

TUGAS AKHIR

**PENGARUH STABILISASI TANAH MENGGUNAKAN
BAKTERI BACILLUS SUBTILIS TERHADAP
NILAI KUAT TEKAN BEBAS**

***EFFECT OF SOIL STABILIZATION USING
BACILLUS SUBTILIS BACTERIA ON UNCONFINED
COMPRESSIVE STRENGTH VALUE***

**MOCH. RAHULHAQ ALFAIZI
D011 18 1341**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2023**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)**PENGARUH STABILISASI TANAH MENGGUNAKAN BAKTERI BACILLUS
SUBTILIS TERHADAP NILAI KUAT TEKAN BEBAS****Disusun dan diajukan oleh:****MOCH. RAHULHAQ ALFAIZI****D011 18 1341**

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 I,



Prof. Dr. Ir. Abd. Rahman Djamaluddin, MT
NIP: 195910101987031003

Pembimbing II,



Ir. Sitti Hijraini Nur, ST, MT
NIP: 197711212005012001

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Moch. Rahulhaq Alfaizi, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "Pengaruh Stabilisasi Tanah Menggunakan Bakteri Bacillus Subtilis Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan getar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan 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.

Gowa, 13 Maret 2023

Yang membuat pernyataan,



Moch. Rahulhaq Alfaizi

NIM : DO11 18 1341

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Alhamdulillah segala puji dan syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Pengaruh Stabilisasi Tanah Menggunakan Bakteri Bacillus Subtilis Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas”** ini dapat diselesaikan guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT., 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. Ir. Abdul Rachman Djamaluddin, MT., selaku Kepala Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan dan selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.

4. Ibu Sitti Hijraini, ST., MT., selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
5. Seluruh dosen, staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu dalam mendukung penulisan tugas akhir ini.
6. Kedua orang tua atas doa, motivasi serta dukungan, baik spiritual maupun material yang telah diberikan selama ini, karena penulis sadar tidak akan mampu sampai di titik ini tanpa dukungan, nasihat, motivasi serta doa yang tiada hentinya terpanjatkan kepada Allah SWT.
7. Kakak saya Raissa Aprilia, yang selalu memberikan semangat dan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Nona ber-NIM K1B122046, yang telah menemani selama proses pengerjaan, masa-masa sulit, serta menjadi penyemangat penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Keluarga Transisi 2019, yang senantiasa memberikan dukungan tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

ABSTRAK

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.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bakteri bacillus subtilis terhadap nilai kuat tekan bebas tanah lanau, serta pengaruh masa pemeraman terhadap nilai kuat tekan bebas tanah terstabilisasi bakteri bacillus subtilis.

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.

Kata Kunci : Tanah Lanau, Bacillus Subtilis, Kuat Tekan Bebas

ABSTRACT

Construction work in the field of Civil Engineering is closely related to building structures, especially an equally important aspect that is considered as the first step in starting construction is land. Apart from being the first step in development, land is also the most important part to support the loads that will be carried on the land.

This study aims to determine the effect of bacillus subtilis bacteria on the compressive strength of silt-free soil, as well as the effect of the curing period on the compressive strength of free soil stabilized by bacillus subtilis bacteria.

To determine the effect of the addition of bacillus subtilis on the value of free compressive strength, a variation of the addition of 4%, 6% and 8% was carried out. As well as the curing period of 7 days, 14 days, and 28 days. This test was carried out at the Soil Mechanics Laboratory, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of HasanuddinGowa.

From the results of this study it was found that the addition of variations of the bacillus subtilis bacteria and the curing period on silt soil can increase the carrying capacity of the soil. The highest free compressive strength value was obtained with the addition of bacteria, namely at 6% bacterial variation with a curing period of 28 days of 1.07 MPa.

Keywords: Silt Soil, Bacillus Subtilis, Free Compressive Strength

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Masalah	4
F. Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Definisi Tanah	8
B. Berat Jenis Tanah.....	9
C. Klasifikasi Tanah.....	9
C.1 Sistem Klasifikasi Tanah Unified (USCS)	10
C.2 Sistem Klasifikasi AASHTO	12
D. Batas-batas Atterberg	16
D.1 Batas Cair.....	17
D.2 Batas Plastis.....	17
D.3 Batas Susut	18
D.4 Indeks Plastisitas.....	18
E. Stabilisasi Tanah.....	18

F. Bakteri Bacillus Subtilis	21
G. Karakteristik Tanah Lanau	22
H. Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compression Test)	23
I. Penelitian Terdahulu	24
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	27
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	27
B. Metode Pengumpulan Data	27
C. Kerangka Alir Penelitian	28
D. Alat dan Bahan Penelitian	30
E. Pengujian Karakteristik Tanah Asli.....	32
F. Optimalisasi Bahan Stabilisator.....	33
G. Pengujian.....	33
G.1 Uji Sifat Fisis.....	34
G.2 Uji Sifat Mekanis.....	34
H. Proses Pembuatan Benda Uji	35
I. Pengujian Kuat Tekan Bebas dengan Metode Pemeraman	36
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
A. Karakteristik Fisis dan Mekanis Tanah.....	37
A.1 Karakteristik Sifat Fisis Tanah	37
A.2 Karakteristik Sifat Mekanis Tanah	43
B. Karakteristik Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas Terhadap Tanah Terstabilisasi Bacillus Subtilis.....	46
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
A. Kesimpulan	49
B. Saran	49
DAFTAR PUSTAKA.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Grafik Klasifikasi Tanah Menurut USCS	12
Gambar 2. Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi AASHTO...	15
Gambar 3. Lokasi Pengambilan Sampel	27
Gambar 4. Bagan Alir Penelitian	30
Gambar 5. Tanah Asli	31
Gambar 6. Larutan Bakteri.....	32
Gambar 7. Pengujian Benda Uji.....	36
Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian Batas Cair	38
Gambar 9. Grafik Gradasi Butiran.....	39
Gambar 10. Penggolongan Klasifikasi Tanah Asli Menurut Sistem USCS	43
Gambar 11. Grafik Hubungan Kadar Air dengan Berat isi Kering.....	44
Gambar 12. Pengaruh Kadar Bakteri Terhadap Kuat Tekan Bebas	47

DAFTAR TABEL

Tabel1. Berat Jenis Tanah	9
Tabel 2. Klasifikasi tanah berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO.....	14
Tabel 3. Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah	18
Tabel 4. Klasifikasi Konsistensi Tanah Berdasarkan	24
Tabel 5. Alat-alat dan Gambar Pengujian Sifat Fisis	30
Tabel 6. Alat-alat dan Gambar Pengujian Sifat Mekanis	31
Tabel 7. Jumlah Benda Uji Untuk Pengujian Pada Tanah Asli	32
Tabel 8. Variasi Persentase Komposisi Bahan Stabilisasi.....	33
Tabel 9. Klasifikasi Tanah Untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya	40
Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Pengujian.....	45
Tabel 11. Perubahan Nilai Kuat Tekan Bebas (qu)	47

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

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. Banyaknya masalah yang terjadi dalam bidang konstruksi salah satunya dikarenakan dengan tanah yang bermasalah (*problematic soil*).

Perbaikan tanah perlu dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut agar tanah menjadi stabil dan lebih aman untuk didirikan suatu konstruksi di atasnya. Terdapat beberapa metode perbaikan tanah, antara lain mencampur tanah dengan material lain (*kimia*), perbaikan tanah secara mekanis, metode perbaikan tanah dengan cara konsolidasi (*vertical drain*), metode geotextile dan lain sebagainya.

Stabilisasi tanah merupakan salah satu metode perbaikan tanah yang bertujuan untuk meningkatkan stabilitas dan kapasitas daya dukung tanah. Perkembangan dalam bidang konstruksi memunculkan ide-ide inovatif terutama pada metode dan bahan utama yang digunakan kebanyakan menggunakan bahan yang dapat mencemari lingkungan. Dengan adanya permasalahan tersebut dibangun sebuah

ide perbaikan tanah yang ramah lingkungan. Salah satunya dengan metode stabilisasi menggunakan mikroorganisme *Bacillus subtilis*.

Penelitian menggunakan mikroorganisme untuk meningkatkan kapasitas tanah telah dilaporkan oleh beberapa penelitian tentang bioclogging dan biosementasi. Kedua metode ini memiliki tujuan yang sama untuk memenuhi pori tanah. Cara yang dilakukan adalah dengan menyuntikkan bakteri ke dalam tanah, bisa menghasilkan kalsit untuk memenuhi pori-pori antara itu. Aplikasi bakteri dalam pembenahan pencampuran beton telah berhasil diterapkan pada beberapa penelitian. Metode ini diyakini lebih ekonomis dan memiliki keuntungan yang lebih bagi lingkungan tersebut. Penambahan bakteri mampu menghasilkan kalsit untuk mengisi pori beton, dapat meningkatkan nilai kekuatan tekan. Hal itu mampu memenuhi retak beton. Metode ini sangat tergantung ke kondisi lingkungan. Uji eksperimental di laboratorium, metode untuk menumbuhkan *Bacillus subtilis* adalah dengan menggunakan media glukosa, kita dapat memperoleh hasil memuaskan bahwa bakteri dapat tumbuh dengan cepat.

Bacillus subtilis merupakan salah satu bakteri dari genus *Bacillus* yang dapat digunakan sebagai probiotik karena merupakan bakteri yang tidak patogen. *Bacillus subtilis* dapat di isolasi dari berbagai lingkungan misalnya pada tanah dan akuatik. *Bacillus subtilis* bersifat gram positif, menghasilkan spora, motil, indol negatif, menghasilkan asam sitrat, katalase positif dan oksidasi positif. *Bacillus subtilis*

mempunyai aktivasi proteolitik dan menghasilkan antibakteri yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri gram positif dan gram negatif. Bahan antibakteri yang terkandung di dalam supernatan bacillus subtilis yaitu polymixin, colistin, circulin, dan antibiotik peptid seperti subtilin, subtilosin A, TasA dan sublancin.

Tanah lanau secara komposisi mineral, lanau tersusun dari kuarsa felspar. Sifat fisika tanah lanau umumnya terletak diantara sifat tanah lempung dan pasir. Selain itu tanah lanau merupakan tanah berbutir halus, tanah lanau terdiri dari dua jenis yaitu lanau anorganik dan lanau organik.

Berdasarkan uraian tersebut, maka penulis merasa perlu melakukan penelitian tentang pemanfaatan mikroorganisme sebagai perbaikan tanah dengan judul **“Pengaruh Stabilisasi Tanah Menggunakan Bakteri Bacillus Subtilis Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas”**.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik dan klasifikasi tanah yang digunakan pada penelitian?
2. Bagaimana pengaruh variasi campuran bacillus subtilis terhadap karakteristik mekanis tanah?

3. Bagaimana pengaruh masa pemeraman terhadap nilai kuat tekan bebas tanah terstabilisasi bacillus subtilis?

C. Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui karakteristik dan klasifikasi tanah yang digunakan pada penelitian.
2. Mengetahui pengaruh variasi campuran bacillus subtilis terhadap karakteristik mekanis tanah.
3. Mengetahui pengaruh masa pemeraman terhadap nilai kuat tekan bebas tanah yang terstabilisasi bacillus subtilis.

D. Manfaat Penelitian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diharapkan manfaat yang akan diperoleh adalah untuk mengetahui karakteristik dan klasifikasi tanah yang akan dicampur dengan bakteri bacillus subtilis. Serta pengaruh masa pemeraman terhadap nilai kuat tekan bebas yang terstabilisasi bakteri bacillus subtilis.

E. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lanau yang berlokasi di Kelurahan Bontoramba, Kecamatan Palangga, Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium, bukan pada skala lapangan.
3. Penelitian ini hanya meneliti sifat fisis dan mekanis, dan tidak meneliti unsur kimia tanah.
4. Pengujian dilakukan terhadap variasi penambahan bahan stabilisasi bacillus subtilis.
5. Sifat fisis dan mekanis yang diteliti adalah :
 - Berat Jenis
 - Kadar Air
 - Batas-batas Atterberg
 - Analisa Saringan dan Hidrometer
 - Pemadatan (Kompaksi)
 - Kuat Tekan Bebas, UCT (Unconfined Compression Test)
6. Bahan stabilisasi yang digunakan adalah bakteri bacillus subtilis.
7. Persentase berat campuran yang di uji adalah 4%, 6%, dan 8% terhadap berat tanah dengan kadar air mula-mula.
8. Waktu pemeraman setelah campuran tanah dengan bakteri bacillus subtilis adalah 7 hari, 14 hari, dan 28 hari dengan kondisi laboratorium.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun agar pembahasan lebih terarah dan tetap menjurus pada pokok permasalahan dan kerangka isi. Dalam tugas akhir ini sistematika penulisan disusun dalam lima bab yang secara berurutan menerangkan hal-hal sebagai berikut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan penelitian.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori-teori dan tinjauan umum yang digunakan untuk membahas dan menganalisa tentang permasalahan dari penelitian.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahap demi tahap prosedur pelaksanaan penelitian serta cara pengolahan data hasil penelitian, termasuk juga kerangka alir penelitian.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisa perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

BAB 5. KESIMPULAN SARAN

Bab ini merupakan penutup dari keseluruhan penulisan tugas akhir yang berisi tentang kesimpulan yang disertai dengan saran-saran mengenai keseluruhan penelitian maupun untuk penelitian yang akan datang.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Tanah

Tanah adalah 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, zatorganik 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, karbon dioksida, 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)

B. Berat Jenis Tanah

Berat jenis tanah didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume butiran padat dengan berat volume air, dengan isi yang sama pada temperature tertentu. Secara tipikal, berat jenis berbagai jenis tanah berkisar antara 2.65 sampai 2.75. spesifikasi berat jenis tanah seperti pada Tabel 1.

Tabel1. 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

C. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu system pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa kedalam 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 tanpa penjelasan yang terinci. Sebagian besar system klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas (Das, 1995).

Sistem klasifikasi tanah dibuat pada dasarnya untuk memberikan informasi tentang sifat-sifat fisis dan karakteristik tanah. Karena variasi dari perilaku tanah yang begitu beragam, system klasifikasi secara umum mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang lebih umum dimana tanah memiliki persamaan dalam sifat fisis.

Terdapat dua jenis system klasifikasi tanah yang umum digunakan untuk mengelompokkan tanah. Kedua system klasifikasi tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan nilai dari pengujian batas-batas atterberg, sistem-sistem tersebut adalah:

C.1 Sistem Klasifikasi Tanah Unified (USCS)

Sistem ini diajukan pertama kali oleh Casagrande. Kemudian American Society for Testing and Materials (ASTM) memakai USCS sebagai metode standar untuk mengklasifikasikan tanah. Sekarang ini, sistem ini sering digunakan dalam berbagai bidang pekerjaan geoteknik. Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu:

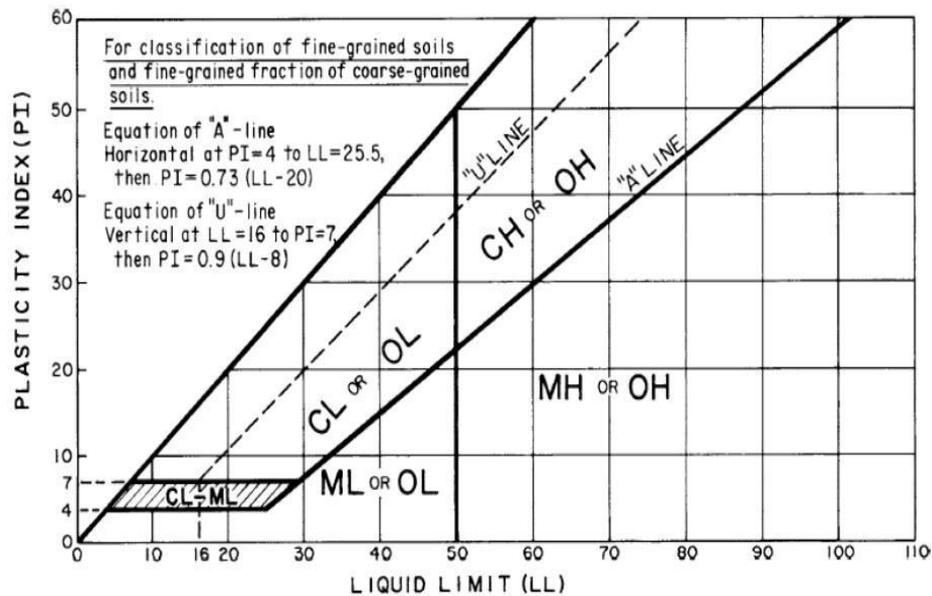
1. Tanah berbutir kasar (coarse-grained soils) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ($F_{200} < 50\%$). Simbol kelompok diawali dengan **G** untuk kerikil (gravel) atau tanah berkerikil (gravelly soil) dan **S** untuk pasir (sand) atau tanah berpasir (sandy soil).
2. Tanah berbutir halus (fine-grained soils) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} > 50\%$). Simbol

kelompok diawali dengan **M** untuk lanau inorganik (inorganic silt). **C** untuk lempung inorganik (inorganic clay). Dan **O** untuk lanau dan lempung organik. Simbol **Pt** digunakan untuk gambut (peat) dan tanah dengan kandungan organik tinggi.

Simbol tambahan yang digunakan untuk klasifikasi adalah **W** untuk gradasi baik (well graded), **P** untuk gradasi buruk (poorly graded), **L** untuk plastisitas rendah (low plasticity) dan **H** untuk plastisitas tinggi (high plasticity).

Klasifikasi sistem tanah USCS secara visual di lapangan sebaiknya dilakukan pada setiap pengambilan contoh tanah. Hal ini berguna di samping untuk dapat menentukan pemeriksaan yang mungkin perlu ditambahkan, juga sebagai pelengkap klasifikasi yang dilakukan di laboratorium agar tidak terjadi kesalahan label.

Pada grafik klasifikasi USCS gambar 1, dapat dilihat hubungan antara nilai batas cair dengan indeks plastisitas tanah, untuk menentukan jenis tanah berdasarkan nilai yang diperoleh dari pengujian batas atterberg pada tanah tersebut.



Gambar 1. Grafik klasifikasi tanah menurut USCS

C.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai Public Road Administration System. Pada system ini, tanah diklasifikasikan kedalam 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 dan yang tertahan pada ayakan No.10 (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 (0.075 mm).

2. Plastisitas :

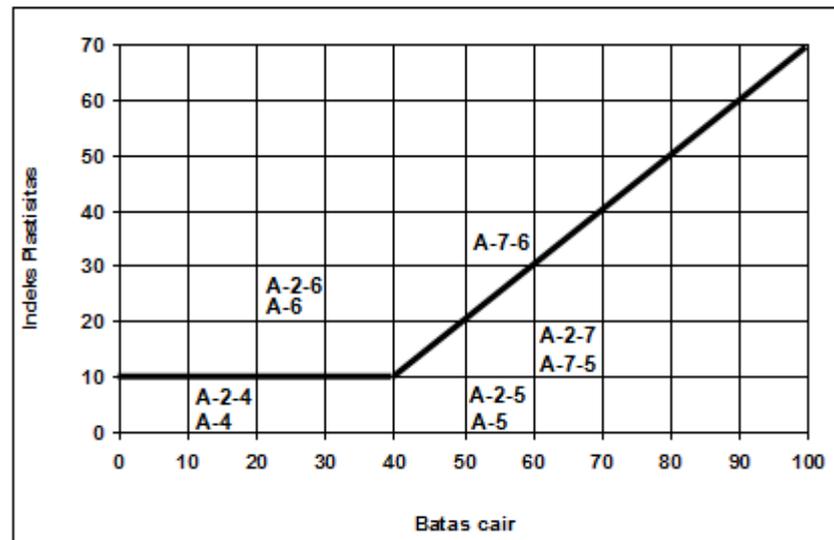
Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas [plasticity index (PI)] sebesar 10 atau kurang. Nama perlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih.

3. 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.

Apabila sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai. Tabel 2 menunjukkan suatu gambar dari senjang batas cair (liquid limit, LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.

Tabel 2. Klasifikasi tanah berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO

Klasifikasi Umum	Material Berbutir Kasar (35% atau kurang lolos saringan No. 200)							Material Lanau -Lempung (lebih dari 35% lolos saringan No. 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Klasifikasi Group	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Analisa Tapis; persen lolos:												
No. 10	50 MAX	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
No. 40	30 MAX	50 MAX	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-	
No. 200	15 MAX	25 MAX	10 MAX	35 MAX	35 MAX	35 MAX	35 MAX	36 min	36 min	36 min	36 min	
Karakteristik fraksi lolos saringan No. 40:												
Batas Cair	-		40 MAX	41 min	40 MAX	41 min	40 MAX	41 min	40 MAX	41 min	40 MAX	41 min
Indeks Plastisitas	6 MAX		N.P.	10 MAX	10 MAX	11 min	11 min	10 MAX	10 MAX	11 min	11 min*	
Jenis Material Pokok	Fragmen batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan Pasir Kelanauan atau kelepungan				Tanah lanau		Tanah lempung		
Tingkat Kegunaan sebagai Subgrade	Sangat baik hingga baik							Cukup baik hingga buruk				



Gambar 2. Grafik klasifikasi tanah berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO

Tabel 2 (b) merupakan rentang (range) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7. Untuk mengevaluasi mutu (kualitas) dari suatu tanah sebagai bahan lapisan tanah dasar (subgrade) dari suatu jalan raya, suatu angka yang dinamakan indeks grup (group index, GI) juga diperlukan selain kelompok dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan. Harga GI ini dituliskan di dalam kurung setelah nama kelompok dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan. Indeks grup dapat dihitung dengan memakai persamaan seperti di bawah ini :

$$GI = (F - 35) [0.2 + 0.005 (LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (PI - 10)$$

Dimana :

F = persentase butiran yang lolos ayakan No. 200

LL = batas cair (liquid limit)

PI = indeks plastisitas suku pertama, yaitu $(F - 35) [0.2 + 0.005 (LL - 40)]$, adalah bagian dari indeks grup yang ditentukan dari batas cair (LL). Suku yang kedua, yaitu $0.01 (F - 15) (PI - 10)$, adalah bagian dari indeks grup yang ditentukan dari indeks plastisitas (PI).

Berikut ini adalah aturan untuk menentukan harga dari indeks grup :

- Apabila persamaan pertama menghasilkan nilai GI yang negatif, maka harga GI dianggap nol.
- Indeks grup yang dihitung dengan menggunakan persamaan pertama dibulatkan ke angka yang paling dekat.
- Tidak ada batas atas untuk indeks grup
- Indeks grup untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-1 a, A-1 b, A-2-4, A-2-5, dan A-3 selalu sama dengan nol.
- Untuk tanah yang masuk kelompok A-2-6 dan A-2-7, hanya bagian dari indeks grup untuk PI saja yang digunakan, yaitu $GI = 0.01 (F - 1.5) (PI - 10)$.

D. Batas-batas Atterberg

Sifat konsistensi tanah selalu berubah-ubah sesuai dengan perubahan kadar airnya. Bila kadar air bertambah, maka interaksi antara butir-butir yang bersentuhan semakin kecil bahkan hilang sama sekali sehingga konsistensi tanah akan bersifat seperti cairan.

Pada tahun 1911, seorang ilmuwan dari Swedia bernama Atterberg mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Bilamana kadar

airnya sangat tinggi, sifat campuran tambah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan. Oleh karena itu, atas dasar yang dikandung tanah, tanah dapat dipisahkan kedalam empat keadaan dasar, yaitu :padat, semi padat, plastis, dan cair.

Perubahan kadar air dari maksimum ke minimum atau sebaliknya akan mengalami 4 fase/keadaan yang dikemukakan oleh A. Atterberg. Batas-batas fase ini disebut sebagai batas konsistensi Atterberg yang ditunjukkan oleh kandungan kadar airnya pada masing-masing batas tersebut.

D.1 Batas Cair

Batas cair adalah harga kadar air suatu tanah pada batas antara keadaan cair dan plastis, atau dengan perkataan lain adalah harga kadar air minimum dimana tanah masih berada dalam keadaan cair, atau mulai mengalir karena beratnya sendiri.

D.2 Batas Plastis

Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air, dinyatakan dalam persen, dimana tanah apabila digulung sampai dengan diameter 1/8 in (3.2 mm) menjadi retak-retak. Batas plastis merupakan batas terendah dari tingkat keplastistisan suatu tanah.

D.3 Batas Susut

Batas susut didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah.

D.4 Indeks Plastisitas

Indeks plastisitas adalah selisih batas cair dan batas plastis (interval kadar air pada kondisi tanah masih bersifat plastis), karena itu menunjukkan sifat keplastisan tanah.

$$PI = LL - PL$$

Dimana :

PI = Plastis Indeks (%)

LL = Liquid Limit (%)

PL = Plastis Limit (%)

Tabel 3. Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non Kohesif
<7	Rendah	Lanau	Kohesif Sedang
7-17	Sedang	Lempung Berlanau	Kohesif
>17	Tinggi	Lempung Murni	Kohesif

(sumber : Hardiyatmo, 2017)

E. Stabilisasi Tanah

Semua tindakan mengubah sifat-sifat asli dari pada tanah, untuk disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi adalah merupakan tindakan

yang dapat dikategorikan sebagai upaya stabilisasi tanah. Secara umum orang mengartikan bahwa stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, atau dapat pula diartikan secara umum bahwa stabilisasi tanah adalah usaha untuk mengubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu.

Secara khusus pengertian stabilisasi tanah dapat dilihat dari definisi yang dikemukakan beberapa para ahli, antara lain:

1. Jon A. Epps et al. (1971), menjelaskan bahwa stabilisasi tanah adalah tindakan untuk meningkatkan sifat atau karakteristik rekayasa tanah (*soil properties*)
2. Winterkorn (1975), menyatakan bahwa stabilisasi tanah adalah istilah untuk metode fisik, kimia, atau biologi yang dapat digunakan untuk meningkatkan sifat tertentu dari tanah agar dapat sesuai dengan tujuan rekayasa yang tepat.

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*),

pengertian 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.

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

1. Stabilisasi kimiawi 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 energi 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 di istilahkan sebagai “perkuatan tanah (soil reinforcement). Contohnya stabilisasi dengan metal strip, geotextile, geomembrane, geogrid, vertical drain, dan lain sebagainya.

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

F. Bakteri Bacillus Subtilis

Bacillus subtilis adalah jenis bakteri yang pada umumnya ditemukan di tanah, air, udara dan materi tumbuhan yang terdekomposisi. Bacillus subtilis merupakan bakteri gram positif yang dapat membentuk endospora berbentuk oval di bagian bawah sentra sel. Klasifikasi bacillus subtilis adalah sebagai berikut (Antoni, 2019):

Kingdom	: Procaryotae
Divisi	: Bacteria
Kelas	: Schizomycetes
Bangsa	: Eubacteriales
Suku	: Bacillaceae
Marga	: Bacillus
Jenis	: Bacillus subtilis

Bacillus subtilis merupakan bakteri gram positif yang dapat membentuk endospora yang berbentuk oval di bagian sentra sel. Hasil uji pewarnaan gram menunjukkan bahwa *Bacillus subtilis* merupakan bakteri gram positif karena menghasilkan warna ungu saat ditetesi dengan larutan KOH. Warna ungu yang muncul pada pewarnaan gram tersebut dikarenakan dinding sel *Bacillus subtilis* mampu mempertahankan zat warna kristal violet (Djaenuddin dan Muis, 2015).

Salah satu jenis stabilisasi tanah ialah dengan menggunakan mikroorganisme yaitu bio stabilisasi, metode ini baik untuk diaplikasikan karena ramah lingkungan. Teknik pemanfaatan mikroba tanah disebut *Microbially Induced Calcite 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).

G. Karakteristik Tanah Lanau

Lanau yang terbentuk secara glasial (oleh gletser) dalam bahasa Inggris biasa disebut *rock flour* atau *stone dust*. Secara komposisi mineral, lanau tersusun dari kuarsa feldspar. Sifat fisik tanah lanau umumnya terletak diantara sifat tanah lempung dan pasir. Selain itu tanah lanau merupakan tanah berbutir halus yang berukuran lebih kecil dari 0.075 mm (No. 200). Lanau terdiri dari dua jenis yaitu lanau

anorganik (inorganik silt) yang merupakan tanah berbutir halus dengan plastisitas kecil mengandung butiran kuarsa sedimentasi yang kadang di sebut tepung batuan (rockflour) dan tanah lanau organik (organik silt) 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. Lanau adalah 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 pasiran, lanau lempung atau lanau anorganis dengan plastisitas relative rendah. Juga termasuk tanah jenis butiran lepas, bubuk batu, tanah yang mengandung mika juga beberapa jenis lempung (Darwis, 2017).

H. Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compression Test)

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.

Tabel 4. Klasifikasi Konsistensi Tanah Berdasarkan Nilai Kuat Tekan Bebas

Sifat tanah	Unconfined Compression test
Very soft (sangat lunak)	<0,25 kg/cm ²
Soft (lunak)	0,25 – 0,50 kg/cm ²
Firm/Medium (tengah)	0,50 – 1,00 kg/cm ²
Stiff (kenyal)	1,00 – 2,00 kg/cm ²
Very stiff (sangat kenyal)	2,00 – 4,00 kg/cm ²
Hard (keras)	>4,00 kg/cm ²

I. Penelitian Terdahulu

Aniek Prihatiningsih (2018), merupakan pengujian secara unconfined compression test sangatlah praktis, cepat serta akurat. Pengujian sample bersifat undrained, karena penekanan dilakukan relatif cepat, sehingga tidak ada air yang keluar dari pori sample tanah selama pengujian. Di sisi lain, pengujian secara unconfined compression test hanya dapat dipakai untuk menentukan kohesi tanah lempung dalam keadaan jenuh dengan sudut geser dalam sebesar nol, karena percobaan ini tidak cocok digunakan untuk tanah yang berpasir. Pengujian ini meliputi penentuan tanah kohesi pada kondisi asli. Pada pengujian ini sample yang berbentuk silinder akan diberi beban, sehingga mendapatkan nilai kekuatan maksimum tanah

tersebut dalam keadaan kuat tekan bebas sampai mencapai keruntuhan dan juga mengukur regangan tanah tersebut akibat tekanan yang diberikan. Pengujian kuat tekan bebas tanah untuk menentukan nilai kekuatan dengan sample berbentuk silinder hasil dari pemadatan. Pengujian ini menggunakan mesin tekan untuk menekan sample yang dibentuk silinder dari satu arah (uniaksial). Perbandingan antara tinggi dan diameter sample mempengaruhi nilai kuat tekan sample uji. Untuk pengujian kuat tekan secara umum digunakan perbandingan $L=2D$. L adalah length atau panjang dari sample sedangkan D adalah diameter dari sample tanah yang akan diuji. Sebagai standard pengujian berpedoman pada standar ASTM D 2166 mengenai Unconfined Compression Test.

Imelda Vera Tumanan (2014), stabilisasi tanah dengan mikroorganisme merupakan salah satu metode yang baik untuk diaplikasikan, karena metode tersebut ramah lingkungan. Dalam penelitian ini membahas tentang salah satu tindakan stabilisasi tanah pada tanah organik dengan mikroorganisme. Mikroorganisme yang digunakan ialah mikroorganisme lokal Indonesia dengan jenis *Bacillus Subtilis*. Karakteristik tanah yang dievaluasi dalam penelitian ini ialah karakteristik mekanik dengan melakukan pengujian geser langsung. Metode pelaksanaannya ialah melakukan pengujian karakteristik fisis pada tanah organik yang telah diambil dari lokasi. Kemudian melakukan pengujian pemadatan, permeabilitas, dan geser langsung

pada tanah asli. Tanah organik dicampurkan dengan bakteri dengan variasi jumlah larutan bakteri yang setelah digunakan ialah 2%, 4% dan 6% dengan waktu pemeraman dari 7 hari, 21 hari hingga 28 hari. Hasil analisis yang diperoleh ialah nilai parameter kuat geser yang pada tanah organik yang dicampurkan dengan bacillus subtilis mengalami peningkatan secara kontinu. Komposisi optimum yang diperoleh untuk menstabilkan tanah organik dengan bacillus subtilis ialah pada variasi jumlah larutan 6% dan waktu pemeraman 28 hari. Nilai parameter kuatgeser yang diperoleh yaitu : $\phi = 31,59^\circ$ dan $c = 1,190 \text{ kg/cm}^2$.

Mamluatul Faizah (2017), bacillus subtilis merupakan bakteri gram positif yang berbentuk basil (batang) dan bersifat aerob. Bacillus subtilis banyak ditemukan di alam seperti pada tanah, air dan beberapa dapat ditemukan sebagai flora normal pada usus manusia. Karakteristik unik dari bakteri ini adalah kemampuannya dalam membentuk endospora pada kondisi lingkungan yang ekstrim. Bacillus subtilis bersifat non-patogen dan non-toxic sehingga aman untuk digunakan dalam pengembangan riset pengetahuan dan beberapa digunakan sebagai probiotik.