

TUGAS AKHIR

**PENGARUH VARIASI KULTUR BAKTERI DAN SIKLUS BASAH
KERING TERHADAP NILAI KUAT TEKAN TANAH
TERSTABILISASI BAKTERI**

***EFFECT OF BACTERIAL CULTURE VARIATION AND WET-
DRY CYCLE ON BACTERIA STABILIZED SOIL
COMPRESSIVE STRENGTH***

FAHMY SAFA KHOIRUDDIN

D111 71808



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

PENGARUH VARIASI KULTUR BAKTERI DAN SIKLUS BASAH KERING TERHADAP NILAI KUAT TEKAN TANAH TERSTABILISASI BAKTERI

Disusun dan diajukan oleh:

FAHMY SAFA KHOIRUDDIN

D011 17 808

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 30 November 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,



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

Pembimbing II,



Dr. Eng. Kartika Sari, ST, MT
NIP: 19731201000122001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wilhardi Tiaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Fahmy Safa Khoiruddin
NIM : D011171808
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{PENGARUH VARIASI KULTUR BAKTERI DAN SIKLUS BASAH KERING TERHADAP
NILAI KUAT TEKAN TANAH TERSTABILISASI BAKTERI }

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, 3 Mei 2023

Menyatakan

METERAI
TEMPER
DE 307AKX434618085

Fahmy Safa Khoiruddin

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah Swt karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat waktu sebagai salah satu penulis pada jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar. penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak mungkin terselesaikan tanpa bantuan materi maupun bimbingan, dorongan, dukungan moril serta saran dari bebrbagai pihak, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Dengan segala ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. **Allah swt** yang telah memudahkan jalan saya untuk terus berupaya dan tidak patah semangat dalam menempuh dunia perkuliahan hingga tugas akhir ini terselesaikan.
2. Kedua orang tercinta, yaitu ayahanda **Badruddin** dan ibunda **Naimahtullailiyah** atas kasih sayang yang telah mereka berikan selama ini, baik dukungan materil maupun spiritual, karena penulis tidak dapat samapai di titik ini jika tanpa doa mereka.
3. **Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, St, MT.** Selaku Ketua Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. **Bapak Dr. Eng. Bambang Bakri, ST, MT.** Selaku sekertaris Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

5. **Bapak Prof. Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaludin, MT** selaku dosen dosen pembimbing I, atas segala arahan, bimbingan serta waktu yang telah diluangkannya dari dan hingga terselesainya tugas akhir ini.
6. **Ibu Dr. Eng. Kartika Sari, ST, MT.** selaku dosen pembimbing II, atas segala arahan, bimbingan serta waktu yang telah diluangkannya dari dan hingga terselesainya tugas akhir ini.
7. Kepada **Pak Alkadri** dan **Ibu Ismi** yang telah membantu saya dan memberikan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Keluarga tercinta, yaitu **Bapak** dan **Ibu**, saudara-saudaraku tersayang **Mba Diyah, Mba Sifa, Kak Fuad, Uti, Kakak Lubna, Abang Hafiz**, yang selalu mendoakan, menyemangati saya baik dalam keadaan susah maupun senang, penulis tidak akan mampu sampai di titik ini tanpa kehadiran mereka.
9. Teman-teman asisten mekanika tanah 2017, **Cindy, Marcel, Adam, Baso, Nidar, Alwan, Asri**, yang senantiasa menjadi rekan suka dan duka dalam perjalanan kuliah dan praktikum, semoga kalian selalu diberikan keberkahan, amin.
10. Teman terbaik saya **Magfirah Wahdah Sartika, Saskia Febrian, Andi Irsyad** yang selalu mengingatkan saya tentang progress TA dan selalu memberi masukan dan motivasi.

11. Teman-teman Sipil Internasional 2017, **Jinan, Anjolie, Syafira, Agil, Dirga, Alex, Rafli, Athar, Dio** dan **Yutan** sebagai tempat saling bertukar pikiran, berbagi suka duka, dan bantuan serta dukungan kepada penulis Selama menjadi mahasiswa.
12. Seluruh saudara-saudariku **PLASTIS 2017** yang telah memberikan dukungan dan bantuan.
13. Teman-teman **Daya Boys** yang sudah meluangkan waktunya untuk menghibur dan memberikan saran kepada penulis.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman, sehingga diharapkan untuk memberikan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Penulis berharap agar hasil penelitian ini dapat memberi pengetahuan yang berguna bagi ilmu pengetahuan dan masyarakat.

Gowa, 7 Desember 2022

penulis

ABSTRAK

Tanah merupakan dasar pondasi suatu bangunan yang sangat penting dalam konstruksi, baik untuk konstruksi jalan ataupun konstruksi struktur, tapi dalam kenyataannya tidak semua jenis tanah mempunyai sifat baik yang digunakan dalam konstruksi jalan ataupun konstruksi struktur. Sifat-sifat dan perilaku tanah akan menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan dan pelaksanaan suatu pekerjaan. Beberapa tahun terakhir ini, perbaikan tanah telah menjadi bagian yang sangat penting dan harus dipikirkan karena kelangkaan tanah yang sesuai semakin sulit untuk didapatkan serta tingkat pertumbuhan populasi manusia yang terus meningkat.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Batasan Masalah	5
E. Sistem Penulisan	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Definisi Tanah	8
B. Klasifikasi Tanah.....	9
1) Sistem Klasifikasi Berdasarkan Tekstur.....	9
2) Sistem Klasifikasi Berdasarkan Pemakaian.....	12

C. Stabilisasi Tanah.....	20
D. Kuat Tekan Tanah.....	23
E. Tanah Lempung.....	24
F. Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	27
G. Siklus Basah Kering.....	30
H. Penelitian Terdahulu.....	31
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	37
A. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	37
B. Rencana Uji Eksperimental.....	39
C. Kerangka Konsep / Alur Penelitian.....	43
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
A. Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Asli.....	45
B. Karakteristik Sifat Mekanis Tanah.....	51
C. Karakteristik Sifat Mekanis Tanah Terstabilisasi Bakteri.....	55
D. Siklus basah kering tanah terstabilisasi bakteri.....	61
BAB 5. Kesimpulan Dan Saran.....	65
A. Kesimpulan.....	65
B. Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA.....	67
LAMPIRAN.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur oleh departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)	11
Gambar 2. Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi AASHTO.....	15
Gambar 3. Kurva Pertumbuhan Bakteri.....	30
Gambar 4. Bagan Alir Penelitian.....	44
Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Batas Cair.....	46
Gambar 6. Grafik Gradasi Butiran.....	47
Gambar 7. Penggolongan Klasifikasi Tanah Asli Menurut Sistem USCS.	51
Gambar 8. Grafik Hubungan Kadar Air Dengan Berat Isi Kering Hasil Kompaksi Pada Tanah.....	52
Gambar 9. Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan Pada Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah Asli.....	54
Gambar 10. Grafik Pembacaan Nilai q_u Kultur 2 Hari.....	57
Gambar 11. Grafik pembacaan nilai q_u kultur 4 hari.....	59
Gambar 12. Grafik pembacaan nilai q_u kultur 6 hari.....	60
Gambar 13. Grafik Pembacaan Nilai q_u dan Berat Sampel Debelum Di Uji Dengan Metode Siklus Basah Kering.	64

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Klasifikasi Tanah AASTHO.	14
Tabel 2. Jenis-Jenis Alat.....	38
Tabel 3. Parameter Uji Dan Standar Pengujian Fisik Dan Mekanik.	41
Tabel 4 Persiapan Benda Uji Untuk Proses Biosementasi.	41
Tabel 5. Rancang Siklus Basah Kering.....	42
Tabel 6. Klasifikasi Tanah Untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO).....	48
Tabel 7.Klasifikasi Keandalan Tanah Berdasarkan AASTHO.....	50
Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Pengujian Sifat Fisis Dan Mekanis Tanah Asli.	55
Tabel 9. Penambahan Jumlah Kebutuhan Air Dan Bakteri terhadap tanah	56
Tabel 10. Tabel Hasil Nilai qu Kultur 2 hari.....	57
Tabel 11. Hasil Nilai qu Kultur 4 hari.....	58
Tabel 12. Hasil Nilai qu Kultur 6 Hari.	60
Tabel 13. Berat Sampel Siklus Basah Kering Menggunakan Bakteri Bacillus Subtilis Dengan Kultur 4 Hari Dan Presentase Campuran 6 %.	62

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah merupakan dasar pondasi suatu bangunan yang sangat penting dalam konstruksi. Baik untuk konstruksi jalan ataupun konstruksi struktur. Tapi dalam kenyataan tidak semua jenis tanah mempunyai sifat baik yang digunakan dalam konstruksi jalan ataupun konstruksi struktur. Sifat-sifat dan perilaku tanah akan menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan dan pelaksanaan suatu pekerjaan. Tanah di satu lokasi mempunyai karakteristik yang berbeda dengan tanah di lokasi lainnya. Hal inilah yang berbeda dengan tanah di lokasi yang lainnya. Hal ini yang menjadikan kekuatan daya dukung tanah sebagai bagian dari sistem konstruksi jalan raya berada di suatu lokasi dengan lokasi lainnya.

Dalam perencanaan jalan raya, daya dukung tanah dasar sangat mempengaruhi tebal perkerasan, semakin tinggi kuat dukung tanah, maka tebal perkerasan yang diperlukan semakin tipis untuk menahan beban lalu lintas. Bowles (1986) menyatakan bahwa tanah merupakan salah satu bahan konstruksi yang langsung tersedia di lapangan, dan apabila tanah dapat digunakan secara langsung akan menjadi sangat ekonomis. Konstruksi jalan sering menggunakan tanah dasar dengan daya dukung rendah dan bersifat lunak. Tanah dasar prinsipnya memikul beban lalu lintas menjadi salah faktor penyebab terjadinya kerusakan struktur jalan.

Teknik perbaikan tanah adalah merupakan tindakan stabilisasi tanah dengan memperbaiki karakteristik tanah yang asli, hingga memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan oleh konstruksi, seperti peningkatan daya dukung dan kuat geser tanah, penurunan kompresibilitas tanah, peningkatan atau penurunan permeabilitas tanah, dan lain sebagainya. Teknik perbaikan tanah adalah merupakan tindakan stabilisasi tanah dengan memperbaiki karakteristik tanah yang asli, hingga memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan oleh konstruksi, seperti peningkatan daya dukung dan kuat geser tanah, peningkatan atau penurunan permeabilitas tanah, dan lain sebagainya.

Secara umum stabilisasi tanah dalam rekayasa geoteknik terbagi tiga kategori, yaitu : stabilisasi kimia, stabilisasi mekanik, konsolidasi dengan drainase. Stabilisasi kimia prinsipnya menggunakan tambahan zat additive (admixture) yang di campurkan dengan material tanah sehingga terjadi reaksi kimiawi yang mengarah kepada terbentuknya material yang mempunyai spesifikasi teknis yang lebih baik, stabilisasi mekanis meningkatkan kepadatan tanah dengan menggunakan energi mekanis eksternal dalam jangka waktu singkat (pemadatan) serat stabilisasi hidraulik prinsipnya mengeluarkan air pori dari dalam tanah melalui drainase, stabilisasi fisik, suatu bahan perkuatan seperti geotekstil dimasukkan atau disusun pada lapisan tanah untuk memperkuat tanah. Diantara metode ini, stabilisasi kimia berupa kapur, fly ash, semen, pozzolan, bentonite dan lainnya, merupakan cara yang paling banyak

digunakan, dimana mineralogis struktur tanah di ubah oleh zat kimia tambahan (misalnya semen atau kapur) untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik properti tanah.

Dalam hal kebutuhan konstruksi jalan dimana penggantian material untuk lapisan *subgrade* tidak efisien. Maka perlu di gunakan metode lain agar kualitas tanah yang ada menjadi lebih baik untuk kepentingan konstruksi jalan tanpa harus mengganti tanah yang ada. Penggunaan mikroorganisme untuk mendegradasi polutan ternyata juga memberikan dampak yang positif dalam bidang geoteknik, karena beberapa mikroorganisme, metode biostabilisasi tanah lunak dengan bakteri *bacillus subtilis* diyakini dapat memperbaiki karakteristik tanah dengan meningkatkan kekuatan tanah pondasi bangunan, mengurangi kompressibilitas dan permeabilitas, dan mengurangi variasi volume dari pengembangan penelitian yang dilakukan oleh hasrina menemukan bahwa kuat tekan optimum didapatkan pada penambahan larutan konsentrasi bakteri *bacillus subtilis* 6% dengan waktu pemeraman 28 hari. Peningkatan nilai kuat tekan dari 26% kN/m² menjadi 382,86 kN/m² atau sebesar 15 kali dari tanah tanpa stabilisasi (Hasrina et al 2017). Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh hasrina. Pengguna bakteri dengan siklus basah kering pada tanah dan mencoba mengaplikasikan pada lapangan, dengan harapan bahwa penelitian ini sebagai alternative material perkerasan jalanan dengan penggunaan bakteri.

Ada beberapa penelitian diantaranya menunjukkan bahwa tanah lempung yang distabilisasi dengan bakteri *bacillus subtilis* mampu meningkatkan kuat tekan (UCT) secara signifikan (Hasrina et al 2017). Penggunaan bakteri *bacillus subtilis* pada penelitian ini dikarenakan bakteri jenis ini merupakan salah satu bakteri tanah yang memiliki membran sel luar yang sangat tebal sehingga mampu bertahan hidup pada lingkungan dengan kondisi basa yang cukup tinggi dan dapat membentuk spora. kebutuhan konstruksi jalan dimana penggantian material untuk lapisan *subgrade* di beberapa tempat dipandang tidak efisien, maka dibutuhkan suatu cara untuk meningkatkan kualitas tanah yang ada menjadi lebih baik untuk kepentingan konstruksi jalan tanpa harus mengganti tanah yang ada. Berdasarkan uraian tersebut maka kami tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Perbaikan karakteristik Mekanis Tanah Dengan Teknologi Biosementasi Bakteri”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah, rumusan masalah yang akan dikaji adalah :

1. Bagaimana karakteristik tanah yang digunakan dalam penelitian ?
2. Bagaimana pengaruh variasi kultur bakteri *bacillus subtilis* terhadap kuat tekan tanah ?
3. Bagaimana pengaruh variasi campuran bakteri *bacillus subtilis* dengan tanah yang digunakan dalam penelitian?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik dan klasifikasi tanah asli Kampus Teknik Unhas.
2. Bagaimana pengaruh kultur bakteri bacillus subtilis terhadap nilai kuat tekan tanah?
3. Bagaimana pengaruh siklus basah kering terhadap nilai kuat tekan tanah yang distabilisasi bakteri bacillus subtilis terhadap tanah asli kampus teknik unhas ?

D. Batasan Masalah

Agar penelitian berjalan efektif serta mencapai sasaran yang ingin digunakan maka penelitian dibatasi pada:

1. Tanah yang di gunakan dalam penelitian ini adalah tanah yang di ambil dari sekitar kampus teknik unhas Gowa.
2. Pengujian dilakukan terhadap variasi penambahan bakteri bacillus subtilis.
3. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium dan bukan pada skala lapangan.
4. Penelitian ini hanya meneliti sifat-sifat fisis dan mekanis tanah, dan tidak meneliti unsur kimia pada tanah tersebut.
5. Sifat fisis dan mekanis yang di teliti adalah:

- a. pengujian berat jenis
- b. pengujian batas-batas atterberg
- c. pengujian analisa saringan dan hidrometer
- d. pengujian pemadatan (kompaksi)
- e. pengujian kuat tekan bebas
- f. waktu pemeraman setelah pencampuran tanah dengan bakteri bacillus subtilis adalah 3, 7, 14 dan 28 hari dengan kondisi laboratorium.

E. Sistem Penulisan

Sistematika penulisan disusun agar pembahasan lebih terarah dan tetap menjurus pada pokokpermasalahan dan kerangka isi. Dalam tugas akhir ini sitematika 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. Juga kerangka penelitian.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang di peroleh.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan menerangkan tentang kesimpulan beserta saran yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut dari tugas akhir ini

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Tanah

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan besar (*bedrock*). 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 (Hardiyatmo, 2001).

Selain itu, dalam pengertian teknik secara umum, tanah di definisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersimentasi (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 (Das, 1995). Adapun pengelompokan jenis tanah dalam praktek berdasarkan campuran butir menurut (Santosa, 1996) yaitu:

- a. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang sebagian besar butir-butir tanahnya berupa kerikil dan pasir.
- b. Tanah berbutir halus adalah tanah yang sebagian besar butir-butir tanahnya berupa lanau dan lempung.

- c. Tanah organik adalah tanah yang cukup banyak mengandung bahan-bahan organik. Sedangkan berdasarkan sifat lekatannya, tanah dikelompokkan menjadi :
- d. Tanah kohesif yaitu tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya (mengandung lempung cukup banyak).
- e. Tanah Non Kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butir-butirnya (hampir tidak mengandung lempung misalnya pasir).

B. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi 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 tanpa penjelasan yang terinci. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat - sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas (Das, 1995). Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang didasarkan pada tekstur dan pemakaian, yaitu :

1) Sistem Klasifikasi Berdasarkan Tekstur

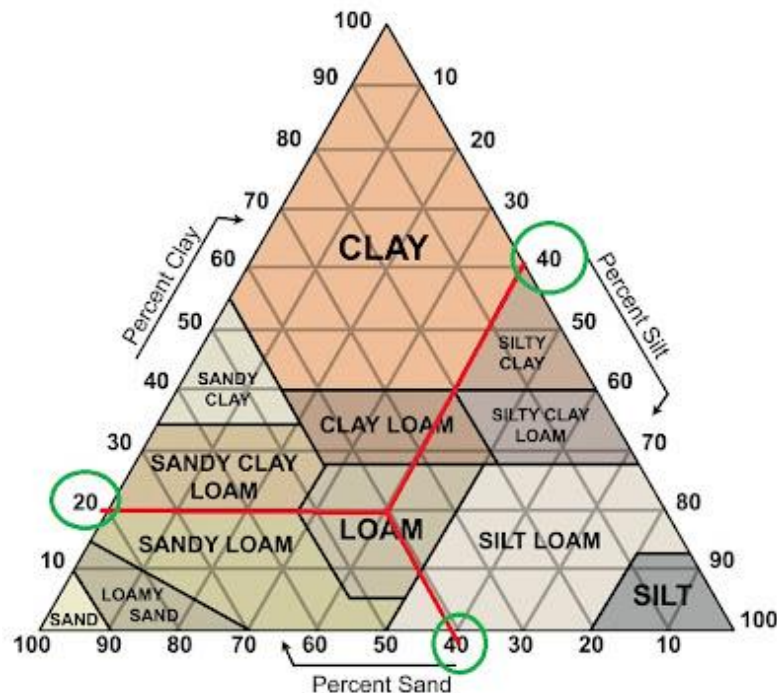
Dalam arti umum, yang dimaksud dengan tekstur tanah adalah keadaan permukaan tanah yang bersangkutan. Tekstur tanah

dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah. Beberapa system klasifikasi berdasarkan tekstur tanah telah dikembangkan sejak dulu oleh berbagai organisasi guna memenuhi kebutuhan mereka sendiri, beberapa dari sistem-sistem tersebut masih tetap dipakai sampai saat ini seperti sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah seperti yang diterangkan oleh sistem USDA, yaitu:

- a. Pasir : butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm.
- b. Lanau : butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm.
- c. Lempung : butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm.

Gambar 1 menunjukkan sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). Pemakaian bagan dalam Gambar 1 ini dapat diterangkan secara jelas dengan menggunakan sebuah contoh. Apabila distribusi ukuran butir tanah A adalah: 30% pasir, 40% lanau, dan 30% butiran dengan ukuran lempung ($< 0,002$ mm), klasifikasi tekstur tanah yang bersangkutan dapat ditentukan dengan cara seperti yang ditunjukkan dengan anak panah dalam Gambar 1. Jenis tanah A termasuk dalam daerah lempung tanah liat. Perhatikan bahwa bagan ini hanya didasarkan pada bagian tanah yang lolos lewat ayakan No. 10. Oleh karena itu, apabila tanahnya mengandung butiran berdiameter lebih

besar dari 2 mm dalam persentase tertentu, maka perlu diadakan koreksi.



Gambar 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur oleh departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur adalah relatif sederhana karena ia hanya didasarkan pada distribusi ukuran butiran tanah saja. Dalam kenyataannya, jumlah dan jenis dari mineral lempung yang dikandung oleh tanah sangat mempengaruhi sifat fisis tanah yang bersangkutan. Oleh karena itu, kiranya perlu untuk memperhitungkan sifat plastisitas tanah, yang disebabkan adanya kandungan mineral lempung, agar dapat menafsirkan ciri-ciri suatu tanah. Karena sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tidak memperhitungkan sifat plastisitas tanah, dan secara keseluruhan tidak menunjukkan sifat-sifat tanah yang

penting, maka sistem tersebut dianggap tidak memadai untuk sebagian besar dari keperluan teknik.

2) Sistem 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

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai Public Road Administration Classification System. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan, versi yang saat ini berlaku adalah yang diajukan oleh Committee on Classification of Materials for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board dalam tahun 1945 (ASTM Standard no D-3282, AASHTO metode M 145). Sistem klasifikasi AASHTO yang dipakai saat ini 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 A4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini:

a. Ukuran butir :

- 1) Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3in) dan yang tertahan pada ayakan No. 20 (2 mm).
- 2) Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm).
- 3) Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

b. 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 mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.

c. 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 1 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 1. Klasifikasi.

Tabel 1 Klasifikasi Tanah AASTHO.

General classification	Granular materials (35% or less of total sample passing No. 200 sieve)						
	A - 1		A - 3	A - 2			
Group classification	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Sieve analysis (% passing) No.10 No.40 No.200	50 max. 30 max. 15 max.	50 max. 25 max.	50 min. 10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Characteristics of fraction passing No.40 • Liquid Limit • Plasticity Index	6 max.		NP	40 max. 10 max.	41 min. 10 max.	40 max. 11 min.	41 min. 11 min.
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel, and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand			
General subgrade rating	Excellent to good						

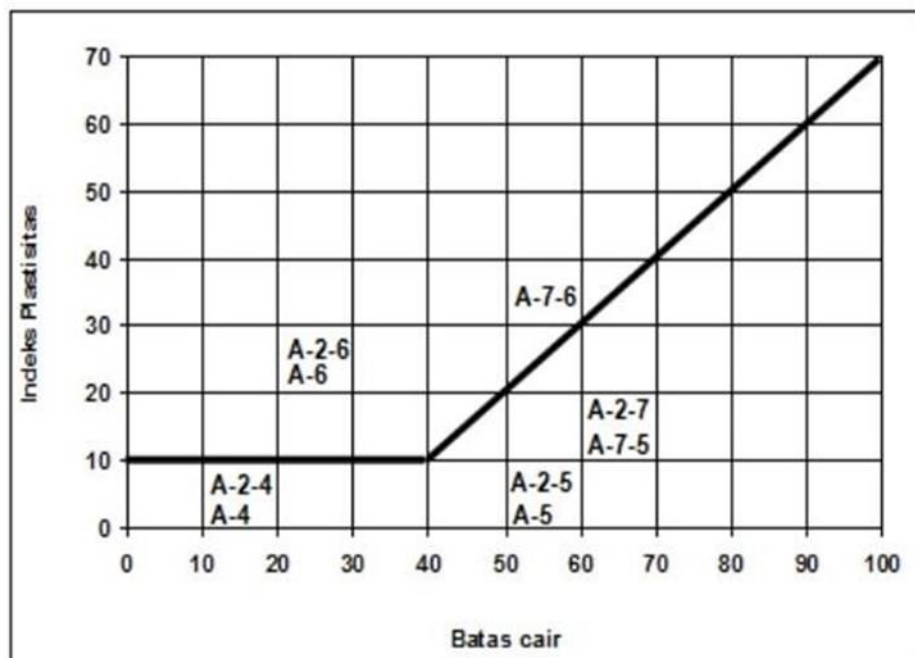
(a)

General classification	Silty-clay materials (more than 35% of total sample passing No.200 sieve)			
Group classification	A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7-5* A - 7-6**
Sieve analysis (% passing) No.10 No.40 No.200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing No.40 • Liquid Limit • Plasticity Index	40 max. 10 max.	41 min. 10 max.	40 max. 11 min.	41 min. 11 min.
Usual types of significant constituent materials dominan	Silty soils		Clayey soils	
General subgrade rating	Fair to poor			

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

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

(b)



Gambar 2. Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi AASHTO.

Tabel 1 (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:

$$GI = (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01(F - 15) (PI - 10) \quad (1) \quad \mathbf{(1)}$$

di mana:

F = Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200

LL = Batas cair (liquid limit)

PI = Indeks plastisitas Suku pertama persamaan (1), 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:

- a. Apabila Persamaan (1) menghasilkan nilai GI yang negatif, maka harga GI dianggap nol.

- b. Indeks grup yang dihitung dengan menggunakan Persamaan (1) dibulatkan ke angka yang paling dekat (sebagai contoh: $GI = 3,4$ dibulatkan menjadi 3,0; $GI = 3,5$ di- bulatkan menjadi 4,0).
- c. Tidak ada batas atas untuk indeks grup
- d. Indeks grup untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-I a, A-I b, A-2-4, A-2-5, dan A-3 selalu sama dengan nol.
- e. Untuk tanah yang masuk kelompok A-2-6 dan A-2-7, hanya bagian dari indeks grup untuk PI saja yang digunakan, yaitu $CI = 0,01(F - 1.5)$ (PI-10).

b. Sistem Klasifikasi Unified

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. Dalam rangka kerja sama dengan *United States Bureau of Reclamation* tahun 1952, sistem ini disempurnakan. Pada masa kini, sistem klasifikasi tersebut digunakan secara luas oleh para ahli teknik. Sistem Klasifikasi Unified diberikan dalam Tabel 2. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu :

1. 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.

2. Tanah berbutir-halus (*fine-grained-soil*), yaitu tanah di mana 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) ($LL > 50$)

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. Simbil-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, SW, SP, SM, dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, faktor-faktor berikut ini perlu diperhatikan :

1. Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (ini adalah fraksi halus)
2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40
3. Koefisien keseragaman (uniformity coefficient, C_u) dan koefisien gradasi (gradation coefficient, C_c) untuk tanah di mana 0 - 12% lolos ayakan No. 200.
4. 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). Bilamana persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 adalah antara 5 sampai dengan 12%, simbol ganda seperti GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW-SM, SW-SC, SP-SM, dan SP-SC diperlukan. Rincian klasifikasi ini diberikan dalam Tabel 2. Klasifikasi tanah berbutir halus dengan simbol ML, CL, OL, MH, CH, dan OH didapat dengan cara menggambar batas cair dan indeks plastisitas tanah yang bersangkutan pada bagan plastisitas (Casagrande, 1948) yang diberikan dalam Tabel 2. Garis diagonal pada bagan plastisitas dinamakan garis A (sebelumnya sudah diperkenalkan dalam Gambar 2), dan garis A tersebut diberikan dalam persamaan:

$$PI = 0,73 (LL - 20)] \quad (2)$$

Untuk tanah gambut (*peat*), identifikasi secara visual mungkin diperlukan (Das, 1999)

C. 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 khusus pengertian stabilisasi tanah dapat dilihat dari berbagai definisi yang dikemukakan beberapa ahli, antara lain :

1. Menurut Lambe (1962), mendefinisikan stabilisasi tanah sebagai perubahan dari setiap properti tanah untuk memperbaiki kinerja tekniknya (*soil stabilization as "the alteration of any property of a soil to improve its engineering performance"*). Dalam pengertian ini Lambe memaknai sifat- sifat tanah (*soil property*) mencakup sifat mikroskopis dan makroskopis dari massa tanah.
2. Jon A. Epps et al. (1971), mengartikan stabilisasi tanah adalah tindakan untuk memperbaiki sifat rekayasa tanah (*soil properties*).
3. Ingles & Metcalf (1972), mengatakan bahwa perubahan sifat tanah untuk memenuhi persyaratan teknik tertentu, dikenal sebagai stabilisasi tanah.
4. Perbaikan tanah (*soil improvement*) : adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki 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).

5. Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) : adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki 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 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 diistilah sebagai “perkuatan tanah (soil reinforcement). Contohnya stabilisasi dengan metal strip, geotextile, geomembrane, geogrid, vertical drain, dan lain sebagainya. Sebagaimana dengan tujuan dari setiap tindakan stabilisasi tanah, maka tujuan umum dari perbaikan tanah adalah untuk:
 1. Meningkatkan daya dukung tanah.
 2. Meningkatkan kuat geser tanah.
 3. Memperkecil kompresibilitas dan penurunan tanah.
 4. Memperkecil permeabilitas tanah (kasus : tanggul)
 5. Memperbesar permeabilitas tanah (kasus : dewatering dan sand lense).

6. Memperkecil potensi kembang-susut pada tanah (swelling potential).
7. Menjamin kelestarian dan keberlanjutan sumber daya alam dan lingkungan.

Tujuan yang terakhir, seyogyanya menjadi tujuan yang melekat pada setiap perlakuan dan tindakan di dalam perbaikan tanah, terutama yang dilakukan dengan menggunakan bahan additive, yang bisa bereaksi dengan unsur-unsur bahan alamiah (natural material) dan akan mengubah struktur dan komposisi dan material alamiah tersebut (Darwis, 2017).

D. Kuat Tekan Tanah

Kuat tekan bebas adalah tekanan aksial benda uji pada saat mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20%. Uji kuat tekan bebas adalah salah satu cara untuk mengetahui geser tanah. Uji kuat tekan bebas bertujuan untuk menentukan kekuatan tekan bebas suatu jenis tanah yang bersifat kohesif, baik dalam keadaan asli (*undisturbed*), buatan (*remoulded*) maupun tanah yang dipadatkan (*compacted*). Kuat tekan bebas (q_u) adalah harga tegangan aksial maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji silindris (sampel tanah) sebelum mengalami keruntuhan. Nilai kuat tekan bebas (*unconfined compressive strength*) didapat dari pembacaan proving ring dial dengan tegangan maksimum.

$$q_u = \frac{k \times R}{A} \quad (3)$$

q_u : Kuat Tekan Bebas

k : Kalibrasi proving ring

R : Pembacaan maksimum

A : Luas penampang contoh tanah pada saat pembacaan R

Uji kuat tekan bebas (*Unconfined Compressstrength*) merupakan cara yang dilakukan di laboratorium untuk menghitung kekuatan geser tanah. Uji kuat ini 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 diukur 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.

E. Tanah Lempung

Pemanfaatan tanah sebagai suatu bahan produksi yang menghasilkan keuntungan telah lama dimanfaatkan oleh manusia sejak lama. Pemanfaatan tanah ini dapat dilihat dari penggunaan tanah sebagai bahan pembuatan batu-bata, genteng, dan gerabah atau tembikar. Salah satu jenis tanah yang banyak sekali digunakan dalam produksi ini adalah tanah lempung atau tanah liat Tanah lempung merupakan tanah yang berasal dari pelapukan unsur kimiawi penyusun

batuan pada ukuran mikrokonis dan sub-mikrokonis dengan rumus kimia $Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot kH_2O$. Menurut Bowles (1991), tanah lempung adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan unsur utama dalam proses kohesif dalam tanah.

Tanah lempung dari proses pembentukannya merupakan hasil dari hasil pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian lagi prosesnya berasal dari aktifitas panas bumi atau geothermal. Menurut Mahida (1984) menyatakan bahwa tanah liat merupakan percampuran partikel-partikel pasir dan debu dengan bagian-bagian tanah lempung yang memiliki karakteristik yang berbeda antara satu dengan lainnya. Menurut Das (1988), klasifikasi tanah berdasarkan *unified system*, tanah lempung termasuk dalam tanah berbutir halus, yaitu tanah yang 50% berat totalnya lolos dari saringan No.200.

Selain itu, tanah lempung dapat dibedakan dari jenis tanah lainnya dari ukuran dan kandungan mineraloginya. Menurut Prihatin (2010) mineral lempung adalah koloid dengan ukuran yang sangat kecil yaitu kurang dari 1 mikron. Kolodi itu sendiri jika diamati di bawah mikroskop terlihat seperti lembaran-lembaran kecil yang terdiri dari kristal dengan struktur atom yang berulang. Lembaran-lembaran tersebut meliputi: tetrahedron atau lembaran silika dan octahedron atau lembaran alumina. Selanjutnya, mineral lempung terbentuk di atas permukaan bumi dimana udara dan air berineraksi dengan mineral silika dan terjadi pelapukan kimiawi batuan yang mengandung feldspar,

ortoklas, feldspar plagioklas, dan mika. Sehingga mineral lempung dapat terjadi di hampir setiap jenis batuan yang banyak mengandung banyak alkali dan tanah alkali supaya memungkinkan adanya reaksi kimia dan dekomposisi.

Jenis – Jenis Tanah Lempung

1. Tanah lempung primer

Jenis tanah lempung yang dihasilkan dari pelapukan batuan feldspatik oleh tenaga endogen yang tidak berpindah dari batuan induk yang memiliki karakteristik berwarna putih cerah hingga kusam, cenderung memiliki butiran atau granular yang kasar, tidak plastis, daya lebur yang tinggi, daya susut yang rendah, dan tahan terhadap api atau pembakaran

2. Tanah lempung sekunder

Jenis tanah lempung yang terjadi karena hasil pelapukan batuan feldspatik yang berpindah jauh dari batuan induknya karena tenaga eksogen. Karakteristiknya adalah tidak murni, cenderung berbutir halus, plastis, berwarna abu-abu, coklat, merah, kuning, daya susut yang tinggi, titik lebur yang rendah, tahan api. Lebih lanjut, tanah lempung sekunder ini dibedakan menjadi lima kelompok, yaitu tanah lempung tahan api, tanah lempung stoneware, ballclay, tanah lempung earthenware, dan tanah lempung jenis lainnya, misalnya bentonite, common clay, Kaolin.

Berdasarkan pemaparan tersebut, maka ciri-ciri tanah lempung adalah sebagai berikut. Memiliki luas permukaan yang sangat besar.

1. Berkurang kurang dari 0,002 mm. ukuran ini sangat kecil sehingga berbentuk butiran halus.
2. Tingkat permeabilitas yang rendah. Tingkat permeabilitas yang rendah ini memungkinkan jenis tanah lempung tidak dapat menyerap air sehingga tidak cocok untuk digunakan sebagai lahan pertanian dan perkebunan.
3. Tingkat kenaikan air kapiler yang tinggi.
4. Bersifat kohesif pada saat jumlah air yang sangat banyak mengenai jenis tanah maka tanah ini akan sangat lengket sekali.
5. Tingkat kembang dan susutnya sangat tinggi.
6. Proses konsolidasinya lambat.
7. Memiliki ion positif yang dapat diperlukan.
8. Memiliki luas permukaan yang sangat besar.
9. Bertekstur keras saat di bakar.

F. Bakteri *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis merupakan bakteri berbentuk partikel berukuran 0.5-2,5x 1,2-10 mikron, tersusun dalam sepasang atau bentuk rantai, dimana selubung sel meliputi seluruh permukaan sel. Dalam kondisi kritis mampu membentuk spora. Dapat tumbuh pada suhu maksimum 25-75°C. Dapat ditemukan di udara, air, tanah, bulu binatang atau bangkai,

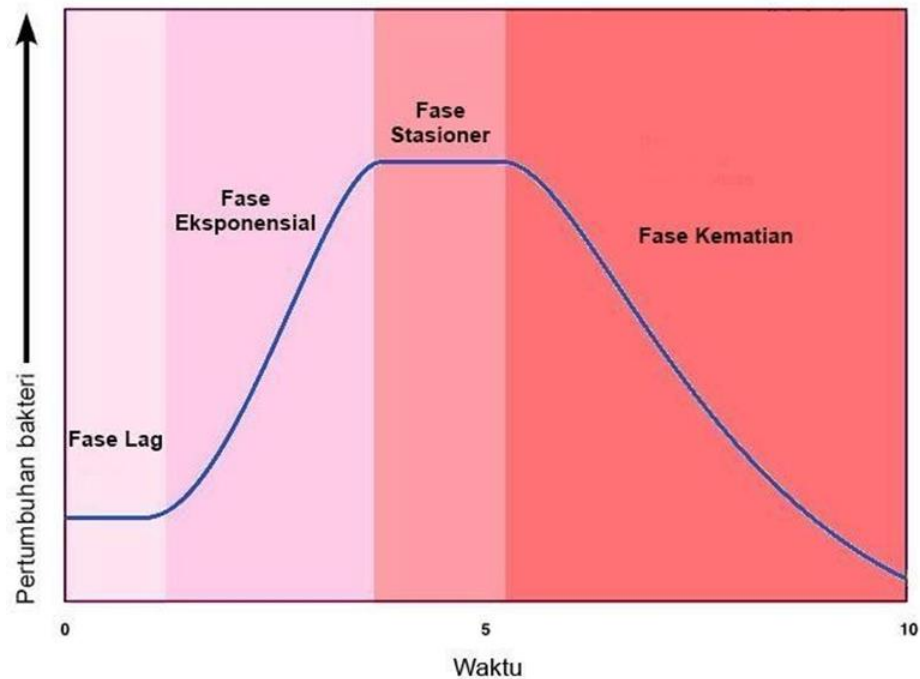
pH optimum tumbuh 5,5-8,5 (Buchanan dan Gibbons 1975). Selanjutnya Brock et al (1994) mengatakan bahwa *Bacillus* mampu memproduksi enzim hydrolytic untuk memecah polisakarida, asam nukleat dan lemak yang memungkinkan organisme menggunakannya sebagai sumber karbon dan elektron. Selain itu bakteri genus *Bacillus* juga mengandung enzim protease, lipase, amilase, dan selulase. Menurut Rao (1994), bakteri genus *Bacillus* termasuk bakteri pengurai dan mampu memanfaatkan komponen bahan organik yang berbeda-beda seperti selulosa, hemiselulosa, tepung, pectin, khitin, protein dan asam nukleat. Selanjutnya dijelaskan bahwa *Bacillus* termasuk bakteri denitrifikasi, juga tergolong bakteri amonifikasi (Hanafi dkk, 1995) mampu mengurai penumpukan senyawa nitrogen. Berdasarkan hasil Laboratorium mikro oleh Sri pada Juli 2003, karakteristik biokimia *Bacillus subtilis* menunjukkan bahwa ini mampu mengurai bahan organik dan mampu memproduksi enzim urease.

Bakteri urease akan mengkatalisis urea sehingga melepas ion karbonat, yang selanjutnya akan terikat dengan ion kalsium dari CaCl_2 dan mempresipitaskan Kalsium Karbonat/Kalsit (CaCO_3). Kalsit inilah yang mengikat partikel tanah satu sama lain. Sehingga presipitasi kalsium karbonat merupakan proses yang utama dalam teknik biogrouting. Teknik tersebut bekerja pada tingkat pori-pori yaitu memperbaiki kondisi tanah dengan meningkatkan kekuatan dan kekakuan (stiffness) serta sedikit mempengaruhi permeabilitas. Berikut

reaksi / proses yang terjadi saat presipitasi kalsium karbonat oleh bakteri pada tanah.



Peran bakteri dalam menstabilkan tanah tersebut pada saat proses presipitasi kalsium karbonat, beberapa penelitian (Gusmawati, N.F dkk. 2009) menyebutkan bahwa presipitasi kalsium karbonat oleh bakteri diakibatkan oleh adanya aktivitas sel bakteri, ion Ca^{2+} dari senyawa CaCl_2 yang ditarik oleh bakteri dari lingkungan dan terdepositkan pada permukaan sel, dan enzim urease yang mengambil urea ke dalam bakteri yang mendekomposisinya dengan ammonia NH_3 dan karbon dioksida (CO_2). Suatu investigasi terhadap kinetika telah mengindikasikan bahwa presipitasi kalsit merupakan fungsi dari konsentrasi sel, kekuatan ionik dan PH media (Hillary Lappin-Scott 1998). Mikroorganisme menarik kation termasuk ion Ca^{2+} dari lingkungan dan terdepositkan pada permukaan sel. Pada gambar 3 memperlihatkan fase-fase pertumbuhan bakteri dimana fase 1,5 hari (fase ekponensial), 3 hari (stasioner), 6 hari (fase kematian).



Gambar 3. Kurva Pertumbuhan Bakteri.

G. Siklus Basah Kering

Perubahan cuaca mengakibatkan terjadinya siklus basah kering secara berulang-ulang, sehingga tanah akan mengalami perubahan factor volume tanah akibat perubahan kadar air dan menurunnya faktor-faktor pendukung parameter tanah. (Wardani Dkk,2017).

Keberlangsungan siklus basah kering yang terjadi secara alami ini, sangat mempengaruhi karakteristik tanah yang dapat mengubah sifat-sifat asli tanah terutama yang berkaitan dengan air seperti kembang susut tanah dimana hal ini berkaitan dengan kekuatan tanah itu sendiri.

Menurut Wijaya Seta (2006) terjadi perubahan potensi mengembang pada sampel tanah seiring dengan meningkatnya siklus berulang basah kering. Pada setiap perulangan siklus rata-rata pada tanah asli lebih tajam dibandingkan dengan benda uji dengan campuran bakteri *Bacillus Subtilis*. Penambahan bakteri *Bacillus subtilis* pada benda uji (tanah asli) mempercepat kondisi stabil dan menambah kuat tekan geser.

H. Penelitian Terdahulu

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

1. Hasil penelitian Alkadri, Rachman Djamaludin, Tri Harianto, Ardy Arsyad.

Rujukan penelitian pertama, yaitu jurnal ilmiah Alkadri, Rachman Djamaluddin, Tri Harianto, Ardy Arsyad yang berjudul *perbaikan karakteristik mekanis tanah dengan variasi larutan bakteri*.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui sifat-sifat perilaku tanah akan menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan dan pelaksanaan suatu pekerjaan penelitian ini bertujuan mengevaluasi karakteristik fisik dan mekanis tanah dengan menggunakan metode biosementasi bakteri bakteri 4%, 6% dan 8%, sedangkan variasi

umur kultur bakteri 2 hari,4 hari dan 6 hari. Biosementasi adalah suatu metode perbaikan tanah dengan memanfaatkan kemampuan bakteri yang hidup di dalam tanah untuk menghasilkan enzim urease, enzim mengkatalisasi satu hidrolisis dari urea menjadi karbon dioksida dan ammonia (Lim Et All.2019). metode biosementasi tanah lunak dengan bakteri bacillus subtilis di yakini dapat memperbaiki karakteristik tanah dengan meningkatkan kekuatan tanah pondasi bangunan, mengurangi kompressibilitas, permeabilitas, dan mengurangi variasi pengembangan. Pengujian dilakukan dengan skala laboratorium, penelitian ini diawali uji propertis tanah, uji pertumbuhan bakteri dan uji mekanis tanah unconfined compressive strength (UCS).

Kesimpulan penelitian ini adalah penggunaan larutan bakteri untuk uji kuat tekan tanah yang distabilisasi dengan penambahan 6% larutan bakteri bacillus subtilis dengan masa pemeraman 3, 7, 14 dan 28 dari hasil percobaan ini didapatkan bahwa kultur 4 hari menunjukkan peningkatan kuat tekan optimum pada umur 28 hari dengan nilai kuat tekan $19,96 \text{ kg/cm}^2$, atau meningkat 6 kali dari tanah tidak di stabilisasi dengan bakteri yang hanya mempunyai nilai kuat tekan $3,02 \text{ kg/cm}^2$.

2. Hasil penelitian I.R.K Phang, K. S. Chan and S.Y. Lau. (2020)

Rujukan penelitian kedua, yaitu jurnal ilmiah .R.K Phang, K. S. Chan and S.Y. Lau. Yang berjudul *Effect of Microbial Induced Calcite*

Precipitation Towards Tropical Organic Soil.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pencampuran bakteri *lysini bacillus sp* pada tanah organik pada kawasan tropis dan menyelidiki pengendapan kalsit yang diinduksikan mikroba (MICP) telah digunakan untuk tujuan rekayasa geoteknik untuk meningkatkan sifat tanah metode ini memanfaatkan metabolisme bakteri ureolitik non-potegen untuk menghasilkan kalsit (CaCO_3) sebagai pengikat untuk partikel-partikel tanah bersama-sama yang menyebabkan peningkatan kekuatan dan kekakuan pada tanah dalam studi tentang MICP pada tanah organik tropis, dengan pasir sebagai pengisi dengan presentase pasir sebesar 4%, 8%, 16%, dengan masa curing selama 3 hari.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah, dengan masa curing 3 hari dengan melakukan uji UCT dan respon yang diamati menunjukkan bahwa lebih dari 300% peningkatan kekuatan yang dicapai.

3. Hasil penelitian Hasrina, Lawalena Samang, M.Natsir Djide, dan Tri Hartanto (2017).

Rujukan penelitian ketiga, yaitu jurnal Hasrina, Lawalena Samang, M.Natsir Djide, dan Tri Hartanto yang berjudul *Pengaruh Penambahan Bakteri (Bacillus Subtilis) Pada Tanah Lunak Terhadap Karakteristik Kuat Tekan.*

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui tanah lunak dengan

daya dukung rendah yang tidak mampu mendukung konstruksi di atasnya sehingga diperlukan suatu metode perbaikan tanah guna memperbaiki struktur tanah tersebut. Stabilisasi tanah dengan bahan kimia seperti kapur, semen dan, fly ash, merupakan metode stabilisasi yang paling populer. Saat ini alternative bio stabilisasi ramah lingkungan semakin berkembang dengan pemanfaatan mikroorganisme (bakteri *bacillus subtilis*). Metode pelaksanaannya ialah melakukan pengujian karakteristik fisis yang telah diambil pada lokasi, kemudian melakukan pengujian pemadatan dan kuat tekan pada tanah asli, tanah lempung yang di campurkan dengan bakteri dengan variasi kultur (umur).

Kesimpulan dalam penelitian ini yaitu mengetahui kuat tekan tanah dengan pemanfaatan variasi (kultur) bakteri *bacillus subtilis* dengan variasi waktu yang berbeda. Variasi kultur 1,5 hari (fase permulaan), 3 hari (stasioner), 6 hari (fase kematian) dan Fase pemeraman dilakukan dengan variasi 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari setelah pembuatan benda uji dan hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan optimum didapatkan pada penambahan larutan konsentrasi bakteri *bacillus subtilis* 6% dengan waktu pemeraman 28 hari.

4. Hasil penelitian Feng K, and B.M. Montoyo (2016)

Rujukan penelitian ke empat, yaitu jurnal Feng K, and B.M. Montoyo yang berjudul *Influence of Confinement and Cementation Level on the*

Behavior of Microbial-Induced Calcite Precipitated Sands Under Monotonic Drained Loading.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui bagaimana metode perbaikan tanah baru untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan pasir menggunakan biogeokimia alami. Respon mekanik dari pasir semen MICP di selidiki secara sistematis menggunakan empat tingkat sementasi (tidak dirawat, dirawat ringan, dirawat sedang, dan dirawat berat) dan ada 3 tingkatan tekanan efektif (100, 200, dan 400 kpa).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekakuan dan kekuatan geser puncak, dan pelebaran meningkat dengan peningkatan tekanan pengekangan yang efektif menunjukkan bahwa peningkatan sudut gesek puncak dan sisa serta elastisitas awal modulus, E_i bergantung pada tingkat sementasi dan tekanan pembatas efektif serta keseragaman sementasi MICP di specimen laboratorium.

5. Hasil penelitian Jin-Hoon Jeong 1, Yoon-Soo Jo, Chang-Seon Park, Chan-Ho Kang And Jae-Seong So (2017).

Rujukan penelitian ke lima, yaitu jin-Hoon Jeong 1, Yoon-Soo Jo, Chang-Seon Park, Chan-Ho Kang And Jae-Seong So yang berjudul *biocementation of concrete pavement using microbially induced calcite precipitation.*

Tujuan penelitian ini mengetahui pembentukan bakteri kalsit

yang di campurkan dalam perkerasan beton untuk meningkatkan kinerja mekanik. *Lysinibacillus sphaericus* WJ-8 menunjukkan presipitasi kalsit dalam jumlah yang signifikan. Kompresi kekuatan mortar semen dicampur dengan sel WJ-8 dan media nutrient (urea dengan kalsium laktat) meningkatkan 10% dibandingkan dengan control. Sinar-X disepersif energi. Analisa spektroskopi menegaskan bahawa peningkatan kekuatan disebabkan oleh pembentukan kalsit.

hasil penelitian menunjukkan analisis spektroskopi menegaskan bahwa peningkatan kekuatan disebabkan oleh kalsit yang di bentuk oleh sel WJ-8.