pembimbing, atas segala arahan dan bimbingannya hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
5. **Bapak Prof. Dr. Ir. Abdul Rahman Djamaluddin, M.T,** selaku kepala Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberi izin atas segala fasilitas yang digunakan selama penelitian.



apak Rokhman dan **Januar** selaku mahasiswa s3 dan s2 yang telah embantu dalam penelitian di laboratorium dan membimbing dalam enyelesaikan tugas akhir ini

7. **Entitas 2021** dan **Teman-teman seperjuangan KKD Geoteknik 2020**, yang selalu senantiasa membantu dan menyemangati selama penelitian dilaboratorium
8. Saudara-saudara seiman saya **Genesis** dan **Pioneers 2020**, yang selalu membantu dan memberikan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Kepada semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu dengan semua bantuan dan dukungan yang telah diberikan sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan

Tiada kata yang dapat mendeskripsikan rasa terimakasih penulis selain memohon kepada Tuhan Yesus agar selalu melimpahkan kasih karunia-Nya dan berkat-Nya kepada kita semua. Akhir kata, penulis menyadari setiap karya manusia tidak ada yang sempurna. Oleh karena itu, saran dan masukan yang membangun sangat diharapkan penulis untuk pengembangan penelitian dimasa yang akan datang. Semoga karya ini dapat bermanfaat untuk kita semua.

Gowa September 2024

Penulis



BAB I PENDAHULUAN

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berjalannya pembangunan, luas lahan semakin mengecil dan pembangunan gedung menjadi semakin mahal. Untuk mencegah lahan yang tanahnya tidak memenuhi persyaratan lokasi konstruksi, kami mencari cara agar tanah tersebut memenuhi persyaratan konstruksi. Tanah selalu memegang peranan penting dalam setiap pekerjaan konstruksi. Hal ini dikarenakan tanah merupakan struktur dasar (pondasi) yang memikul seluruh beban bangunan yang dibangun di atasnya. Tanah seringkali menjadi permasalahan pada saat pembangunan suatu bangunan, termasuk pembangunan rumah. Jika tanah untuk membangun rumah dapat menahan beban, maka rumah runtuh.

Dari berbagai jenis tanah, tanah lempung merupakan tanah yang daya dukungnya rendah serta muai muai dan susutnya tinggi, sehingga menjadikan material permukaan tanah liat. tidak cocok untuk pekerjaan konstruksi. Daya dukung yang rendah dapat menjadikan pondasi suatu bangunan yang dibangun di atas tanah lempung menjadi tidak stabil, sehingga harus dilakukan upaya perbaikan sifat-sifat tanah sebelum dilakukan konstruksi untuk mencapai persyaratan teknis tertentu. Memperbaiki sifat-sifat tanah disebut stabilisasi. Stabilisasi tanah dapat diartikan sebagai upaya memperbaiki sifat teknis tanah, seperti daya dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan kerja, potensi pengembangan dan kepekaan terhadap perubahan kadar air, sehingga memenuhi persyaratan teknis tertentu (Hardiatmo, C.H., 2010).

Metode remediasi dapat dilakukan dengan menggunakan metode perbaikan tanah secara mekanis dan metode perbaikan tanah secara kimia. Perbaikan tanah mekanis adalah perbaikan tanah di mana massa tanah dipaksa berubah melalui tiang pancang, pemadatan tanah, dan lain-lain. Amandemen tanah kimia adalah metode modifikasi tanah yang menambahkan bahan kimia dengan sifat khusus untuk membantu memperoleh massa tanah yang lebih stabil dengan menggunakan bahan yang ramah lingkungan, seperti pencampuran semen portland, kapur, abu dan zeolit.



di atas, kami tertarik untuk meneliti dan alternatif metode stabilisasi yang ramah lingkungan dengan menggunakan

bakteri yang dapat menghasilkan kristal kalsit/kalsium karbonat yang dapat mengubah perilaku butiran tanah. Berdasarkan uraian di atas, maka peneliti bermaksud untuk melakukan penelitian tugas akhir dengan judul “**PENGARUH VARIASI KEDALAMAN KOLOM TANAH STABILISASI BAKTERI TERHADAP KUAT TEKAN BEBAS**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, berikut rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik fisik dan mekanis tanah lempung ?
2. Bagaimana pengaruh variasi kedalaman kolom tanah stabilisasi bakteri terhadap kuat tekan bebas ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanis tanah lempung.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi kedalaman kolom tanah stabilisasi bakteri terhadap kuat tekan bebas.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat berupa :

1. Dapat mengetahui karakteristik fisik dan mekanis tanah lempung.
2. Dapat mengetahui pengaruh variasi kedalaman kolom tanah stabilisasi bakteri terhadap kuat tekan bebas.



Daftar Lingkup

atas masalah dibuat dalam penelitian pengujian stabilisasi tanah akan bakteri ini untuk menghindari cakupan penelitian yang lebih luas

agar penelitian dapat berjalan efektif, serta dapat mencapai sasaran yang diinginkan. Penelitian ini mencakup pengujian eksperimental yang dilakukan di laboratorium.

Dengan uraian sebagai berikut:

1. Material tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung.
2. Bahan stabilisasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah bakteri *Bacillus subtilis* yang didapatkan dari laboratorium Mikrobiologi Fakultas Farmasi Universitas Hasanuddin.
3. Pengujian karakteristik sifat-sifat fisik tanah meliputi:
 - a) Pengujian kadar air
 - b) Pengujian analisa saringan & hidrometer
 - c) Pengujian berat jenis
 - d) Pengujian batas-batas atterberg
 - e) Pengujian kompaksi (pemadatan)
 - f) Pengujian kuat tekan bebas
4. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium, bukan pada skala lapangan..
5. Variasi kedalaman yang digunakan adalah 2xD, 4xD, 5xD dan 7xD
6. Waktu pemeraman setelah campuran tanah dengan bakteri *bacillus subtilis* adalah 28 hari dengan kondisi laboratorium.
7. Menggunakan 1 sampel pengujian UCT



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Lempung

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, di samping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Jadi seorang ahli teknik sipil harus juga mempelajari sifat-sifat dasar dari tanah, seperti asal usulnya, penyebaran ukuran butiran, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan bila dibebani (*compressibility*), kekuatan geser, kapasitas daya dukung terhadap beban, dan lain-lain. (Das, 1995).

Menurut Terzaghi (1987) tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan sub mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah, bersifat plastis pada kadar air sedang. Di Amerika bagian barat, untuk lempung yang keadaan plastisnya ditandai dengan wujudnya yang bersabun atau seperti terbuat dari lilin disebut “gumbo”. Sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak.

Menurut Hardiyatmo (2010), mengatakan sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran-butiran halus < 0.002 mm, permeabilitas rendah, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut tinggi, dan proses konsolidasi lambat.

Sifat dan perilaku lempung terlihat pada komposisi mineral, unsur-unsur, dan partikel-partikelnya serta pengaruh yang ditimbulkan di lingkungan a. Sehingga untuk dapat memahami sifat dan perilakunya diperlukan uan tentang mineral dan komposisi kimia lempung, hal ini dikarenakan



mineralogi adalah faktor utama untuk mengontrol ukuran, bentuk dan sifat fisis serta kimia dari partikel tanah. Tanah lempung memiliki sifat yang khas yaitu apabila dalam keadaan kering dia akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air. Sedangkan untuk jenis tanah lempung lunak mempunyai karakteristik yang khusus diantaranya daya dukung yang rendah, kemampatan yang tinggi, indeks plastisitas yang tinggi, kadar air yang relatif tinggi dan mempunyai gaya geser yang kecil.

Ada beberapa hal istilah yang perlu dibedakan dalam mempelajari mengenai lempung yaitu:

- a) Penggunaan istilah ukuran lempung, lebih dihubungkan dengan komposisi dari ukuran partikel, yang biasanya berukuran $< 2\mu\text{m}$.
- b) Penggunaan istilah mineral lempung, lebih dihubungkan dengan komposisi ukuran mineral. Ukuran mineral ini lebih spesifik, kadang-kadang ukuran mineral ini $< 2\mu\text{m}$ dan dapat pula $> 2\mu\text{m}$, meskipun pada umumnya $< 2\mu\text{m}$.

Ada Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung menurut Hardiyatmo (2010) yaitu :

- a) Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm,
- b) Permeabilitas rendah,
- c) Kenaikan air kapiler tinggi,
- d) Bersifat sangat kohesif,
- e) Kadar kembang susut yang tinggi,
- f) Proses konsolidasi lambat

Hardiyatmo (2010) menyatakan Terdapat banyak mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung umumnya terdapat 15 macam mineral diantaranya terdiri 3 komponen penting yaitu: *monmorillonite*, *lillite*, dan *kaolinite*. Terdapat juga kelompok yang lain, misalnya: *chlorite*, *vermiculite*, dan *halloysite*.

2.2 Stabilitas Tanah



Stabilitas dalam bidang rekayasa teknik sipil disebut dengan perbaikan stabilitas dapat dilaksanakan dengan menambah suatu bahan atau komposit untuk menambah kekuatan pada tanah. Tujuan dari stabilitas tanah yaitu

meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dalam menahan serta meningkatkan stabilitas tanah.

Secara umum, stabilisasi tanah dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu stabilisasi fisik, stabilisasi mekanis, dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi fisik yaitu mencampur bahan tanah berkarakteristik buruk dengan tanah berkarakteristik baik (gradasi yang lebih baik). Stabilisasi mekanis adalah usaha meningkatkan kemampuan geser dan kohesi dengan penambahan kekuatan dan daya dukung terhadap tanah yang ada dengan meningkatkan kepadatannya. Sedangkan untuk stabilisasi kimiawi mengandalkan bahan *additive* yang dapat mengurangi sifat-sifat tanah yang kurang menguntungkan dan biasanya disertai dengan pengikatan terhadap butiran.

Stabilisasi tanah menggunakan bahan *additive* adalah untuk merubah interaksi air dengan tanah terhadap reaksi permukaan, karena itu aktivitas permukaan dari partikel tanah dan daerah penyerapan air memegang peranan penting. Yang sama pentingnya adalah penggabungan luas partikel sehingga dapat merubah menjadi suatu kesatuan untuk mencapai keseimbangan gaya tarik antar butir.

Metode atau cara memperbaiki sifat-sifat tanah ini juga sangat bergantung pada lama waktu pemeraman, hal ini disebabkan karena di dalam proses perbaikan sifat-sifat tanah terjadi proses kimia yang dimana memerlukan waktu untuk zat kimia yang ada di dalam bahan *additive* untuk bereaksi.

Menurut Darwis (2017) Stabilisasi tanah adalah suatu metode rekayasa tanah yang bertujuan untuk meningkatkan dan/atau mempertahankan sifat-sifat tertentu pada tanah, agar selalu memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan. Dalam hal ini berbagai syarat teknis yang dibutuhkan dalam mengoptimalkan kinerja konstruksi, antara lain :

- a) menambah kerapatan tanah,
 - b) menambahkan material yang tidak aktif, sehingga mempertinggi kohesi dan/ atau tanah geser yang timbul,
- menambahkan material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisis dari material tanah, merendahkan muka air (drainase tanah),



- e) menggantikan tanah-tanah yang buruk.

Secara garis besar, jika ditinjau dari mekanisme global yang terjadi pada tindakan stabilisasi tanah, maka klasifikasi tindakan stabilisasi tanah dapat dibedakan atas dua macam, yakni :

- a) Perbaikan tanah (*soil improvement*) ; adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan menggunakan bahan additive (kimiawi), pencampuran tanah (*re-gradation*), pengeringan tanah (*dewatering*) atau melalui penyaluran energi statis/dinamis ke dalam lapisan tanah (fisik).
- b) Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) ; adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan memberikan material sisipan ke dalam lapisan tanah tersebut,

Dari kedua pengklasifikasian di atas, terlihat korelasi antara keduanya, bahwa :

- a) Perbaikan tanah (*soil improvement*), relevan dengan stabilisasi kimia dan stabilisasi fisik
- b) Perkuatan tanah (*soil reinforcement*), relevan dengan stabilisasi mekanis.

Namun apabila ditinjau dari proses yang terjadi dalam pelaksanaan stabilisasi tanah, maka stabilisasi tanah dapat dibedakan atas tiga jenis, yakni :

- a) Stabilisasi Kimia : yaitu menambahkan bahan kimia tertentu dengan material tanah, sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dengan bahan pencampurnya, yang akan menghasilkan material baru yang memiliki sifat teknis yang lebih baik.
- b) Stabilisasi Fisik : yaitu mengenakan enersi dari beban dinamis atau beban statis ke dalam lapisan tanah, sehingga terjadi dekomposisi baru dalam massa tanah, yang akan memperbaiki karakteristik lapisan tanah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.
- c) Stabilisasi Mekanis : yaitu stabilisasi dengan memasukkan material sisipan

di dalam lapisan tanah sehingga mampu meningkatkan karakteristik teknis dalam massa tanah sesuai dengan tujuan tindakan stabilisasi yang ingin dicapai. Karena keberadaan material sisipan ke dalam lapisan tanah inilah,



sehingga stabilisasi mekanis diistilahkan sebagai “perkuatan tanah (*soil reinforcement*). Contohnya stabilisasi dengan *metal strip*, *geotextile*, *geomembrane*, *geogrid*, *vertical drain*, dan lain sebagainya.

Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan di dalam memilih jenis dan tipe perbaikan tanah yang akan diterapkan dalam setiap tindakan perbaikan tanah, antara lain:

- a) Jenis dan karakteristik tanah, termasuk sifat-sifat kimia dan fisik, termasuk minerologi tanah yang akan diperbaiki.
- b) Kondisi lingkungan sekitar, jenis dan karakteristik konstruksi yang akan dibangun, terutama beban konstruksi.
- c) Parameter tanah yang perlu diperbaiki, sesuai kebutuhan konstruksi.
- d) Kedalaman lapisan tanah yang akan diperbaiki.
- e) Sifat kimia dan sifat fisik dari bahan stabilizer yang akan digunakan.
- f) Harga bahan *stabilizer* yang akan digunakan, terutama dikaitkan dengan efisiensi biaya perbaikan.

2.3 Bakteri *Bacillus Subtilis*

Bakteri dapat menimbulkan penyakit dengan cara langsung masuk ke dalam jaringan atau dengan membentuk toksin. Mikroba yang masuk ke dalam jaringan dapat hidup di dalam sel (intraseluler) atau hidup di luar sel (ekstra seluler). Keracunan makanan karena bakteri sering terjadi pada situasi higienis yang rendah dan biasanya menyerang secara akut sehingga menyebabkan diare dan nyeri pada daerah perut serta terjadi dalam beberapa jam setelah makan - makanan yang tercemar oleh bakteri patogen (Muslimin, 1996 :88). Bakteri *Bacillus* merupakan mikroba flora normal pada saluran pencernaan ayam (Green dkk, 2006 :4287). Bakteri ini adalah organisme saprofitik, berbentuk batang, gram positif pembentuk spora non-patogen yang biasanya ditemukan dalam air, udara, debu, tanah dan sedimen. Terdapat beberapa jenis bakteri yang bersifat saprofit pada tanah, air, udara dan tumbuhan, seperti *Bacillus cereus* dan *Bacillus subtilis* (Jawetz dkk,



5). Jenis – jenis *Bacillus* yang ditemukan pada saluran pencernaan ayam : *illus subtilis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus lincheniformis*, *Bacillus clausii*, *megaterium*, *Bacillus firmus*, kelompok *Bacillus cereus* (Barbosa dkk,

2005:986).

Bacillus subtilis merupakan bakteri terbentuk batang berukuran 0,5 – 2,5 x 1,2- 10 mikron, tersusun dalam sepasang atau bentuk rantai, dimana silika meliputi seluruh permukaan sel. Dalam kondisi kritis mampu membentuk spora. Dapat tumbuh pada suhu maksimum 25-75°C. Dapat ditemukan di udara, air, tanah, bulu binatang, dan bangkai, pH optimum tumbuh 5,5 – 8,5 . Brock et al., (1994), mengatakan bawa bacillus mampu memproduksi 19 enzim *hydrolytic* untuk memecah polisakarida, asam nukleat, dan lemak yang memungkinkan organisme 12 menggunakannya sebagai sumber karbon dan elektron. Selain itu bakteri genus Bacillus juga mengandung enzim *protease, lipase, amilase, dan sellulose*. Bakteri merupakan organisme mikroskopis rata-rata berdiameter 1,25 mikrometer (μm). (mikrometer = 1/1000000 meter). Bakteri yang terkecil adalah dialister pneumosintes dengan panjang tubuh 0,15 – 0,30 μm . Ukuran bakteri adalah mikroskopis artinya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Bakteri aktif bergerak pada kondisi lembab. Pada keadaan kurang air, bakteri tidak aktif bahkan dapat menyebabkan kematian.

Klasifikasi *Bacillus subtilis* :

Kingdom : *Procaryorae*

Divisi : *Firmicutes*

Kelas : *Schizomycetes*

Bangsa (Ordo) : *Eubacteriales*

Suku (Familia) : *Bacillaceae*

Marga (Genus) : *Bacillus*

Jenis (Spesies) : *Bacillus Subtilis*

Bakteri *bacillus subtilis* ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan mikroorganisme lain. Kemampuan Bakteri subtilis menghasilkan endospora yang tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem dan dapat bertahan hidup lama menjadi keunggulan utama. Bakteri ini terbukti sangat mudah dalam memanipulasi genetic dan telah banyak diambil sebagai pilihan untuk dijadikan



sebagai model untuk bahan penelitian laboratorium, terutama dari sporulasi yang merupakan contoh sederhana dari diferensiasi seluler, pada hal popularitas dalam model laboratorium.

Adapun fase-fase pertumbuhan bakteri yaitu :

1. Fase Lag

Fase lag merupakan fase adaptasi, yaitu fase penyesuaian mikroorganisme pada suatu lingkungan yang baru. Ciri fase lag adalah tidak adanya peningkatan jumlah sel, yang ada hanyalah peningkatan ukuran sel. Lama fase lag tergantung pada kondisi dan jumlah awal mikroorganisme yang diambil dari kulturnya.

2. Fase Logaritma (Eksponensial)

Fase logaritma merupakan fase dimana terjadinya periode pertumbuhan yang cepat. Setiap sel dalam populasi membelah menjadi dua sel. Variasi derajat pertumbuhan bakteri pada fase logaritma ini sangat dipengaruhi oleh sifat genetik yang diturunkannya. Hal yang dapat menghambat laju pertumbuhan adalah bila satu atau lebih nutrisi dalam kultur habis, sehingga hasil metabolisme yang bersifat racun akan tertimbun dan menghambat pertumbuhan

3. Fase Stationer

Fase stasioner terjadi pada saat laju pertumbuhan bakteri sama dengan laju kematiannya. Sehingga jumlah keseluruhan bakteri akan tetap. Keseimbangan jumlah keseluruhan bakteri ini terjadi karena kematian diimbangi oleh pembentukan sel-sel baru melalui pertumbuhan dan pembelahan dengan nutrisi yang dilepaskan oleh sel-sel yang mati karena lisis. Hal ini disebabkan oleh kadar nutrisi yang berkurang dan terjadi akumulasi produk toksik sehingga mengganggu pembelahan sel.

4. Fase Kematian

Fase kematian merupakan fase dimana laju kematian lebih besar sehingga terjadi penurunan populasi bakteri . Pada fase ini jumlah sel yang mati lebih banyak daripada sel yang hidup. (M. Natsir Djide dan Sartini. 2012)

Tanah laterit memiliki tingkat pelapukan yang tinggi serta kembang susut yang tidak seragam sehingga jenis tanah ini memiliki potensi kerusakan yang tinggi jika



n pekerjaan konstruksi sehingga jenis tanah ini perlu untuk di stabilisasi. Tanah yang mudah mengalami kembang susut system pengaliran air juga harus dikendalikan agar keadaan tanah selalu dalam keadaan kering(Yusran et al., 2022)

Pemilihan metode yang tepat (Hendriyani et al., 2018) untuk perbaikan dan pengujian tanah harus dilakukan guna mendapatkan hasil yang diinginkan, untuk menghindari kesalahan dan melakukan penghematan (Andi Marini Indriani et al., 2022) dalam proses stabilisasi Biosementasi merupakan metode perbaikan tanah dengan memanfaatkan kemampuan bakteri yang memang hidup di dalam tanah untuk menghasilkan enzim urease. (A. M. Indriani et al., 2021) Perbaikan tanah lempung dengan bakteri *Bacillus subtilis* dapat meningkatkan nilai modulus reaksi dari 8,96% naik menjadi 20-40% (Lim et al., 2019). Selain itu proses biosementasi pula mampu meningkatkan nilai kuat geser tanah hingga 18,18% pada tanah pasir (Nurdin et al., 2017) serta meningkatkan nilai permeabilitas tanah sehingga pori-pori tanah semakin mengecil (Lim et al., 2019). bakteri *Bacillus Subtilis* dapat hidup dan meningkatkan nilai UCS hingga 3 kali lipat dibandingkan dengan tanah asli (Andi Marini Indriani et al., 2021).

2.4 Kadar Air

Kadar air adalah Suatu perbandingan antara berat air yang terkandung didalam tanah dengan butiran tanah kering yang dinyatakan dalam persen (%). Menurut SNI 1965-2008 dalam menentukan besarnya kadar air yang terkandung didalam tanah digunakan dinyatakan dalam persamaan (2.1) yaitu :

$$w = \frac{(w_1 - w_2)}{(w_2 - w_3)} \times 100\% \quad (2.1)$$

Dimana :

W = Kadar air (%)

W_1 = Berat cawan + tanah basah (gram)

W_2 = Berat Cawan + tanah kering oven (gram)

W_3 = Berat Cawan (gram)

$(W_1 - W_2)$ = Berat air (gram)

$(W_2 - W_3)$ = Berat tanah kering partikel padat (gram)

Pada Pengujian kadar air ini relatif berbeda-beda tergantung jenis dan

daerah. Beberapa sifat yang mempengaruhi kadar air seperti plastisitas dan juga konsistensi tanah tersebut.

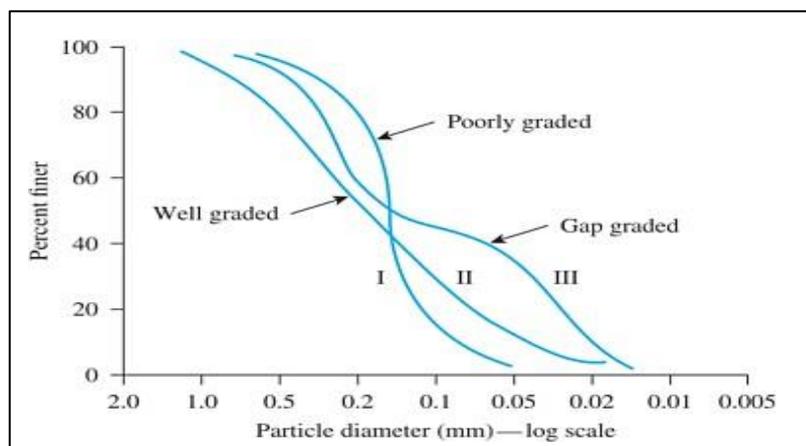


2.5 Analisis Ukuran Butiran

Sifat tanah dipengaruhi juga oleh ukuran butirannya. Ukuran butiran dapat dijadikan dasar dalam menentukan nama dan klasifikasi jenis tanah, analisis ukuran butiran merupakan penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan dengan diameter lubang tertentu (Hardiyatmo, 2002). Metode yang digunakan adalah metode analisa saringan dan metode analisa hidrometer.

2.5.1 Analisa Saringan

Menurut Das (2018) analisa saringan merupakan proses yang menggetarkan sampel tanah melalui satu set saringan yang memiliki diameter lubang yang berbeda-beda. Setelah proses analisa saringan selesai, tanah yang telah tertahan di tiap nomor saringan di timbang satu per satu. Hasil dari analisa saringan akan dinyatakan dalam persentase dari berat total contoh sampel tanah tersebut.



Gambar 1. Grafik penentuan Gradasi Butiran

(sumber : DAS, 2018)

2.5.2 Analisa Hidrometer

Menurut Das (2018), analisa hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butiran tanah yang ada dalam air. Tujuan dari analisis hidrometer untuk mengetahui pembagian ukuran butiran tanah berbutir halus. Partikel tanah yang berbentuk bola (bulat) dan kecepatan mengendapnya dinyatakan dalam persamaan (3) dengan menggunakan hukum Stokes sebagai berikut :

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\eta} D^2 \quad (3)$$



Keterangan :

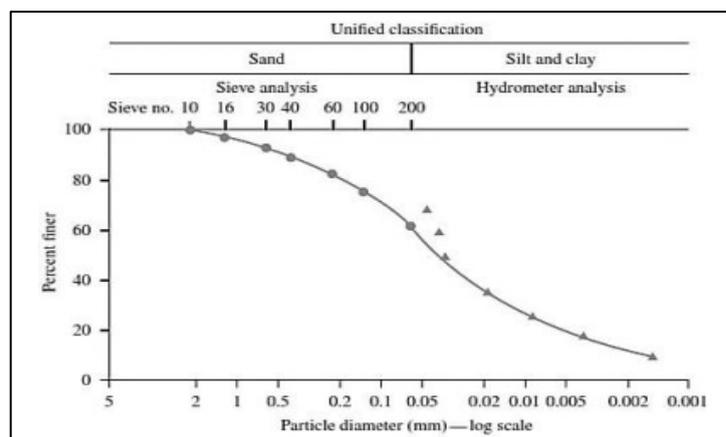
V = kecepatan pengendapan

γ_s = berat volume partikel tanah

γ_w = berat volume air

η = kekentalan air

D = diameter partikel tanah



Gambar 2. Kurva distribusi ukuran butiran-analisa saringan dan analisa Hidrometer

2.6 Batas-Batas Atterberg

Salah satu hal penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Sifat plastisitas ini ada dikarenakan partikel mineral lempung yang ada dalam tanah. Plastisitas sendiri menggambarkan kemampuan suatu tanah yang menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak. Tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, dan padat tergantung dari kadar air dalam tanah tersebut.



Atterberg (1911) memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas plastisitas tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kadar air didalam tanah. Batas-batas yang dimaksud adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*).

2.6.1 Batas Cair (*liquid limit*)

Batas cair (LL) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair dapat ditentukan dengan uji *Casagrande* (1948), hubungan kadar air dan jumlah pukulan akan digambarkan dalam gambar 3. *Waterways Experiment Station* di Vicksburg, Mississippi (1949), membuat persamaan seperti pada persamaan (4) sebagai berikut

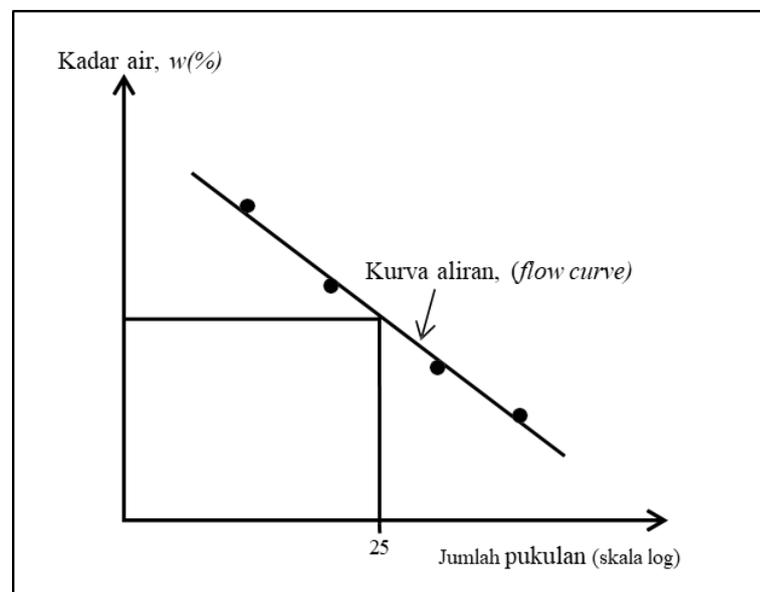
$$LL = W_N (\%) (N/25)^{0,121} \quad (4)$$

Keterangan :

LL = Batas cair tanah

w_N = Kadar air pada N tumbukan

N = Jumlah ketukan



Gambar 3. Kurva Penentuan Batas Cair

(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

2.6.2 Batas Plastis (*plastic limit*)

Batas plastis (PL) adalah kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan keadaan cair, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm akan retak-retak ketika dipilin. Perhitungan batas plastis dapat dilihat pada persamaan (5).



$$PL = \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} \times 100\% \quad (5)$$

Untuk melihat sifat keplastisan tanah diperlukan indeks plastisitas (PI) yang merupakan selisih batas cair dan batas plastis. Jika nilai indeks plastisitas tinggi maka tanah mengandung mineral lempung, begitupun sebaliknya jika nilai indeks plastisitasnya rendah maka tanah tersebut adalah lanau atau pasir. Untuk menentukan nilai PI dapat menggunakan persamaan (6).

$$PI = LL - PL \quad (6)$$

Keterangan :

PI = Indeks plastisitas

PL = Batas plastis

LL = Batas cair

W₁ = Berat tinbox kosong

W₂ = Berat tinbox + tanah basah

W₃ = Berat tinbox + tanah kering

Tabel 1. Nilai Indeks Plastisitas

PI	Description
0	Nonplastic
1-5	Slightly plastic
5-10	Low plasticity
10-20	Medium Plasticity
20-40	High plasticity
> 40	Very high plasticity

(Sumber : Das, 2018)

2.6.3 Batas Susut (*shrinkage limit*).

Batas susut (SL) adalah kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya mengakibatkan perubahan volume tanah. Percobaan batas susut menggunakan orselin diameter 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. batas susut dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (7).



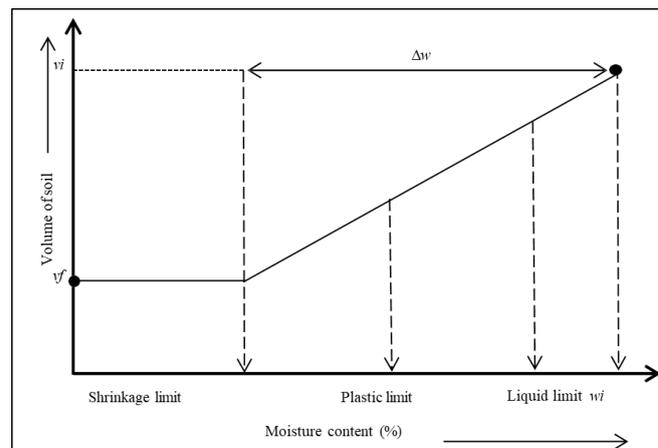
$$SL = w_i (\%) - \Delta w (\%) \quad (7)$$

Keterangan :

SL = Batas susut

$w_i (\%)$ = Kadar air

$\Delta w (\%)$ = Perubahan kadar air sebelum pengurangan volume



Gambar 4. Definisi Batas Susut

(Sumber : Das, 2018)

2.7 Berat Jenis

Berat jenis tanah adalah angka perbandingan antara berat butir tanah (γ_s) dan berat air suling (γ_w) dengan isi yang sama pada suhu 40°C (Hardiyatmo, 2012) . Nilai berat jenis partikel tanah dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 2. Tabel Berat Jenis Partikel Tanah

Jenis Tanah	Berat Jenis G _s
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 – 2,68
Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber : Hardiyatmo, 2012)



2.8 Kuat Tekan Bebas

Kuat tekan bebas adalah nilai tegangan aksial pada kekuatan maksimum yang dapat ditopang oleh suatu benda sebelum mengalami kerusakan yang disebabkan oleh gaya tekan. Pada penelitian ini akan ditinjau sampai tanah mengalami keretakan. Uji kuat tekan bebas atau *unconfined compression test* merupakan cara yang dilakukan di laboratorium untuk menghitung kekuatan geser tanah. Uji kuat ini untuk mengukur seberapa kuat tanah menerima kuat tekan yang diberikan sampai tanah tersebut terpisah dari butiran-butirannya juga mengukur regangan tanah akibat tekanan tersebut. Uji tekan bebas ini dilakukan pada contoh tanah asli dan contoh tanah tidak asli lalu di ukur kemampuannya masing-masing contoh terhadap kuat tekan bebas. Dari nilai kuat tekan maksimum yang dapat diterima pada masing-masing contoh akan didapat sensitivitas tanah. Nilai sensitivitas ini mengukur bagaimana perilaku tanah jika terjadi gangguan dari luar. Rumus untuk menemukan nilai kuat tekan bebas dapat dilihat pada persamaan 8

$$q_u = P / A \quad (8)$$

Dimana,

q_u = Kuat tekan bebas (kg/cm^2)

P = Beban (kg)

A = Luas penampang sampel (cm^2)

Penggunaan metode tersebut mengacu pada standar ASTM-D2166. Untuk hubungan antar konsistensi tanah dengan nilai kuat tekan bebas tanah lempung dapat dilihat ada tabel 3.

Tabel 3. Hubungan Antar Konsistensi Tanah dengan Nilai Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung

Konsistensi	q_u (kN/m ²)
Lempung Keras	>400
Lempung Sangat Kaku	200-400
Lempung Kaku	100-200
Lempung Sedang	50-100
Lempung Lunak	25-50
Lempung Sangat Lunak	<25



2.9 Tanah (Kompaksi)

Selain berfungsi sebagai pendukung pondasi, tanah juga digunakan sebagai bahan timbunan. Tetapi, saat tanah yang berada dilapangan membutuhkan perbaikan tanah untuk mendukung bangunan yang akan dibangun diatasnya, maka perlu pemadatan tanah. Tujuan dari pemadatan tanah sendiri antara lain :

- Mempertinggi kuat geser tanah.
- Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas).
- Mengurangi permeabilitas.
- Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air. Kepadatan tanah sendiri bergantung pada nilai kadar air, saat penambahan air dalam uji pemadatan, air akan melunakkan partikel-partikel tanah dan bergerak pada posisi yang lebih rapat.

Teori pemadatan pertama kali diperkenalkan oleh R.R. Proctor, empat variabel pemadatan yang didefinisikan oleh Proctor adalah usaha pemadatan, jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel), kadar air, dan berat isi kering. Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan (9).

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \quad (9)$$

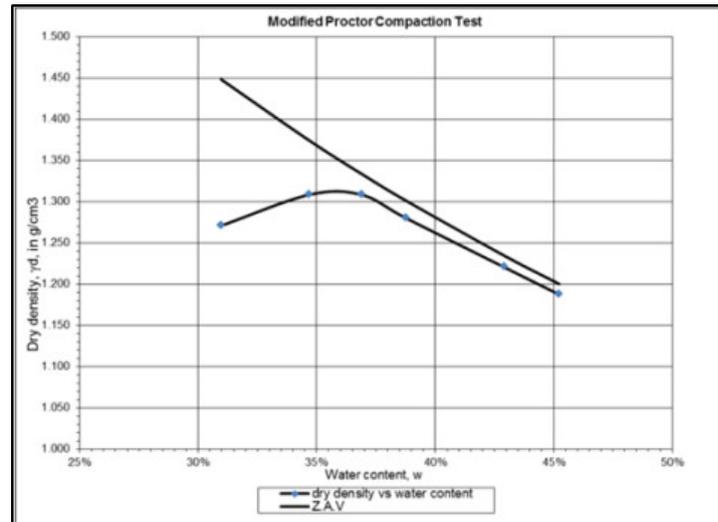
Keterangan :

γ_d = Berat volume kering

γ_b = Berat volume basah

w = Kadar air





Gambar 5. Kurva hubungan kadar air dan berat volume kering

Kepadatan tanah tergantung pada nilai kadar air, saat air ditambahkan pada pemadatan, air ini melunakan partikel-partikel tanah. Partikel-partikel tanah menggelincir satu sama lain dan bergerak pada posisi yang lebih rapat. Jika kadar air tanah sedikit maka tanah akan keras begitu pula sebaliknya, bila kadar air banyak maka tanah akan menjadi lunak atau cair. Pemadatan yang dilakukan pada saat kadar air lebih tinggi daripada kadar air optimumnya akan memberikan pengaruh terhadap sifat tanah. Uji pemadatan tanah atau *Proctor Standard* adalah metode laboratorium untuk menentukan eksperimental kadar air yang optimal dimana suatu jenis tanah tertentu akan menjadi paling padat dan mencapai kepadatan kering maksimum. Teori pemadatan pertama kali dikembangkan oleh R.R. Proctor. Empat variabel pemadatan tanah yang didefinisikan oleh Proctor, yaitu usaha pemadatan atau energi pemadatan, jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel dan lain-lain), kadar air, dan berat isi kering. Pemadatan standar (standar compaction) adalah usaha untuk memadatkan dengan alat pemadatan standar

Hasil pengujian dari kompaksi akan memperlihatkan kurva nilai kadar air optimum (ω_{opt}) untuk mencapai berat volume kering paling besar atau kepadatan maksimum. Nilai kadar air rendah pada kebanyakan tanah, tanah cenderung bersifat kaku dan sulit untuk dipadatkan. Setelah kadar air ditambah, tanah menjadi lebih lunak dan kadar air yang tinggi, berat volume air akan berkurang. Bila seluruh air dalam tanah dipaksa keluar pada saat pemadatan, tanah akan berada dalam keadaan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum.



2.10 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini. Ada beberapa penelitian yang memiliki tujuan yang mirip namun juga mempunyai beberapa perbedaan seperti metode pelaksanaan, objek penelitian dan variasi persen material. Berikut beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini:

No	Nama Penulis	Judul dan Sumber	Hasil Penelitian
1.	Alkadri, Rahman D, Tri Harianto, Ardy Arsyad (2023)	Pengaruh biosementasi bakteri terhadap karakteristik campuran tanah kohesif dan organik 2023: Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS	<ul style="list-style-type: none"> Hasil penelitian menemukan karakteristik fisik tanah uji pemadatan <i>standard Proctor</i> kadar air optimum 32,19% dengan berat volume kering (γ_d) 1,36 gr/cm³, berat jenis tanah 2,63 gr/cm³, pengujian batas Atterberg batas cair sebesar 46,89% batas plastis 31,94%, indeks plastisitas 14,96% dan batas susut 7,49%, sedangkan hasil analisis saringan pasir (<i>sand</i>) 21,60%, lanau (<i>silt</i>) 38,32% dan lempung (<i>clay</i>) 36,88 %. Hasil klasifikasi Unified Soil Classification System (USCS) digolongkan dalam tanah berbutir halus dengan klasifikasi MH yaitu lanau plastisitas tinggi, berdasarkan AASHTO sampel tanah masuk ke dalam kelompok A-5 merupakan tanah lempung dengan penilaian sedang sampai buruk. kuat tekan tanah kohesif dan tanah organik 10% yang di stabilisasi bakteri memiliki nilai kuat tekan sebesar 28,74 kN/ m³, atau meningkat 5 kali dari tanah yang tanpa stabilisasi bakteri, variasi 20% tanah organik 20.16 kN/m³, dan variasi 30 % nilai tekan 17.92 kN/m³, atau meningkat 9 kali dari tanah yang tanpa stabilisasi bakteri. Tanah yang tidak distabilisasi bakteri (<i>untreated</i>) relatif lebih rendah yaitu untuk variasi 10 % tanah organik dengan nilai kuat tekan 6.85 kN/m³, 20 % nilai kuat tekan 2.84 kN/m³, sedangkan 30% memiliki nilai kuat tekan 2.54 kN/m³. Penelitian di dilakukan dilaboratorium, perlu di lakukan pengembangan selanjutnya dengan melakukan pengujian lapangan (<i>full scale</i>) untuk melihat bagaimana perilaku bakteri ketika kondisi yang dinamis yaitu kemarau/panas dan



			<p>basah/hujan</p> <p>Perbedaan riset rencana :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variasi kedalaman - Tanah yang diklasifikasikan adalah lanau <p>Persamaan Riset rencana :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pengujian skala laboratorium
2.	Fadhiah I, Tri Harianto, Puspida Lisdiyanti. (2023)	<p>Studi Eksperimental Stabilisasi Biogrouting Bacillus Subtilis Pada Tanah Lempung Kepasiran</p> <p>http://repository.unh.ac.id/id/eprint/10126/</p>	<p>• Penelitian ini bertujuan untuk untuk menentukan komposisi optimum larutan bakteri Bacillus subtilis untuk stabilisasi tanah dan mengevaluasi karakteristik mekanis tanah yang telah distabilisasi dengan variasi larutan bakteri Bacillus subtilis dan larutan sementasi, dikombinasikan dengan variasi waktu pemeraman. Penelitian ini menggunakan beberapa tahap, yaitu penumbuhan bakteri Bacillus subtilis, pembuatan larutan sementasi, dan pencampuran dengan cara grouting. Untuk pengujian tanah standar SNI dan ASTM. Pengujian dilakukan dengan model fisik laboratorium dengan pengujian Kuat tekan bebas, Permeabilitas dan Geser langsung yang masing-masing cetakan dirancang dengan ukuran 7.2 cm x 3.6 cm, 6 cm x 6.4 cm dan 2cm x 6.4 cm. dengan penginjeksian bakteri sebesar 1 (satu), 2 (dua), 3 (tiga), dan 4 (empat) kali injeksi serta variasi pemeraman selama 3, 7, 14, 21 dan 28 hari. Dari hasil pengujian terhadap karakteristik mekanis (kuat tekan bebas, permeabilitas, dan geser langsung) didapatkan secara umum kadar optimum larutan bakteri Bacillus subtilis yang diinjeksikan ke dalam sampel tanah adalah empat kali (4) injeksi dengan masa pemeraman selama 28 hari. Dari hasil pengujian kuat tekan bebas didapatkan hasil peningkatan nilai kuat tekan terhadap nilai kuat tekan tanpa bakteri. Selanjutnya permeabilitas tanah yang distabilisasi dengan bakteri menunjukkan penurunan nilai koefisien permeabilitas. Kemudian hasil pengujian Geser langsung terjadi peningkatan nilai sudut geser seiring dengan penambahan volume bakteri kedalam sampel tanah.</p> <p>Perbedaan riset rencana :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perbedaan dimensi sampel kuat



			<p>tekan bebas</p> <p>Persamaan Riset rencana :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan tanah lempung
3.	<p>Andi Marini I, Gunaedy Utomo, Nurul Fitryani (2023)</p>	<p>Pengaruh Kultur Bakteri Pada Proses Biosementasi Tanah Laterit Terhadap Nilai CBR</p> <p>Vol. 11 No. 2 (2023): Media Ilmiah Teknik Sipil</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tanah laterit mempunyai tingkat pelapukan yang tinggi dan penyusutan yang tidak seragam. Jadi tanah ini tidak bagus untuk pekerjaan konstruksi. Biocementasi adalah suatu metode perbaikan tanah dengan memanfaatkan kemampuan bakteri yang pernah hidup di dalam tanah untuk melakukan proses MCIP (<i>Microbial-accud Calcite Precipitation</i>) yang diperoleh dari bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>. Stabilisasi biocementasi ini dapat meningkatkan kekuatan tanah dengan menambahkan bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> sebagai bahan aditif untuk menstabilkan tanah. Pengujian dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat mekanik tanah Laboratorium CBR, dengan cara mencampurkan 3% bakteri ke dalam tanah untuk menstabilkannya. Hasil pengujian menunjukkan nilai CBR Laboratorium Perendaman dengan kultur satu hari meningkat sebesar 4,8 kali lipat selama masa pemeraman 28 hari dan peningkatan nilai CBR Laboratorium Perendaman dengan kultur tiga hari meningkat hingga 4,9 kali lipat nilai CBR sebelum stabilisasi yaitu 19,5%. Hasil penelitian dengan stabilisasi menggunakan variasi bakteri 3% pada kultur satu hari meningkat menjadi 95% dan meningkat menjadi 96% pada kultur tiga hari. Sehingga dapat digunakan sebagai material tanah pondasi jalan pada kelas B <p>Perbedaan Riset rencana :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pengujian dengan menggunakan CBR - Penggunaan tanah yang berbeda <p>Persamaan riset rencana :</p> <p>Penggunaan bakteri <i>Bacillus Subtillis</i></p>
4.	<p>E. Andrew N. Sinambela, eva G. ndonuwu, ski R. I. grans (23)</p>	<p>Potensi Penggunaan Bacillus Subtilis Untuk Stabilisasi Tanah Bekas Tambang Emas</p> <p>Vol. 21 no. 86 (2023): tekno</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sifat-sifat fisik tanah bekas tambang yang menjadi objek penelitian adalah tanah pasir halus berlanau non kohesif dengan berat spesifik 2.556 dan kadar air sebagai sampel adalah 1.150 % • Penggunaan bakteri Bacillus Subtilis dalam bentuk larutan reagen bakteri dalam proses stabilisasi tanah dengan



			<p>cara mencampur secara langsung dengan sampel tanah (bioremediasi) dapat meningkatkan stabilitas tanah melalui peningkatan nilai kepadatan kering maksimum tanah asli adalah 1,947 t/m² meningkat menjadi 1.978 t/m² kepadatan maksimum tanah setelah distabilisasi dengan waktu peram 14 hari.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peningkatan kepadatan kering maksimum pada benda uji variasi campuran berbanding lurus dengan peningkatan waktu peram sampel uji. Hal ini terlihat dari data waktu peram 0 hari kepadatan kering maksimum adalah 1.950 t/m² , waktu peram 7 (tujuh) hari kepadatan kering maksimum adalah 1.961 t/m² dan pada waktu peram 14 (empat belas) hari kepadatan kering maksimum mencapai 1.978 t/m² . <p>Perbedaan riset rencana:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Penelitian skala lapangan <p>Persamaan riset rencana :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proses stabilisasi dengan mencampur langsung bakteri dengan tanah - Penggunaan bakteri <i>bacillus subtilis</i>
5.	Moch. Rahulhaq A (2023)	<p>Pengaruh stabilisasi tanah menggunakan bakteri bacillus subtilis terhadap nilai kuat tekan bebas</p> <p>M Alfaizi - 2023 - repository.unhas.ac.id</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Untuk mengetahui pengaruh penambahan bacillus subtilis terhadap nilai kuat tekan bebas dilakukan dengan variasi penambahan bacillus subtilis sebesar 4%, 6%, dan 8%. Serta masa pemeraman 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa penambahan variasi bakteri bacillus subtilis dan masa pemeraman pada tanah lanau dapat meningkatkan daya dukung tanah. Didapatkan nilai kuat tekan bebas tertinggi dengan penambahan bakteri yaitu pada variasi bakteri 6% dengan masa pemeraman 28 hari sebesar 1.07 MPa. <p>Perbedaan riset rencana :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Penambahan jumlah penggunaan bakteri <i>Bacillus Subtillis</i> yang berbeda-beda <p>Persamaan riset rencana :</p>



			<ul style="list-style-type: none"> - Penggunaan bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> - Pengujian dengan menggunakan kuat tekan bebas
6.	Putra, Ruzia Harmi (2021)	<p>Perbaikan Kuat Tekan Bebas Tanah Gambut Menggunakan Campuran Pasir Dan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> Dengan Teknik Bio-grouting.</p> <p>Matriks teknik sipil universitas sebelas maret vol 5, No 4 (2017) E-ISSN : 2723-4223</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tanah asli diambil di lokasi Desa Buana Makmur km 55, Kecamatan Dayun, Kabupaten Siak, sebagai bahan tambahan pasir, bakteri, dan CaCl₂ serta penghasil urua di Bandung. Metode pengujian penelitian ini mengacu pada prosedur ASTM (American Society for Testing and Materials) dan SNI. Benda uji dibuat dari tanah gambut dengan campuran pasir + 5% dari berat kering tanah gambut dengan menggunakan alat sondir yang dimodifikasi berbentuk silinder dan diameter 3,64 cm serta tinggi 10,75 cm² yang dibuat mengikuti standar pemadatan di kadar air optimum 157% dengan jumlah benda uji sebanyak 12 buah. • Uji kuat tekan bebas dilakukan setelah penambahan bakteri dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Data yang diperoleh dari hasil pengujian diolah dalam bentuk tabel dan grafik sesuai variasi penambahan bakteri. Hasil pengujian sifat fisik tanah asli menunjukkan bahwa tanah di Desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun Kabupaten Siak merupakan jenis tanah asli dengan kadar air 407,5% dan berat jenis (Gs) = 1,3. Dari hasil pengujian kuat tekan bebas sampel contoh tanah asli + pasir 5% dengan variasi campuran larutan sementasi bakteri dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Nilai kuat tekan bebas benda uji tanah asli + pasir 5% adalah 0,30 kg/cm², sedangkan dengan penambahan variasi bakteri 5% = 0,31 kg/cm², 10% = 0,31 kg/cm², 15% = 0,42 kg/cm², 20% = 41 kg/cm², dan 25% = 0,33 kg/cm². Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada penambahan larutan sementasi 15% sebanyak 0,42 kg/cm² contoh tanah asli + pasir 5% mempunyai nilai kuat tekan bebas sebesar 0,30 kg/cm². <p>Perbedaan riset rencana :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan variasi bakteri yang berbeda - Menggunakan jenis tanah yang



			berbeda Persamaan riset rencana : Menggunakan teknik <i>bio-grouting</i>
7.	Mawardi (2021)	Penambahan Mikroba <i>Bacillus Subtillis</i> dan Pasir untuk Stabilisasi tanah gambut http://repository.uir.ac.id/id/eprint/12074	<ul style="list-style-type: none"> • Permasalahan lahan gambut dalam dunia konstruksi memang tidak bisa dipungkiri lagi di era kekinian. Penurunan yang tinggi terjadi ketika pembebanan berimplikasi pada tanah gambut yang mempunyai nilai CBR dan daya dukung yang rendah. Hal ini menjadi urgensi agar mitigasi penyelesaian dapat segera dilakukan yang akan memberikan manfaat untuk saat ini dan di masa depan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan mikroba <i>Bacillus subtilis</i> dan pasir terhadap stabilisasi tanah gambut. Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui nilai CBR pada tanah gambut yang ditambahkan pasir sebanyak 5% dan reagen bakteri <i>Bacillus subtilis</i> dengan diversifikasi konsentrasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dengan keamanan sampel. waktu 4 hari. Teknik <i>bio-grouting</i> merupakan metode stabilisasi ramah lingkungan untuk menstabilkan tanah lunak dengan memanfaatkan mikroorganisme yang melibatkan induksi pengendapan kalsium karbonat (CaCO_3). Hasil penelitian diperoleh uji CBR tanpa rendam yang dicampur dengan reagen pasir 5% dan bakteri dengan konsentrasi masing-masing 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% diperoleh nilai CBR sebesar 0,78%, 0,79%, 0,8% . , 0,90%, 0,72% dan 0,62% sedangkan pada uji beban tekan diperoleh nilai kekuatan tekan sebesar 0,30 kg/cm², 0,31 kg/cm², 0,31 kg/cm², 0,42 kg/cm², 0,41 kg/cm², dan 0,33 kg/cm² . Oleh karena itu, nilai CBR dan nilai kekuatan tekan beban yang tinggi diperoleh pada reagen bakteri dengan konsentrasi 15%. Koefisien permeabilitas sebesar 1,6 cm/detik diperoleh pada tanah gambut yang telah dicampur dengan pasir 5% dan bakteri 25%. <p>Perbedaan riset rencana :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pengujian dengan CBR - Menggunakan tanah gambut <p>Persamaan riset rencana :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Penggunaan bakteri <i>Bacillus</i>



			<i>Subtilis</i> untuk menstabilisasi
8.	Rio Alvin Arfandy ,Tri Harianto, Sitti Hijraini Nur (2017)	Stabilisasi Tanah Ekspansive Dengan Metode Bioremediasi https://core.ac.uk/download/pdf/77630837.pdf	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilisasi tanah dengan mikroorganisme merupakan salah satu metode yang baik untuk diaplikasikan, karena metode tersebut ramah lingkungan. Tugas akhir ini membahas tentang salah satu tindakan stabilisasi tanah pada tanah ekspansif dengan mikroorganisme. Mikroorganisme yang digunakan ialah mikroorganisme lokal Indonesia dengan jenis <i>Bacillus Subtilis</i>. Karakteristik tanah yang dievaluasi dalam penelitian ini ialah karakteristik mekanik dengan melakukan pengujian kuat tekan bebas. Metode pelaksanaannya ialah melakukan pengujian pemadatan, kadar air, dan batas atterberg pada tanah ekspansive. Tanah ekspansive dicampurkan dengan bakteri dengan variasi jumlah larutan bakteri yang setelah itu juga diperam dengan variasi waktu yang berbeda. Variasi jumlah larutan yang digunakan ialah 8cc, 12cc, 15cc, 18cc, 21cc, 24cc dan 27cc dengan waktu pemeraman dari 3 hari, 7 hari hingga 14 hari. Hasil analisis yang diperoleh ialah nilai parameter kuat tekan bebas yang pada tanah ekspansive yang dicampurkan dengan <i>Bacillus Subtilis</i> mengalami peningkatan secara kontinu. Komposisi optimum yang diperoleh untuk menstabilkan tanah organic dengan <i>Bacillus S.</i> ialah pada variasi jumlah larutan 12cc dan waktu pemeraman 14 hari. Nilai parameter kuat tekan bebas yang diperoleh yaitu : = 0,930 gr/cm². <p>Perbedaan riset rencana :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan variasi jumlah larutan dengan variasi waktu yang berbeda <p>Persamaan riset rencana :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan bakteri <i>bacillus subtilis</i> -
9.	Hasriana, Lawalenna Samang, M. Sir Djide, Tri Harianto (2017)	Pengaruh penambahan bakteri (<i>Bacillus Subtilis</i>) pada tanah lunak terhadap karakteristik kuat tekan	<ul style="list-style-type: none"> • Menentukan karakteristik tanah lunak yangdicampur larutan konsentrasi bakteri bacillus subtilis dengan melakukan pengujian kuat tekan Unconfined Compression Test (UCT). • Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan optimum didapatkan pada



		<p>Konferensi Nasional Teknik Sipil 11 Universitas Tarumanagara, 26-27 Oktober 2017</p>	<p>penambahan larutan konsentrasi bakteri bacillus subtilis 6% dengan waktu pemeraman 28 hari.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peningkatan nilai kuat tekan dari 26 kN/m² menjadi 382,86 kN/m² atau sebesar 15 kali dari tanah tanpa stabilisasi. Hal ini menunjukkan penggunaan 24 larutan konsentrasi bakteri bacillus subtilis cukup signifikan meningkatkan nilai kuat tekan. <p>Perbedaan riset rencana :</p> <ul style="list-style-type: none"> - menggunakan 24 larutan konsentrasi bakteri <i>Bacillus Subtillis</i>. <p>Persamaan riset rencana :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan bakteri <i>Bacillus Subtillis</i> sebanyak 6% pemeraman 28 hari
10.	Thomas Edi Setianto (2016)	<p>Studi Pengaruh Mikrobakteri Terhadap Permeabilitas dan Kuat Geser Tanah Lempung dengan Variasi Waktu Pemeraman</p> <p>UNS-F. Teknik Jur. Teknik Sipil- I.1113086-2016</p>	<p>Nilai permeabilitas dan kuat geser memiliki keterkaitan yang sangat erat dengan stabilitas tanah. Jika di Indonesia pada umumnya bahan yang digunakan untuk material peningkatan stabilitas tanah adalah bahan kimia, namun pada penelitian ini penulis akan mencoba menganalisa penambahan mikrobakteri penghasil eksopolisakarida pada tanah lempung sebagai alternatif bahan tersebut. Hasil pengujian permeabilitas didapatkan prosentase penurunan nilai permeabilitas sampel hasil inokulasi Bacillus subtilis sebesar 67,18% dan sampel hasil inokulasi Pseudomonas sp sebesar 58,73% terhadap sampel natural sebagai kontrol. Sedangkan hasil pengujian kuat geser didapatkan prosentase peningkatan nilai kuat geser sampel hasil inokulasi Bacillus subtilis sebesar 79,57% dan hasil inokulasi Pseudomonas sp sebesar 70,97% terhadap sampel natural sebagai kontrol.</p> <p>Perbedaan riset rencana :</p> <p>Pengujian yang dilakukan adalah kuat geser</p> <p>Persamaan riset rencana :</p> <p>Menggunakan bakteri <i>Bacillus Subtillis</i> Menggunakan tanah lempung</p>

