

TUGAS AKHIR

**STABILISASI TANAH MENGGUNAKAN BAKTERI
BACILLUS SUBTILIS TERHADAP NILAI *CALIFORNIA*
*BEARING RATIO (CBR)***

Disusun dan diajukan oleh:

**SITI HUSNIANTI HUSAIN
D011 19 1114**



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

TUGAS AKHIR

STABILISASI TANAH MENGGUNAKAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* TERHADAP NILAI *CALIFORNIA* *BEARING RATIO (CBR)*

Disusun dan diajukan oleh:

**SITI HUSNIANTI HUSAIN
D011 19 1114**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

judul

STABILISASI TANAH MENGGUNAKAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* TERHADAP NILAI *CALIFORNIA* *BEARING RATIO (CBR)*

Disusun dan diajukan oleh

Siti Husnianti Husain
D011 19 1114

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 2 Agustus 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui



Pembimbing I,

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



Pembimbing II,

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



Ketua Program Studi,

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng
NIP. 198605292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Siti Husnianti Husain
NIM : D011191114
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Stabilisasi Tanah Menggunakan Bakteri *Bacillus Subtilis* Terhadap Nilai
California Bearing Ratio (CBR)”

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, April 2023

Yang Menyatakan



Siti Husnianti Husain

ABSTRAK

SITI HUSNIANTI HUSAIN. *Stabilisasi Tanah Menggunakan Bakteri Bacillus Subtilis Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR)* (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Abdul Rahman Djamaluddin, M.T dan Ir. Ariningsih Suprapti, S.T., M.T.)

Tanah merupakan komponen yang berperan penting karena berhubungan langsung dengan fondasi konstruksi, termasuk pada konstruksi perkerasan jalan raya diperlukan kondisi tanah dengan sifat teknis maupun mekanis seperti nilai CBR tanah yang sesuai spesifikasi karena kondisi tanah yang buruk sering menimbulkan masalah dan kerusakan konstruksi. Oleh karena itu, untuk mengatasi buruknya kondisi tanah dapat dilakukan stabilisasi tanah dengan bahan alami yang lebih ramah lingkungan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik tanah asli dan akan digunakan bakteri *Bacillus Subtilis* sebagai bahan stabilisator yang bertujuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai CBR tanah, serta pengaruh masa pemeraman terhadap peningkatan nilai CBR tanah terstabilisasi melalui pengujian CBR di laboratorium.

Pengujian yang dilaksanakan meliputi pengujian sifat fisik dan mekanis tanah asli yang diambil dari Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan, serta pengujian CBR tanah terstabilisasi yang dilakukan pada umur pemeraman 7 hari dan 28 hari dengan variasi penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* sebesar 4%, 6%, dan 8% terhadap kadar air optimum tanah asli.

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* dan masa pemeraman pada tanah yang diklasifikasikan sebagai tanah CH atau lempung berplastisitas tinggi menurut USCS dan A-7-6 menurut AASHTO, dapat meningkatkan nilai CBR tanah. Dimana nilai CBR akan terus meningkat seiring bertambahnya masa pemeraman. Kadar penambahan bakteri *Bacillus subtilis* optimum adalah 6% dengan waktu pemeraman 28 hari yang menghasilkan peningkatan Nilai CBR dari nilai CBR tanah asli sebesar 7,58% menjadi 28,23%.

Kata Kunci: *Bacillus subtilis*, Stabilisasi, CBR.

ABSTRACT

SITI HUSNIANTI HUSAIN. *Soil Stabilization Using Bacillus Subtilis Bacteria Against the Value of California Bearing Ratio (CBR)* (Supervised by oleh Prof. Dr. Ir. Abdul Rahman Djamaluddin, M.T and Ir. Ariningsih Suprapti, S.T., M.T.)

Soil is an important component of construction because it is directly connected to the foundation of construction, including in highway pavement construction, soil conditions with technical and mechanical properties such as soil CBR values that suitable with specifications are required, because poor soil conditions often cause problems and construction damage. Therefore, to overcome poor soil conditions, soil stabilization can be carried out with natural materials that are more environmentally friendly.

In this study Bacillus Subtilis bacteria will be used as a stabilizer material which aims to determine its effect on soil CBR values, as well as the effect of the curing period on increasing soil CBR values stabilized through CBR test.

The test in this study, included physical and mechanical testing of the soil taken from engineering faculty of Hasanuddin University, Gowa regency, Sulawesi selatan, and CBR test for stabilized soil with Bacillus Subtilis bacteria testing at curing period 7 days and 28 days with variations in the addition of Bacillus Subtilis bacteria are 4%, 6%, and 8% againts the optimum moisture content of the original soil used in the study.

Based on the research results, the addition of Bacillus Subtilis bacteria and the curing period to the soil as CH or Clay with high plastisity according to USCS and A-7-6 according to ASHHTO, increased the CBR value of the soil. Where the CBR value will continue increase the curing period. The optimum level of addition of Bacillus subtilis bacteria is 6% and 28 days of curing period, which increase the CBR value from the unstabilized soil CBR value 7,58% to 28,23%.

Keywords: Bacillus subtilis, Stabilization, CBR.

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| HALAMAN SAMPUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI | ii |
| PERNYATAAN KEASLIAN | iii |
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACT | v |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR GAMBAR | viii |
| DAFTAR TABEL | ix |
| KATA PENGANTAR | x |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Batasan Masalah | 3 |
| 1.6 Sistematika Penulisan..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1 Definisi Tanah | 6 |
| 2.2 Kadar Air Tanah | 7 |
| 2.3 Berat jenis Tanah..... | 8 |
| 2.4 Batas Batas Atterberg | 8 |
| 2.4.1 Batas Cair (<i>Liquid Limit</i>)..... | 9 |
| 2.4.2 Batas Plastis (<i>Plastic Limit</i>)..... | 9 |
| 2.4.3 Batas Susut (<i>Shrinkage Limit</i>) | 10 |
| 2.4.4 Indeks Plastisitas (<i>Plasticity Index</i>)..... | 11 |
| 2.5 Analisa Ukuran Butiran | 11 |
| 2.5.1 Tanah Berbutir Kasar | 12 |
| 2.5.2 Tanah Berbutir Halus | 12 |
| 2.6 Klasifikasi Tanah..... | 14 |
| 2.6.1 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur..... | 16 |
| 2.6.2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan Pemakaian | 17 |
| 2.7 Stabilisasi Tanah..... | 28 |
| 2.8 Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> | 30 |
| 2.9 <i>California Bearing Ratio (CBR)</i> | 33 |
| 2.10 Penelitian Terdahulu..... | 34 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 39 |
| 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian..... | 39 |
| 3.2 Metode Pengumpulan Data | 40 |
| 3.3 Kerangka Alir Penelitian | 40 |
| 3.4 Material..... | 42 |
| 3.4.1 Tanah Asli | 42 |
| 3.4.2 Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> | 42 |
| 3.5 Alat Pengujian | 43 |
| 3.6 Standar Pengujian..... | 45 |
| 3.7 Benda Uji Pengujian..... | 45 |

| | | |
|-----------------------|--|-----------|
| 3.7.1 | Pengujian Karakteristik Tanah Asli..... | 45 |
| 3.7.2 | Optimalisasi Bahan Stabilisator | 46 |
| 3.8 | Prosedur Pengujian Tanah..... | 46 |
| 3.8.1 | Pengujian Sifat Fisis Tanah..... | 47 |
| 3.8.2 | Pengujian Sifat Mekanis Tanah..... | 49 |
| 3.9 | Kultur Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> | 51 |
| 3.10 | Pembuatan Benda Uji Tambahan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> | 52 |
| BAB IV | HASIL DAN PEMBAHASAN | 54 |
| 4.1 | Karakteristik Sifat Fisis Dan Mekanis Tanah Asli | 54 |
| 4.1.1 | Karakteristik Sifat Fisis Tanah Asli | 54 |
| 4.1.2 | Karakteristik Sifat Mekanis Tanah..... | 58 |
| 4.2 | Pengaruh Penambahan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> terhadap Nilai CBR Tanah | 61 |
| BAB V | KESIMPULAN DAN SARAN | 65 |
| 5.1 | Kesimpulan | 66 |
| 5.2 | Saran | 66 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 68 |
| LAMPIRAN | | 70 |
| | Lampiran 1. Dokumentasi | |
| | Lampiran 2. Data Hasil Pengujian | |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|------------|--|----|
| Gambar 1. | Diagram Batas Batas Atterberg | 9 |
| Gambar 2. | variasi volume dan kadar air pada kedudukan batas cair, batas plastis, dan batas susut | 10 |
| Gambar 3. | Analisis Distribusi Ukuran Butiran..... | 14 |
| Gambar 4. | Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) | 17 |
| Gambar 5. | 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..... | 21 |
| Gambar 6. | Kurva pertumbuhan bakteri | 32 |
| Gambar 7. | Lokasi Pengambilan Sampel Tanah Asli | 39 |
| Gambar 8. | Diagram Alir Tahapan Pelaksanaan Penelitian | 41 |
| Gambar 9. | Tanah Asli..... | 42 |
| Gambar 10. | Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> (Kultur 3 hari)..... | 42 |
| Gambar 11. | Alat dan Bahan kultur bakteri <i>Bacillus subtilis</i> | 51 |
| Gambar 12. | Sampel Uji Pengujian CBR yang sudah dicetak..... | 53 |
| Gambar 13. | Grafik Hasil Pengujian Batas Cair..... | 55 |
| Gambar 14. | Grafik Gradasi Butiran..... | 56 |
| Gambar 15. | Penggolongan Klasifikasi Tanah Asli Menurut Sistem USCS..... | 57 |
| Gambar 16. | Grafik Hubungan Kadar Air dengan Berat Isi Kering..... | 59 |
| Gambar 17. | Grafik hubungan penurunan dan beban CBR tanah asli..... | 60 |
| Gambar 18. | Grafik hubungan nilai CBR dan berat isi kering untuk penentuan nilai CBR tanah asli..... | 60 |
| Gambar 19. | Grafik hubungan antara penambahan bakteri dan nilai CBR (pemeraman 7 hari)..... | 62 |
| Gambar 20. | Grafik hubungan antara penambahan bakteri dan nilai CBR (pemeraman 28 hari)..... | 62 |
| Gambar 21. | Grafik Rekapitulasi hubungan antara penambahan bakteri dan nilai CBR per masa pemeraman | 63 |
| Gambar 22. | Grafik hubungan antara masa pemeraman dan nilai CBR (dengan tambahan 4 % bakteri) | 64 |
| Gambar 23. | Grafik hubungan antara masa pemeraman dan nilai CBR (dengan tambahan 6 % bakteri) | 64 |
| Gambar 24. | Grafik hubungan antara masa pemeraman dan nilai CBR (dengan tambahan 8 % bakteri) | 64 |
| Gambar 25. | Grafik rekapitulasi hubungan antara masa pemeraman dan nilai CBR pada tanah | 65 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabel 1. | Berat Jenis (Gs) Berbagai Jenis Tanah..... | 8 |
| Tabel 2. | Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah..... | 11 |
| Tabel 3. | saringan standar amerika | 12 |
| Tabel 4. | Klasifikasi tanah sistem AASHTO (tanah berbutir kasar) | 19 |
| Tabel 5. | Klasifikasi tanah sistem AASHTO (tanah berbutir halus) | 20 |
| Tabel 6. | Sistem Klasifikasi Unifed (USCS) | 26 |
| Tabel 7. | Sistem Klasifikasi Unifed (lanjutan) | 27 |
| Tabel 8. | Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai <i>CBR</i> | 34 |
| Tabel 9. | Alat Alat Pengujian Sifat Fisis Tanah | 43 |
| Tabel 10. | Alat Alat Pengujian Sifat Mekanis Tanah | 44 |
| Tabel 11. | Standar Metode Pengujian..... | 45 |
| Tabel 12. | Jumlah benda uji untuk pengujian tanah asli..... | 46 |
| Tabel 13. | Jumlah benda uji untuk pengujian <i>CBR</i> tanah terstabilisasi..... | 46 |
| Tabel 14. | Komposisi bahan kultur bakteri <i>Bacillus subtilis</i> | 51 |
| Tabel 15. | Jenis Tanah berdasarkan Berat jenis (Gs)..... | 54 |
| Tabel 16. | Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO) | 57 |
| Tabel 17. | Klasifikasi keandalan tanah berdasarkan AASHTO | 58 |
| Tabel 18. | Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Sifat Fisis dan Sifat Mekanis Tanah Asli..... | 61 |
| Tabel 19. | Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>CBR</i> Tanah Terstabilisasi dengan Variasi Penambahan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> dan Masa Pemeraman. | 62 |

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 “STABILISASI TANAH MENGGUNAKAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* TERHADAP NILAI *CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)*” yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi 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.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 dan **Bapak Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, S.T., M.T.,** selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. **Bapak Prof. Dr. Ir. Abdul Rahman Djamaluddin, M.T.** selaku dosen pembimbing I dan **Ibu Ir. Ariningsih Suprapti, S.T., M.T. selaku pembimbing II** yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Bapak Prof. Dr. Eng. Tri Harianto, S.T., M.T, IPU** selaku Kepala Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
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 yang tercinta, yaitu ayahanda **Husain .D, S.Ip** dan ibunda **Nanting, S.Pd** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Saudara-saudari tercinta **Siti Huspianty Husain, ST., Muh. Husnandar Husain, S.Kom., Muh. Hushardi Husain, ST., dan Siti Husrianti Husain, ST.** yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaiannya tugas akhir ini.
3. Seluruh rekan rekan **Mahasiswa S1, S2, dan S3** di Laboratorium **Mekanika Tanah**, yang senantiasa berbagi wawasan yang sangat bermanfaat, memberikan semangat, dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini yang akan terkenang sepanjang hayat.

4. Saudara-saudari **Portland 2020** selaku keluarga kedua yang senantiasa memberikan warna yang begitu indah, kebersamaan yang tidak akan terlupakan, dukungan yang tiada henti, semangat, dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Sahabat-sahabat tercinta **Juwita, Dela, Inna, Mutiara, Lisa, Mimi, dan Yuni** yang selalu ada memberikan bantuan yang sangat berarti dan semangat selama penyelesaian tugas akhir ini serta telah menjadi saudara tak sedarah bagi penulis.
6. Seluruh anggota grup **Destroyer** yang menjadi teman seperjuangan serta senantiasa memberikan motivasi, semangat, dan bantuan yang tidak ternilai harganya bagi penulis
7. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas semua dukungan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, April 2023

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah adalah kumpulan butiran mineral alami (agregat) yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanis bila agregat tersebut diaduk dalam air. Dan yang dimaksudkan oleh para ahli geologi sebagai “tanah” hanyalah bagian kerak bumi yang menopang tumbuhan. Sedangkan menurut ahli pertanian bahwa yang dimaksud dengan tanah adalah medium alam tempat tumbuhnya tumbuhan dan tanaman yang tersusun dari bahan-bahan padat, gas dan cair. Tanah terdiri dari lapisan partikel yang berbeda dari bahan aslinya dalam sifat fisik, mineralogi, dan kimia, karena interaksi antara atmosfer dan hidrosfer atau sebab lainnya (Darwis, 2018).

Dalam setiap konstruksi, baik itu konstruksi gedung, jalan, jembatan, pelabuhan, bandara, bendungan, maupun bangunan lainnya, tanah merupakan komponen yang berperan penting karena berhubungan langsung dengan fondasi konstruksi. Oleh karena itu, diperlukan kondisi tanah dengan sifat fisis maupun mekanis yang sesuai spesifikasi agar konstruksi yang baik dapat tercapai. Misalnya pada konstruksi perkerasan jalan raya, data mengenai kekuatan tanah dasar sangat mempengaruhi tebal perkerasannya serta kemampuannya menerima dan meneruskan beban kerja di atasnya.

Salah satu metode pengujian yang dapat dilakukan untuk mendapatkan kapasitas kekuatan tanah dasar pada konstruksi jalan adalah pengujian *CBR* di laboratorium. Dengan pengujian *CBR*, maka akan diperoleh perbandingan antara beban penetrasi suatu jenis material atau lapisan tanah terhadap beban material standar berupa batu pecah di *California* sebagai acuannya pada kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama dalam bentuk persentase.

Di Indonesia sendiri tidak semua lapisan tanah dasar mempunyai kekuatan tanah dasar dengan sifat fisis maupun mekanis yang sesuai spesifikasi untuk dapat menahan dan meneruskan beban yang bekerja di atasnya. Oleh karena itu, terdapat beberapa usaha perbaikan tanah yang dilakukan untuk meningkatkan kemampuan

tanah dasar tersebut. Salah satu metode yang telah banyak dilakukan yaitu dengan stabilisasi tanah yang dapat dilakukan secara mekanis maupun kimiawi.

Dalam beberapa tahun terakhir, telah banyak dilakukan stabilisasi tanah secara kimiawi yaitu dengan penambahan campuran bahan yang dapat bereaksi dengan tanah sehingga kekuatan tanah dapat meningkat. Pada penelitian sebelumnya telah dikembangkan teknologi stabilisasi tanah menggunakan mikroorganisme bakteri *Bacillus subtilis* yang terbukti dapat memperbaiki karakteristik dan sifat tanah sehingga tanah terstabilisasi tersebut dapat dipertimbangkan penggunaannya sesuai dengan keperluan yang diinginkan. Menurut DeJong et al (2006), mikroorganisme bakteri *Bacillus subtilis* dapat menghasilkan kalsit/kristal calcium carbonat (CaCO_3) yang merangsang proses sementasi antara butiran tanah sehingga akan merubah butiran pasir menjadi batuan pasir.

Bakteri *Bacillus subtilis* dapat ditemukan secara alami di tanah dan hidup berkoloni serta bersaing dengan mikroorganisme lainnya yang ada di tanah. *Bacillus subtilis* dikenal dapat bertahan dalam kondisi yang keras karena mampu membentuk endospora yang tahan terhadap *stress*, paparan panas, radiasi, bahan kimia, dan pengeringan sebagai bentuk pertahanan. Selain itu, *Bacillus subtilis* juga dapat ditemukan pada campuran produk probiotik serta beberapa bahan makanan sehingga tidak berbahaya bagi makhluk hidup maupun lingkungan.

Dari uraian seperti yang dikemukakan di atas, penulis tertarik untuk mencoba melakukan sebuah penelitian dengan judul

“STABILISASI TANAH MENGGUNAKAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* TERHADAP NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, maka beberapa rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik tanah yang digunakan dalam penelitian?
2. Bagaimana pengaruh variasi penambahan bakteri *Bacillus subtilis* dengan kadar 4%, 6%, dan 8% terhadap nilai CBR tanah yang digunakan dalam penelitian?

3. Bagaimana pengaruh variasi masa pemeraman 7 dan 28 hari terhadap nilai CBR tanah terstabilisasi bakteri *Bacillus subtilis*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis karakteristik tanah yang digunakan dalam penelitian.
2. Menganalisis pengaruh variasi penambahan bakteri *Bacillus subtilis* dengan kadar 4%, 6%, dan 8% terhadap nilai CBR tanah yang digunakan dalam penelitian.
3. Menganalisis pengaruh variasi masa pemeraman 7 dan 28 hari terhadap nilai CBR tanah terstabilisasi bakteri *Bacillus subtilis*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik tanah yang digunakan dalam penelitian serta pengaruh penambahan bakteri *Bacillus subtilis* dan pemeraman pada sifat mekanis tanah terstabilisasi melalui pengujian *California Bearing Ratio (CBR Test)*.

1.5 Batasan Masalah

Demi tercapainya penelitian yang efektif, diperlukan batasan dalam penulisan laporan akhir ini agar pembahasan tidak meluas ruang lingkupnya dan sasaran yang diinginkan dapat tercapai.

Adapun ruang lingkup yang dijadikan batasan dalam penulisan adalah:

1. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium bukan dalam skala lapangan.
2. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah yang di ambil dari Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan.
3. Pengujian dilakukan terhadap variasi penambahan bahan stabilisasi bakteri *Bacillus subtilis*.

4. Penelitian ini hanya meneliti sifat sifat fisis dan mekanis, serta tidak meneliti unsur kimia yang terkandung pada tanah.
5. Sifat fisis dan mekanis tanah asli yang dianalisis adalah:
 - a. Pengujian berat jenis
 - b. Pengujian kadar air
 - c. Pengujian batas-batas atterberg
 - d. Pengujian Analisa saringan dan hidrometer
 - e. Pengujian pemadatan (kompaksi)
 - f. pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) *Unsoaked*
6. Pengujian mekanis tanah terstabilisasi yang dianalisis adalah pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) *Unsoaked* di laboratorium yang dilakukan pemadatan dengan jumlah tumbukan 10, 25, dan 56 kali pada setiap lapis (3 lapis).
7. Persentase komposisi campuran bakteri *Bacillus subtilis* yang digunakan adalah 4%, 6%, dan 8% terhadap kadar air optimum dari uji pemadatan,
8. Komposisi air pada pembuatan benda uji berdasarkan pada kadar air optimum dari uji pemadatan yang dikurangi dengan komposisi campuran bakteri *Bacillus subtilis*.
9. Bakteri *Bacillus subtilis* yang digunakan adalah bakteri berumur 3 hari setelah kultur.
10. Masa pemeraman setelah pembuatan sampel terstabilisasi adalah 7 dan 28 hari.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu: Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan, serta Kesimpulan dan Saran

Berikut merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab tersebut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini mengandung uraian tentang informasi secara keseluruhan dari penelitian ini yang berkenaan dengan latar belakang penelitian, rumusan masalah,

maksud dan tujuan diadakan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi uraian mengenai dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai uraian tentang metode, bahan, peralatan, cara penelitian serta uraian pelaksanaan 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 diperoleh.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat uraian tentang kesimpulan yang dapat diambil dari hasil-hasil analisis terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan yang disertai dengan saran-saran yang diusulkan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Tanah

Secara umum, tanah didefinisikan sebagai bahan yang terdiri dari Agregat (partikel) dari mineral padat yang tidak disemen (berikat secara kimia) Dari bahan organik yang membusuk (partikel padat) dan cairan dan gas yang mengisi rongga antar partikel padat. Tanah dapat digunakan sebagai bahan bangunan dalam berbagai teknik sipil, dan juga dapat digunakan sebagai penopang pondasi bangunan (Das, 1995).

Tanah terdiri dari lapisan partikel yang berbeda dari bahan aslinya dalam sifat fisik, mineralogi, dan kimia, karena interaksi antara atmosfer dan hidrosfer atau sebab lainnya. Partikel tanah terbentuk dari batuan yang pecah yang telah berubah karena efek kimia dan lingkungan, termasuk cuaca dan erosi (Darwis, 2018). 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 hancumnya 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 (Hardiyatmo, 2002).

Tanah menurut Bowles (1989) adalah campuran campuran partikel partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut:

1. Berangkal (*boulders*) adalah potongan batuan batu besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm dan untuk kisaran ukuran ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles/pebbles*).
2. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0.074 mm - 5 mm, yang berkisar dari kasar (3 mm – 5 mm) sampai halus (<1 mm).
3. Lanau (*silt*) adalah batuan yang berukuran dari 0.002 mm – 0.074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan pada deposit yang

disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai ke dalam sungai.

4. Lempung (*clay*) adalah partikel yang berukuran lebih kecil dari 0.002 mm, partikel ini merupakan sumber utama kohesi dari tanah yang kohesif.
5. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam, berukuran lebih kecil dari 0.001 mm.
6. Kerikil (*gravel*) adalah batuan yang berukuran 5 mm sampai 15 mm.

Ada pula menurut Santoso et al (1998) pengelompokan jenis tanah dalam praktek berdasarkan butirnya dibagi menjadi 3 macam yaitu:

1. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang sebagian besar butir-butir tanahnya adalah pasir dan kerikil.
2. Tanah berbutir halus adalah tanah yang hampir semua butir-butir dalam tanahnya berupa lempung dan lanau.
3. Tanah organik adalah tanah yang mengandung banyak bahan organik.

Sedangkan berdasarkan sifat lekatannya, tanah dikelompokkan menjadi :

1. Tanah Kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir - butirnya seperti tanah lempung.
2. Tanah Non Kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butir - butirnya atau hampir tidak mengandung lempung misal pasir.

2.2 Kadar Air Tanah

Menurut Hardiyatmo (2002), kadar air (w) adalah perbandingan antara berat air (w_w) dengan berat butiran padat (w_s), dalam tanah tersebut. Kadar air dinyatakan dalam persen dengan rumus perhitungan adalah sebagai berikut.

$$w(\%) = \frac{w_w}{w_s} \times 100 \quad (1)$$

2.3 Berat jenis Tanah

Berat Jenis atau Berat Spesifik (*Specific Gravity*) yaitu perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperature 4°C, yang dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$G_s = \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \quad (2)$$

Nilai parameter G_s tidak berdimensi. Interval nilai G_s untuk berbagai jenis tanah, berkisar antara 2,58 sampai 2,75. Kecuali untuk jenis tanah humus dan gambut biasanya interval G_s antara 1,25 sampai 1,80 (Darwis, 2018)

Nilai untuk berat jenis berbagai jenis tanah dapat dilihat seperti pada tabel berikut:

Tabel 1. Berat Jenis (G_s) Berbagai Jenis Tanah

| Jenis Tanah | Berat Jenis (G_s) |
|-------------------|-----------------------|
| Kerikil | 2,65 – 2,68 |
| Pasir | 2,65 – 2,68 |
| Lanau Anorganik | 2,62 – 2,68 |
| Lempung Organik | 2,58 – 2,65 |
| Lempung Anorganik | 2,68 – 2,75 |
| Humus | 1,37 |
| Gambut | 1,25 – 1,80 |

Sumber; Darwis (2018)

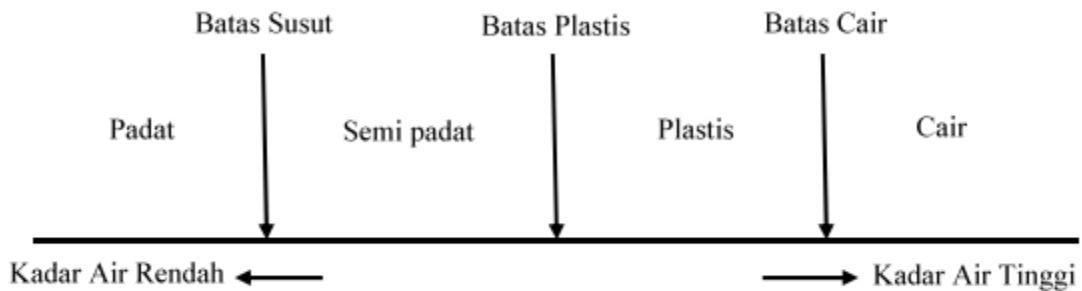
2.4 Batas Batas Atterberg

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Istilah plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak atau remuk. (Hardiyatmo, 2002)

Konsistensi tanah sangat dipengaruhi oleh kadar air, yang mana tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, dan padat. Konsistensi adalah kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu. Konsistensi ini tergantung pada gaya tarik antar partikel lempung di dalam tanah. Pada tahun 1911, Atterberg suatu memberikan metode untuk menggambarkan batas-batas konsistensi tanah yang berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air di dalam tanah. Batas-batas tersebut dikenal dengan istilah “batas-batas Atterberg” yang terdiri

atas ; batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*) (Darwis, 2018).

Batas batas perubahan bentuk tanah yang dipengaruhi oleh kadar air dapat ditunjukkan oleh gambar diagram batas batas atterberg berikut:



Gambar 1. Diagram Batas Batas Atterberg

Sumber: Darwis (2018)

2.4.1 Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas Cair adalah nilai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dengan keadaan plastis tanah, atau nilai batas atas pada daerah plastis. Pengujian batas cair dilakukan dengan uji *Casagrande*, yang mana contoh tanah dimasukkan ke dalam cawan *Casagrande* kemudian permukaannya diratakan, dan dialur (*grooving*) tepat ditengah. Selanjutnya dengan alat penggetar cawan tersebut diketuk-ketukan pada landasannya dengan tinggi jatuh 1 cm sebanyak 25 ketukan. Bila alur selebar 12,7 mm yang berada di tengah tertutup sampai batasan 25 ketukan, maka kadar air tanah pada saat itu merupakan “batas cair” (Darwis, 2018).

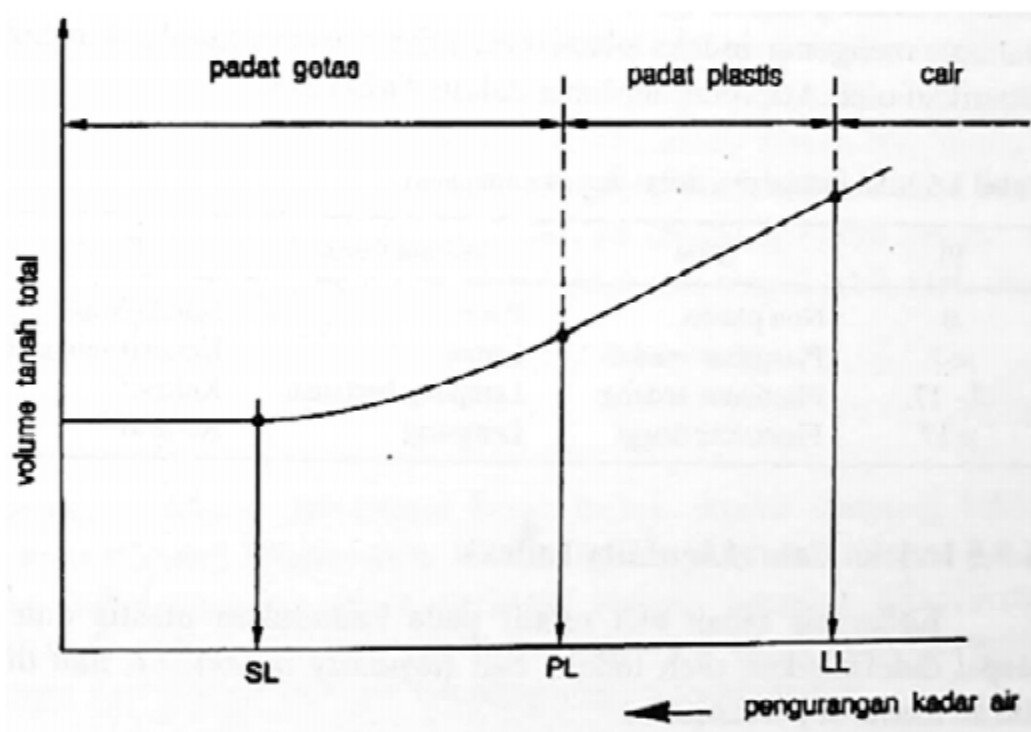
2.4.2 Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis didefinisikan sebagai nilai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dengan daerah semi padat. Nilai batas plastis ini ditentukan dengan percobaan menggulung tanah hingga diameter 3,2 mm dan mulai mengalami retak-retak. Kadar air tanah yang digulung dalam kondisi tersebut merupakan nilai “batas plastis” tanah (Darwis, 2018).

2.4.3 Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (*SL*), didefinisikan sebagai kadar air pada keadaan antara daerah semi padat dan padat yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Percobaan batas susut dilaksanakan dalam laboratorium dengan cawan porselin diameter 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. Bagian dalam cawan dilapisi dengan pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna. Kemudian dikeringkan dalam oven. Volume ditentukan dengan mencelupkannya dengan air raksa (Hardiyatmo, 2002).

Menurut Darwis (2018), Nilai dari batas-batas Atterberg di atas, sangat penting di dalam menentukan klasifikasi dan identifikasi tanah.



Gambar 2. variasi volume dan kadar air pada kedudukan batas cair, batas plastis, dan batas susut

Sumber: Hardiyatmo (2002)

Gambar 4 di atas menunjukkan hubungan variasi kadar air dan volume tanah pada kedudukan batas cair, batas plastis, dan batas susut. Batas batas atterberg sangat berguna untuk identifikasi dan klasifikasi tanah. Batas batas ini

sering digunakan secara langsung dalam spesifikasi, guna mengontrol tanah yang akan digunakan untuk membangun struktur urugan tanah (Hardiyatmo, 2002)

2.4.4 Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks Plastisitas (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis:

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

Indeks plastisitas (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika PI rendah seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering: Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg terdapat dalam Tabel berikut.

Tabel 2. Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

| PI | Sifat | Macam Tanah | Kohesi |
|------|--------------------|------------------|----------------|
| 0 | Non Plastis | Pasir | Non Kohesif |
| <7 | Plastisitas rendah | Lanau | Kohesif Sedang |
| 7-17 | Platisitas sedang | Lempung Berlanau | Kohesif |
| >17 | Plastisitas Tinggi | Lempung Murni | Kohesif |

Sumber: Hardiyatmo (2002)

2.5 Analisa Ukuran Butiran

Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Oleh karena itu, analisis butiran ini merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan. Analisis ukuran butiran adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu (Hardiyatmo, 2002).

Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada ukuran diameter tertentu. Untuk menganalisis ukuran butiran tanah, perlu dilakukan dua pengujian yang simultan, dan tak dapat dipisahkan satu sama lain, yakni : analisis saringan (*sieve analysis*), dan analisis hydrometer (*hydrometer analysis*) (Darwis, 2018).

2.5.1 Tanah Berbutir Kasar

Distribusi ukuran butir untuk tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara menyaring. Caranya, tanah benda uji disaring lewat satu unit saringan standar. Berat tanah yang tinggal pada masing masing saringan ditimbang, lalu persentase terhadap berat kumulatif tanah dihitung (Hardiyatmo, 2002).

Analisis saringan dipergunakan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran tanah yang berbutir kasar (*granuler*), yang dilakukan terhadap sampel tanah yang kering. Pelaksanaan pengujian ini adalah dengan melakukan penyaringan bersusun pada satu unit alat saringan standar. Berat tanah yang tertinggal pada setiap saringan ditimbang, lalu dipersentasekan terhadap berat total sampel tanah yang dianalisis. Susunan saringan berdasarkan standar *ASTM (American Standard of Testing Material)* (Darwis, 2018).

Tabel 3. saringan standar amerika

| No. Saringan | Diameter lubang (mm) |
|--------------|----------------------|
| 3 | 6,35 |
| 4 | 4,75 |
| 6 | 3,35 |
| 8 | 2,36 |
| 1 | 2,00 |
| 16 | 1,18 |
| 2 | 0,85 |
| 30 | 0,60 |
| 40 | 0,42 |
| 50 | 0,30 |
| 60 | 0,25 |
| 70 | 0,21 |
| 100 | 0,15 |
| 140 | 0,106 |
| 200 | 0,075 |
| 270 | 0,053 |

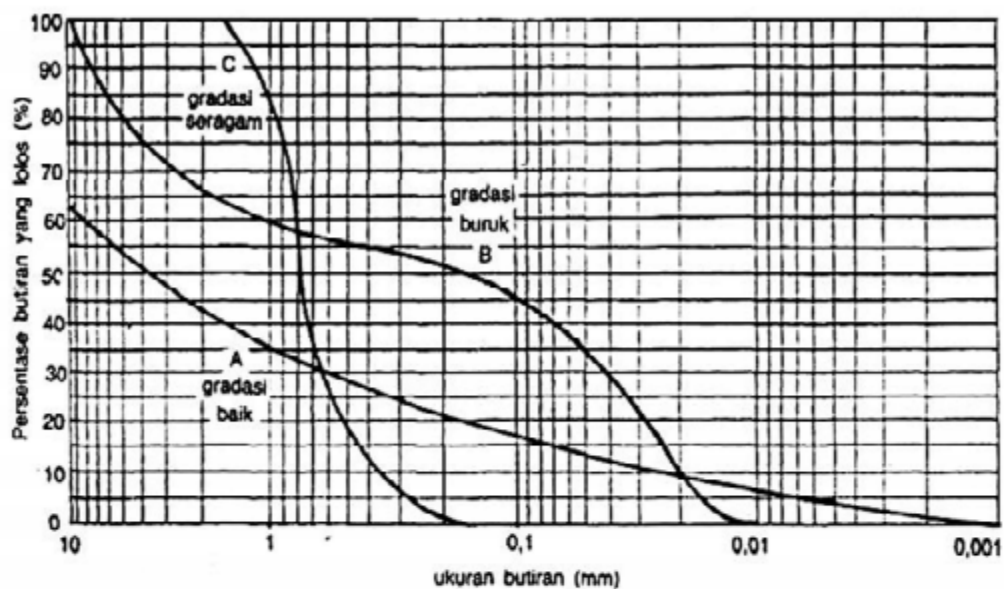
Sumber: Hardiyatmo (2002)

2.5.2 Tanah Berbutir Halus

Distribusi ukuran butir tanah berbutir halus atau bagian berbutir halus dari tanah berbutir kasar, dapat ditentukan dengan cara sedimentasi. Metode ini didasarkan pada hukum Stokes yang berkenaan dengan kecepatan mengendap butiran pada larutan suspensi (Hardiyatmo, 2002).

Analisis hidrometer dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butir tanah yang berbutir halus atau bagian halus dari tanah berbutir campuran (*common soil*). Sampel tanah yang akan diuji dengan analisis *hydrometer*, adalah partikel tanah yang lolos saringan No.200, dan terlebih dahulu harus bebas dari material organik, yang dimaksudkan agar zat organik yang belum merupakan bagian dari konsistensi tanah, tidak akan mengacaukan analisis hidrometer tersebut. Dari uji hidrometer distribusi ukuran butir tanah digambarkan dalam bentuk kurva semilog, ordinat grafik merupakan persen berat butiran yang lebih kecil daripada ukuran butiran yang diberikan dalam absis. Untuk tanah campuran (*common soil*), uji analisis saringan dan uji hydrometer harus dilakukan sehingga distribusi tanah secara lengkap dapat diperjelas. Tanah dikatakan bergradasi baik bila distribusi ukuran butirannya tersebar secara meluas (bervariasi). Sedangkan tanah disebut bergradasi buruk bila jumlah berat butirannya sebagian besar mengelompok dalam batas interval diameter gradasi seragam (interval sempit), atau dominan butirannya berukuran besar atau berukuran kecil sedangkan butiran ukuran sedang relative kurang (Darwis, 2018).

Untuk tanah yang terdiri dari campuran butiran halus dan kasar, gabungan antara analisis dsaringan dan sedimentasi dapat digunakan. Dari hasil penggambaran kurva yang diperoleh, tanah berbutir kasar digolongkan sebagai gradasi baik apabila tidak ada kelebihan butiran pada sembarang ukurannya dan tidak ada yang kurang pada ukuran butiran sedang. Umumnya, tanah bergradasi baik jika didistribusi ukuran butirannya tersebar meluas (pada ukuran butirannya). Tanah berbutir kasar digambarkan sebagai bergradasi buruk, bila jumlah berat butiran sebagian besar mengelompok di dalam batas interval diameter butir yang sempit (disebut bergradasi seragam). Tanah juga termasuk buruk jika butiran yang relatif rendah pada ukuran sedang. Seperti yang dapat dilihat pada gambar berikut (Hardiyatmo, 2002).



Gambar 3. Analisis Distribusi Ukuran Butiran

Sumber: Hardiyatmo (2002)

Kemiringan dan bentuk umum dari kurva distribusi digambarkan oleh koefisien keseragaman (*coefficient of uniformity*), C_u , dan koefisien gradasi (*coefficient of gradation*), C_c , yang diberikan menurut persamaan berikut.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (4)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})} \quad (5)$$

Notasi D_{10} didefinisikan sebagai 10% dari berat butiran total berdiameter lebih kecil dari ukuran butiran tertentu. Sebagai contoh $D_{10} = 0,45$ mm. artinya 10% dari berat butiran total berdiameter kurang dari 0,45 mm. Ukuran-ukuran yang lain seperti D_{30} dan D_{60} didefinisikan seperti cara yang sama. Ukuran D_{10} didefinisikan sebagai ukuran efektif (*effective size*). Tanah bergradasi baik jika mempunyai koefisien gradasi $1 < C_c$ untuk kerikil dan $C_u > 6$ untuk pasir. selanjutnya tanah disebut bergradasi sangat baik. bila $C_u > 15$ (Hardiyatmo, 2002).

2.6 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi berfungsi sebagai

penjelasan singkat dari sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terperinci. Sistem klasifikasi yang sudah ada dan dikembangkan sebagian besar didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana. 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).

Sistem klasifikasi tanah dimaksudkan untuk menentukan dan mengidentifikasi tanah secara sistematis guna menentukan penyesuaian terhadap pemakaian tertentu dan juga berguna untuk menyampaikan informasi mengenai kondisi tanah dari suatu daerah ke daerah lain dalam bentuk suatu data dasar. Klasifikasi tanah juga berfungsi untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis serta karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1991).

Klasifikasi tanah dapat dilakukan secara sistematis yang didasarkan pada hasil-hasil percobaan laboratorium atau dilakukan secara visual. Dalam kedua cara ini, prinsip prinsipnya sama, dan akan menghasilkan deskripsi atau klasifikasi yang sama pula. Insinyur geoteknik umumnya mengklasifikasikan tanah berdasarkan karakteristik tekniknya dan hubungannya dalam membangun pondasi dan bangunan di atasnya. Sistem klasifikasi modern didesain untuk memudahkan perkiraan sifat dan perilaku tanah berdasarkan observasi di lapangan (Darwis, 2018).

Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat 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, 2002).

Menurut Das (1995), dasar pengklasifikasian tanah dapat dibagi menjadi dua sistem, yaitu sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur dan sistem klasifikasi tanah berdasarkan pemakaian.

2.6.1 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur

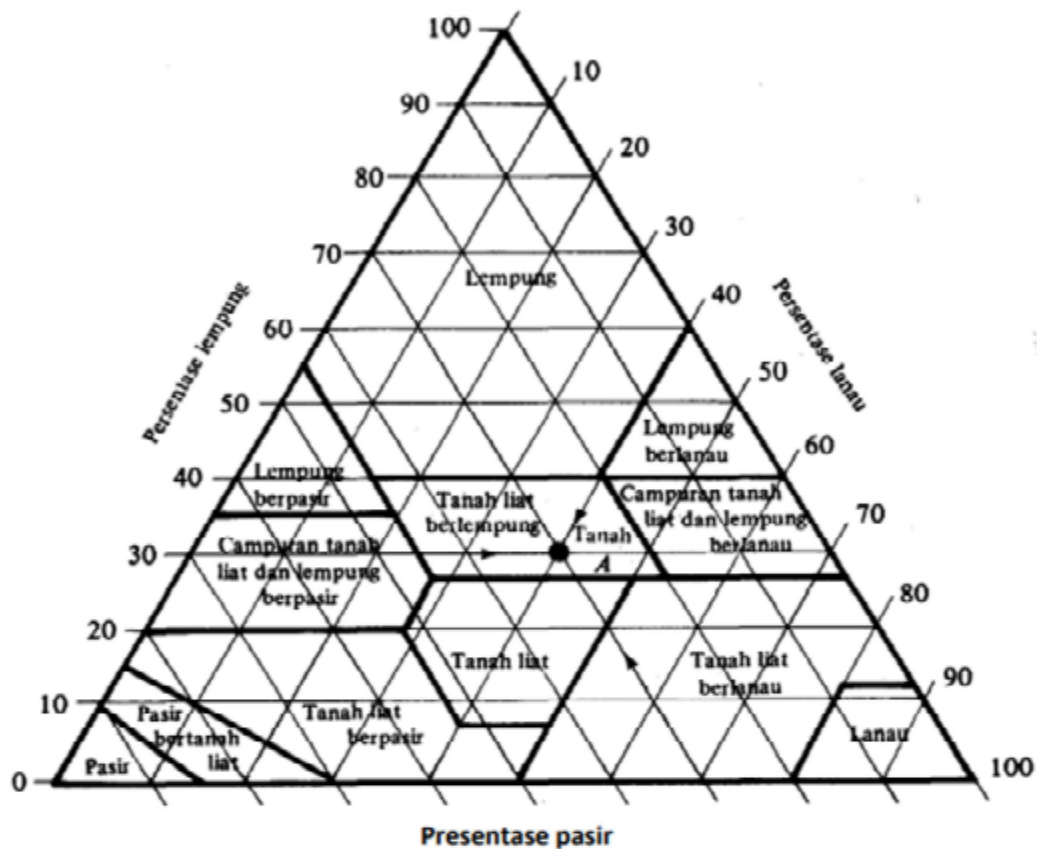
Secara umum tekstur tanah adalah perbandingan antara fraksi fraksi golongan partikel penyusun tanah dalam bentuk persen sehingga mengindikasikan tingkat kehalusan atau kekasaran tanah. Tekstur tanah juga dapat mempengaruhi kekerasan, permeabilitas, dan plastisitas dari tanah. Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur mengacu pada ukuran partikel yang menyusun tanah tersebut sehingga terdapat tanah yang bertekstur halus, sedang, dan kasar.

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur telah dikembangkan oleh departemen pertanian amerika (USDA) yang mengklasifikasikan tanah atas dasar ukuran butirannya sebagai berikut:

- a. Pasir : ukuran butiran antara 2,0 – 0,05 mm.
- b. Lanau : ukuran butiran 0,05– 0,002 mm.
- c. Lempung : ukuran butiran < 0,002 mm.

Dalam sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur, tanah diberi nama atas dasar komponen utama yang dikandungnya, misalnya lempung berpasir (*sandy clay*), lempung berlanau (*silty clay*), dan seterusnya. Sistem klasifikasi berdasarkan tekstur yang masih digunakan sampai saat ini adalah sistem klasifikasi tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA) (Das, 1995). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah. Sistem klasifikasi tanah ini lebih banyak menekankan pada morfologi dan kurang menekankan pada faktor-faktor pembentuk tanah (Darwis, 2018).

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur yang dikembangkan oleh departemen pertanian amerika (USDA) dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)

Sumber: Das (1995)

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 diatas. 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 (Das, 1995).

2.6.2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan Pemakaian

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. 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 (Das, 1995).

Klasifikasi keteknikan yang paling banyak digunakan adalah klasifikasi Unified Soil Classification System(USCS). Sistem tanah untuk keteknikan lainnya yaitu AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (Darwis, 2018).

a. Sistem Klasifikasi American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

Sistem klasifikasi tanah sistem AASHTO pada mulanya dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini mengklasifikasikan tanah kedalam delapan kelompok, A-1 sampai A-7. Setelah diadakan beberapa kali perbaikan, sistem ini dipakai oleh *The American Association of State Highway Officials* (AASHTO) dalam tahun 1945. Pengklasifikasian tanah dilakukan dengan cara memproses dari kiri ke kanan pada bagan AASHTO, sampai menemukan kelompok pertama yang data pengujian bagi tanah tersebut yang terpenuhi. Khusus untuk tanah-tanah yang mengandung bahan butir halus diidentifikasi lebih lanjut dengan indeks kelompoknya. Indeks kelompok didefinisikan, sesuai dengan kelompok tanah, yang dapat diklasifikasikan berdasarkan partikel butiran tanah (Darwis, 2018).

Menurut Das (1995), Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini:

a. Ukuran butir:

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

Tabel berikut merupakan tabel klasifikasi tanah sistem AASHTO untuk tanah berbutir kasar (*granuler soil*):

Tabel 4. Klasifikasi tanah sistem AASHTO (tanah berbutir kasar)

| Klasifikasi Umum | Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 20) | | | | | | |
|---------------------------------------|---|---------|-------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|
| | A-1 | | A-3 | A-2 | | | |
| | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 |
| Analisis ayakan (%lolos) | | | | | | | |
| No. 10 | Maks 50 | | | | | | |
| No. 40 | Maks 30 | Maks 50 | Min 51 | | | | |
| No. 200 | Maks 15 | Maks 25 | Maks 10 | Maks 35 | Maks 35 | Maks 35 | Maks 35 |
| Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 | | | | | | | |
| Batas cair (<i>LL</i>) | | | | Maks 40 | Maks 41 | Maks 40 | Min 41 |
| batas plastisitas (<i>PI</i>) | | Maks 6 | NP | Maks 10 | Maks 10 | Min 11 | Min 11 |
| Tipe material yang paling dominan | Batu pecah, kerikil, dan pasir | | Pasir Halus | Kerikil Yang berlanau atau berlempung | | | |
| Penilaian sebagai bahan tanah dasat | Baik Sekali sampai Baik | | | | | | |

Sumber: Das (1995)

Menurut sistem di atas tanah dibagi menjadi 7 kelompok, dan diberi nama dari A-1 sampai A-7. Semakin kecil angkanya, semakin baik untuk bahan subgrade jalan, dan sebaliknya semakin besar angkanya semakin jelek untuk subgrade. Kecuali pada tanah dalam group A-3, lebih baik dari pada semua jenis tanah dalam group A-2 sebagai bahan untuk subgrade jalan (Darwis, 2018).

Adapun untuk tanah berbutir halus (*finer soils*) yaitu tanah yang termasuk tanah lanau dan lempung dengan persentasi tanah yang lolos saringan No. 200 lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah yang diuji. Menurut sistem AASHTO tanah berbutir halus terbagi menjadi empat kelompok dan diberi nama mulai dari A4 sampai A7 seperti yang terlihat pada tabel klasifikasi berikut.

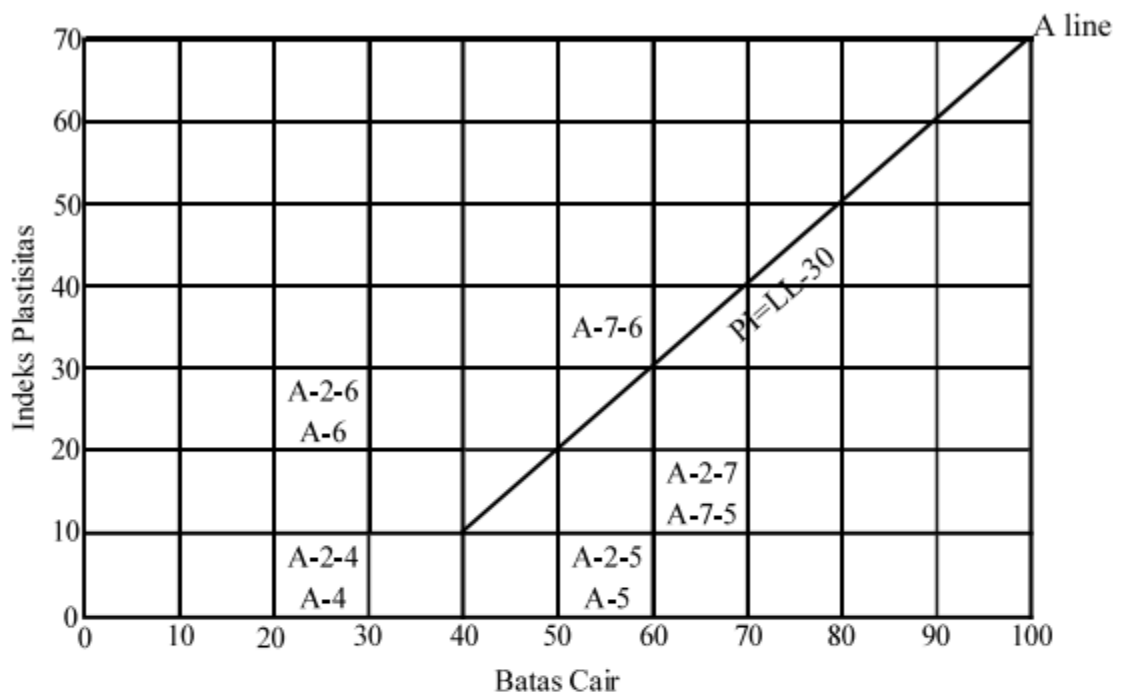
Tabel 5. Klasifikasi tanah sistem AASHTO (tanah berbutir halus)

| Klasifikasi Umum | 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' |
| Analisis 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) Batas plasti (PI) | Maks 40 Maks 10 | Maks 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 | | | |

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

' untuk A-7-6, $PI > LL-30$

Sumber: Das (1995)



Gambar 5. 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.

Sumber: Das (1995)

Pengujian tanah yang diperlukan dalam klasifikasi ini adalah “analisis saringan” dan “uji batas-batas Atterberg”. Selanjutnya dihitung indeks kelompok (*group index – GI*), yang digunakan untuk mengevaluasi pengelompokan tanah (Darwis, 2018). 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:

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15)(PI - 10) \quad (6)$$

di mana:

F = Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200

LL = Batas cair (liquid limit)

PI = Indeks plastisitas.

Suku pertama persamaan di atas, yaitu $(F - 3.5) [0.2 + 0.005 (LL - 40)]$, adalah bagian dari *indeks grup* yang ditentukan dari batas cair (LL). Suku yang kedua, yaitu $0.01 (F - 1.5) (PI - 10)$, 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 dibulatkan menjadi 4,0).
- c. Tidak ada batas atas untuk indeks grup.
- d. 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.
- e. Untuk tanah yang masuk kelompok A-2-6 dan A-2-7, hanya bagian dari indeks grup untuk PI saja yang digunakan, yaitu:

$$GI = 0,01 (F - 1,5)(PI - 10) \quad (7)$$

Pada umumnya, kualitas tanah yang digunakan untuk bahan tanah dasar dapat dinyatakan sebagai kebalikan dari harga *indeks grup* (Das, 1995).

Apabila nilai indeks kelompok semakin tinggi, maka semakin berkurang ketepatan dalam pemilihan penggunaan tanah tersebut (gradasi jelek). Tanah granuler diklasifikasikan dalam A1 sampai A3. Sedangkan tanah berbutir halus diklasifikasikan dalam A4 sampai A7. Tanah klasifikasi A1, adalah tanah granuler bergradasi “baik”, dan tanah klasifikasi A3, merupakan pasir bersih yang bergradasi “buruk”. Sedangkan klasifikasi A2 adalah tanah granuler (kurang dari 35% lolos saringan No. 200), tapi masih mengandung lanau dan lempung (Darwis, 2018).

- b. Sistem Klasifikasi *Unifed Soil Classification System* (USCS)

Menurut Darwis (2018), klasifikasi tanah sistem USCS (*Unified Soil Classification System*), diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Kemudian

American Standard Testing of Materials (ASTM), telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah. Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu:

- a. 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*) atau S untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*).
- b. Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} \geq 50$).

Selanjutnya tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub-kelompok. Digunakan symbol-simbol dalam sistem USCS sebagai berikut.

G = *gravel* (kerikil)

S = *sand* (pasir)

C = *anorganic clay* (lempung)

M = *anorganic silt* (lanau)

O = lanau atau lempung organik

Pt = *peat* (tanah gambut atau tanah organik tinggi)

W = *well-graded* (gradasi baik)

P = *poorly-graded* (gradasi buruk)

H = *high-plasticity* (plastisitas tinggi)

L = *low-plasticity* (plastisitas rendah).

Prosedur penentuan klasifikasi tanah dengan Sistem *Unified* sebagai berikut :

1. Tentukan tanah apakah berbutir “halus” atau “kasar” (secara visual atau saringan No. 200).
2. Untuk tanah berbutir kasar, maka lakukan ;
 - a. Saringan tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butiran.

- b. Hitung persen lolos saringan No.4 ; bila persentase lolos $< 50\%$ klasifikasikan tanah sebagai “kerikil” ; bila persentase lolos $> 50\%$ klasifikasikan tanah sebagai “pasir”.
 - c. Hitung persen lolos saringan No.200 ; bila persentase lolos $< 5\%$ maka hitung C_u dan C_c ; bila termasuk bergradasi baik, klasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) dan klasifikasikan sebagai SW (bila pasir) ; bila termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) dan klasifikasikan sebagai SP (bila pasir).
 - d. Apabila persentase butiran yang lolos saringan No.200 diantara 5% sampai 12%, maka tanah akan memiliki symbol ganda dan mempunyai sifat plastisitas (GW-GM atau SW-SM, dan lain-lain).
 - e. Apabila persentase butiran yang lolos saringan No.200 $> 12\%$, maka harus dilakukan uji batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal pada saringan No.40. Kemudian dengan menggunakan diagram plastisitas, tentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM-GC atau SM-SC).
3. Untuk tanah berbutir halus, maka :
- a. Lakukan uji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran yang tinggal di atas saringan No.40. Bila batas cari (LL) > 50 , klasifikasikan tanah tersebut sebagai H (plastisitas tinggi) ; bila LL < 50 klasifikasikan tanah sebagai L (plastisitas rendah).
 - b. Untuk tanah H, bila batas-batas Atterberg diplot pada grafik plastisitas dan berada di bawah garis A, tentukanlah apakah masuk kategori OH (*organic*) atau MH (anorganik). Dan bila plottingnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai tanah CH (*organic* plastisitas tinggi).
 - c. Untuk tanah L, bila batas-batas Atterberg diplot pada grafik plastisitas dan berada di bawah garis A dan area

yang diarsir, tentukanlah apakah masuk kategori OL (organik) atau ML (anorganik) berdasarkan warna, bau atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven.

- d. Bila batas-batas Atterberg diplot pada grafik plastisitas dan berada pada area yang diarsir, dekat dengan garis A, atau nilai LL sekitar 50, maka gunakan symbol ganda.

Rincian sistem klasifikasi Unifed (USCS) ini diberikan dalam Tabel berikut.

Tabel 6. Sistem Klasifikasi Unifed (USCS)

| Divisi Utama | | Simbol Kelompok | Nama umum | |
|--|---|--|--|--|
| Tanah berbutir kasar lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200' | Pasir Lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No.4 | kerikil bersih (hanya kerikil) | GW Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus | |
| | | kerikil dengan butiran halus | GP Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus | |
| | | kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No.4 | pasir bersih (hanya pasir) | GM kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau |
| | | | pasir dengan butiran halus | GC kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lanau |
| | kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No.4 | pasir bersih (hanya pasir) | SW Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus | |
| | | pasir dengan butiran halus | SP Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus | |
| | | lanau dengan lempung Batas cair 5% atau kurang | SM Pasir berlanau, campuran pasir-lanau | |
| | | | SC pasir berlempung, campuran pasir-lempung | |
| | Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200' | lanau dengan lempung Batas cair 5% atau kurang | ML lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung | |
| | | | CL Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clay) | |
| OL Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah | | | | |
| Lanau dan lempung Batas Cair lebih dari 50% | | MH Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanai diatomae, lanau yang elastis | | |
| | | CH lempung anorganik, dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays) | | |
| | | OH lempung anorganik, dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi | | |
| | | PT Peat (gambut), muck, dan tanah tanah lain dengan kandungan organik tinggi | | |

*Menurut ASTM (1983)

'berdasarkan tanah yang lolos ayakan 75 mm (3 in)

Sumber: Das (1995)

Tabel 7. Sistem Klasifikasi Unifed (lanjutan)

| | Kriteria Klasifikasi | |
|--|---|---|
| Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 GW, GP, SW, SP Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 GM, GC, SM, SC 5% sampai 12% lolos ayakan No. 200 klasifikasi pembatasan yang memerlukan penggunaan dua simbol | $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ lebih besar dari 4 | |
| | $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 sampai 3 | |
| | Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW | |
| | Batas batas atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ | batas batas atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda |
| | Batas batas atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ | |
| | $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ lebih besar dari 6 | |
| | $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 sampai 3 | |
| | Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW | |
| | Batas batas atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ | batas batas atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda |
| | Batas batas atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ | |

bagan plastisitas

Untuk klasifikasi tanah berbutir halus dan fraksi halus dari tanah berbutir kasar. Batas batas atterberg yang digambarkan dibawah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang mebutuhkan simbol ganda persamaan garis A= 0.73 (LL-30)

manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam
ASTM Designation D-2488

Sumber: Das (1995)

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 6 dan Tabel 7. Garis diagonal pada bagan plastisitas dinamakan garis A (sebelumnya sudah diperkenalkan dalam Gambar di atas, dan garis A tersebut diberikan dalam Persamaan berikut :

$$PI = 0,73 (LL - 20) \quad (8)$$

Untuk tanah gambut (peat), identifikasi secara visual mungkin diperlukan (Das, 1995).

2.7 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah upaya memperbaiki sifat sifat teknis tanah untuk meningkatkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan gesernya dengan menambahkan suatu bahan ataupun memberikan perlakuan dan tindakan tertentu pada tanah.

Secara umum stabilisasi dilakukan pada tanah yang tidak memenuhi spesifikasi sehingga diperlukan tindakan perbaikan dan perkuatan pada tanah tersebut. Perbaikan tanah (*soil improvement*) adalah stabilisasi dengan menambahkan bahan addictive (kimiawi) pada tanah, pencampuran untuk mengganti komposisi tanah (*re-gradation*), mengurangi kadar air dengan pengeringan (*dewatering*), dan menyalurkan energi statis atau dinamis pada tanah (fisik). Sementara itu, perkuatan tanah adalah stabilisasi dengan memberikan material lain yang disisipkan pada tanah.

Pengertian stabilisasi secara khusus yang dikemukakan menurut beberapa ahli adalah sebagai berikut:

1. Menurut Kreb dan Walker (1971), dalam arti luas, tujuan stabilisasi tanah meliputi perlakuan tanah dimana dibuat lebih stabil.
2. Menurut Bowles (1991), stabilisasi tanah dapat terdiri dari salah satu atau kombinasi dari pekerjaan mekanis dan bahan pencampur (*additiver*).
3. Menurut Hardiyatmo (2002), dalam pembangunan perkerasan jalan, stabilisasi tanah didefinisikan sebagai perbaikan material jalan lokal yang

ada, dengan cara stabilisasi mekanis atau dengan cara menambahkan suatu bahan tambah (*additive*) ke dalam tanah.

Adapun stabilisasi tanah jika ditinjau dari proses yang terjadi terdiri dari salah satu atau kombinasi beberapa cara berikut:

- a. Stabilisasi kimia, adalah stabilisasi dengan menambahkan bahan kimia pada material tanah yang menyebabkan reaksi dari pencampurannya sehingga dapat dihasilkan material baru berupa tanah terstabilisasi dengan sifat yang lebih baik. Stabilisasi ini dapat berupa pencampuran tanah dengan material seperti semen, aspal, maupun mikroorganisme.
- b. Stabilisasi fisik, adalah stabilisasi dengan memberikan energi berupa pembebanan statis maupun dinamis pada tanah sehingga tidak terjadi perubahan struktur tanah tetapi karakteristik tanah mengalami perbaikan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Contoh stabilisasi ini yaitu metode *soil preloading* dan *vacuum preloading*.
- c. Stabilisasi mekanis, adalah stabilisasi dengan memberikan material sisipan pada tanah tanpa mencampurkan material tersebut sehingga material sisipan dan tanah tidak menjadi homogen satu sama lain tetapi tanah dapat mengalami perkuatan karena adanya material sisipan tersebut. Karena adanya keberadaan material sisipan, stabilisasi mekanis dikenal pula dengan istilah sebagai “perkuatan tanah (*soil reinforcement*)”. Contoh stabilisasi ini adalah stabilisasi dengan metal strip, geotextile, *geomembrane*, *geogrid*, *vertical drain*, dan lain sebagainya.

Dari pengklasifikasian diatas, dapat terlihat bahwa stabilisasi kimia dan stabilisasi fisik merupakan tindakan perbaikan tanah (*soil improvement*) sedangkan stabilisasi mekanis adalah tindakan perkuatan tanah (*soil reinforcement*). Adapun sifat tanah yang menjadi tujuan dari stabilisasi tersebut dapat meliputi, kestabilan volume, meningkatnya kekuatan atau daya dukung tanah, permeabilitas yang baik, dan kekekalan atau keawetan material tanah.

Menurut Bowles (1991), beberapa tindakan yang dilakukan sebagai bentuk stabilisasi tanah adalah :

1. meningkatkan kerapatan tanah.

2. menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi atau tahanan gesek yang timbul.
3. menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan/atau fisis pada tanah.
4. menurunkan muka air tanah (drainase tanah).
5. mengganti tanah yang buruk.

2.8 Bakteri *Bacillus subtilis*

Menurut *Bergey's manual of systematic bacteriology 2nd edition* dalam Madigan et al. (2003), jenjang klasifikasi bakteri *Bacillus subtilis* adalah sebagai berikut.

Kingdom : Bacteria

Filum : Firmicutes

Kelas : Bacilli

Ordo : Bacillales

Famili : Bacillaceae

Genus : Bacillus

Spesies : Bacillus subtilis

Bacillus subtilis merupakan bakteri berbentuk batang berukuran 0,5- 2,5 x 1,2-10 mikron, tersusun dalam sepasang atau bentuk rantai, dimana silika meliputi seluruh permukaan sel. Dalam kondisi kritis mampu membentuk spora. Bakteri antagonis *B. subtilis* dapat bertahan pada kondisi lingkungan tertentu, yaitu pada suhu -5°C sampai 75°C, dengan tingkat keasaman (pH) antara 2-8. Pada kondisi yang sesuai dan mendukung, populasinya akan menjadi dua kali banyaknya selama waktu tertentu. Waktu ini dikenal dengan waktu generasi atau waktu penggandaan, yang untuk *B. subtilis* adalah 28,5 menit pada suhu 40°C (Soesanto, 2008).

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 14 ketahanan yang tinggi terhadap faktor

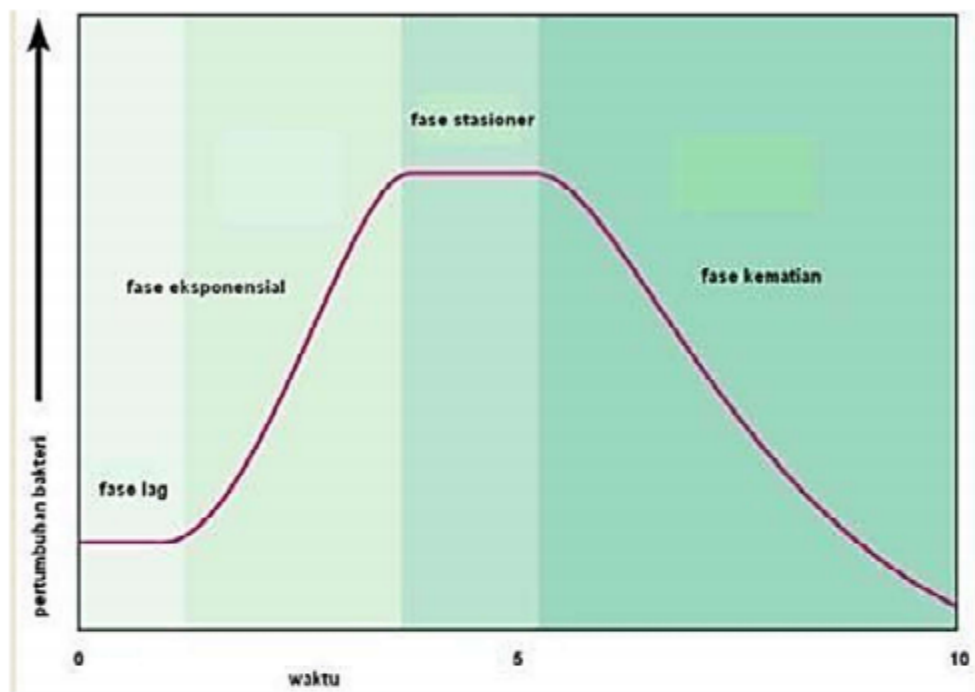
kimia dan fisika, seperti suhu ekstrim, alkohol dan sebagainya. Pembentukan endospora terjadi selama lebih kurang 8 jam dan dapat bertahan selama 6 tahun (Soesanto, 2008).

Bakteri urease akan mengkatalisis urea sehingga melepas ion karbonat, yang selanjutnya akan terikat dengan ion kalsium dari CaCl_2 dan mempresipitasikan kalsium karbonat/calcite (CaCO_3). Kalsit inilah yang mengikat partikel tanah satu sama lain. Sehingga presipitasi kalsium karbonat merupakan proses yang utama dalam teknik biogrout. Teknik tersebut bekerja pada tingkat pori-pori yaitu memperbaiki kondisi tanah dengan meningkatkan kekuatan dan kekakuan (stiffness) (Indriani, 2021).

Menurut Holt, et al (2001), *Bacillus* termasuk kedalam kelompok bakteri batang dan kokus pembentuk endospora dengan ciri ciri memiliki bentuk sel batang, motil karena memiliki satu flagel, gram positif, bersifat aerobik, membentuk endospora, memiliki habitat pada tanah, air, lingkungan akuatik, pencernaan hewan (termasuk manusia), beberapa spesies bersifat patogenesis terhadap manusia dan binatang lain. Dalam *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology 9th edition* genus *Bacillus* memiliki karakteristik yang berbeda jika dibandingkan dengan bakteri pembentuk endospora dari genera dengan jenis yang sama.

Bacillus Subtilis telah terbukti sangat mudah untuk manipulasi genetik, dan telah banyak diadopsi sebagai organisme model untuk penelitian laboratorium, terutama spulurasi, yang merupakan contoh sederhana dari diferensiasi seluler. Dalam hal popularitas organisme model laboratorium, *Bacillus subtilis* sering dianggap ekuivalen gram-positif dari *Escherichia coli*, suatu bakteri Gram-negatif (Hartono, 2020).

Apabila sejumlah sel mikroba (contoh: Bakteri) ditanam kedalam suatu medium baru, maka sel-sel bakteri tersebut tidak akan segera membelah diri. Dari profil garis grafik pertumbuhan sel bakteri, dapat dikenal fase-fase pertumbuhan populasi sel bakteri, seperti yang ditunjukkan pada gambar kurva pertumbuhan bakteri berikut.



Gambar 6. Kurva pertumbuhan bakteri

Sumber: M. Natsir Djide dan Sartini (2012)

Kurva di atas menunjukkan logaritma dari kerapatan populasi sel. Titik vertikal menunjukkan batas-batas setiap fase pertumbuhan yang terbagi menjadi.

1. Fase permulaan

Dikenal pula dengan *initial phase (lag phase)* atau *laten phase*. Dalam fase ini bakteri belum mengadakan perbanyakan sel, bahkan sebagian sel bakteri mati, hingga hanya sel yang kuat saja yang bertahan hidup. Ukuran sel membesar yang disebabkan pemasukan air imbibisi kedalam sel. Secara teoritis keadaan *laten* atau *leg* ini disebabkan oleh keberadaan sel bakteri dalam lingkungan baru sehingga sel harus menyesuaikan diri dalam lingkungan yang baru tersebut.

2. Fase pertumbuhan dipercepat

Selama fase ini, sel bakteri belum memperbanyak diri namun ukuran dan kecepatan pertumbuhannya makin lama makin meningkat. Hal tersebut disebabkan karena adanya air imbibisi dan adanya permulaan metabolisme, namun di sisi lain waktu generasi bakteri semakin pendek.

3. Fase logaritma

Selama fase ini, kecepatan pertumbuhan sel berjalan maksimum dan konstan. Ditinjau dari sel secara individual, ukuran sel justru ada pada ukuran yang minimum dengan ketebalan dinding sel yang minimum pula. Hal tersebut disebabkan karena aktifnya sel membelah diri.

4. Fase pertumbuhan mulai terhambat

Kecepatan pertumbuhan melambat yang disebabkan oleh habisnya nutrisi dan perubahan kondisi lingkungan karena banyaknya substansi toksik hasil metabolisme sel.

5. Fase stasioner maksimum

Pada fase ini terjadi penimbunan zat-zat yang bersifat racun sehingga kecepatan perbanyakan akan terhambat. Selain itu, jumlah mikroorganisme yang semakin meningkat sehingga jumlah mikroorganisme yang mati hampir sama dengan jumlah mikroorganisme yang hidup.

6. Fase kematian dipercepat dan fase kematian logaritma.

Pada fase ini jumlah sel yang hidup akan terus menurun dan jumlah kematian yang semakin meningkat yang disebabkan oleh kondisi lingkungan yang semakin memburuk (M. Natsir Djide dan Sartini, 2012)

2.9 California Bearing Ratio (CBR)

California Bearing Ratio Test atau dikenal dengan pengujian *CBR* adalah pengujian yang dapat dilakukan di laboratorium ataupun di lapangan dengan tujuan untuk mengetahui kapasitas daya dukung tanah. Dari pengujian ini akan didapatkan nilai *CBR* yaitu perbandingan antara beban penetrasi suatu material yang diuji dengan beban standar dalam bentuk persentase. Besarnya nilai *CBR* menandakan tingkat kekerasan suatu material yang diuji, sehingga semakin keras suatu material yang diuji maka semakin tinggi pula nilai *CBR* yang didapatkan.

Dalam perkerasan jalan raya nilai *CBR* dapat digunakan sebagai parameter sesuai atau tidaknya penggunaan suatu material tanah untuk lapisan perkerasan

karena besaran nilai *CBR* dapat menjadi parameter menentukan kemampuan tanah tersebut menerima dan meneruskan beban di atasnya. Nilai *CBR* setiap tanah berbeda beda sesuai dengan tingkat kekerasan tanah tersebut. Berikut merupakan tabel klasifikasi tanah berdasarkan nilai *CBR*.

Tabel 8. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai *CBR*

| CBR | General Rating | Uses | Classification System | |
|---------|----------------|----------------|------------------------|---------------------|
| | | | Unified | AASHTO |
| 0 - 3 | Very poor | Subgrade | OH, CH, MH, OL | A5, A6, A7 |
| 3 - 7 | Poor to fair | Subgrade | OH, CH, MH, OL | A4, A5, A6, A7 |
| 7 - 20 | Fair | Subbase | OL, CL, ML, SC, SM, SP | A2, A4, A6, A7 |
| 20 - 50 | Good | Base, sub base | GM, GC, SW, SM, SP, GI | A1b, A2-5, A3, A2-6 |
| >50 | Excellent | Base, sub base | GW, GM | A1a, A2-4, A3 |

Sumber (Das, 1995)

Pada tabel 8 diatas terlihat bahwa berdasarkan nilai *CBR* tanah diklasifikasin menjadi 5 kelompok yaitu very poor, poor to fair, fair, good, dan excellent. Untuk penggunaan sebagai lapis pondasi perkerasan maka tanah harus tergolong dalam kelompok fair, good, dan excellent. Sedangkan untuk tanah very poor dan poor harus dilakukan stabilisasi terlebih dahulu agar dapat digunakan sebagai lapis pondasi perkerasan.

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian penelitian terdahulu mengenai stabilisasi tanah dengan menggunakan *Bakteri Bacillus subtilis* telah dilakukan, seperti yang telah dilakukan oleh:

1. Andri Hartono (2020): Studi Eksperimental Perbaikan Sifat Fisik Tanah Gambut Menggunakan Campuran Pasir dan Teknik *Bio-grouting* dengan Bantuan Bakteri *Bacillus Subtilis*.

Pada penelitian ini digunakan tanah gambut yang diambil dari Desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun Kabupaten Siak dan bakteri yang berasal dari Laboratorium Pertanian Universitas Islam Riau pekanbaru. Pengujian pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Islam Riau Pekanbaru dan meliputi pengujian pendahuluan yaitu pengujian sifat fisis dan propertis

tanah serta pengujian utama yaitu pengujian sifat fisik tanah terstabilisasi bakteri *Bacillus subtilis* mencakup pengujian kadar air dan berat jenis. Adapun variasi persentase kadar bakteri yang digunakan adalah 0%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dengan jumlah sampel 3 buah untuk setiap variasi dan sebelum pengujian dilakukan pemeraman selama 14 hari. Hasil dari penelitian ini untuk pengujian kadar air tanah gambut yang distabilisasi tidak sepenuhnya mengalami perbaikan dan penurunan kadar air, bahkan pada penambahan larutan bakteri 10% terjadi kenaikan kadar air sebesar 10.9% dibanding dengan sampel benda uji tanpa perlakuan atau kadar bakteri 0%. Sementara itu, untuk pengujian berat jenis juga tidak sepenuhnya mengalami perbaikan dan peningkatan nilai berat jenis dan didapatkan berat jenis tertinggi dengan nilai 1.80 atau kenaikan 0.25 dari sampel benda uji tanpa perlakuan pada penambahan bakteri sebanyak 25%. Dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin rendah kadar air maka akan semakin tinggi nilai berat jenis dibuktikan dengan sampel benda uji dengan kadar air tertinggi yaitu pada penambahan bakteri 10% didapatkan berat jenis yang terendah, begitu pula sebaliknya.

2. Bayu Hadi Prabowo (2021): Studi Laboratorium Nilai *CBR* Tanah Gambut dengan Menggunakan Metode *MICP* (*Microbially Induced Calcite Precipitation*).

Pada penelitian ini digunakan Tanah Gambut yang diambil dari Desa Buana Makmur Km. 55, Kecamatan Dayun Kabupaten Siak Provinsi Riau dan bakteri *Bacillus subtilis* yang berasal dari Laboratorium Pertanian Universitas Islam Riau, Pekanbaru, Riau. Pengujian pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Islam Riau Pekanbaru dan meliputi pengujian pendahuluan yaitu pengujian sifat fisik dan propertis tanah serta pengujian utama yaitu pengujian *CBR* laboratorium pada tanah terstabilisasi bakteri *Bacillus subtilis*. Adapun variasi persentase kadar bakteri yang digunakan adalah 0%, 10%, 20%, dan 30% dengan variasi pemeraman 0 hari, 3 hari, dan 7 hari. Hasil dari penelitian ini adalah

nilai *CBR* yang di hasilkan dari penambahan bakteri *Bacillus subtilis* pada tanah gambut pada persentasi 10%, 20%, dan 30% mendapatkan nilai maksimal pada penambahan 10 % sebesar 3,67% pada penetrasi 0,1” dan 4,7% pada penetrasi 0,2” tetapi nilai *CBR* kembali mengalami penurunan pada Pencampuran 20% dan 30%. Sementara itu, nila *CBR* pada pemeraman tanah yang telah di campur dengan bakteri *Bacillus subtilis* selama 3 hari menghasikan nilai yang lebih tinggi dari pada tanah gambut yang telah di campur bakteri *Bacillus subtilis* tanpa pemeraman atau 0 hari, namun nilai *CBR* kembali turun pada tanah yang telah di campur bakteri *Bacillus subtilis* dengan pemeraman 7 hari.

3. Rio Alvin Arfandy (2017): Stabilisasi Tanah *Ekspansive* Dengan Metode Bioremediasi.

Pada penelitian ini digunakan metode bioremediasi dengan mikroorganisme bakteri *Bacillus subtilis* dan penyiapan mikroorganisme dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Farmasi dan tanah ekspansif yang berasal dari lokasi Siwa, perbatasan Palopo. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen berupa pengujian tanah ekspansif distabilisasi dengan larutan bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap karakteristik mekanik dengan melakukan pengujian kuat tekan bebas. Variasi jumlah larutan yang digunakan ialah 8cc, 12cc, 15cc, 18cc, 21cc, 24cc dan 27cc dengan waktu pemeraman dari 3 hari, 7 hari hingga 14 hari. Hasil analisis yang diperoleh ialah nilai parameter kuat tekan bebas yang pada tanah ekspansive yang dicampurkan dengan *Bacillus Subtilis* mengalami peningkatan sebesar 430 kali. Pada pengujian kuat tekan tanah pada sampel tanah yang telah distabilisasi mengalami kenaikan dan penurunan nilai tegangan. Dan nilai tegangan maksimum terdapat pada campuran tanah dengan bakteri sebesar 12 cc dengan pemeraman 14 hari sebesar 0,931 kg/cm².

4. Nanda Afianda (2022): Stabilisasi Tanah Gambut dengan Metode *Biogrouting* Melalui Bantuan Bakteri.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan persentase yang efektif dalam penambahan reagen bakteri dengan teknik *biogrouting* melalui

bantuan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap nilai *CBR*. Pada penelitian ini digunakan tanah gambut yang diambil dari Desa Kualu Nenas, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau. Pengujian pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Islam Riau Pekanbaru dan meliputi pengujian pendahuluan yaitu pengujian sifat fisik dan propertis tanah serta pengujian utama yaitu pengujian *CBR* laboratorium pada tanah terstabilisasi bakteri *Bacillus subtilis*. Adapun variasi persentase kadar bakteri yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dengan variasi pemeraman 1 hari dan 4 hari. Hasil dari penelitian ini adalah nilai *CBR* terbesar dihasilkan dari penambahan bakteri *Bacillus subtilis* pada persentase 5% dan kemudian terjadi penurunan nilai *CBR* pada peningkatan persentase penambahan reagen bakteri. Sementara itu, untuk variasi pemeraman nilai *CBR* terbesar ditunjukkan pada pemeraman 4 hari. Berdasarkan penelitian ini lama waktu pemeraman menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya nilai *CBR*, semakin lama pemeraman maka semakin meningkatkan nilai *CBR*.

5. Hasriana (2018): *Bearing capacity improvement of soft soil subgrade layer with Bio Stabilized Bacillus Subtilis*.

Pada penelitian dilakukan stabilisasi tanah dasar yang berupa tanah lunak dengan metode biostabilisasi menggunakan bakteri *Bacillus subtilis*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui peningkatan daya dukung tanah lunak sebagai lapisan tanah dasar dengan larutan bakteri *Bacillus subtilis*. Pengujian meliputi sifat fisik dan mekanik tanah, parameter pemadatan dan uji *CBR*. Tes ini didasarkan pada ASTM untuk setiap tes. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lunak dari Kabupaten Takalar, Pengambilan sampel tanah secara konvensional menggunakan linggis dan sekop, kemudian sampel tanah dimasukkan ke dalam karung sampel dan untuk mendapatkan kadar air asli kemudian dibungkus dengan plastik. Sementara itu, untuk bakteri *Bacillus subtilis* dibuat mengacu pada uji pertumbuhan bakteri yang telah dilakukan. Pada penelitian ini, tanah lunak distabilisasi

menggunakan tambahan bakteri *Bacillus subtilis* dengan variasi penambahan larutan bakteri adalah 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% dari berat tanah kering dengan waktu pemeraman 7 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai maksimum *CBR* tanah lunak ditemukan sebesar 39% pada larutan bakteri 6%. Peningkatan nilai *CBR* dari 2,8% menjadi 39% atau 13 kali lipat dari tanah yang tidak diberi perlakuan. Hal ini menunjukkan penggunaan larutan konsentrasi bakteri pada tanah lunak secara signifikan meningkatkan daya dukung.