

SKRIPSI

**STUDI KUAT GESER TANAH TERSTABILISASI BAKTERI
*BACILLUS SUBTILIS***

Disusun dan diajukan oleh:

MUTIARA

D011 19 1029



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI KUAT GESER TANAH TERSTABILISASI BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*

Disusun dan diajukan oleh

MUTIARA
D011 19 1029

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 14 Juni 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof.Dr.Ir.Abdul Rachman Djamaluddin, M.T
NIP. 195910101987031003

Pembimbing Pendamping,



Ir. Sitti Hijraini Nur, S.T.,M.T
NIP. 197711212005012001

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Mutiara
NIM : D011191029
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{STUDI KUAT GESER TANAH TERSTABILISASI BAKTERI
BACILLUS SUBTILIS }

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, Maret 2023

Yang Menyatakan



ABSTRAK

MUTIARA. *STUDI KUAT GESER TANAH TERSTABILISASI BAKTERI BACILLUS SUBTILIS* (dibimbing oleh Prof.Dr.Ir.Abd.Rachman Djamaluddin,MT dan Ir. Sitti Hijraini Nur, ST,MT).

Tanah mempunyai karakteristik yang berbeda-beda pada setiap lokasi sehingga tidak semua tanah baik digunakan sebagai tanah dasar suatu bangunan khususnya tanah kohesif. Banyaknya masalah yang terjadi dalam bidang konstruksi dikarenakan dengan tanah yang bermasalah seperti daya dukung tanah dan kuat geser tanah yang rendah. Adapun cara untuk meningkatkan Kuat Geser Tanah yaitu dengan metode stabilisasi tanah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap sifat mekanis pada tanah. Metode stabilisasi dengan menggunakan bakteri *bacillus subtilis* lebih ramah lingkungan karena memanfaatkan jalur metabolisme bakteri untuk membentuk kalsit.

Pengujian *Direct Shear Test* dipilih sebagai metode untuk menguji kekuatan geser tanah yang telah distabilisasi pada penelitian ini. Stabilisasi tanah dilakukan dengan variasi penambahan larutan bakteri mulai dari 4%, 6%, dan 8% terhadap berat sampel, dimana kultur bakteri yang digunakan adalah kultur 3 hari. Sampel dibentuk dengan menggunakan ring berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter dan tinggi 6 x 2 cm. Sampel yang telah dibuat dengan variasi campuran bakteri yang telah ditentukan kemudian diperam selama 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.

Dari hasil penelitian, diperoleh bahwa penambahan variasi bakteri *bacillus subtilis* dan masa pemeraman pada tanah dapat meningkatkan nilai kuat geser tanah. Didapatkan nilai Kuat geser Tertinggi dari ketiga variasi penambahan bakteri yaitu pada variasi penambahan bakteri 6% dengan masa pemeraman 28 hari sebesar 161.88 kN/m².

Kata Kunci : Tanah, Kuat Geser,*Bacillus Subtilis*.

ABSTRACK

MUTIARA. STUDY OF SHEAR STRENGTH SOIL STABILIZED WITH BACTERIA BACILLUS SUBTILIS (dibimbing oleh Prof.Dr.Ir.Abd.Rachman Djamaluddin,MT dan Ir. Sitti Hijraini Nur, ST,MT).

Soil has different characteristics at each location so that not all soil is good for use as a subgrade for a building, especially cohesive soil. Many of the problems that occur in the field of construction are due to problematic soils such as soil bearing capacity and low soil shear strength. The way to increase the shear strength of the soil is the soil stabilization method.

This study aims to determine the effect of Bacillus Subtilis bacteria on the mechanical properties of soil. The stabilization method using the bacillus subtilis bacteria is more environmentally friendly because it utilizes the bacterial metabolic pathway to form calcite.

The Direct Shear Test was chosen as a method for testing the shear strength of the stabilized soil in this study. Soil stabilization was carried out by varying the addition of bacterial solutions starting from 4%, 6%, and 8% of the sample weight, where the bacterial culture used was a 3 day culture. Samples were formed using a circular ring with a diameter and height of 6 x 2 cm. Samples that have been prepared with a variety of predetermined bacterial mixtures are then aged for 7 days, 14 days, and 28 days.

From the research results, it was found that the addition of variations of the bacillus subtilis bacteria and the curing period in the soil can increase the value of the soil shear strength. The highest shear strength value was obtained from the three variations of the addition of bacteria, namely the variation of the addition of 6% bacteria with a curing period of 28 days of 161,88 kN/m².

Keywords: Soil, Shear Strength, Bacillus Subtilis.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	<i>iv</i>
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
KATA PENGANTAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan	3
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi Perancangan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Definisi Tanah	5
2.2 Kadar Air	6
2.3 Berat Jenis	7
2.4 Analisis Ukuran Butiran	7
2.5 Batas-batas Atterberg	9
2.5.1 Batas Cair	10
2.5.2 Batas Plastis.....	10
2.5.3 Batas Susut	10
2.6 Pemadatan Tanah	11
2.7 Klasifikasi Tanah	12
2.7.1 Klasifikasi berdasarkan Tekstur	13
2.7.2 Klasifikasi berdasarkan Pemakaian	14
2.8 Karakteristik Tanah Lanau	18
2.9 Stabilisasi Tanah	19
2.10 Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	21
2.11 Kuat Geser Langsung	23
2.12 Penelitian Terdahulu	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1 Lokasi Penelitian	28
3.2 Metode Pengumpulan Data	28
3.3 Kerangka Alir Penelitian	29
3.3.1 Material	30

3.3.2 Tanah Asli	30
3.3.3 Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	31
3.4 Peralatan Laboratorium	31
3.5 Standar Pengujian	33
3.6 Pengujian Karakteristik Tanah Asli	33
3.7 Optimalisasi Bahan Stabilisator	34
3.8 Pengujian Sampel	35
3.8.1 Uji Sifat Fisis	35
3.8.2 Uji Sifat Mekanis	38
3.9 Kultur Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	39
3.10 Proses Pembuatan Benda Uji	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Karakteristik Fisik dan Mekanis Tanah	43
4.1.1 Karakteristik Sifat Fisik Tanah	43
4.1.2 Karakteristik Sifat Mekanis Tanah	48
4.2 Karakteristik Hasil Pengujian Geser Langsung terhadap Penambahan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	51
BAB V PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	
LAMPIRAN 1. DOKUMENTASI	
LAMPIRAN 2. DATA	

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai berat jenis tanah	7
Tabel 2 . Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah	10
Tabel 3. Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO	15
Tabel 4. Sistem Klasifikasi Tanah Unified (USCS)	17
Tabel 5. Alat yang digunakan dalam Pengujian Sifat fisis	31
Tabel 6. Alat yang digunakan dalam Pengujian Sifat Mekanis	32
Tabel 7. Standar Pengujian Sifat Fisis Tanah Berdasarkan ASTM	33
Tabel 8. Standar Pengujian Mekanis Tanah Berdasarkan ASTM	33
Tabel 9. Jumlah Benda uji untuk Pengujian tanah asli	34
Tabel 10. Variasi Persentase Komposisi Bahan Stabilisasi	34
Tabel 11. Komposisi bahan kultur bakteri <i>bacillus subtilis</i>	39
Tabel 12. Tabel Hasil Pengujian Berat Jenis	43
Tabel 13. Tabel klasifikasi tanah menurut AASHTO	46
Tabel 14. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Asli	50
Tabel 15. Hubungan tegangan normal dan tegangan geser dengan variasi penambahan bakteri dengan masa pemeraman 7 Hari	51
Tabel 16. Hubungan tegangan normal dan tegangan geser dengan variasi penambahan bakteri dengan masa pemeraman 14 Hari	51
Tabel 17. Hubungan tegangan normal dan tegangan geser dengan variasi penambahan bakteri dengan masa pemeraman 28 Hari.	52
Tabel 18. Nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah pada tiap variasi penambahan bakteri masa pemeraman 7 hari	53
Tabel 19. Nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah pada tiap variasi penambahan bakteri masa pemeraman 14 hari	53
Tabel 20. Nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah pada tiap variasi penambahan bakteri masa pemeraman 28 hari.	54
Tabel 21. Nilai Kuat geser tanah terstabilisasi Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> Tiap Masa Pemeraman (kN/m ²)	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Grafik penentuan gradasi butiran	8
Gambar 2. Grafik untuk menentukan batas cair	9
Gambar 3. Klasifikasi Berdasarkan Tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)	13
Gambar 4. Grafik Klasifikasi tanah berdasarkan AASTHO	15
Gambar 5 . Kurva Pertumbuhan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	23
Gambar 6. Skema pengujian geser langsung	24
Gambar 7. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah	28
Gambar 8. Tanah Asli	30
Gambar 9. Larutan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	31
Gambar 10. Bahan yang digunakan dalam pembuatan Kultur bakteri <i>bacillus subtilis</i>	40
Gambar 11. Sampel Tanah	40
Gambar 12. Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	41
Gambar 13. Air sebagai Bahan Campuran sampel	41
Gambar 14. Sampel yang siap di cetak	41
Gambar 15. Memasukkan sampel ke dalam ring cetak	42
Gambar 16. Pemadatan sampel dengan Alat Hidrolik	42
Gambar 17. Sampel yang telah dicetak	42
Gambar 18. Grafik Hasil Pengujian Batas Cair	44
Gambar 19. Grafik Gradasi Butiran	45
Gambar 20. Penggolongan Klasifikasi Tanah Asli Menurut Sistem USCS	46
Gambar 21. Grafik Hubungan antara kadar air dan Berat isi tanah kering	48
Gambar 22. Grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser	49
Gambar 23. Grafik Hubungan nilai shear stress dan shear deformation Pada Tanah Asli	50
Gambar 24. Grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser pada masa pemeraman 7 Hari	52
Gambar 25. Grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser pada masa pemeraman 14 Hari	52
Gambar 26. Grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser pada masa pemeraman 14 Hari	53
Gambar 27. Grafik perubahan nilai kohesi pada penambahan bakteri tiap masa pemeraman.	54
Gambar 28. Grafik perubahan nilai Sudut Geser Dalam pada penambahan bakteri tiap masa pemeraman.	54
Gambar 29. Nilai Kuat Geser Tanah tiap masa pemeraman	55

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “STUDI KUAT GESER TANAH TERSTABILISASI BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*” yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tugas akhir ini memerlukan proses yang tidak singkat. Perjalanan yang dilalui penulis dalam menyelesaikan skripsi ini tidak lepas dari tangan-tangan berbagai pihak yang senantiasa memberikan bantuan, baik berupa materi maupun dorongan moril. Olehnya itu, ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada:

1. **Bapak Prof Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST.,MT.,IPM., ASEAN.Eng.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.,** selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. **Bapak Prof.Dr.Rahman Djamaluddin.MT** selaku Kepala Laboratorium Mekanika Tanah serta dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Ibu Ir. Sitti Hijraini Nur,ST.,MT** Selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu serta memberikan bimbingan, saran dan juga nasehat sejak awal penelitian hingga penyelesaian tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya tercinta yaitu, ayahanda Aswan dan ibunda Hasnah atas kasih sayang yang tiada henti serta segala dukungannya selama ini, baik spiritual maupun materil karena penulis tidak akan mampu sampai di titik ini tanpa dukungan, nasihat, motivasi serta do’a yang tiada hentinya terpanjatkan kepada Allah SWT.
2. Pak Rokhman, Kk Januart, Kk Sinvelter, dan Kk Rahul yang telah banyak membantu dan senantiasa menemani proses penelitian hingga selesai.
3. Keluarga besar Laboratorium Mekanika Tanah, Kak Zainal, sara, Upi, Jaemshon, Sultan, Yayat, Yusril, Megumi, Aisa, Melda, Danti, Nusrah, Kelvin.

4. Kepada dua saudariku Sara dan Upi yang senantiasa menemani, berbagi suka duka, saling memberi dukungan dan motivasi, serta bertukar pikiran selama menjadi asisten mekanika tanah.
5. Teman-teman KKD Geoteknik, yang telah memberikan semangat serta saran dan masukan selama melakukan penelitian.
6. Teristimewa Nia, Mimi, dan Lisa yang telah senantiasa menemani di setiap kondisi selama berkuliah, berbagi suka duka, saling memberi dukungan dan motivasi, serta bertukar pikiran.
7. Teman-teman DS yang memberikan warna yang begitu indah, semangat dan dorongan selama proses perkuliahan.
8. Sahabatku yang tersayang aisyah dan fitri yang selalu memberikan semangat dan juga masukan hingga menyelesaikan Tugas Akhir Ini.
9. Saudara-saudariku **Portland 2020**, yang telah memberikan warna dalam proses perjalananku, selalu berbagi cerita, menghadirkan canda tawanya, terus menjadi penyemangat dan pengapresiasi garda terdepan penulis serta senantiasa berproses bersama selama menempuh perkuliahan.
10. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu dengan semua bantuan, dan dukungan hingga terselesainya skripsi ini

Tidak ada kata yang dapat penulis gambarkan atas rasa terima kasih penulis kepada semua pihak, dan semoga Tuhan yang Maha Kuasa senantiasa melimpahkan berkat dan rahmat-Nya pada kita semua. Akhir kata penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, sehingga penulis berharap masukan dari semua pihak. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Gowa, Maret 2023

Hormat Saya,

Mutiara

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam Pekerjaan teknik sipil, tanah mempunyai peranan yang sangat penting, karena menjadi faktor penentu keberhasilan suatu konstruksi. Tanah berfungsi sebagai penahan beban akibat konstruksi di atas tanah yang harus bisa memikul seluruh beban bangunan dan beban lainnya kemudian dapat meneruskannya ke dalam tanah sampai kelapisan atau kedalaman tertentu. Banyaknya permasalahan pada bangunan yang terjadi karena tidak memperhatikan kondisi tanah pada konstruksi tersebut dibangun.

Tanah mempunyai karakteristik yang berbeda-beda sehingga tidak semua tanah baik digunakan sebagai tanah dasar suatu bangunan. Beberapa Jenis tanah tertentu dapat menimbulkan masalah, seperti tanah yang memiliki daya dukung dan kuat geser yang rendah sehingga akan berpengaruh pada terbatasnya beban (beban sementara ataupun beban tetap) yang dapat dipikul oleh suatu konstruksi serta dapat mengakibatkan terjadinya penurunan setelah pembangunan selesai. Untuk itu, dalam perencanaan suatu konstruksi harus dilakukan penyelidikan terhadap karakteristik dan kekuatan tanah tersebut. Tanah dasar yang baik dan stabil merupakan syarat bagi kemampuan konstruksi dalam memikul beban di atasnya, Adapun Usaha-usaha untuk memperbaiki sifat tanah yang buruk adalah dengan metode perbaikan tanah atau sering disebut dengan stabilisasi tanah.

Stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu (Hardiyatmo, 2017). Prinsip dasar dari teknik perbaikan tanah yaitu untuk meningkatkan sifat-sifat properties dari tanah sesuai dengan tujuan perbaikan yang diinginkan. Untuk meningkatkan daya dukung dan kuat geser tanah maka parameter tanah perlu diperbaiki seperti berat volume tanah (γ), Kohesi tanah (C), dan sudut geser dalam tanah (ϕ). Stabilisasi Tanah dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu stabilisasi mekanis dengan cara memadatkan tanah dengan menggunakan peralatan mekanis dan stabilisasi kimiawi dengan mencampur tanah dengan bahan kimia. Seiring dengan perkembangan dalam konstruksi memunculkan banyak ide atau inovasi baru yang digunakan. Namun, jika ditinjau dari segi bahan, kebanyakan

menggunakan bahan stabilisasi yang dapat mencemari lingkungan. Untuk itu perlu dilakukan perbaikan tanah dengan menggunakan bahan yang ramah lingkungan, efektif dan juga mendukung konsep pembangunan berkelanjutan (*Sustainable development*) yaitu dengan memanfaatkan mikroorganisme bakteri *Bacillus subtilis*. *Bacillus Subtilis* dapat hidup secara anaerob dalam kondisi yang ditentukan sehingga dapat membentuk endospore yang tahan stress, tahan terhadap paparan panas, radiasi, bahan kimia dan tahan pengeringan. Selain itu, Bakteri *Bacillus Subtilis* memiliki fisiologi yang relatif berbeda dari bakteri lain yaitu relative mudah dibiakkan sehingga dapat dikembangkan pada skala Industri, ekonomis, dan juga ramah lingkungan. Penambahan bakteri *Bacillus subtilis* sebagai bahan stabilisasi tanah mampu menghasilkan enzim yang dapat mendorong pembentukan kalsit atau Kristal kalsium karbonat sebagai pengikat antar partikel tanah yang dapat mengisi pori-pori atau ruang kosong pada tanah sehingga dapat meningkatkan kapasitas daya dukung termasuk kuat geser tanah. Untuk itu, penelitian ini bermaksud melihat kuat geser tanah yang distabilisasi dengan bakteri *Bacillus Subtilis*.

Berdasarkan uraian tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “**STUDI KUAT GESER TANAH TERSTABILISASI BAKTERI BACILLUS SUBTILIS.**”

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang diatas, berikut ini merupakan rumusan masalah yang akan dibahas :

1. Bagaimana parameter fisis dan mekanis tanah yang digunakan pada penelitian?
2. Bagaimana Pengaruh Variasi Penambahan *Bakteri Bacillus Subtilis* terhadap Kuat Geser Tanah?
3. Bagaimana pengaruh masa pemeraman terhadap nilai kuat geser tanah terstabilisasi *Bacillus Subtilis* ?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui parameter fisis dan mekanis tanah yang digunakan untuk penelitian.
2. Mengetahui Pengaruh Variasi Penambahan *Bakteri Bacillus Subtilis* terhadap Kuat Geser Tanah?
3. Mengetahui pengaruh masa pemeraman terhadap nilai Kuat Geser Tanah yang terstabilisasi *Bacillus Subtilis*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan pada penelitian ini yaitu :

1. Dapat memberikan wawasan dan pengetahuan kepada para pembaca mengenai karakteristik dan Klasifikasi tanah.
2. Dapat mengetahui perbaikan kuat geser tanah menggunakan bahan tambah bakteri *bacillus subtilis* dengan variasi yang berbeda.
3. Memberikan salah satu alternative untuk meningkatkan daya dukung tanah khususnya dalam bidang konstruksi sipil.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka penelitian ini dibatasi pada:

1. Penelitian ini adalah penelitian skala laboratorium.
2. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah asli yang berlokasi di Jalan Poros Palangga, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.
3. Pengujian dilakukan terhadap variasi penambahan bakteri *Bacillus Subtilis*.
4. Penelitian ini hanya meneliti sifat fisis dan sifat mekanis, tidak meneliti unsur kimia tanah tersebut.
5. Sifat-sifat fisis dan mekanis tanah asli yang diuji adalah:
 - a. Pengujian Berat Jenis

- b. Pengujian Kadar Air
 - c. Pengujian Batas-Batas Atterberg
 - d. Pengujian Analisa Saringan dan Hidrometer
 - e. Pengujian Pematatan (Kompaksi)
 - f. Pengujian *direct shear* (Uji Geser Langsung)
6. Sifat mekanis tanah dengan bahan tambah Bakteri *Bacillus Subtilis* yang diuji adalah Pengujian kuat geser Langsung (*direct shear Test*).
 7. Persentase berat campuran yang di uji adalah 4%, 6%, 8% ,terhadap berat tanah dengan kadar air mula-mula
 8. Waktu pemeraman setelah pencampuran tanah dengan *bakteri bacillus Subtilis* adalah 7 hari, 14 hari, dan 28 hari dengan kondisi laboratorium.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 DEFINISI TANAH

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).

Tanah merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relative lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara maupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka tanah ini disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (*transported soil*). (Hardiyatmo, 2017).

Adapun pengelompokan jenis tanah dalam praktek berdasarkan campuran butir yaitu :

- a. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang sebagian besar butir-butir tanahnya berupa pasir dan kerikil.
- b. Tanah berbutir halus adalah tanah yang sebagian besar butir-butir tanahnya berupa lempung dan lanau.
- c. Tanah organik adalah tanah yang cukup banyak mengandung bahan-bahan organik.

Sedangkan berdasarkan sifat lekatannya, tanah dikelompokkan menjadi:

- a. Tanah kohesif yaitu tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya (mengandung lempung cukup banyak).
- b. Tanah Non Kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butir-butirnya (hampir tidak mengandung lempung misalnya pasir).

2.2 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 (1) yaitu :

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

Dimana :

W = Kadar air (%)

W1 = Berat cawan + tanah basah (gram)

W2 = Berat Cawan + tanah kering oven (gram)

W3 = Berat Cawan (gram)

(W1-W2)= Berat air (gram)

(W2-W3) = Berat tanah kering partikel padat (gram)

Pada Pengujian kadar air ini relative berbeda-beda tergantung jenis dan keadaan daerah. Beberapa sifat yang mempengaruhi kadar air seperti plastisitas tanah dan juga konsistensi tanah tersebut.

2.3 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 40C. (Hardiyatmo,2012) . Nilai berat jenis partikel tanah dapat dilihat pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Nilai berat jenis tanah

Macam Tanah	Berat Jenis Gs
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

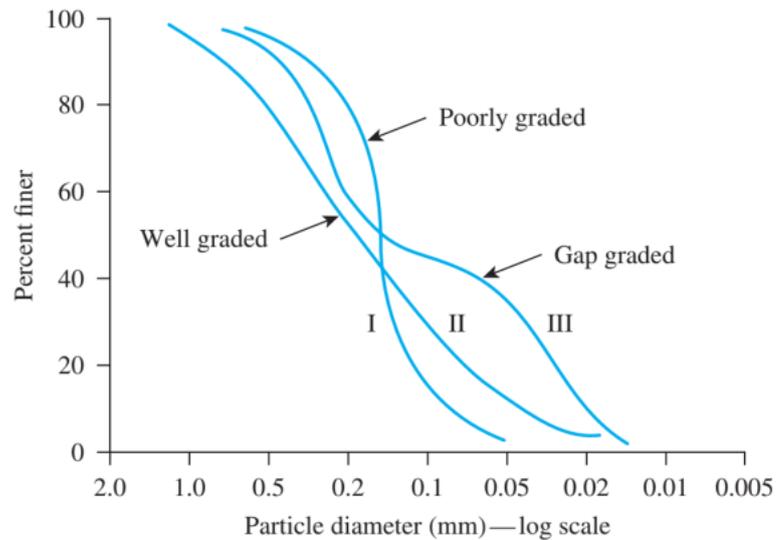
2.4 ANALISIS UKURAN BUTIRAN

Menurut (Bowles 1984:45) Ukuran butiran tanah tergantung pada diameter partikel-partikel tanah yang membentuk masa tanah itu. Ukuran butiran ditentukan melalui penyaringan sejumlah tanah menggunakan seperangkat atau set saringan ayakan yang disusun dengan diameter lubang paling besar di tempatkan paling atas, dan semakin ke bawah makin kecil hingga PAN.

Metode yang digunakan untuk menentukan ukuran butiran dari contoh tanah tersebut adalah metode analisa ayakan atau analisa saringan dan metode analisa hydrometer.

1. Analisa Saringan

Menurut (Das 1995) Analisa saringan merupakan proses menggetarkan contoh tanah melalui satu set saringan yang memiliki diameter lubang-lubang makin kecil secara berurutan. Setelah beberapa waktu proses analisa saringan, timbang berat tanah yang tertahan pada setiap nomor saringan Hasil dari analisa saringan tersebut dinyatakan dalam persentase dari berat total contoh tanah tersebut.



Gambar 1. Grafik penentuan gradasi butiran
(Sumber : Das, 1995)

2. Analisa Hydrometer

Menurut (Das 1995) Analisa hydrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butiran-butiran tanah dalam air. Analisis hydrometer ini bertujuan untuk mengetahui pembagian ukuran butiran tanah yang berbutir halus. Jika suatu contoh tanah yang dilarutkan dalam cairan, kecepatan mengendap partikel-partikel tanah berbeda-beda tergantung pada berat, bentuk dan ukurannya. Semua partikel tanah tersebut berbentuk bola (bulat) dan kecepatan mengendap partikel-partikel tersebut dinyatakan dalam hukum Stokes dengan menggunakan persamaan (2) sebagai berikut

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

dimana :

v = kecepatan pengendapan

γ_s = berat volume partikel tanah

γ_w = berat volume air

η = kekentalan air

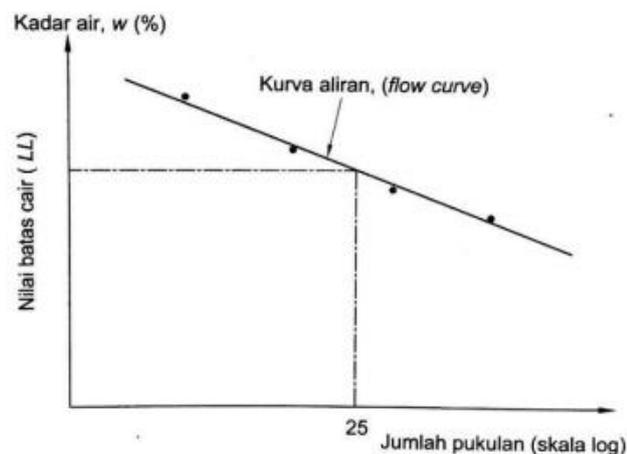
D = diameter partikel tanah

2.5 BATAS –BATAS ATTERBERG

Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Pada konsistensi bergantung pada gaya tarik antara partikel mineral lempung. Atterberg pada tahun 1911 memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah yang bervariasi. Batas-batas tersebut dinamakan batas cair (*Liquid Limit*), batas plastis (*Plastic Limit*), dan batas susut (*Shrinkage Limit*).

2.5.1 Batas Cair / *Liquid limit* (LL)

Batas cair (LL) adalah keadaan dimana kadar air tanah pada kondisi tanah mulai berubah dari keadaan plastis menjadi cair atau sebaliknya yaitu batas antara keadaan cair dan keadaan plastis atau juga batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari uji Casagrande, kemudian dihubungkan kadar air dan jumlah pukulan yang didapatkan dari hasil pengujian menggunakan alat Casagrande digambarkan dalam grafik semi logaritmik untuk menentukan kadar air pada 25 kali pukulan.



Gambar 2. Grafik untuk menentukan batas cair

(Sumber : Hardiyatmo,2010)

2.5.2 Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL) adalah keadaan dimana kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu presentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm tanah mulai retak-retak ketika digulung.

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dengan batas plastis. Indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisitasan suatu tanah. Hal ini disebabkan oleh PI yang merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Untuk menghitung nilai plastisitas indeks dapat digunakan rumus persamaan (3) sebagai berikut :

$$PI = LL - PL \quad (3)$$

Keterangan :

PI = Indeks plastisitas (%)

LL= Batas cair (%)

PL= Batas plastis (%)

Tabel 2 . Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

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

Sumber : Hardiyatmo,2010

2.5.3 Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (SL) adalah keadaan dimana kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu presentase pengurangan kadar air yang selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Pada percobaan batas susut dilakukan dengan cawan porselen diameter 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. Pada bagian dalam cawan porselen dilapisi dengan pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna, kemudian dikeringkan dengan oven.. Selama proses pengeringan, akan sampai pada suatu kondisi dimana pengeringan akan mengurangi kandungan air tetapi tidak mengurangi volume. Volume ditentukan dengan cara mencelupkan dengan air raksa. Kadar air pada tanah,saat penurunan volume akan berhenti itulah yang dinamakan batas susut.

2.6 PEMADATAN TANAH (KOMPAKSI)

Menurut (Hardiyatmo 2017) Tanah berfungsi sebagai bahan pendukung pondasi bawah suatu bangunan, dan juga digunakan sebagai bahan timbunan seperti: tanggul, bendungan dan badan jalan. Pemadatan tanah adalah suatu proses memadatkan partikel tanah sehingga terjadi pengurangan volume udara dan volume air dengan memakai cara mekanis. Pemadatan dilakukan bila tanah dilapangan membutuhkan perbaikan untuk mendukung konstruksi di atasnya, atau tanah akan digunakan sebagai bahan timbunan. Maksud dari pemadatan tanah adalah sebagai berikut;

1. Menambahkan nilai kuat geser tanah,
2. Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas),
3. Mengurangi sifat permeabilitas,
4. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air dan lain-lainnya.

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.

Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_w) dan kadar air (ω), dinyatakan dalam Persamaan 4 berikut ini.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{1+\omega} \quad (4)$$

Keterangan :

γ_d = Berat isi tanah kering (gram/cm³)

γ_w = Berat isi air (gram/cm³)

ω = Kadar air (%)

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. Pada kadar air yang tinggi, berat volume air akan berkurang. Bila seluruh udara di dalam tanah dipaksa keluar pada saat pemadatan, tanah akan berada dalam kedudukan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum.

2.7 KLASIFIKASI TANAH

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok - subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan dengan tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas tanah. Walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tanah, tetapi tidak ada satupun dari sistem-sistem tersebut yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat tanah yang sangat bervariasi. (Das 1995).

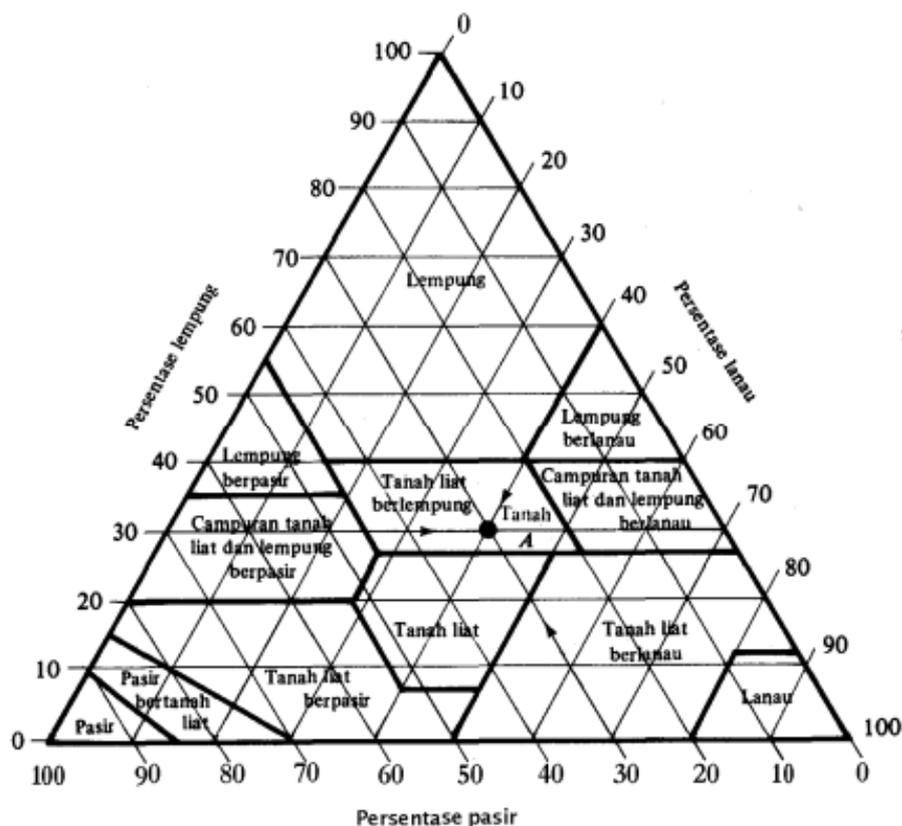
Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (dan uji sedimentasi) dan plastisitas. (Hardiyatmo, 2017).

Das (1995) menjelaskan dua jenis klasifikasi tanah yaitu klasifikasi tanah berdasarkan tekstur dan klasifikasi tanah berdasarkan pemakaian.

2.7.1 KLASIFIKASI TANAH BERDASARKAN TEKSTUR

Dalam arti umum, yang dimaksud dengan tekstur tanah adalah keadaan permukaan tanah yang bersangkutan. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah. Gambar 3 membagi tanah dalam beberapa kelompok: kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*), atas dasar ukuran butir-butirnya. Pada umumnya, tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Dalam sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur, tanah diberi nama atas dasar komponen utama yang dikandungnya yaitu :

- Pasir: butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm
- lanau: butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm
- lempung: butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm



Gambar 3. Klasifikasi Berdasarkan Tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) (Das, 1995)

2.7.2 KLASIFIKASI BERDASARKAN PEMAKAIAN

Pada saat sekarang ada lagi dua buah sistem klasifikasi tanah yang selalu dipakai oleh para ahli teknik sipil. Kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butir dan batas-batas Atterberg. Sistem-sistem tersebut adalah: Sistem Klasifikasi AASHTO dan Sistem Klasifikasi Unified. Sistem klasifikasi AASHTO pada umumnya dipakai oleh departemen jalan raya di semua negara bagian di Amerika Serikat. Sedangkan sistem klasifikasi Unified pada umumnya lebih disukai oleh para ahli geoteknik untuk keperluan-keperluan teknik yang lain.

a. Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Association Of State Highway and Transportation Official*)

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai Public Road Administration Classification System. Sistem klasifikasi AASHTO yang dipakai saat ini diberikan dalam Tabel 1. Pada sistem ini, tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini:

1. Ukuran butir

Kerikil: bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 20 (2 mm).

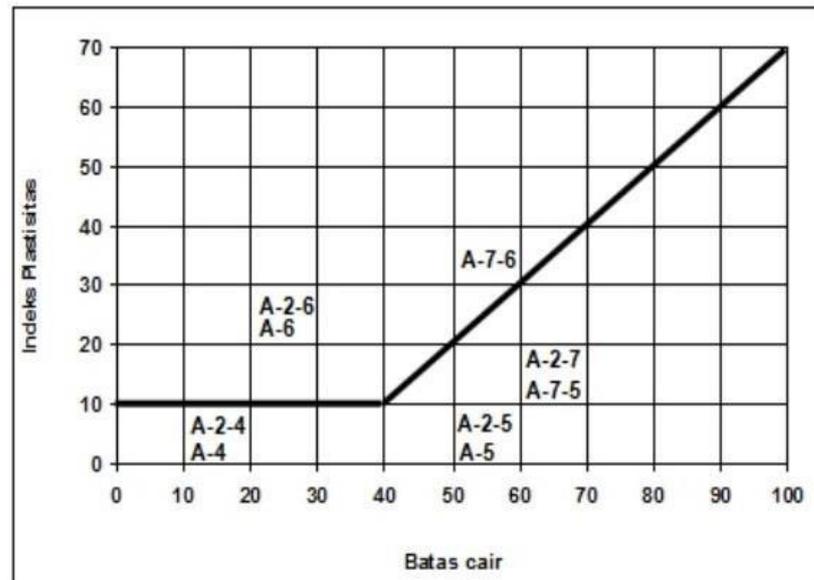
Pasir: bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm).

Lanau dan lempung: bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

2. Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas [plasticity index (PI)] sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah memiliki indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih.

Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat. Gambar 2 menunjukkan gambaran daerah yang berhubungan dengan batas cair dengan indeks plastisitas tanah yang termasuk dalam kelompok-kelompok: A-2, A-4, A-5, A-6 dan A-7.



Gambar 4. Grafik Klasifikasi tanah berdasarkan AASTHO (Das 1995)

Tabel 3. Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO (Das 1995)

Klasifikasi tanah	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A - 1		A - 3	A - 2			
Klasifikasi kelompok	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7
Analisa ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Maks.50 Maks.30 Maks.15	Maks.50 Maks.25	Maks.51 Maks.10	Maks.35	Maks.35	Maks.35	Maks.35
Sifat fraksi yang lolos Ayakan No.40 Batas cair (LL) Indeks plastisitas (PI)	Maks. 6		NP	Maks.40 Maks.10	Min. 41 Maks.10	Maks.40 Min. 11	Min. 41 Min. 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlannau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

Klasifikasi tanah	Tanah lanau - lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)			
	A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7-5* A - 7-6**
Analisa ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Min. 36	Min. 36	Min. 36	Min. 36
Sifat fraksi yang lolos Ayakan No.40 Batas cair (LL) Indeks Plastisitas (IP)	Maks. 40 Maks. 10	Min. 41 Maks. 10	Maks. 40 Min. 11	Min. 41 Min. 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

* A-7-5, $PI \leq LL - 30$

** A-7-6, $PI > LL - 30$

b. Sistem Klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*)

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh The Army Corps of Engineers selama Perang Dunia II. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu:

- a) Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu: tanah kerikil dan pasir di mana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (gravel) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
- b) Tanah berbutir halus (*finer-grained-soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau-organik dan lempung-organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), muck, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS adalah:

W = *well graded* (tanah dengan gradasi baik)

P = *poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk)

L = *low plasticity* (plastisitas rendah) (LL<50)

H = *high plasticity* (plastisitas tinggi) (LL>50)

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti: GW, GP, GM, GC, SC, SP, SM, dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, faktor-faktor berikut ini perlu diperhatikan:

- a) Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (ini adalah fraksi halus)
- b) Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40
- c) Koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*, C_u) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient*, C_c) untuk tanah dimana 0-12% lolos ayakan No. 200)
- d) Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah di mana 5% atau lebih lolos ayakan No. 200). Adapun Pengelompokan sistem Klasifikasi USCS dapat dilihat pada tabel(4) sebagai berikut :

Tabel 4. Sistem Klasifikasi Tanah Unified (USCS)

UNIFIED SOIL CLASSIFICATION AND SYMBOL CHART		LABORATORY CLASSIFICATION CRITERIA	
COARSE-GRAINED SOILS (more than 50% of material is larger than No. 200 sieve size.)			
Clean Gravels (Less than 5% fines)			
GRAVELS More than 50% of coarse fraction larger than No. 4 sieve size	GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 4; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ between 1 and 3
	GP	Poorly-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	
Gravels with fines (More than 12% fines)			
	GM	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	Above "A" line with P.I. between 4 and 7 are borderline cases requiring use of dual symbols
	GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures	
SANDS 50% or more of coarse fraction smaller than No. 4 sieve size			
Clean Sands (Less than 5% fines)			
	SW	Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 4; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ between 1 and 3
	SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines	
Sands with fines (More than 12% fines)			
	SM	Silty sands, sand-silt mixtures	Limits plotting in shaded zone with P.I. between 4 and 7 are borderline cases requiring use of dual symbols.
	SC	Clayey sands, sand-clay mixtures	
FINE-GRAINED SOILS (50% or more of material is smaller than No. 200 sieve size.)			
SILTS AND CLAYS Liquid limit less than 50%	ML	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty of clayey fine sands or clayey silts with slight plasticity	Determine percentages of sand and gravel from grain-size curve. Depending on percentage of fines (fraction smaller than No. 200 sieve size), coarse-grained soils are classified as follows: Less than 5 percent GW, GP, SW, SP More than 12 percent GM, GC, SM, SC 5 to 12 percent Borderline cases requiring dual symbols
	CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays	
	OL	Organic silts and organic silty clays of low plasticity	
SILTS AND CLAYS Liquid limit 50% or greater	MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts	
	CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays	
	OH	Organic clays of medium to high plasticity, organic silts	
HIGHLY ORGANIC SOILS	PT	Peat and other highly organic soils	
		PLASTICITY CHART	

(Sumber : Hardiyatmo, 2017)

2.8 KARAKTERISTIK TANAH LANAU

Lanau merupakan tanah atau butiran penyusun tanah/batuan yang mempunyai ukuran di selang pasir dan lempung yang berukuran lebih 15 kecil dari 0,074 mm (No. 200). Tanah lanau biasanya terbentuk dari pecahnya kristal kuarsa berukuran pasir. Beberapa pustaka berbahasa Indonesia menyebut objek ini sebagai debu. Lanau dapat membentuk endapan yang mengapung di permukaan air maupun yang tenggelam. Pemecahan secara alami melibatkan pelapukan batuan dan regolit secara kimiawi maupun pelapukan secara fisik melalui embun beku (*frost haloclasty*). Proses utama melibatkan abrasi, baik padat (oleh gletser), cair (pengendapan sungai), maupun oleh angin. Di wilayah setengah kering produksi lanau biasanya cukup tinggi. Lanau yang terbentuk secara glasial dalam bahasa Inggris terkadang disebut *rock flour* atau *stone dust*. Secara komposisi mineral, lanau tersusun dari kuarsa feldspar (Ajeng dan Yusuf, 2020).

Berdasarkan klasifikasi AASTHO dan USCS sifat tanah berbutir halus yang mempunyai batas cair dan indeks plastis terletak di bawah garis A dan lempung berada di atas garis A. Kelompok ML dan MH adalah tanah yang diklasifikasikan sebagai lanau pasir, lanau lempung atau lanau anorganik dengan plastisitas relatif rendah. Juga termasuk tanah jenis butiran lepas, bubuk batu, tanah yang mengandung mika juga beberapa jenis lempung (Darwis, 2018).

Adapun jenis-jenis tanah lanau, yaitu :

a. Lanau anorganik (*inorganic silt*) merupakan tanah berbutir halus dengan plastisitas kecil atau sama sekali tidak ada. Jenis yang plastisitasnya paling kecil biasanya mengandung butiran kuarsa sedimen, yang kadang-kadang disebut tepung batuan (*rock flour*), sedangkan yang sangat plastis mengandung partikel berwujud serpihan dan dikenal sebagai lanau plastis

b. Lanau organik merupakan tanah agak plastis, berbutir halus dengan campuran partikel-partikel bahan organik terpisah secara halus. Warna tanah bervariasi dari abu-abu terang ke abu-abu sangat gelap, disamping itu mungkin mengandung H₂S, CO₂, serta berbagai gas lain hasil peluruhan tumbuhan yang akan memberikan bau khas pada tanah. Permeabilitas lanau organik sangat rendah sedangkan kompresibilitasnya sangat tinggi.

2.9 STABILISASI TANAH

Menurut Hardiyatmo (2017), Stabilisasi tanah dapat didefinisikan pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah atau dapat pula berarti usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah tertentu agar memenuhi syarat teknis tertentu

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,
- c. menambahkan material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisis dari material tanah,
- d. merendahkan muka air (drainase tanah), dan
- 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 :

1. 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).
2. Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) ; adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan/atau 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 :

1. Perbaikan tanah (*soil improvement*), relevan dengan stabilisasi kimia dan stabilisasi fisik
2. 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 :

1. 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.
2. 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.
3. Stabilisasi Mekanis ; yaitu stabilisasi dengan memasukkan material sisipan ke 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 diistilah 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:

1. Jenis dan karakteristik tanah, termasuk sifat-sifat kimia dan fisik, termasuk minerologi tanah yang akan diperbaiki.
2. Kondisi Lingkungan sekitar, Jenis dan karakteristik konstruksi yang akan dibangun, terutama beban konstruksi.
3. Parameter tanah yang perlu diperbaiki, sesuai kebutuhan konstruksi.
4. Kedalaman lapisan tanah yang akan diperbaiki.
5. Sifat kimia dan sifat fisik dari bahan *stabilizer* yang akan digunakan.
6. Harga bahan *stabilizer* yang akan digunakan, terutama dikaitkan dengan efisiensi biaya perbaikan.

2.10 BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*

Bacillus subtilis merupakan bakteri gram positif, berbentuk batang, bersel satu, berukuran 0,5–2,5 μm x 1,2–10 μm , bereaksi katalase positif, bersifat aerob atau anaerob fakultatif, dan heterotrof. *Bacillus subtilis* memiliki fisiologi yang berbeda dari bakteri lain yang bukan patogen, yakni relatif mudah dimanipulasi secara genetik dan mudah pula dibiakkan sehingga dapat dikembangkan pada skala industri. Di dalam tanah, bakteri antagonis *Bacillus subtilis* memanfaatkan eksudat akar dan bahan tanaman mati untuk sumber nutrisinya. Apabila kondisi tidak sesuai bagi pertumbuhannya, misalnya karena suhu tinggi, tekanan fisik dan kimia, atau kahat nutrisi, bakteri akan membentuk endospora. Endospora yang dihasilkan oleh *Bacillus* mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap faktor kimia dan fisika, seperti suhu ekstrim, alkohol dan sebagainya. Pembentukan endospora terjadi selama lebih kurang 8 jam dan dapat bertahan selama 6 tahun (Soesanto 2008).

Klasifikasi *Bacillus subtilis* :

Kingdom : Procaryorae

Divisi : Firmicutes

Kelas : Schizomycetes Bangsa

(Ordo) : Eubacteriales

Suku (Familia) : Bacillaceae

Marga (Genus) : *Bacillus*

Jenis (Species) : *Bacillus Subtilis*

Bakteri 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 genetik dan telah banyak diambil sebagai pilihan untuk dijadikan organisme model untuk bahan penelitian laboratorium, terutama dari sporulasi yang merupakan contoh sederhana dari diferensiasi seluler, pada hal popularitas dalam organisme model laboratorium.

Salah satu jenis stabilisasi ialah dengan menggunakan mikro organisme yaitu bio stabilisasi, metode ini baik untuk diaplikasikan karena ramah lingkungan. Teknik pemanfaatan mikroba tanah disebut *Microbially Induced Calcit Precipitate*

(MICP). Mikroorganisme (Bakteri) yang digunakan adalah *Bacillus subtilis*. Bersama dengan sumber kalsium terlarut yang bila ditambahkan kedalam tanah dengan perbandingan yang tepat akan memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, seperti : kekuatan tekstur, kemudahan dikerjakan (*workability*) dan plastisitas. (Hasriana, 2018).

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)

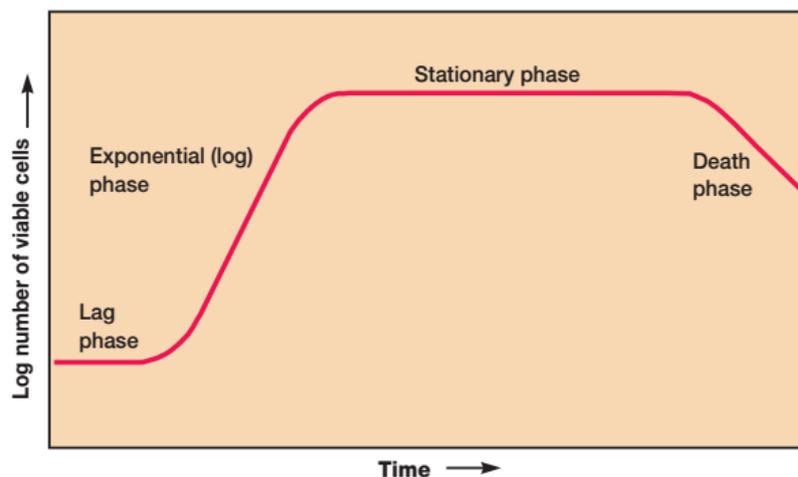
Fase logaritma merupakan fase dimana terjadinya periode pertumbuhan yang cepat. Setiap sel dalam populasi membelah menjadi dua sel. Variasi derajat pertumbuhan bakteri pada fase logaritma ini sangat dipengaruhi oleh sifat genetik yang diturunkannya. Hal yang dapat menghambat laju pertumbuhan adalah bila 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)



(Sumber : M.Natsir Djide & Sartini ,2012)

Gambar 5 . Kurva Pertumbuhan Bakteri *Bacillus Subtilis*

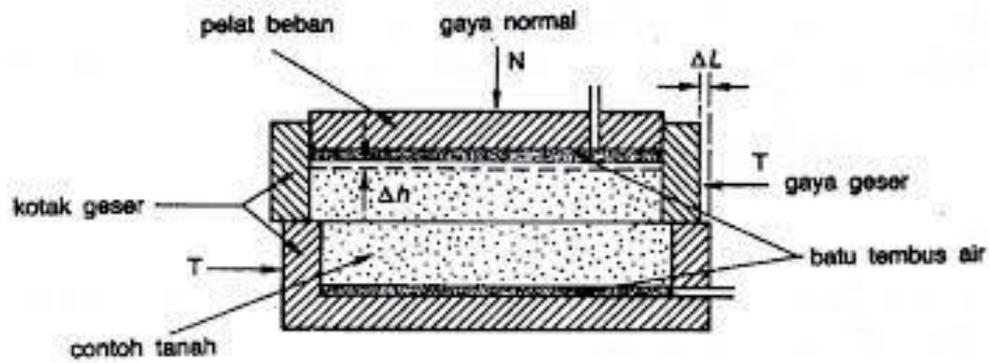
2.11 KUAT GESER LANGSUNG (*DIRECT SHEAR*)

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisa-analisa daya dukung tanah (bearing capacity), tegangan tanah terhadap dinding penahan (earth pressure) dan kestabilan lereng (slope stability).

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Kuat geser tanah sebagai perlawanan internal tanah terhadap persatuan luas terhadap keruntuhan atau pengerasan sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud (Das, 1995). Menggunakan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

1. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Pengujian geser langsung adalah salah satu pengujian yang bertujuan untuk menentukan parameter kuat geser tanah yang berupa nilai kohesi dan sudut geser. Peralatan pengujian geser langsung yaitu kotak geser dari besi yang berfungsi sebagai wadah benda uji. Kotak geser tersebut terbagi menjadi dua bagian yang sama. Tegangan normal pada benda uji diberikan dari atas kotak geser. Gaya geser diterapkan pada setengah bagian atau dari bagian kotak geser untuk memberikan geseran pada bagian tengah-tengah benda uji (Hardiyatmo, 2010).



Gambar 6. Skema pengujian geser langsung

(Hardiyatmo, 2010)

Mohr pada tahun 1910 memberikan teori tentang kondisi keruntuhan suatu bahan. Keruntuhan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Menurut Coulomb tahun 1776 kekuatan geser tanah dapat dinyatakan dalam Persamaan 5 berikut ini.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (5)$$

Dengan :

τ = Kuat geser tanah (KN/m²)

c = Kohesi tanah (KN/m²)

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

φ = Sudut Geser Dalam (°)

2.12 PENELITIAN TERDAHULU

Penelitian-penelitian terdahulu mengenai stabilisasi tanah dengan menggunakan bakteri *bacillus subtilis* telah dilakukan, seperti yang dilakukan oleh:

1. Angelina Lynda, (2013) : Karakteristik Kuat Geser Tanah Dengan Metode Stabilisasi Biogrouting Bakteri *Bacillus Subtilis*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil stabilisasi tanah yang optimum dengan metode biogrouting yang dimaksud pada penelitian ini, yaitu ketika nilai parameter kuat geser tanah (kohesi dan sudut geser dalam) yang diperoleh merupakan nilai terbesar dari semua perbandingan pencampuran sampel tanah dengan bakteri untuk waktu pemeraman selama 28 hari. Variasi persentase larutan sementasi dan larutan bakteri *Bacillus Subtilis* yaitu Tanah pasir berlempung + 0 cc larutan sementasi + 0 cc larutan bakteri *Bacillus Subtilis*. Tanah pasir berlempung + 2 cc larutan sementasi + 2 cc

larutan bakteri *Bacillus Subtilis*. Tanah pasir berlempung + 4 cc larutan sementasi + 4 cc larutan bakteri *Bacillus Subtilis*. Hasil stabilisasi biogrouting Bakteri *Bacillus subtilis* yang optimum diperoleh pada sampel tanah dengan 3x injeksi (6cc larutan bakteri dan 6cc larutan sementasi). Dimana nilai kohesi yang diperoleh sebesar $1,192 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai sudut geser dalam sebesar 35.07° . Karakteristik mekanis tanah yang mengalami stabilisasi optimum mengalami perubahan pada parameter kuat gesernya, yaitu: Terjadi peningkatan nilai kohesi sebesar 297% terhadap nilai kohesi sampel tanah asli. Terjadi peningkatan nilai sudut geser dalam sebesar 6,86 % terhadap nilai sudut geser dalam tanah asli..

2. Affah Fadliah (2013) : Eksperimental Stabilisasi Biogrouting *Bacillus Subtilis* Pada Tanah Lempung Kepasiran. Penelitian ini di lakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan di pusat penelitian Bioteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Tujuan penelitian ini untuk menentukan komposisi optimum larutan bakteri *Bacillus subtilis* untuk stabilitasi tanah dan mengevaluasi karakteristik mekanis tanah yang telah distabilisasi dengan variasi larutan bakteri *Bacillus subtilis* dan larutan sementasi, dikombinasikan dengan variasi waktu pemeraman. Teknologi biogrouting merupakan teknologi yang mensimulasikan proses diagenesis yaitu transformasi butiran pasir menjadi batuan pasir (calcarinite/sandcone), kristal kalsit (CaCO_3) yang terbentuk dari proses biogrouting akan menjadi pengikat antara butiran pasir sehingga menyebabkan proses sementasi dan mengubah pasir menjadi batuan pasir. Jumlah volume bakteri *bacillus subtilis* yang diinjeksi pada tanah lempung kepasiran masing-masing sebesar 2 cc sampai 32 cc dengan pemeraman selama 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil pengujian pada percobaan kuat tekan bebas skala labolatorium menunjukkan bahwa pengujian tanpa terinjeksi bakteri sebesar 0.13 kg/cm^2 untuk hasil yang terinjeksi bakteri sebesar 0.35 kg/cm^2 . Percobaan permeabilitas tanpa terinjeksi bakteri nilai koefisiennya sebesar $2.49.10^{-4} \text{ cm/detik}$ untuk hasil setelah terinjeksi bakteri nilai koefisiennya sebesar $4.91.10^{-6} \text{ cm/dtk}$. Percobaan geser langsung tanpa terinjeksi bakteri sudut

gesernya sebesar 4.46° untuk hasil setelah terinjeksi bakteri sebesar 35.07° . Maka dapat disimpulkan bahwa penambahan bakteri untuk stabilisasi tanah lempung kepasiran dengan metode grouting dapat meningkatkan daya dukung tanah.

3. Muhammad Saleh Nasution, Yusep Muslih Purwana, Bambang Setiawan (2017) : penurunan permeabilitas dan peningkatan kuat geser tanah lanau menggunakan pengaruh mikrobakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas* sp. Pada penelitian ini penulis mencoba melakukan analisa terhadap pengaruh mikrobakteri terhadap penurunan nilai permeabilitas dan peningkatan nilai kuat geser tanah lanau sebagai alternatif bahan rekayasa geoteknik. penambahan mikrobakteri diharapkan dapat meningkatkan stabilitas tanah lanau dengan cara mereduksi nilai permeabilitas dan meningkatkan nilai kuat geser tanah yang diteliti. Mikrobakteri *Pseudomonas* sp dan *Bacillus subtilis* merupakan variasi bakteri yang digunakan pada penelitian ini. Tahap pemeraman tanah yang diinokulasi bakteri dilakukan selama 15 dan 30 hari. Pengujian penelitian ini bertujuan mengetahui prosentase peningkatan kuat geser dan penurunan nilai permeabilitas antara tanah terpengaruh bakteri dan tanah tidak terpengaruh bakteri sebagai nilai kontrol pengujian. Uji SEM dilakukan guna mengetahui pertumbuhan dan perkembangan pada tanah yang terpengaruh bakteri dengan waktu pemeraman 30 hari. Bakteri *Bacillus subtilis* dapat meningkatkan nilai kuat geser 59.30% dan *Pseudomonas* sp 48.84% terhadap perbandingan kuat geser tanah yang tidak menggunakan bakteri sebagai kontrol perbandingan. Nilai prosentase penurunan hasil uji permeabilitas tanah diperoleh sebesar 60.29% dari tanah yang dipengaruhi bakteri *Bacillus subtilis* dan 48.92% dari hasil tanah yang menggunakan *Pseudomonas* sp terhadap sampel tanah yang tidak menggunakan pengaruh bakteri.
4. Megawati Cahaya Putri A Torano (2022) : Karakteristik kuat geser tanah sedimen yang distabilisasi dengan bakteri *Bacillus subtilis*. Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik tanah sedimen yang akan digunakan dalam penelitian, untuk mengetahui pengaruh variasi

campuran bakteri *Bacillus subtilis* terhadap karakteristik tanah sedimen, untuk mengetahui pengaruh masa pemeraman terhadap peningkatan nilai parameter kuat geser tanah sedimen terstabilisasi bakteri *Bacillus subtilis*. Berdasarkan hasil pengujian sifat fisis, tanah asli diklasifikasikan sebagai ML, yaitu lanau dengan plastisitas yang rendah berdasarkan system klasifikasi USCS, dan diklasifikasikan sebagai golongan tanah A-4 yaitu tanah berlanau menurut system klasifikasi AASHTO. Penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* yang di campur menggunakan urea dan CaCl_2 terbukti dapat meningkatkan nilai tegangan geser, kohesi, dan sudut geser dalam tanah. Penambahan bahan stabilisasi bakteri *Bacillus Subtilis* dengan campuran urea dan CaCl_2 pada tanah sedimen Bendungan Bili-bili disertai dengan masa pemeraman terbukti meningkatkan tegangan geser tertinggi pada persentase penambahan bahan stabilisasi 8% dari 1,25 kg/cm², 1,45 kg/cm², dan 1,77 kg/cm² pada pemeraman 0 hari menjadi 1,73 kg/cm², 2,09 kg/cm², dan 2,39 kg/cm² pada pemeraman 28 hari, dengan nilai peningkatan geser rata-rata sebanyak 35%. Untuk nilai kohesi terus meningkat dari nilai kohesi tanah asli sebesar 0,72 kg/cm² menjadi 1,57 kg/cm² pada pemeraman 28 hari, sehingga terjadi peningkatan nilai kohesi sebesar 118%. Untuk nilai sudut geser dalam tanah terjadi peningkatan dari nilai sudut geser tanah asli sebesar 22° menjadi 31° pada campuran bakteri 8% dengan masa pemeraman 28 hari sehingga terjadi peningkatan nilai sudut geser sebesar 40%.

5. Puspita (2011), melakukan pengamatan dan menjelaskan bahwa jenis bakteri *Bacillus subtilis* dapat berkembang biak dengan suhu di Indonesia serta menghasilkan kalsit/kristal terbanyak berasal dari wilayah Papua. Peneliti melakukan pengujian dengan mencampurkan bakteri dan pasir, lalu diperam atau didiamkan selama 1 bulan lamanya dengan suhu ruang. Hasil yang didapatkan menunjukkan perubahan dari pasir menjadi batuan pasir hal ini disebabkan oleh bakteri *Bacillus subtilis* selama masa pemeraman sudah mencapai tahap maksimal menghasilkan Kristal/kalsit yang membentuk batuan pasda pasir tersebut. Hasil penelitian didukung hasil foto SEM yang menunjukkan adanya Kristal didalam pasir tersebut.