

**SKRIPSI**

**STABILISASI CAMPURAN TANAH KOHESIF & ORGANIK  
TERHADAP KUAT GESER TANAH MENGGUNAKAN  
BAKTERI BACILLUS SUBTILIS**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUSTAFA  
D011 19 1020**



**PROGRAM STUDI SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### STABILISASI CAMPURAN TANAH KOHESIF & ORGANIK TERHADAP KUAT GESER TANAH MENGGUNAKAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*

Disusun dan diajukan oleh

**MUSTAFA**  
**D011 19 1020**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 5 Februari 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



**Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D**

NIP: 196007301986031003

Pembimbing Pendamping,



**Ariningsih Suprapti, ST, MT.**

NIP: 197307122000032002

Ketua Program Studi,



**Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng**

NIP. 196805292002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Mustafa  
NIM : D011 191 020  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ Stabilisasi Campuran Tanah Kohesif & Organik Terhadap Kuat Geser Tanah  
Menggunakan Bakteri *Bacillus Subtilis*}

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

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

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, 2024

Menyatakan



MUSTAFA

## ABSTRAK

**MUSTAFA.** *Stabilisasi Campuran Tanah Kohesif & Organik Terhadap Kuat Geser Tanah Menggunakan Bakteri Bacillus Subtilis* (dibimbing oleh Achmad Bakri Muhiddin dan Ariningsih Suprapti)

Tanah memiliki peran sentral dalam industri konstruksi, karena bisa menjadi faktor penentu kesuksesan proyek konstruksi. Meskipun begitu, ketersediaan tanah yang cukup besar, terutama untuk proyek besar seperti pembangunan jalan, seringkali menjadi kendala. Selain itu, tanah dengan daya dukung yang memadai terkadang terbatas. Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengatasi tantangan ini adalah memanfaatkan tanah buangan atau sedimen sebagai sumber tanah untuk proyek pembangunan. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik tanah kohesif dan tanah organik yang diuji serta mengetahui pengaruh larutan bakteri *Bacillus subtilis* dan waktu pemeraman terhadap nilai kuat geser melalui pengujian *direct shear* (DST) di laboratorium. Tahap awal terdiri dari pemilihan bahan yang akan digunakan, dengan memeriksa karakteristiknya baik secara visual maupun non-visual. Dalam kerangka penelitian ini, berbagai pengujian karakteristik sifat fisis tanah dilakukan, termasuk pengujian kadar air, berat jenis, analisis saringan dan hydrometer, serta pengujian batas-batas Atterberg. Selain itu, ada juga pengujian sifat mekanis tanah, seperti pengujian pemadatan standar (*Standar Proctor*) dan pengujian geser langsung (*direct shear*). Pengujian dilakukan baik tanpa distabilisasi maupun dengan distabilisasi menggunakan bakteri *Bacillus subtilis* sebanyak 6%, dengan periode pemeraman selama 0 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Berdasarkan hasil pengujian sifat fisis tanah asli, tanah yang digunakan tergolong tanah lanau anorganik dengan plastis tinggi. Sedangkan tanah organik yang digunakan mengandung kadar organik 58,67% dan tergolong dalam kategori *Peaty muck*. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan semakin lama waktu pemeraman maka semakin tinggi nilai kohesi yang didapatkan, dengan puncak nilai kohesi tercapai pada sampel yang mengalami pemeraman selama 28 hari. Sedangkan untuk sudut geser campuran tanah yang distabilisasi menggunakan bakteri dengan variasi tanah organik 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dan 60% mengalami peningkatan nilai sudut geser pada pemeraman 7 hari, 14 hari dan 28 hari serta nilai sudut geser paling tinggi diperoleh pada campuran 30% tanah organik dan bakteri yaitu 28.96% dengan waktu pemeraman 14 hari.

Kata Kunci: *Bacillus subtilis*, DST, Tanah organik

## ABSTRACT

**MUSTAFA.** *Stabilization of Cohesive & Organic Soil Mixture Against Soil Shear Strength Using Bacillus Subtilis Bacteria* (supervised by Achmad Bakri Muhiddin and Ariningsih Suprapti)

Soil has a central role in the construction industry, because it can be a determining factor in the success of a construction project. However, the availability of large enough land, especially for large projects such as road construction, is often an obstacle. In addition, land with adequate bearing capacity is sometimes limited. One solution that can be used to overcome this challenge is to utilize waste soil or sediment as a source of soil for development projects. This research was conducted to evaluate the characteristics of the cohesive soil and organic soil tested and to determine the effect of the bacterial solution *Bacillus subtilis* and curing time on shear strength values through testing (DST) in the laboratory. The initial stage consists of selecting the materials to be used, by examining their characteristics both visually and non-visually. Within the framework of this research, various soil physical characteristic tests were carried out, including testing for water content, specific gravity, sieve and hydrometer analysis, as well as testing the Atterberg limits. Apart from that, there are also tests for soil mechanical properties, such as standard compaction tests (Proctor Standards) and direct shear tests. Tests were carried out both without stabilization and with stabilization using bacteria *Bacillus subtilis* as much as 6%, with curing periods of 0 days, 7 days, 14 days and 28 days. Based on the results of testing the physical properties of the original soil, the soil used is classified as inorganic silt soil with high plasticity. Meanwhile, the organic soil used contains an organic content of 58.67% and is classified in the category Peaty muck. Based on the test results, it was found that the longer the curing time, the higher the cohesion value obtained, with the peak cohesion value achieved in samples that experienced curing for 28 days. Meanwhile, the shear angle of the soil mixture stabilized using bacteria with organic soil variations of 10%, 20%, 30%, 40%, 50% and 60% experienced an increase in the shear angle value at 7 days, 14 days and 28 days of curing and the shear angle value. The highest was obtained from a mixture of 30% organic soil and bacteria, namely 28.96% with a curing time of 14 days.

Keywords: *Bacillus subtilis*, DST, Organic soil

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....	viii
DAFTAR LAMPIRAN .....	x
KATA PENGANTAR .....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
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 Defenisi Tanah dan Tanah Organik .....	6
2.2 Sifat Fisik Tanah .....	9
2.3 Sifat Mekanis Tanah .....	17
2.4 Klasifikasi Tanah .....	22
2.5 Stabilisasi Tanah .....	32
2.6 Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> .....	34
2.7 Penelitian Terdahulu .....	37
BAB 3 METODE PENELITIAN .....	41
3.1 Lokasi Penelitian .....	41
3.2 Metode Pengumpulan Data .....	41
3.3 Kerangka Alir Penelitian .....	42
3.4 Material .....	43
3.5 Alat Pengujian .....	44
3.6 Standar pengujian .....	46
3.7 Benda Uji Pengujian .....	46
3.8 Prosedur Pengujian Sampel .....	48
3.9 Proses Pembuatan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> .....	52
3.10 Proses Pembuatan Benda Uji <i>Direct Shear</i> .....	53
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	56
4.1 Karakteristik Sifat Fisis Tanah Asli dan Tanah Organik .....	56
4.2 Karakteristik Sifat Mekanis Tanah .....	60
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....	68
5.1 Kesimpulan .....	68
5.2 Saran .....	69
DAFTAR PUSTAKA .....	70

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Diagram Batas Batas Atterberg.....	10
Gambar 2.	Variasi volume dan kadar air pada kedudukan batas cair, batas plastis, dan batas susut.....	12
Gambar 3.	Grafik contoh gradasi butiran tanah .....	15
Gambar 4.	Posisi Hydrometer Saat Pengendapan Berlangsung.....	16
Gambar 5.	Skema contoh tanah setelah tergeser.....	19
Gambar 6.	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 .....	24
Gambar 7.	Kurva pertumbuhan bakteri. Kurva pertumbuhan bakteri.....	36
Gambar 8.	Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....	43
Gambar 9.	Sampel tanah stabilisasi, a) tanah asli; b) tanah organik .....	43
Gambar 10.	Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> (Kultur 4 hari) .....	44
Gambar 11.	Komposisi campuran larutan media tumbuh bakteri.....	53
Gambar 12.	Sampel yang sudah di cetak.....	55
Gambar 13.	Grafik Gradasi Butiran .....	57
Gambar 14.	Diagram klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS .....	58
Gambar 15.	Grafik hubungan kadar air dan berat isi kering.....	61
Gambar 16.	Sampel uji kuat geser elemen sampel tanah stabilisasi, a) sebelum uji; b) setelah uji.....	62
Gambar 17.	Grafik rekapitulasi nilai kohesi tanah asli dan tanah organik stabilisasi bakteri.....	62
Gambar 18.	Grafik rekapitulasi nilai sudut geser tanah asli dan tanah organik stabilisasi bakteri.....	63
Gambar 19.	Grafik nilai kohesi tanah organik + bakteri pemeraman 0 hari .....	64
Gambar 20.	Grafik nilai kohesi tanah organik + bakteri pemeraman 7 hari .....	64
Gambar 21.	Grafik nilai kohesi tanah organik + bakteri pemeraman 14 hari.....	65
Gambar 22.	Grafik nilai kohesi tanah organik + bakteri pemeraman 28 hari.....	65
Gambar 23.	Rekapitulasi nilai sudut geser tanah asli tanah organik dan bakteri .....	66

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbandingan sistem klasifikasi untuk tanah organik dan gambut pada beberapa negara .....	8
Tabel 2. Berat jenis (Gs) berbagai jenis tanah .....	9
Tabel 3. Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah .....	13
Tabel 4. Ukuran Saringan dan Bukaan Saringan .....	14
Tabel 5. Perbedaan pengujian pemadatan Standar dan Modified di Laboratorium .....	18
Tabel 6. Batasan-batasan ukuran golongan tanah .....	22
Tabel 7. Klasifikasi tanah sistem AASHTO (tanah berbutir kasar) .....	25
Tabel 8. Klasifikasi tanah sistem AASHTO (tanah berbutir halus) .....	25
Tabel 9. Sistem Klasifikasi Unified (USCS) .....	30
Tabel 10. Sistem Klasifikasi Unified (lanjutan) .....	31
Tabel 11. Penelitian terdahulu terkait dengan topik penelitian .....	37
Tabel 12. Alat yang digunakan dalam pengujian sifat fisi .....	44
Tabel 13. Alat yang digunakan dalam pengujian sifat mekanis .....	45
Tabel 14. Standar Metode Pengujian .....	46
Tabel 15. Jumlah benda uji untuk pengujian tanah asli .....	46
Tabel 16. Persiapan benda uji tanah asli sementasi bakteri .....	47
Tabel 17. Persiapan jumlah benda uji campuran tanah asli dan tanah organik sementasi bakteri.....	47
Tabel 18. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Berat Jenis .....	56
Tabel 19. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah .....	59
Tabel 20. Klasifikasi Tanah Organik .....	60



## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
LL	= <i>Liquid Limit</i> /Batas cair
PL	= <i>Plastic Limit</i> /Batas Plastis
PI	= <i>Plasticity Indeks</i> /Indeks Plastisitas
SL	= <i>Shrinkage Limit</i> /Batas Susut
l	= liter
°C	= Celsius
kN	= Kilonewton
ml	= Mili liter
cm	= Sentimeter
%	= Persen
kg	= Kilogram
$\Phi$	= Sudut geser
Gs	= Berat jenis
$\omega$	= Kadar air
$\varepsilon$	= Regangan
$\sigma$	= Tegangan
C	= Kohesi
Cu	= Cohesi Undrained
AASHTO	= <i>American Association of State Highway and Transportation Official</i>
DST	= <i>Direct Shear Test</i>
CaCO <sub>3</sub>	= Kalsium Karbonat
NaHCO <sub>3</sub>	= Natrium bikarbonat
NH <sub>4</sub> Cl	= Amonium klorida

$\text{CaCl}_2$	=	Kalsium Klorida
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	=	Urea
$\text{NH}_3$	=	Amonia
USCS	=	<i>Unified Soil Classification System</i>

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi .....	72
Lampiran 2 Data Hasil Pengujian.....	73

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “STABILISASI CAMPURAN TANAH KOHESIF & TANAH ORGANIK TERHADAP KUAT GESER TANAH MENGGUNAKAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*” 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 Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc., PhD.,** selaku dosen pembimbing I dan **Ibu 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 **Sainal** dan ibunda **Dina** atas doa, kasih sayangnya, dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Saudara-saudari tercinta **Apt. Nur Afni Ulfah, S.Si.** dan **Firman Syah** yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam mengerjakan Tugas Akhir saya.
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. Seluruh anggota grup **Destroyer** yang menjadi teman seperjuangan serta senantiasa memberikan motivasi, semangat, dan bantuan yang tidak ternilai harganya bagi penulis.
6. 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 memiliki peran sentral dalam industri konstruksi, karena bisa menjadi faktor penentu kesuksesan proyek konstruksi. Meskipun begitu, ketersediaan tanah yang cukup besar, terutama untuk proyek besar seperti pembangunan jalan, seringkali menjadi kendala. Selain itu, tanah dengan daya dukung yang memadai terkadang terbatas. Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengatasi tantangan ini adalah memanfaatkan tanah buangan atau sedimen sebagai sumber tanah untuk proyek pembangunan.

Setiap jenis tanah memiliki karakteristik yang unik, yang memerlukan perlakuan yang berbeda baik dalam hal aspek mekanis maupun kimiawi. Salah satu tantangan yang sering muncul dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek konstruksi adalah kurangnya informasi mengenai jenis dan sifat tanah, persyaratan kualitas dan parameter yang relevan, serta kandungan bahan organik dalam tanah yang beragam, yang semuanya dapat memengaruhi daya dukung untuk konstruksi yang sedang direncanakan.

Salah satu metode stabilisasi ramah lingkungan adalah dengan menggunakan bakteri, contohnya bakteri *bacillus subtilis*. Bacillus masuk kedalam kelompok bakteri batang dan kokus yang membentuk endospora dengan ciri-ciri mempunyai bentuk sel batang, motil yang memiliki satu flagel, gram positif, bersifat aerobik, membentuk endospore, memiliki habitat pada lingkup tanah, air, lingkungan akuatik, juga pencernaan hewan (termasuk manusia), beberapa spesies bersifat patogenesitas terhadap manusia dan hewan lain (Holt et al, 2000).

Salah satu jenis tanah yang sering menjadi fokus stabilisasi adalah tanah organik. Dalam konteks geoteknik, tanah organik termasuk dalam kategori tanah dengan kondisi yang kurang ideal karena mengandung campuran bahan-bahan organik serta sisa-sisa material tanaman atau hewan yang telah terurai. Ciri-ciri dari tanah organik ini meliputi tingginya kadar air, tingginya kompresibilitas, tingginya kandungan bahan organik, rendahnya kuat geser, serta daya dukung yang rendah. Kondisi seperti ini sering kali menimbulkan kendala dalam proses konstruksi.

Penggunaan tanah yang mengandung bahan organik pada dasar konstruksi jarang dilakukan karena karakteristik tanah yang tidak menguntungkan, sehingga kurang disarankan.

Beberapa penelitian telah banyak dilakukan terkait metode stabilisasi tanah organik, salah satunya dengan menggunakan mikro-organisme berupa bakteri. Secara prinsip, metode ini melakukan pencampuran bahan kimiawi yaitu mikroorganisme. Seperti penelitian yang dilakukan oleh (Hasriana et al., 2018), (Behzadipour et al., 2020), dan (Samang et al., 2017). Secara umum, hasil penelitian ini, mampu menstabilisasi tanah organik dengan memanfaatkan mikroorganisme yang berasal dari bakteri karena dapat menghasilkan kalsium karbonat yang dapat merubah butiran pasir menjadi batuan pasir, metode ini disebut dengan biosementasi. Hasilnya penambahan bakteri untuk stabilisasi tanah lempung berpasir dengan metode biosementasi berhasil meningkatkan daya dukung tanah. Penggunaan mikroorganisme dianggap sebagai alternatif di tengah maraknya bahan-bahan kimia dan sintesis pada konstruksi sipil karena dengan pemanfaatan mikroorganisme yang berasal dari bakteri dapat menghasilkan kalsit atau kristal kalsium karbonat yang bisa merubah butiran pasir menjadi batuan pasir, metode ini disebut dengan biosementasi.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, akan dilakukan studi mengenai peningkatan sifat mekanik tanah dengan menggunakan bakteri melalui metode biosementasi. Penelitian ini akan berfokus pada tanah lanau dan tanah organik yang memiliki tingkat kandungan organik yang tinggi. Bakteri yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *Bacillus subtilis*. Pemilihan metode dan jenis bakteri ini didasarkan pada pertimbangan keberlanjutan lingkungan serta keyakinan bahwa bakteri ini dapat meningkatkan karakteristik tanah, termasuk kekuatan tanah pondasi bangunan, mengurangi kompressibilitas dan permeabilitas, serta mengurangi perubahan volume akibat pengembangan tanah.

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

**“STABILISASI CAMPURAN TANAH KOHESIF & ORGANIK TERHADAP KUAT GESER TANAH MENGGUNAKAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*”**

## 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 parameter fisis dan mekanis tanah yang di gunakan dalam penelitian?
2. Bagaimana pengaruh masa pemeraman campuran tanah organik dan tanah asli yang terstabilisasi bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap kuat geser tanah?

## 1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui bagaimana parameter fisis dan mekanis tanah yang di gunakan dalam penelitian
2. Mengetahui pengaruh masa pemeraman terhadap nilai kuat geser tanah, campuran tanah organik dengan tanah asli dan *Bacillus Subtilis*?

## 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan pada penilitan ini yaitu :

1. Dapat memberikan wawasan terhadap pembaca mengenai jenis tanah dan klasifikasi tanah.
2. Dapat memberikan pengetahuan bahwa bakteri *Bacillus Subtilis* sebagai bahan kimia yang ramah lingkungan, dapat digunakan sebagai stabilisai tanah lempung ekspansif yang diukur melalui parameter geser langsung.
3. Memberikan alternatif untuk meningkatkan daya dukung tanah tentunya pada bidang konstruksi sipil.

## 1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan lebih terarah dan fokus pada tujuan penelitian yang ingin dicapai maka perlu dibuat batasan masalah sebagai berikut:



1. Pengujian eksperimental laboratorium karakteristik mekanis tanah dengan teknologi biosementasi bakteri meliputi sifat fisik dan mekanis tanah organik tinggi yang terstabilisasi bakteri.
2. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah asli yang berlokasi di sekitar Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan dan tanah organik yang berlokasi di Kabupaten Enrekang.
3. pengujian dilakukan terhadap variasi campuran antara tanah asli dengan tanah organik, konsentrasi bakteri, kultur bakteri, dan variasi pemeraman.
4. Penelitian ini hanya menguji sifat-sifat fisis tanah dan mekanis tanah, tidak meneliti unsur senyawa kimia yang ada di dalam tanah tersebut.
5. Sifat sifat fisis dan mekanis tanah yang diuji 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 *Direct Shear* (Uji Geser Langsung)
6. Sifat mekanis tanah dengan bahan tambah bakteri *Bacillus Subtilis* yang diuji adalah pengujian kuat geser langsung (*direct shear test*).
7. Material yang digunakan adalah tanah asli dan tanah organik dengan presentase 10%,20%,30%,40%,50% dan 60%.
8. Persentase komposisi campuran bakteri *Bacillus subtilis* yang digunakan adalah 6%.
9. Kultur bakteri yang digunakan yaitu kultur 4 hari
10. Waktu pemeraman setelah pencampuran tanah dengan bakteri *bacillus subtilis* adalah 0 hari,7 hari, 14 hari, dan 28 hari dengan kondisi di laboratorium.

## 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 Defenisi Tanah dan Tanah Organik**

#### **2.1.1 Defnisi Tanah**

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

Tanah mempunyai peran penting yang erat kaitannya dengan perencanaan struktur bangunan karena didirikan langsung diatas tanah. Tanah memiliki spesifikasi dan perilaku yang berbeda untuk setiap jenisnya, sehingga memerlukan perlakuan yang berbeda baik secara mekanis maupun kimiawi agar dapat memenuhi spesifikasi teknis tertentu. Perlakuan tersebut tidak dapat dipisahkan karena berkaitan erat satu sama lain (Dhani et al., 2021).

Tanah dapat dibagi atas tiga jenis sifat lekatan yaitu tanah kohesif, tanah non kohesif dan tanah organik yang didefinisikan sebagai berikut:

1. Tanah kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya atau mengandung lempung yang cukup banyak.
2. Tanah non kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butir-butirnya atau hampir tidak mengandung lempung.
3. Tanah organik adalah tanah yang sifatnya sangat dipengaruhi oleh bahan-bahan organik.

Tanah terbentuk melalui proses pelapukan fisik dan kimiawi. Ukuran dari bagian penyusun batuan yang telah lapuk pun dapat berkisar dari yang terkecil (*Koloid*) hingga yang terbesar (*Boulders*). Ini menyiratkan bahwa semua unsur

pelapukan dari batuan tidak dapat disebut tanah. Menurut ukuran butirannya, partikel tanah diklasifikasikan sebagai kerikil, pasir, lanau dan lempung.

### **2.1.2 Defenisi Tanah Organik**

Tanah organik adalah tanah permukaan yang tercampur dengan bahan-bahan organik, sisa-sisa lapukan tanaman atau hewan. Berwarna tua, lunak, dan mudah berubah bentuk oleh pengaruh tekanan. Tanah organik memiliki kuat geser kecil, dan kompresibilitas tinggi. Ciri tanah organik berdasarkan struktur ialah mudah dihancurkan dalam keadaan kering. Bahan-bahan organik pada tanah organik mempunyai kohesi dan plastisitas yang rendah (wiratama, 2013).

Tanah organik adalah jenis tanah yang memiliki tingkat kandungan materi organik yang tinggi. Materi organik dalam tanah ini biasanya terdiri dari sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang telah terdekomposisi selama jangka waktu yang cukup lama. Sisa-sisa ini dapat berupa daun, ranting, akar, serasah, dan lainnya.

Tanah organik pada umumnya memiliki dua komponen utama; komponen organik, dan komponen mineral. tanah organik mirip dengan tanah mineral. Sampel tanah organik yang mewakili dikeringkan dalam oven pada suhu 110 C, dan berat air yang dikeluarkan dari sampel basah dibagi dengan berat sampel kering memberikan kandungan air (sesuai ASTM D2974-14). Komponen organiknya mengandung karbon dan mudah terbakar. (Adnan Ibrahim et al., 2018)

Tanah organik (O) adalah jenis tanah yang diklasifikasikan berdasarkan kadar bahan organiknya, yang didefinisikan sebagai tanah yang memiliki kandungan organik antara 25% hingga 75%. Kemudian, tanah organik ini dibagi lagi menjadi dua kelompok, yaitu kelompok OL dan OH, berdasarkan tingkat plastisitasnya. Sistem USCS membagi tanah menjadi tiga kelompok utama, yaitu tanah berbutir kasar, tanah berbutir halus, dan tanah dengan kadar organik yang tinggi. Lebih lanjut, dalam Panduan ini, tanah berbutir organik diklasifikasikan ke dalam beberapa kelompok, seperti yang terlihat dalam Tabel 1.

Kandungan bahan organik dalam tanah organik memiliki peran yang signifikan dalam mengklasifikasikan tanah organik dan sifat mekaniknya. Semakin tinggi kadar organiknya, maka semakin tinggi pula kandungan airnya, jumlah pori, dan tingkat kompresibilitasnya.

Tabel 1. Perbandingan sistem klasifikasi untuk tanah organik dan gambut pada beberapa negara

	Konvalov (1980) USSR	Karlsson & Hansbo (1981) Sweden	Landva et al (1983) Canada	Andrejko et al (1983) USA	Poland (1984)	Jarrett System	Davis (1946)	LGS System			
0	Peats	High organic (gytta, dy, peat, humus-rich topsoil)	Peats	low ash	low ash	peats	Peats	Peat	100		
10				medium ash					90		
20				high ash					80		
30	Peaty Soils	Medium organic	Peaty organic soils	Carbonaceous Sediments	ORGANIC	medium ash	Peaty	Peaty Muck	70		
40									low ash	60	
50	Peaty Soils	highly organic	Organic soils	Carbonaceous Sediments	ORGANIC	peaty	Muck	Muck	50		
60		medium organic							medium ash	Clayey/silty / Sandy/ Gravelly	40
70		low organic							low ash	organic clay or silt	30
80	Mineral with organic content	low organic	MO, CO	Mineral sediments	Mineral organic	organic silt & clay	organic clay or silt	Mineral Soil	20		
90									10		
100								Clay	0		
								Mucky			
								Organic			

Sumber : ElMouchi et al., (2021)

## 2.2 Sifat Fisik Tanah

Karakteristik fisik atau sifat dasar tanah dalam suatu proyek konstruksi memiliki dampak yang signifikan terhadap berbagai aspek konstruksi yang akan dibangun di atasnya. Sifat-sifat tanah ini diukur menggunakan sejumlah parameter yang dikenal sebagai indeks properti atau indeks sifat-sifat fisik tanah, termasuk berat jenis, kadar air, porositas, volume pori, tingkat kejenuhan, kepadatan, kerapatan, analisis ukuran butiran, batas cair, batas plastis, tingkat susut, dan sejenisnya.

### 1. Kadar Air

Kadar air (water content) adalah perbandingan antara berat air ( $W_w$ ) dengan berat butiran padat ( $W_s$ ) di dalam massa tanah, yang dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (1)$$

dengan:  $w$  = Kadar Air,  $W_w$  = Berat air,  $W_s$  = Berat tanah kering

### 2. Berat Jenis Tanah

Berat jenis atau Berat spesifik (Specific Gravity) yaitu perbandingan antara berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ ) dengan berat volume air ( $\gamma_w$ ) pada temperatur 4°C yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

Pada Tabel 2 memperlihatkan berat jenis ( $G_s$ ) pada berbagai jenis tanah.

Tabel 2. Berat jenis ( $G_s$ ) berbagai jenis tanah

<i>Type of Soil</i>	<i>Specific Gravity (<math>G_s</math>)</i>
<i>Gravel</i>	2.65 – 2.68
<i>Sand</i>	2.65 – 2.68
<i>Inorganic Soil</i>	2.62 – 2.68
<i>Organic Clay</i>	2.58 – 2.65
<i>Inorganic Clay</i>	2.68 – 2.75
<i>Humus</i>	1.37
<i>Peat</i>	1.25 – 1.80

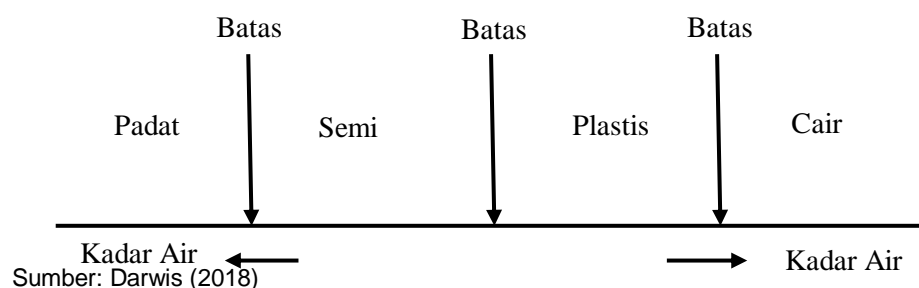
Sumber : Hardiyatmo, 2012

### 3. Batas-batas Atterberg

Kemampuan tanah untuk mempertahankan konsistensinya sangat dipengaruhi oleh tingkat kelembapan, yang dapat mengubahnya menjadi bentuk cair, plastis, semi padat, atau padat. Batas cair dan batas plastis tidak memberikan nilai-nilai yang langsung dapat digunakan dalam perancangan atau desain. Yang dapat kita peroleh dari hasil uji batas Atterberg ini adalah gambaran umum tentang karakteristik tanah tersebut. Tanah dengan batas cair yang tinggi cenderung memiliki sifat teknis yang kurang menguntungkan, seperti kekuatan yang rendah, kompresibilitas yang tinggi, dan kesulitan dalam proses pemadatan.

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 1 diagram batas batas atterberg berikut:



Gambar 1. Diagram Batas Batas Atterberg

Untuk macam-macam tanah tertentu Atterberg limit dapat dihubungkan secara empiris dengan sifat-sifat lainnya, misalnya dengan kekuatan geser atau compression index dan sebagainya. Dalam pemeriksaan batas-batas atterberg, terdapat tiga komponen yang akan ditinjau yang terdiri atas; batas

cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*). Batas-batas konsistensi tanah ditunjukkan pada Gambar 1.

- a) Batas Cair (*Liquid Limit*) 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).

Untuk mencari batas cair (*LL*) digunakan rumus :

$$LL = \omega_N \left[ \frac{N}{25} \right]^{\tan \beta} \quad (3)$$

Dimana,

$N$  = jumlah pukulan untuk menutup celah 0,5 inch (12,7mm)

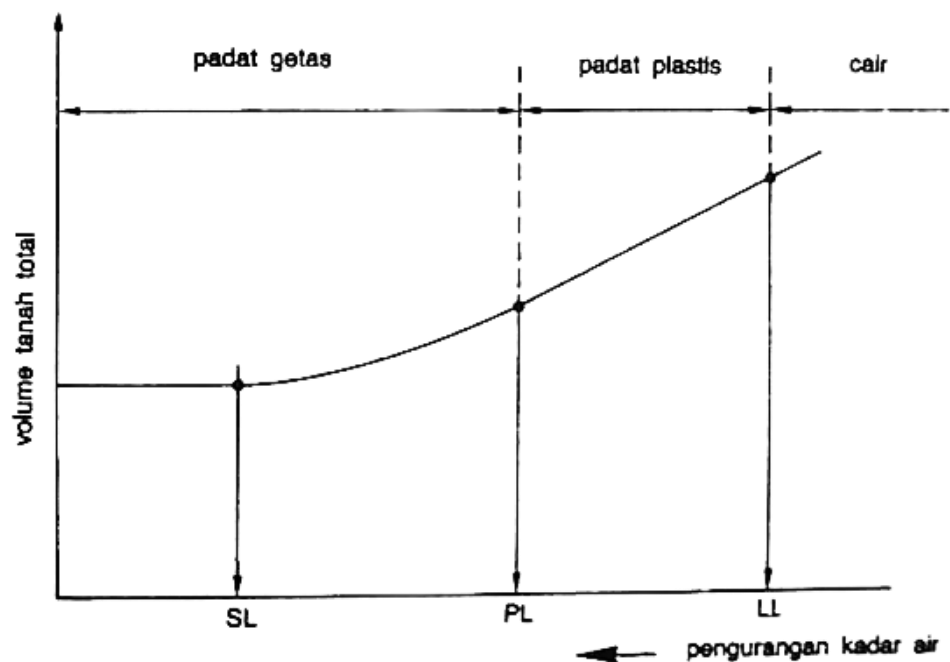
$\omega_N$  = kadar air

$\tan \beta = 0.121$  : beberapa tanah tertentu nilainya tidak sama dengan 0.121

- b) Batas plastis (*Plastic Limit*) 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).
- c) Batas susut (*Shrinkage Limit*), 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 seperti pada Gambar 2. 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).



Sumber: Hardiyatmo (2002)

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

Sumber: Hardiyatmo (2002)

Gambar 2 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)

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

$$PI = LL - PL \quad (4)$$

keterangan:

PI = Indeks Plastisitas

LL = Batas cair pada ketukan 25

PL = Batas plastis

Indeks plastisitas (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah dapat dilihat pada Tabel 3. 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 3. Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

<b>PI</b>	<b>Sifat</b>	<b>Macam Tanah</b>	<b>Kohesi</b>
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)

#### 4. Analisa Ukuran Berbutir

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). Berdasarkan SNI 3423-2008 tentang cara uji analisis ukuran butir tanah, terdapat 2 jenis cara analisa butiran tanah yaitu:

##### a) Analisa Saringan

Pengujian analisa saringan digunakan untuk mengukur butiran tanah dengan ukuran partikel yang melebihi 0,075 mm. Prosedur ini melibatkan penggunaan serangkaian ayakan yang disusun dari yang terbesar hingga yang terkecil, mulai dari No. 200 hingga PAN. Saringan yang umumnya digunakan terbuat dari kawat yang dianyam dengan bukaan persegi. Tabel 4

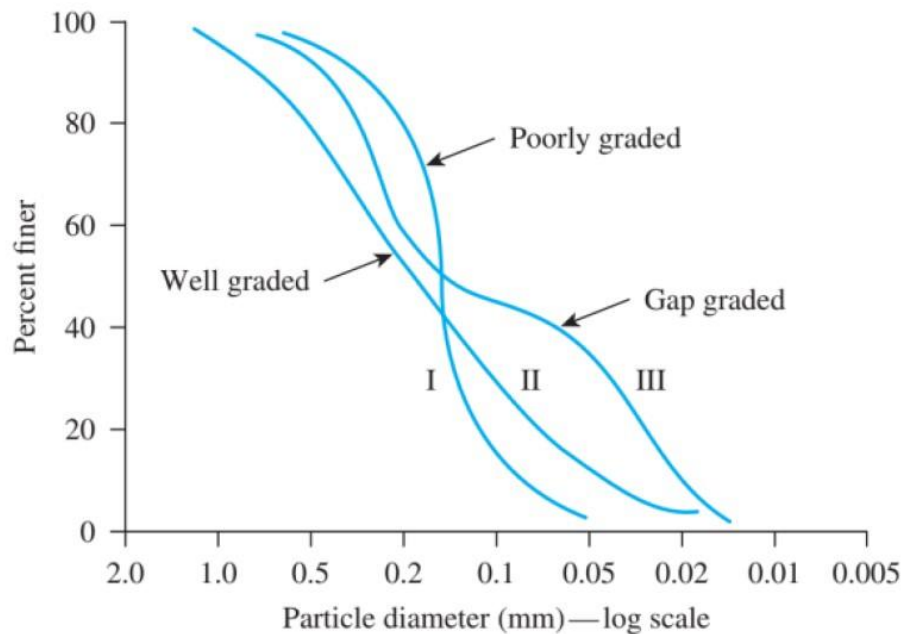
menyediakan informasi mengenai nomor ayakan dan ukuran lubang pada masing-masing saringan."

Tabel 4. Ukuran Saringan dan Bukaannya

Sieve No.	Opening (mm)	Sieve No.	Opening (mm)
4	4.75	35	0.500
5	4.00	40	0.425
6	3.35	45	0.355
7	2.80	50	0.300
8	2.36	60	0.250
10	2.00	70	0.212
12	1.70	80	0.180
14	1.40	100	0.150
16	1.18	120	0.125
18	1.00	140	0.106
20	0.85	200	0.075
25	0.71	270	0.053
30	0.60	400	0.038

Sumber: (Das, Soil Mechanics Laboratory Manual, 2002)

Secara umum, pengujian analisa saringan melibatkan satu set saringan standar yang terdiri dari saringan dengan nomor 4, 10, 20, 40, 60, 100, 200, dan PAN. saringan ini disusun dari atas ke bawah, kemudian dikenakan getaran dalam periode waktu tertentu. Setelah itu, hasil dari pengayakan butiran tanah akan terpisah pada masing-masing saringan, yang kemudian akan ditimbang untuk menentukan beratnya. Untuk contoh gradasi butiran tanah dapat diamati pada Gambar 3 berikut :



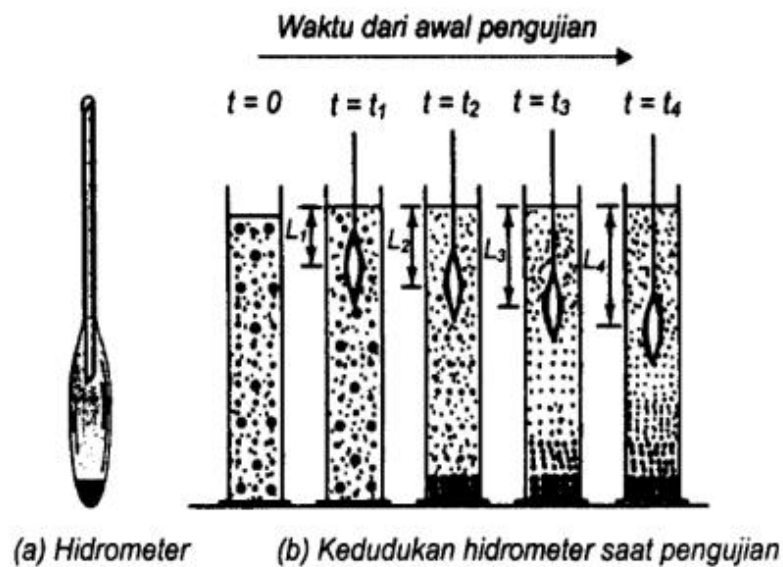
Gambar 3. Grafik contoh gradasi butiran tanah

Sumber : (Das, Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis), 1995)

Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan pengujian seperti yang terlihat pada Gambar 3.

#### b) Analisa Hydrometer

Analisa Hydrometer digunakan untuk butiran tanah dengan ukuran partikel tanahnya kurang dari 0,075 mm, Menurut (Das, 1995) analisa hydrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butiran tanah di dalam air. Jika suatu contoh tanah yang dilarutkan dalam cairan, kecepatan mengendap partikel-partikel tanah akan berbeda-beda tergantung pada berat, bentuk dan ukurannya. Menurut (Hardiyatmo C. , 2002) Pada uji hydrometer, tanah benda uji harus dibebaskan dari zat organik, kemudian tanah dilarutkan ke dalam air yang dicampur dengan bahan pendeflokulasi (*deflocculating agent*) yang berupa *sodium hexametaphosphate* atau dikena dengan larutan Calgon, agar partikel-partikel menjadi bagian terpisah antara satu dengan yang lain. Posisi diameter diatur sedemikian rupa seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Posisi Hydrometer Saat Pengendapan Berlangsung

Sumber : (Hardiyatmo C. , 2002).

Analisa hydrometer dalam penentuan kecepatan pengendapan menggunakan persamaan dari Hukum *Stokes* yaitu:

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\eta} D^2 \quad (5)$$

Dimana:

$V$	= kecepatan pengendapan	(cm/s)
$\gamma_s$	= berat volume partikel tanah	(g/cm <sup>3</sup> )
$\gamma_w$	= berat volume air	(g/cm <sup>3</sup> )
$\eta$	= kekentalan air	( $\frac{g \cdot s}{cm^2}$ )
$D$	= diameter partikel tanah	(mm)

$$D(mm) = \frac{10}{\sqrt{60}} \sqrt{\frac{18\eta}{(\gamma_s - \gamma_w)}} \sqrt{\frac{L(cm)}{t(min)}} = A \sqrt{\frac{L(cm)}{t(min)}}$$

Dimana:

$D$	= diameter partikel tanah	(mm)
$\eta$	= kekentalan air	( $\frac{g \cdot s}{cm^2}$ )
$L$	= Panjang Efektif	(cm)
$t$	= waktu pengendapan	(min)

## 2.3 Sifat Mekanis Tanah

Sifat mekanis tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah yang dikenai suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanis dengan tujuan memperbaiki sifat sifat tanah.

### 2.3.1 Pemadatan Tanah (kompaksi)

Pemadatan tanah adalah proses menggunakan alat dinamik untuk mengompakkan tanah dan mengeluarkan udara dari dalamnya. Dengan kata lain, semakin padat tanahnya, semakin sedikit udara yang tersisa di dalamnya. Terdapat beberapa tujuan penting dalam pemadatan tanah, yaitu:

1. Meningkatkan kekuatan geser tanah,
2. Mengurangi kemampuan tanah untuk mengalami kompresi,
3. Mengurangi tingkat permeabilitas tanah,
4. Mengurangi kemungkinan perubahan volume akibat perubahan kadar air.

Proses pemadatan tanah dapat dilakukan baik di lapangan maupun di laboratorium. Di lapangan, pemadatan biasanya menggunakan peralatan berat seperti roller beroda baja berbentuk silinder, *roller ban*, atau *sheeps-foot roller* untuk tanah berbutir halus (kohesif). Sementara untuk tanah berbutir kasar (non kohesif), sering digunakan alat penggetar, roller beroda baja berbentuk silinder, dan alat penumbuk yang dijatuhkan dengan berat tertentu dari ketinggian yang telah ditentukan.

Pada pemadatan tanah di laboratorium, terdapat dua pengujian yang bisa dilakukan yaitu pemadatan ringan (*Standar Proctor*) dan pengujian pemadatan berat (*Modified or Heavy Proctor*). Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mould, collar (mulut mould), dan palu penumbuk. Tanah yang dimasukkan yaitu 1/3 kemudian dipadatkan, lalu dimasukkan kembali 2/3 sampai 3/3 volume mould untuk pengujian pemadatan dengan *standar proctor* seperti pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Perbedaan pengujian pemadatan Standar dan Modified di Laboratorium

	<i>Standar Proctor</i>	<i>Modified Proctor</i>
Diameter silinder (cm)	10.5	10.5
Tinggi silinder (cm)	11.55	11.55
Volume silinder (cm <sup>3</sup> )	944	1000
Jumlah lapisan tanah	3	5
Berat palu penumbuk (kg)	2.5	4.54
Tinggi jatuh palu (cm)	30,5	45,72
Jumlah pukulan setiap lapisan	25	25-27

Sumber : (Wesley, 2012)

Pada dasarnya pemadatan tanah merupakan salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan daya dukung dan kekuatan geser, serta memperbaiki sifat-sifat fisis pada tanah. Ada beberapa rumus yang digunakan dalam pengujian ini, diantaranya:

- Menghitung kadar air

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (6)$$

- Menghitung berat volume basah

$$\gamma = \frac{W_w}{V_{mould}} \quad (7)$$

- Menghitung berat kering

$$W_{dry} = \frac{W_w}{1 + \left(\frac{\omega}{100}\right)} \quad (8)$$

- Menghitung berat volume kering

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_t} \quad (9)$$

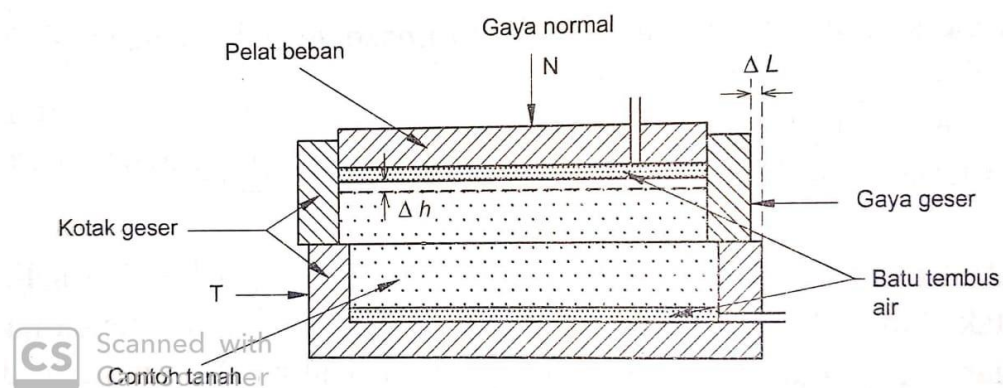
Kepadatan tanah dapat diukur dengan nilai berat volume kering yang dapat dicapai ( $\gamma_d$ ). Pada proses pemadatan akan memperlihatkan fenomena bahwa “berat volume kering” akan bertambah seiring penambahan kadar air. Pada kadar air nol ( $w = 0$ ), berat volume tanah basah ( $\gamma_b$ ), akan sama dengan berat volume tanah

kering ( $\gamma_d$ ). Apabila kadar air ditambahkan secara berangsur-angsur dan pemadatan tetap dilakukan dengan nilai usaha pemadatan yang sama, maka berat butiran tanah per satuan volume juga akan bertambah.

### 2.3.2 Kuat Geser Tanah (*Direct Shear*)

Pengujian geser langsung merupakan pengujian untuk mengetahui nilai kohesi dan sudut geser dalam pada tanah. Pengujian geser langsung menggunakan kotak geser yang terpisah menjadi 2 bagian yang sama, tegangan normal pada benda uji diberikan dari atas kotak geser, untuk memberikan geseran pada tengah-tengah benda uji, tetapi pengaruhnya sangat kecil, hingga dapat diabaikan. (Hardiyatmo C. , 2002).

Kekuatan geser tanah merujuk pada kemampuan tanah untuk menahan pergeseran yang terjadi di dalamnya. Jika tegangan normal pada tanah melebihi kuat geser tanahnya, maka dapat menyebabkan terjadinya longsoran dan untuk lebih jelas proses terjadi geseran dapat dilihat pada Gambar 5. Kekuatan geser tanah memiliki banyak aplikasi praktis, terutama dalam menghitung kapasitas beban tanah, menilai tegangan tanah yang bekerja pada dinding penahan tanah, dan memperkirakan stabilitas lereng. Salah satu metode pengujian yang digunakan untuk mengukur kekuatan geser tanah secara langsung adalah uji geser langsung (*direct shear*).



Gambar 5. Skema contoh tanah setelah tergeser

Sumber : (Hardiyatmo C. , 2002)

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar seperti ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh:



- Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan pematatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan vertikal yang bekerja pada gesernya.
- Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan vertikal pada bidang gesernya. Kekuatan geser dapat diukur langsung dengan pemberian beban konstan vertikal (normal) pada sampel dan pemberian gaya geser tertentu dengan kecepatan konstan dan perlahan-lahan untuk menjaga tegangan air pori tetap nol hingga tercapai kekuatan geser maksimum.
- Kekuatan geser tanah tak jenuh dapat dihitung dengan rumus:

$$\tau_f = c + (\sigma - u) \tan \phi' \quad (10)$$

keterangan:

- $\tau_f$  = Kekuatan Geser
- $\sigma$  = Tegangan total pada bidang geser
- $u$  = Tegangan Air Pori
- $c$  = Kohesi
- $\phi$  = Sudut Geser

- Kekuatan geser tanah dapat diartikan sebagai gaya lawan atau perlawanan yang dilakukan oleh butiran tanah terhadap desakan atau tarikan. Apabila tegangan normal tanah melampaui kuat geser tanah, maka tanah akan mengalami kegagalan atau kelongsoran. Berdasarkan pengertian ini, ketika terjadi pembebanan pada tanah akan ditahan oleh kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah serta gesekan antar butiran tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya. Adapun Coulomb (1776) mendefinisikan  $f(\sigma)$  sebagai:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (11)$$

keterangan:

- $\tau$  = Kekuatan Geser
- $\sigma$  = Tegangan total pada bidang geser
- $c$  = Kohesi
- $\phi$  = Sudut Geser

Kuat geser sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- Tekanan efektif atau tekanan antar butir.
- Kemampuan partikel atau kerapatan
- Saling keterkuncian antar partikel: jadi, partikel-partikel yang bersudut akan

lebih saling terkunci dan memiliki kuat geser yang lebih tinggi  $\phi$  yang lebih besar daripada partikel-partikel yang bundar seperti pada tebing-tebing.

- Sementasi partikel, yang terjadi secara alamiah atau buatan. - Daya tarik antar partikel atau kohesi
- Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan faktor aman dari yang direncanakan. Nilai ini didapat dari pengujian *Direct Shear Test*. Kohesi yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya tanah pada umumnya digolongkan sebagai berikut:

- Tanah berkohesi atau berbutir halus (misal lempung)
- Tanah tidak berkohesi atau berbutir kasar (misal pasir)
- Tanah berkohesi-gesekan, ada  $c$  dan  $\phi$  (misal lanau)

Pada pengujian tertentu, tegangan normal dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Tegangan Normal } (\sigma) = \frac{P}{A} \quad (12)$$

Dimana;

$\sigma$  = Tegangan Normal (kg/cm<sup>2</sup>)

$P$  = Gaya Normal (kg)

$A$  = Luas Permukaan bidang geser (cm<sup>2</sup>)

Pada saat melakukan percobaan, nilai tegangan geser didapat dengan menghitung gaya geser yang didapat dari pembacaan maksimum *load ring dial* setelah dikalikan dengan nilai kalibrasi proving ring (LRC), kemudian gaya geser tersebut dibagi dengan luas *shear box*.

$$\text{Tegangan Geser } (\tau) = \frac{G \times \text{Kalibrasi Proving Ring}}{A} \quad (13)$$

Dimana;

$\tau$  = tegangan geser (kg/cm<sup>2</sup>)

$G$  = gaya geser dari pembacaan maksimum *load ring dial*

$A$  = luas penampang *shear box*

- Sudut Geser Dalam

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapatkan dari pengujian *Direct Shear Test*.

## 2.4 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah digunakan untuk mengelompokkan tanah-tanah sesuai dengan perilaku umum dari tanah pada kondisi fisis tertentu. Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanahnya. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasinya. Umumnya klasifikasi didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (percobaan sedimentasi) dan plastisitasnya (Hardiyatmo, 2012)

Beberapa sistem klasifikasi yang umum digunakan dalam bidang teknik sipil yang telah dikembangkan *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, *U.S. Department of Agriculture (USDA)*, *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*, dan oleh *U.S. Army Corps of Engineers* dan *U.S. Bureau of Reclamation* yang kemudian menghasilkan apa yang disebut sebagai Unified Soil Classification System (USCS). Pada saat sekarang sistem Unified (USCS) telah diterima di seluruh dunia, sistem ini telah dipakai pula oleh *American Society of Testing and Material (ASTM)*. Batasan-batasan ukuran golongan tanah dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Batasan-batasan ukuran golongan tanah

Soil Classification System	Grain size (mm)			
	Gravel	Sand	Silt	Clay
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2-0.06	0.06-0.002	<0.002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2-0.05	0.05-0.002	<0.002
American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)	76.2-2	2-0.075	0.075-0.002	<0.002

Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S Bureau of Reclamation	76.2-4.75	4.75-0.075	Fine-grained (i.e. silt and clay) <0.0075
---	-----------	------------	---

Sumber: Hardiyatmo, (2012)

Saat ini, dua sistem klasifikasi yang biasanya digunakan untuk mempertimbangkan distribusi ukuran partikel dan batas *atterberg* yaitu sistem klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) dan *Unified Soil Classification System*. (Das et al., 2018)

#### 2.4.1 Sistem klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

Sistem klasifikasi ini dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan; yang berlaku saat ini 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). Dalam sistem ini tanah diklasifikasikan menjadi tujuh kelompok besar yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang termasuk dalam golongan A-1, A-2 dan A-3 termasuk dalam tanah berbutir, dimana 35% atau kurang dari jumlah tanah tersebut lolos ayakan no. 200. Sedangkan tanah yang lebih dari 35% butirannya lolos ayakan no.200 yang masuk dalam golongan A-4, A-5, A-6 dan A-7 adalah tanah lempung atau lanau. Kriteria dalam menentukan golongan tanah dapat diperhatikan dalam lampiran 2 Klasifikasi Tanah berdasarkan sistem AASHTO. (Braja et al., 1998)

Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini:

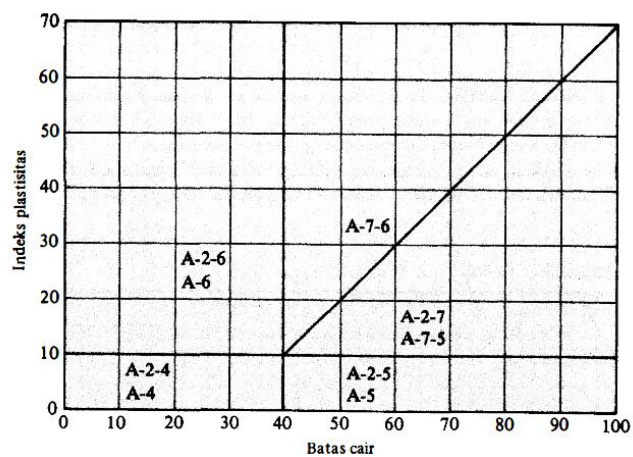
1. Ukuran butir:
  - a. Kerikil: bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 20 (2mm).
  - b. Pasir: bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm).
  - c. Lanau dan lempung: bagian tanah yang lolos ayakan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

Tanah berlanau mempunyai indeks plastisitas (*plasticity indeks*, PI) sebesar

10 atau kurang. Pasir adalah tanah yang lolos ayakan no.10 (2mm) dan tertahan ayakan no.200 (0.075 mm), Sedangkan lempung mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih dan lolos ayakan no.200.

3. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Apabila sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam Lampiran A-3 dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai. Gambar 6 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.



Gambar 6. 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 et al., (2018)

Pada Tabel 7 berikut merupakan tabel klasifikasi tanah sistem AASHTO untuk tanah berbutir kasar (*granuler soil*):

Tabel 7. Klasifikasi tanah sistem AASHTO (tanah berbutir kasar)

Klasifikasi Umum	Material Granuler ( $< 35\%$ lolos saringan no.200)						
Klasifikasi Kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1 a	A-1 b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa Saringan (% lolos)							
2,00 mm (no.10)	50 maks	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no.40)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-
0.075 mm (no.200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 Maks	35 maks
Sifat Fraksi lolos saringan no. 40							
Batas Cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks Plastisitas (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	6 min
Indeks Kelompok (G)	0		0	0		4 maks	
Tipe Material yang pokok pada umumnya	Pecahan Batu, kerikil dan pasir		Pasir Halus	Kerikil berlanau dan berlempung dan pasir			
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						

Sumber : (Hardiyatmo H. C., 2002)

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 8 klasifikasi berikut.

Tabel 8. Klasifikasi tanah sistem AASHTO (tanah berbutir halus)

Klasifikasi Umum	Tanah-tanah lanau-lempung ( $> 35\%$ lolos saringan no.200)			
Klasifikasi Kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7
				A7-5/A-7-6
Analisa Saringan (% lolos)				
2,00 mm (no.10)	-	-	-	-
0,425 mm (no.40)	-	-	-	-
0.075 mm (no.200)	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat Fraksi lolos saringan no. 40				
Batas Cair (LL)	40 maks	41 min	40 maks	41 min

Indeks Plastisitas (PI)	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks Kelompok (G)	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe Material yang pokok pada umumnya	Tanah berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sedang sampai buruk			

Sumber : (Hardiyatmo H. C., 2002)

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:

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15)(PI - 10) \quad (14)$$

di mana:

F = Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200

LL = Batas cair (liquid limit)

PI = Indeks plastisitas.

Suku pertama persamaan di atas, yaitu  $(F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)]$ , adalah bagian dari *indeks grup* yang ditentukan dari batas cair (LL). Suku yang kedua, yaitu  $0,01 (F - 15) (PI - 10)$ , adalah bagian dari indeks grup yang ditentukan dari indeks plastisitas (PI). Berikut ini adalah aturan untuk menentukan harga dari indeks grup:

- Apabila Persamaan (1) menghasilkan nilai GI yang negatif, maka harga GI dianggap nol.
- 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).
- Tidak ada batas atas untuk indeks grup.
- Indeks grup untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-1 a, A-1 b, A-2-4, A-2-5, dan A-3 selalu sama dengan nol.

- e. Untuk tanah yang masuk kelompok A-2-6 dan A-2-7, hanya bagian dari indeks grup untuk PI saja yang digunakan, yaitu:

$$GI = 0,01 (F - 15)(PI - 10) \quad (15)$$

Pada umumnya, kualitas tanah yang digunakan untuk bahan tanah dasar dapat dinyatakan sebagai kebalikan dari harga *indeks grup* (Das, Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis), 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).

#### 2.4.2 Sistem Klasifikasi Unified 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 Cu dan Cc ; 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 Unified (USCS) ini diberikan dalam Tabel 9 dan pada Tabel 10 berikut.

Tabel 9. Sistem Klasifikasi Unified (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
			GM kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			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
			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	
Tanah tanah dengan kandungan organik sangat 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 10. Sistem Klasifikasi Unified (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 $PI > 7$	

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

Sumber: Das (1995)

## 2.5 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah usaha untuk memperbaiki karakteristik teknis dari tanah dengan tujuan meningkatkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan gesernya, baik dengan penambahan bahan tertentu maupun dengan menerapkan perlakuan dan tindakan khusus pada tanah tersebut. Umumnya, stabilisasi dilakukan pada tanah yang tidak memenuhi standar tertentu sehingga memerlukan langkah-langkah perbaikan dan penguatan. Perbaikan tanah, yang juga dikenal sebagai peningkatan sifat tanah, dapat melibatkan penggunaan bahan tambahan (kimia) dalam tanah, pencampuran untuk mengubah komposisi tanah (*re-gradation*), mengurangi kadar air dengan metode pengeringan (*dewatering*), atau memberikan energi statis atau dinamis pada tanah (fisik). Di sisi lain, perkuatan tanah melibatkan penyisipan material tambahan ke dalam tanah guna meningkatkan kekuatannya.

Secara garis besarnya Stabilisasi Tanah dapat dibedakan atas dua macam, yakni: (1) Stabilisasi tanah melalui teknik perbaikan tanah (*soil improvement*); (2) Stabilisasi tanah melalui teknik perkuatan tanah (*soil reinforcement*). 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. Sedangkan teknik perkuatan tanah adalah bentuk- bentuk rekayasa yang dilakukan agar terjadi aksi komposit antara tanah dengan material sisipan, sehingga dihasilkan berbagai jenis kapasitas pada tanah sesuai yang dikehendaki (kepentingan konstruksi). Contoh teknik perkuatan tanah antara lain ; perkuatan tebing atau perkuatan tanah dasar dengan material sisipan dari metal strip atau geosynthetic, pembuatan lapis separator dalam tanah dengan menggunakan material sisipan dari geomembrane, dan lain sebagainya (Panguriseng, 2017).

Stabilisasi tanah adalah upaya yang dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah. Metode stabilisasi yang banyak digunakan adalah stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi mekanis adalah salah satu metode untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan cara perbaikan struktur dan perbaikan sifat-sifat mekanis tanah, sedangkan stabilisasi kimiawi yaitu menambah kekuatan

dan kuat dukung tanah dengan jalan mengurangi atau menghilangkan sifat-sifat teknis tanah yang kurang menguntungkan dengan cara mencampur tanah dengan bahan kimia. Adapun metode-metode stabilisasi yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut :

#### 1. Stabilisasi Tanah secara Mekanis

Dalam pendekatan ini, stabilitas dapat dicapai dengan mengubah karakteristik fisik tanah di lapangan. Salah satu metode fisik yang bisa diterapkan adalah melalui proses pemadatan tanah. Tanah hasil stabilisasi secara mekanis akan mengalami peningkatan kekuatan dan ketahanan terhadap beban yang bekerja di atasnya. Hal ini disebabkan karena adanya kaitan dan geseran antara butiran tanah kasar dengan butiran tanah halus. Kestabilan tanah hasil stabilisasi mekanis akan tercapai setelah dilakukan pemadatan.

#### 2. Stabilisasi Tanah secara Kimiawi

Dalam stabilisasi kimiawi terjadi reaksi antara bahan stabilisasi dengan tanah. Stabilisasi dilakukan dengan cara penambahan bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat kurang menguntungkan dari tanah. Bahan stabilisasi yang dapat digunakan di antaranya semen *portland*, kapur, abu batubara (*fly ash*), aspal, dan lain-lain. Metode ini biasanya digunakan pada tanah berbutir halus. Pemilihan jenis bahan tambah untuk stabilisasi dilakukan berdasarkan distribusi ukuran butir tanah. (Afrin, 2017)

Stabilisasi tanah dapat dilakukan secara mekanis maupun menggunakan bahan-bahan aditif (zat kimia) biasa disebut sebagai bahan stabilisator. Secara mekanis stabilisasi tanah dilakukan dengan mengatur gradasi butiran tanah kemudian dilakukan proses pemadatan, sedangkan stabilisasi yang menggunakan bahan aditif dapat dilakukan dengan menambah bahan aditif kemudian dilakukan pemadatan (Mujah et al., 2017).

Adapun pekerjaan yang dapat dilakukan untuk mendukung tindakan-tindakan di atas tersebut, yaitu sebagai berikut:

1. Mekanis, pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis sejenis mesin gilas (roller), benda-benda berat yang dijatuhkan, eksplosif, tekanan statis, pembekuan, pemanasan dan lainnya.
2. Pencampuran, menambahkan kerikil pada tanah kohesif, menambahkan lempung

pada tanah berbutir kasar, mencampur bahan kimia seperti semen Portland, gamping, abu batu bara, klorida, limbah pabrik-pabrik kenas, dan lainnya.

3. Suntikan (*grouting*), suatu injeksi dari campuran larutan. Bahan tambah, hasil olahan pabrik yang bila ditambahkan ke dalam tanah dengan perbandingan yang tepat akan memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, seperti kekuatan, tekstur, kemudahan dikerjakan (*workability*) dan plastisitas. Stabilisasi dengan bahan tambah juga sering disebut stabilisasi kimiawi yang bertujuan untuk memperbaiki sifat teknis tanah dengan mencampur tanah dengan menggunakan bahan tambah dengan perbandingan tertentu.

## **2.6 Bakteri *Bacillus Subtilis***

### **2.6.1 Klasifikasi *Bacillus subtilis***

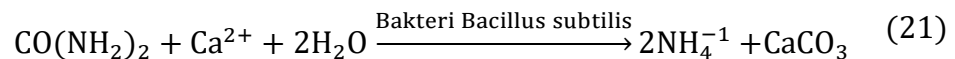
*Bacillus subtilis* merupakan bakteri gram positif berbentuk batang dan katalase positif. Bakteri ini pada awalnya dinamai *Vibrio Subtilis* oleh Christian Gottfried Ehrenberg dan dinamai ulang menjadi *Bacillus subtilis* oleh Ferdinand Cohn pada tahun 1872. Adapun klasifikasi *Bakteri Subtilis* termasuk kedalam Kingdom *Prokaryotae*, Divisi *Firmicutes*, Kelas *Schizomycetes*, Bangsa (Ordo) *Eubacteriales*, Suku (Familia) *Bacillaceae*, Marga (Genus) *Bacillus*, Jenis *Bacillus Subtilis*.

### **2.6.2 Sifat dan Morfologi**

*Bacillus subtilis* merupakan bakteri berukuran 0.5-2,5 x 1,2-10 mikron, tersusun dalam sepasang atau bentuk rantai, dimana sel-selnya meliputi seluruh permukaan sel. Dalam kondisi kritis mampu membentuk spora. Dapat tumbuh pada suhu 25-75°C. Dapat ditemukan di udara, air, tanah, bulu binatang atau bangkai, pH optimum tumbuh 5,5-8,5 (Cheng et al., 2016). Selanjutnya (Mujah et al., 2019) 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 (Mahawish et al., 2018), 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 (Jeong et al., 2017) mampu mengurai penumpukan senyawa nitrogen.

Bakteri urease akan mengkatalisis urea sehingga melepas ion karbonat, yang selanjutnya akan terikat dengan ion kalsium dari  $\text{CaCl}_2$  dan mempresipitaskan Kalsium Karbonat/Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ). 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.

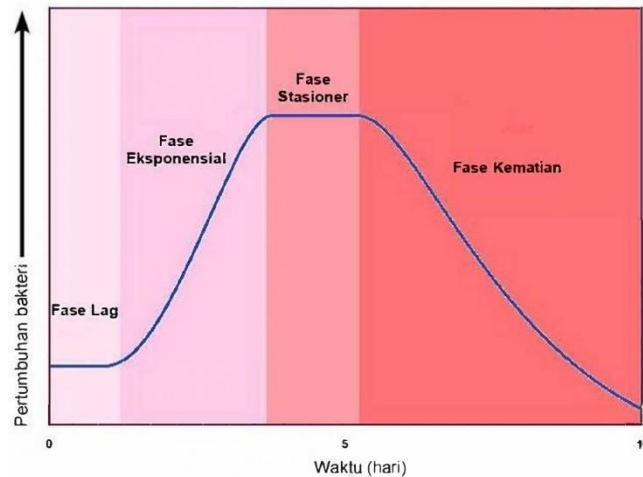


Peran bakteri dalam menjaga stabilitas tanah melibatkan proses presipitasi kalsium karbonat. Beberapa studi telah mengindikasikan bahwa presipitasi kalsium karbonat oleh bakteri dipicu oleh aktivitas sel bakteri. Bakteri ini menarik ion  $\text{Ca}^{2+}$  dari senyawa  $\text{CaCl}_2$  di lingkungan sekitarnya dan mengendapkannya pada permukaan sel. Selain itu, enzim urease berperan dalam mengambil urea ke dalam bakteri, kemudian mengurai urea tersebut menjadi ammonia ( $\text{NH}_3$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Ini merupakan beberapa mekanisme yang telah diidentifikasi dalam penelitian suatu investigasi terhadap kinetika telah mengindikasikan bahwa presipitasi kalsit merupakan fungsi dari konsentrasi sel, kekuatan ionik dan pH media (Mukherjee et al., 2019). Mikroorganisme menarik kation termasuk ion  $\text{Ca}^{2+}$  dari lingkungan dan terdepositkan pada permukaan sel.

Uji pertumbuhan bakteri dilakukan untuk mengetahui sifat pertumbuhan suatu jenis bakteri melalui kurva pertumbuhan yang ditandai dengan kekeruhan pada media cair dengan bantuan alat penggoyang (shaker) dan inkubator. Kultur mikrobiologi (*Culture*) adalah metode memperbanyak mikroba pada media kultur dengan pembiakan di laboratorium yang terkendali. Uji laju pertumbuhan bakteri dilakukan untuk mengetahui sifat pertumbuhan bakteri melalui kurva pertumbuhan bakteri. Media kultur biasanya terdiri dari bahan-bahan yang dapat mendukung pertumbuhan bakteri seperti nutrien dan garam, serta kondisi lingkungan yang



optimal seperti suhu dan kelembaban yang sesuai. Kurva pertumbuhan bakteri dibuat untuk mengetahui fase pertumbuhan bakteri yaitu fase lag, eksponensial, stasioner, dan kematian (Sharma et al., 2021) yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva pertumbuhan bakteri. Kurva pertumbuhan bakteri

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).

## 2.7 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. Pada Tabel 11 dilampirkan beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini:

Tabel 11. Penelitian terdahulu terkait dengan topik penelitian

No	<i>Author's name/year</i>	<i>Title and source</i>	<i>Research Results</i>
1	Angelina Lynda (2013)	Karakteristik Kuat GeserTanah Dengan Metode Stabilisasi	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil stabilisasi tanah yang optimum dengan metode biogrouting yang dimaksud pada penelitian ini, yaitu ketika nilai parameter kuat geser tanah (kohesi dan

		<p><i>Biogrouting</i> Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i></p> <p>Tugas Akhir Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, 2013</p>	<p>sudut geser dalam) yang diperoleh merupakan nilai terbesar dari semua perbandingan pencampuran sampel tanah dengan bakteri untuk waktu pemeraman selama 28 hari. Variasi presentase larutan sementasi dan larutan bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> yaitu tanah pasir berlempung + 0 cc larutan sementasi + 0 cc larutan bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>. Tanah pasir berlempung + 2 cc larutan sementasi + 2 cc larutan bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>. Tanah pasir berlempung + 4 cc larutan sementasi + 4 cc larutan bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>. Hasil stabilisasi biogrouting bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> yang optimum diperoleh pada sampel tanah dengan 3x injeksi (6cc larutan bakteri dan 6cc larutan sementasi). Dimana nilai kohesi yang diperoleh sebesar 1,192 kg/cm<sup>2</sup> dan nilai sudut geser dalam sebesar 35.07°. karakteristik mekanis tanah yang mengalami stabilisasi optimum mengalami perubahan parameter kuat gesernya yaitu, terjadi peningkatan nilai kohesi sebesar 297% terhadap nilai kohesi sampel tanah asli. Terjadi peningkatan nilai sudut geser dalam sebesar 6,86% terhadap nilai sudut geser dalam tanah asli.</p>
2	Andi Mariani Indriani, dan Gunaedy Utomo (2023)	<p>Pengaruh <i>Microbially Induced Calcite Precipitation</i> (MICP) terhadap Perilaku Kuat Geser Tanah</p>	<p>Tujuan penelitian ini untuk mengetahui besarnya kohesi dan kuat geser tanah dengan variasi I 95% pasir dan 5% Batubara, variasi II 90% pasir dan 10% Batubara, variasi III 85% pasir dan 15% Batubara. Hasil yang didapatkan dari pengujian Direct Shear pada tanah variasi I menunjukkan</p>

		<p>Terkontaminasi Batubara</p> <p><i>Journal of Civil Engineering and Vocational Education, Vol 10, Maret 2023, pages 53-60</i></p>	<p>terjadi peningkatan nilai kohesi dan nilai sudut geser dalam. Setelah pemeraman 28 hari terjadi peningkatan nilai kohesi dai 17 kPa menjadi 34 kPa sedangkan nilai sudut geser dalam semakin besar dari 31° menjadi 41°. Setelah parameter kohesi dan sudut geser dalam dimasukkan dalam persamaan kuat geser diperoleh nilai kuat geser sebesar 59 kPa atau meningkat 3 kali dibandingkan nilai kuat geser tanah yang tidak distabilisasi. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> memberikan efek yang baik terhadap peningkatan nilai kuat geser tanah. Pada tanah terkontaminasi 10% dan 15% batubara terjadi peningkatan kuat geser masing-masing sebesar 7 kali dan 15 kali dibandingkan tanah yang tidak di stabilisasi.</p>
3	<p>Hasriana, Lawalenna Samang, M. Natsir Djide, dan Tri Harianto (2017)</p>	<p>Pengaruh penambahan bakteri (<i>Bacillus subtilis</i>) pada tanah lunak terhadap karakteristik kuat tekan</p> <p>Konferensi Nasional Teknik Sipil 11 Universitas Tarumanagara, 26-27 Oktober</p>	<p>Menentukan karakteristik tanah lunak yang dicampur larutan konsentrasi bakteri <i>Bacillus subtilis</i> dengan melakukan pengujian kuat tekan Unconfined Compression Test (UCT)</p> <p>Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan optimum didapatkan pada penambahan larutan konsentrasi bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% dengan waktu pemeraman 28 hari. Peningkatan nilai kuat tekan dari 26 kN/m<sup>2</sup> menjadi 382,86 kN/m<sup>2</sup> atau sebesar 15 kali dari tanah tanpa stabilisasi. Hal ini menunjukkan penggunaan larutan konsentrasi bakteri <i>Bacillus subtilis</i> cukup signifikan meningkatkan nilai kuat tekan.</p>

---

2017

---