

E. Peralatan Laboratorium	38
F. Pengujian Karakteristik Tanah Asli	40
G. Optimalisasi Bahan Stabilisator	41
H. Pengujian	42
I. Proses Pembuatan Benda Uji	43
J. Pengujian Kuat Tekan Bebas dengan metode Pemeraman	44
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	Error! Bookmark not defined.
A. Karakteristik Fisik dan Mekanis Tanah Pasir	Error! Bookmark not defined.
B. Karakteristik Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas Terhadap Tanah Sedimen Terstabilisasi Bacillus Subtilis	Error! Bookmark not defined.
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	46
A. Kesimpulan	46
B. Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Grafik klasifikasi tanah menurut USCS	10
Gambar 2. Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi AASHTO	13
Gambar 3. Bagian bagian struktur bakteri	19
Gambar 4. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah.....	33
Gambar 5. Bagan Alir Penelitian.....	35
Gambar 6. Tanah Asli	36
Gambar 7. Kurva pertumbuhan bakteri.....	36
Gambar 8. Bakteri yang telah diperbanyak dengan aquades	38
Gambar 9. Contoh Benda Uji.....	44
Gambar 10. Pengujian Benda Uji.....	45
Gambar 11. Grafik Hasil Pengujian Batas Cair.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 12. Grafik Gradasi Butiran.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 13. Penggolongan Klasifikasi Tanah Asli Menurut Sistem USCS	Error! Bookmark not defined.
Gambar 14. Grafik Hubungan Kadar Air dengan Berat Isi Kering Hasil Kompaksi Pada Tanah Asli.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 15. Grafik Hubungan antara Tegangan dan Regangan pada PengujianKuat Tekan Bebas Tanah Asli.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 16. Hubungan Tegangan – Reganagn dan penambahan bakteri <i>bacillus subtilis</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 17. Hubungan Antara nilai q_u dengan persentase campuran bakteri	Error! Bookmark not defined.
Gambar 18. Hubungan Antara c_u dengan persentase campuran	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi AASHTO	12
Tabel 2. Berat Jenis Tanah (specific gravity)	23
Tabel 3. Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah.....	25
Tabel 4. Alat-alat dan Gambar Pengujian Sifat Fisis.....	38
Tabel 5. Alat-alat dan Gambar Pengujian Sifat Mekanis.....	39
Tabel 6. Jumlah Benda uji untuk pengujian pada tanah asli	40
Tabel 7. Variasi Persentase Komposisi Bahan Stabilisasi	41
Tabel 8. . Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO).....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Asli	Error! Bookmark not defined.
Tabel 10. Perubahan Nilai Kuat Tekan Bebas (q_u) pada BendaUji Setelah Masa Pemeraman.....	Error! Bookmark not defined.

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pekerjaan konstruksi di bidang Teknik Sipil berkaitan erat dengan struktur bangunan, khususnya aspek yang tak kalah penting yang dianggap sebagai langkah awal dalam memulai pembangunan adalah tanah. Selain sebagai langkah awal dalam pembangunan, tanah juga merupakan bagian terpenting untuk mendukung beban-beban yang akan dipikul di atas tanah tersebut. Banyaknya masalah yang terjadi dalam bidang konstruksi salah satunya dikarenakan dengan tanah yang bermasalah (problematic soil).

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

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

tanah yang ramah lingkungan. Salah satunya dengan metode stabilisasi menggunakan mikroorganisme *Bacillus Subtilis*. Beberapa penelitian telah memberi peluang untuk memanfaatkan mikroba untuk menghasilkan senyawa metabolit sekunder penguat struktur partikel tanah seperti enzim urease. Bakteri penghasil enzim ini mampu mendorong pembentukan mineral kalsit yang berfungsi sebagai perekat antar partikel tanah.

Penelitian menggunakan mikroorganisme untuk meningkatkan kapasitas tanah telah dilaporkan oleh beberapa penelitian tentang bioclogging dan biosementasi. Kedua metode ini memiliki tujuan yang sama untuk memenuhi pori tanah. Cara yang dilakukan adalah dengan menyuntikkan bakteri ke dalam tanah, bisa menghasilkan kalsit untuk memenuhi pori-pori antara itu. Setelah pengobatan, hal itu bisa meningkatkan kapasitas tanah hingga lima kali lipat. Aplikasi bakteri dalam pembenahan pencampuran beton telah berhasil diterapkan pada beberapa penelitian. Metode ini diyakini lebih ekonomis dan memiliki keuntungan yang lebih bagi lingkungan tersebut. Penambahan bakteri mampu menghasilkan kalsit untuk mengisi pori beton, dapat meningkatkan nilai kekuatan tekan. Hal itu mampu memenuhi retak beton. Metode ini sangat tergantung ke kondisi lingkungan. Uji eksperimental di laboratorium, metode untuk menumbuhkan *Bacillus Subtilis* adalah dengan menggunakan media glukosa, kita dapat memperoleh hasil memuaskan bahwa bakteri dapat tumbuh dengan cepat. Suprpto (2011).

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

B. Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini dapat di uraikan sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik tanah sedimen yang digunakan pada penelitian?
2. Bagaimana pengaruh variasi campuran Bacillus Subtilis terhadap karakteristik mekanis tanah sedimen ?
3. Bagaimana pengaruh masa pemeraman terhadap nilai kuat tekan bebas tanah sedimen terstabilisasi Bacillus Subtilis ?

C. Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui karakteristik dan klasifikasi tanah sedimen yang digunakan pada penelitian.
2. Mengetahui pengaruh variasi campuran Bacillus Subtilis terhadap karakteristik mekanis tanah sedimen.

3. Mengetahui pengaruh masa pemeraman terhadap nilai kuat tekan bebas tanah sedimen yang terstabilisasi *Bacillus Subtilis*.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah sedimen Waduk Bili-bili yang berlokasi di Kabupaten Gowa Profinsi Sulawesi Selatan.
2. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium, bukan pada skala lapangan.
3. Penelitian ini hanya meneliti sifat fisis dan mekanis, dan tidak meneliti unsur kimia tanah.
4. Pengujian dilakukan terhadap variasi penambahan bahan stabilisasi bacillus subtilis.
5. Sifat fisis dan mekanis yang diteliti adalah :
 - Pengujian Berat Jenis
 - Kadar Organik
 - Pengujian Batas-batas Atterberg
 - Pengujian Analisa Saringan dan Hidrometer
 - Pengujian Pemadatan (Kompaksi)
 - Pengujian Kuat Tekan Bebas, UCS (*Unconfined Compression Test*)

6. Bahan stabilisasi yang digunakan adalah *bacillus subtilis*.
7. Persentase berat campuran yang di uji adalah 4%,6%,8%,10%,12% terhadap berat tanah dengan kadar air mula-mula.
8. Waktu pemeraman setelah campuran tanah dengan *bacillus subtilis* adalah 0,3,7,14,21, dan 28 hari dengan kondisi laboratorium.

E. Sistematika Penulisan

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

BAB 1. PENDAHULUAN

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

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Tanah

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

B. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas (Das, 1995).

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

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

B.1. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified* (USCS)

Sistem ini diajukan pertama kali oleh Casagrande. Kemudian American Society for Testing and Materials (ASTM) memakai USCS sebagai metode standar untuk mengklasifikasikan tanah. Sekarang ini,

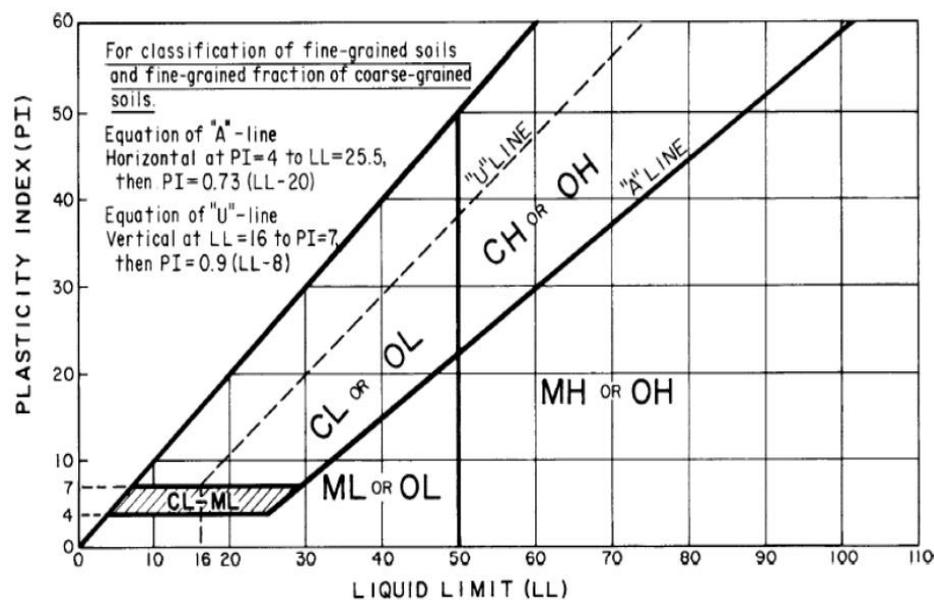
sistem ini sering digunakan dalam berbagai bidang pekerjaan geoteknik. Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu :

- 1) Tanah berbutir kasar (coarse-grained soils) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ($F_{200} < 50\%$). Simbol kelompok diawali dengan **G** untuk kerikil (gravel) atau tanah berkerikil (gravelly soil) dan **S** untuk pasir (sand) atau tanah berpasir (sandy soil).
- 2) Tanah berbutir halus (fine-grained soils) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} \geq 50\%$). Simbol kelompok diawali dengan **M** untuk lanau inorganik (inorganic silt), **C** untuk lempung inorganik (inorganic clay), dan **O** untuk lanau dan lempung organik. Simbol **Pt** digunakan untuk gambut (peat) dan tanah dengan kandungan organik tinggi.

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

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

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



Gambar 1. Grafik klasifikasi tanah menurut USCS

B.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai Public Road Administration System. Pada system ini, tanah diklasifikasikan kedalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A- 1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 3 5% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 3 5% butirannya lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6,

dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini:

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.

Apabila sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai. Tabel 1 menunjukkan suatu

gambar dari senjang batas cair (liquid limit, LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah granuler ¹					
kelompok	A1		A-3	A-2		
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6
Persen lolos saringan						
No. 10	50 max					
No. 40	30 max	50max	51 max			
NO.200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max
Batas cair ^a Indek plastisitas ^a	6 max		NP	40max 10 max	41 max 10 max	40 max 11 max
Fraksi tanah	Kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir atau lempung		
Kondisi tanah	Sangat baik hingga baik					

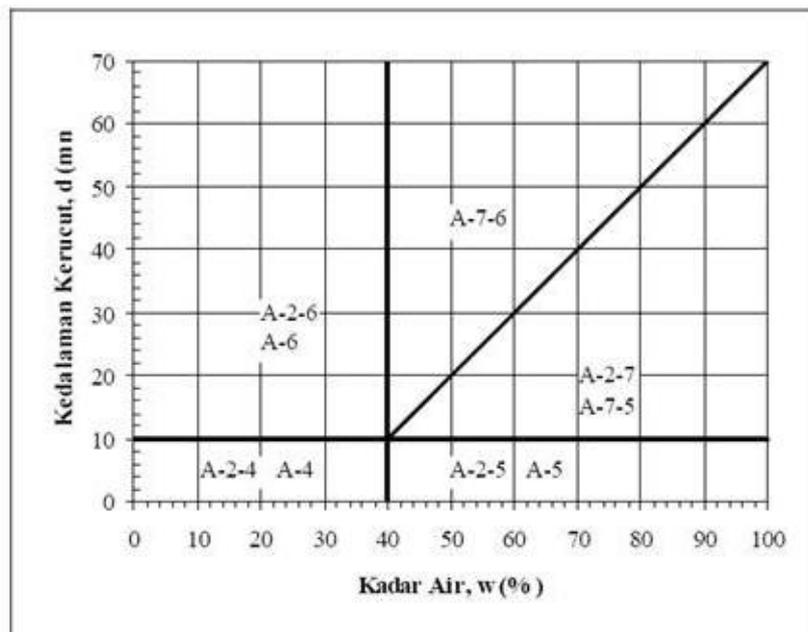
(a)

Klasifikasi umum	Tanah granuler ¹			tanah mengandung Lanau-Lempung ²		
kelompok	A2	A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-2-7				A-7-5 ^b	A-7-6 ^b
Persen lolos saringan						
No. 10						
No. 40						
NO.200		36 max	36 max	36 max	36 max	36 max
Batas cair ^a Indek plastisitas ^a	41 min 11 min	40max 10 max	41max 10 max	40 max 10 max	40max 10 max	41max 11 max
Fraksi tanah	Kerikil dan pasir,lanau/lempung		Lanau		Lempung	
Kondisi tanah	Sangat baik Hingga baik		kurang baik hingga jelek			

Keterangan : ¹persen lolos saringan No.200 < 35%, ²persen lolos saringan No.200 > 35%

Tanah yang lolos saringan No.40,^buntuk A-7-5,PI<LL -30, ^cuntuk A-7-6, PI>LL - 30

(b)



Gambar 2. Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem Klasifikasi AASHTO

Tabel 1 (b) merupakan rentang (range) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7. Untuk mengevaluasi mutu (kualitas) dari suatu tanah sebagai bahan lapisan tanah dasar (subgrade) dari suatu jalan raya, suatu angka yang dinamakan indeks grup (group index, GI) juga diperlukan selain kelompok dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan. Harga GI ini dituliskan di dalam kurung setelah nama kelompok dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan. Indeks grup dapat dihitung dengan memakai persamaan seperti di bawah ini:

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

(1) di mana:

F = persentase butiran yang lolos ayakan No. 200

LL = batas cair (liquid limit)

PI = indeks plastisitas Suku pertama persamaan (1), yaitu $(F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)]$, adalah bagian dari indeks grup yang ditentukan dari batas cair (LL). Suku yang kedua, yaitu $0,01 (F - 15), (PI - 10)$, adalah bagian dari Indeks grup yang ditentukan dari indeks plastisitas (PI).

Berikut ini adalah aturan untuk menentukan harga dari indeks grup :

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

C. Karakteristik Lanau

Lanau yang terbentuk secara glasial (oleh glester) dalam bahasa inggris kadang-kadang disebut rock flour atau stone dust. Secara komposisi mineral, lanau tersusun dari kuarsa felspar. Sifat fisika tanah lanau umumnya terletak diantara sifat tanah lempung dan pasir. Selain itu tanah lanau merupakan tanah berbutir halus yang berukuran lebih

kecil dari 0,074 mm (No. 200). Lanau terdiri dari dua jenis yaitu lanau anorganik (inorganik silt) yang merupakan tanah berbutir halus dengan plastisitas kecil mengandung butiran kuarsa sedimen yang kadang disebut tepung batuan (rockflour) dan tanah lanau organik (organik silt) tanah agak plastis berbutir halus dengan campuran partikel-partikel bahan organik terpisah secara halus, warna tanah bervariasi dari abu-abu terang ke abu-abu sangat gelap. Lanau adalah tanah berbutir halus yang mempunyai batas cair dan indeks plastis terletak di bawah garis A dan lempung berada di atas garis A. Kelompok ML dan MH adalah tanah yang diklasifikasikan sebagai lanau pasir, lanau lempung atau lanau anorganis dengan plastisitas relatif rendah. Juga termasuk tanah jenis butiran lepas, bubuk batu, tanah yang mengandung mika juga beberapa jenis lempung (Darwis, 2017).

D. Stabilisasi Tanah

Semua tindakan mengubah sifat-sifat asli dari pada tanah, untuk disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi adalah merupakan tindakan yang dapat dikategorikan sebagai upaya stabilisasi tanah. Secara umum orang mengartikan bahwa stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, atau dapat pula diartikan secara umum bahwa stabilisasi tanah adalah usaha untuk mengubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu.

Menurut hemat penulis, pengertian lebih luas dari stabilisasi tanah adalah “suatu metode rekayasa tanah yang bertujuan untuk meningkatkan dan/atau mempertahankan sifat-sifat tertentu pada tanah, agar selalu memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan”. Dalam hal ini berbagai syarat teknis yang dibutuhkan dalam mengoptimalkan kinerja konstruksi, antara lain ; kapasitas daya dukung tanah, kuat geser tanah, penurunan (settlement), permeabilitas tanah, dan lain sebagainya, yang mana syarat teknis tersebut selalu dikaitkan dengan jenis dan fungsi konstruksi yang dibangun/dibuat.

Secara garis besar, jika ditinjau dari mekanisme global yang terjadi pada tindakan stabilisasi tanah, maka klasifikasi tindakan stabilisasi tanah dapat dibedakan atas dua macam, yakni :

1. Perbaikan tanah (soil improvement) ; adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan menggunakan bahan additive (kimiawi), pencampuran tanah (re-gradation), pengeringan tanah (dewatering) atau melalui penyaluran energi statis/dinamis ke dalam lapisan tanah (fisik).
2. Perkuatan tanah (soil reinforcement) ; adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat

teknis yang dibutuhkan, dengan memberikan material sisipan ke dalam lapisan tanah tersebut.

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

1. Stabilisasi Kimia ; yaitu menambahkan bahan kimia tertentu dengan material tanah, sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dengan bahan pencampurnya, yang akan menghasilkan material baru yang memiliki sifat teknis yang lebih baik.
2. Stabilisasi Fisik ; yaitu mengenakan energi dari beban dinamis atau beban statis ke dalam lapisan tanah, sehingga terjadi dekomposisi baru dalam massa tanah, yang akan memperbaiki karakteristik lapisan tanah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.
3. Stabilisasi Mekanis ; yaitu stabilisasi dengan memasukkan material sisipan ke dalam lapisan tanah sehingga mampu meningkatkan karakteristik teknis dalam massa tanah sesuai dengan tujuan tindakan stabilisasi yang ingin dicapai. Karena keberadaan material sisipan ke dalam lapisan tanah inilah, sehingga stabilisasi mekanis diistilahkan sebagai "perkuatan tanah (soil reinforcement). Contohnya stabilisasi dengan metal strip, geotextile, geomembrane, geogrid, vertical drain, dan lain sebagainya.

Metode atau cara memperbaiki sifat-sifat tanah ini juga sangat bergantung pada lama waktu pemeraman, hal ini disebabkan karena di

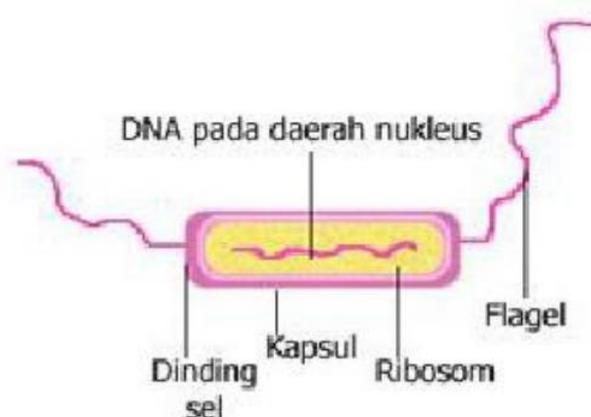
dalam proses perbaikan sifat-sifat tanah terjadi proses kimia yang dimana memerlukan waktu untuk zat kimia yang ada di dalam bahan additive untuk bereaksi.

E. Bakteri *Bacillus Subtilis*

Salah satu jenis stabilisasi ialah dengan menggunakan mikro organisme yaitu bio stabilisasi, metode ini baik untuk diaplikasikan karena ramah lingkungan. Teknik pemanfaatan mikroba tanah disebut *Microbially Induced Calcite Precipitate* (MICP). Mikroorganisme (Bakteri) yang digunakan adalah *bacillus subtilis* Bersama dengan sumber kalsium terlarut yang bila ditambahkan kedalam tanah dengan perbandingan yang tepat akan memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, seperti : kekuatan tekstur, kemudahan dikerjakan (*workability*) dan plastisitas. (Hasriana, 2018)

Bakteri merupakan organisme mikroskopis rata-rata berdiameter 1,25mikrometer (μm). (mikrometer = $1/1000000$ meter). Bakteri yang terkecil adalah *Dialister pneumosintes* dengan panjang tubuh 0,15 – 0,30 μm ,sedangkan bakteri terbesar adalah *Spirillum voluntans*, panjang tubuh 13 – 15 μm . , Ukuran bakteri adalah mikroskopis artinya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Bakteri aktif bergerak pada kondisi lembab. Pada keadaan kekurangan air, bakteri akan tidak aktif bahkan dapat menyebabkan kematian. Amonium klorida tersisa diekstraksi dan dibuang. Hasil menunjukkan bakteri dapat bergerak di

kolom lebih dari 1 m panjang pada tingkat isolasi yang tinggi dengan menerapkan lapisan bergantian beberapa suspensi bakteri dan solusi fiksasi diikuti dengan inkubasi. Mikro organisme dikembangbiakkan dengan menginokulasikan mikroorganisme kedalam suatu medium baru, Teknik inokulasi yang digunakan adalah teknik gores, dengan sebelumnya dilakukan pengenceran terlebih dahulu agar hasil koloni yang didapat berupa biakan murni. Setelah diinkubasi dalam keadaan aerob selama 24 jam. Medium kultur yang digunakan terdiri dari agar nutrien dan kaldu nutrisi atau nutrien broth (NB). Peran bakteri dalam menstabilkan tanah tersebut pada saat proses presipitasi kalsium karbonat. aktivitas sel bakteri, ion Ca^{2+} dari senyawa CaCl_2 yang ditarik oleh bakteri dari lingkungan dan terdepositkan pada permukaan sel, dan enzim urease yang mengambil urea ke dalam bakteri yang mendekomposisinya dengan ammonia NH_3 dan carbondioksida (CO_2). (Harianto T, 2017)



Gambar 3. Bagian bagian struktur bakteri

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). Secara histori para ahli mengklasifikasikan bahwa *B. subtilis* termasuk kategori aerob obligat tetapi penelitian terbaru menemukan bahwa bakteri ini termasuk kategori anaerob fakultatif (Nakano, 1999)

Di dalam tanah, bakteri antagonis *Bacillus subtilis* memanfaatkan eksudat akar dan bahan tanaman mati untuk sumber nutrisinya. Apabila kondisi tidak sesuai bagi pertumbuhannya, misalnya karena suhu tinggi, tekanan fisik dan kimia, atau kahat nutrisi, bakteri akan membentuk endospora. Endospora yang dihasilkan oleh *Bacillus* mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap faktor kimia dan fisika, seperti suhu ekstrim, alkohol dan sebagainya. Pembentukan endospora terjadi selama lebih kurang 8 jam dan dapat bertahan selama 6 tahun (Soesanto 2008).

Klasifikasi *Bacillus subtilis* :

Kingdom : Procaryorae

Divisi : Firmicutes

Kelas : Schizomycetes

Bangsa (Ordo) : Eubacteriales

Suku (Familia) : Bacillaceae

Marga (Genus) : *Bacillus*

Jenis (Spesies) : *Bacillus Subtilis*

Bakteri urease akan mengkatalisis urea sehingga melepas ion karbonat, yang selanjutnya akan terikat dengan ion kalsium dari CaCl_2 dan mempresipitaskan 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).

Untuk mengetahui pertumbuhan bakteri dan melakukan perhitungan jumlah sel, salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode turbidimetri. Turbidimetri merupakan analisis kuantitatif yang didasarkan pada pengukuran kekeruhan atau turbidan dari suatu larutan akibat adanya suspensi partikel padat dalam larutan. Tingkat kekeruhan ini dinyatakan dalam Optical Density (OD). Bertambahnya jumlah sel bakteri menyebabkan bertambahnya tingkat kekeruhan.

Prinsip kerja turbidimetri adalah analisa yang berdasarkan hamburan cahaya. Sebagian cahaya tersebut akan diserap (diabsorpsi) oleh sel bakteri sedangkan sisanya akan lewat. Jumlah sel bakteri setara dengan banyak cahaya yang diabsorpsi.

F. UCT (Unconfined Compression Test)

Uji kuat tekan bebas atau UCT (Unconfined Compression Test) merupakan cara yang dilakukan di laboratorium untuk mengukur seberapa besar kuat dukung tanah menerima kuat tekan yang diberikan sampai tanah tersebut terpisah dari butiran-butirannya dan juga regangan tanah akibat tekanan tersebut. Pada saat pengujian, benda uji diberi tegangan vertikal, sedangkan tegangan selnya sama dengan nol. (Susanto 2018)

Pada saat benda uji diberi beban maka luas contoh di bagian tengah akan membesar seiring dengan ditambahkannya tegangan. Tegangan aksial berangsur - angsur ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan. Pada saat keruntuhannya karena $\sigma_3 = 0$, maka:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_f = \Delta\sigma_f = q_u$$

Kohesi tanah undrained (c_u) adalah :

$$c_u = \frac{q_u}{2}$$

Dengan :

σ_1 = tegangan utama mayor tegangan aksial (kg/cm²)

σ_3 = tegangan kengkang atau tegangan sel (kg/cm²)

$\Delta\sigma_f$ = tegangan deviator (kg/cm²)

q_u = kuat tekan bebas (kg/cm²)

C_u = kohesi tanah undrained (kg/cm²)

G. Berat Jenis

Berat spesifik atau berat jenis (specific gravity) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat dengan berat volume air. G_s tidak berdimensi. Secara tipikal, berat jenis berbagai jenis tanah berkisar antara 2.65 sampai 2.75. spesifikasi berat jenis tanah seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Berat Jenis Tanah (specific gravity)

Macam 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: Hardiyatmo, 2017)

H. 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.

Bergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat. Menurut Atterberg (1911) batas-batas konsistensi tanah berbutir halus tersebut adalah batas cair, batas plastis, batas susut.

H.1 Batas Cair (Liquid Limit)

Batas cair adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis.

H.2 Batas Plastis (Plastic Limit)

Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air, dinyatakan dalam persen, di mana tanah apabila digulung sampai dengan diameter 1/8 in (3,2 mm) menjadi retak-retak. Batas plastis merupakan batas terendah dari tingkat keplastisan suatu tanah. Cara pengujiannya adalah sangat sederhana, yaitu dengan cara menggulung massa tanah berukuran elipsoida dengan telapak tangan di atas kaca datar.

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

$$PI = LL - PL$$

Dimana :

PI = Plastis Indeks (%)

LL = Liquid Limit (%)

PL = Plastis Limit (%)

Tabel 3. Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

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

(sumber : Hardiyatmo, 2017)

H.3 Batas Susut (Shrinkage Limit)

Suatu tanah akan menyusut apabila air yang dikandungnya secara perlahan-lahan hilang dalam tanah. Dengan hilangnya air secara terus menerus, tanah akan mencapai suatu tingkat keseimbangan di mana penambahan kehilangan air tidak akan menyebabkan perubahan volume.

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

I. Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian terdahulu mengenai stabilisasi tanah dengan penambahan bakteri telah dilakukan. Seperti yang dilakukan oleh:

1. Fadliah (2013) : Eksperimental Stabilisasi Biogrouting *Bacillus Subtilis* Pada Tanah Lempung Kepasiran. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan di pusat penelitian Bioteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Tujuan penelitian ini untuk menentukan komposisi optimum larutan bakteri *Bacillus subtilis* untuk stabilitasi tanah dan mengevaluasi karakteristik mekanis tanah yang telah distabilisasi dengan variasi larutan bakteri *Bacillus subtilis* dan larutan sementasi, dikombinasikan dengan variasi waktu pemeraman. Teknologi biogrouting merupakan teknologi yang mensimulasikan proses diagenesis yaitu transformasi butiran pasir menjadi batuan pasir (*calcarinite/sandcone*), kristal kalsit (CaCO_3) yang terbentuk dari proses biogrouting akan menjadi pengikat antara butiran pasir sehingga menyebabkan proses sementasi dan mengubah pasir menjadi batuan pasir. Jumlah volume bakteri *bacillus subtilis* yang diinjeksi pada tanah lempung kepasiran masing-masing sebesar 2 cc sampai 32 cc dengan pemeraman selama 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil pengujian pada percobaan kuat tekan bebas skala laboratorium menunjukkan bahwa pengujian tanpa terinjeksi bakteri sebesar 0.13 kg/cm² untuk hasil yang

terinjeksi bakteri sebesar 0.35 kg/cm^2 . Percobaan permeabilitas tanpa terinjeksi bakteri nilai koefisiennya sebesar $2.49 \cdot 10^{-4} \text{ cm/detik}$ untuk hasil setelah terinjeksi bakteri nilai koefisiennya sebesar $4.91 \cdot 10^{-6} \text{ cm/dtk}$. Percobaan geser langsung tanpa terinjeksi bakteri sudut gesernya sebesar 4.46° untuk hasil setelah terinjeksi bakteri sebesar 35.07° . Maka dapat disimpulkan bahwa penambahan bakteri untuk stabilisasi tanah lempung kepasiran dengan metode grouting dapat meningkatkan daya dukung tanah. Hal ini dibuktikan dengan meningkatkan kekuatan tanah dan memperkecil rembesan dalam tanah.

2. Hasriana (2017) : Tanah lunak dengan daya dukung rendah tidak mampu mendukung konstruksi di atasnya sehingga diperlukan suatu metode perbaikan tanah guna memperbaiki struktur tanah tersebut. Stabilisasi tanah dengan bahan kimia seperti kapur, semen , dan fly ash merupakan metode stabilisasi yang paling populer. Saat ini alternative bio stabilisasi ramah lingkungan semakin berkembang dengan pemanfaatan mikroorganisme (bakteri bacillus subtilis). Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan karakteristik tanah lunak yang dicampur larutan konsentrasi bakteri bacillus subtilis dengan melakukan pengujian kuat tekan Unconfined Compression Test (UCT). Medium larutan konsentrasi bakteri yang digunakan adalah bacillus subtilis kultur 6 hari dengan komposisi 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% pada kondisi kepadatan optimum. Waktu pemeraman

dilakukan selama 3, 7, 14 dan 28 hari setelah pembuatan benda uji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan optimum didapatkan pada penambahan larutan konsentrasi bakteri bacillus subtilis 6% dengan waktu pemeraman 28 hari. Peningkatan nilai kuat tekan dari 26 kN/m² menjadi 382,86 kN/m² atau sebesar 15 kali dari tanah tanpa stabilisasi. Hal ini menunjukkan penggunaan larutan konsentrasi bakteri bacillus subtilis cukup signifikan meningkatkan nilai kuat tekan 28 hari diperoleh nilai kuat tekan 382,84 kN/m².

3. Hasriana, (2018) : Lapis pondasi bawah (*sub base Course*) pada perencanaan perkerasan jalan raya terletak antara lapis tanah dasar (*subgrade*) dan lapis pondasi atas (*Base*) yang berfungsi menerima beban lalu lintas di atasnya sehingga harus mempunyai kapasitas dukung yang optimal dan mampu menerima tekanan akibat beban lalu lintas tanpa mengalami kerusakan. Kapasitas daya dukung dinyatakan dengan nilai *California Bearing Ratio* (CBR). Dalam penulisan ini perbaikan tanah lempung dengan bakteri *Bacillus Subtilis*, untuk menganalisa digunakan percobaan kuat tekan bebas, pemadatan tanah dan CBR. Cara perbaikan tanah diperkenalkan dalam studi ini untuk meningkatkan daya dukung tanah sebagai stabilisasi tanah dengan aman dan ramah lingkungan. Medium larutan konsentrasi bakteri yang digunakan adalah bacillus subtilis kultur 6 hari dengan komposisi 2%, 4%, 6%, dan 8% pada kondisi kepadatan optimum. Waktu pemeraman dilakukan selama 3, 7, 14

dan 28 hari setelah pembuatan benda uji. Hasil pengujian kuat tekan bebas tanah tanah lempung dengan stabilisasi *bacillus subtilis* 2%-8% yaitu nilai kuat tekan mengalami peningkatan seiring penambahan bakteri dan peningkatan waktu peram. Nilai kuat tekan meningkat optimal pada saat penggunaan bakteri 6% yaitu 382 kN/m² dengan waktu pemeraman 28 hari, karena partikel tanah semakin rapat yang disebabkan proses MICP. Sedangkan hasil pengujian CBR pola kurva nilai CBR meningkat secara proporsional dengan umur curing (7 dan 28 hari), fenomena ini mengindikasikan bahwa nilai CBR meningkat dari penambahan bakteri *bacillus subtilis* 2%-6% pada kultur 6 hari dan setelah 6% terjadi penurunan nilai CBR. Tanah lempung dengan penambahan bakteri 6% kultur 6 hari waktu pemeraman 28 hari yaitu 72,23%. Peningkatan jumlah persen bakteri dan waktu pemeraman menyebabkan daya dukung tanah meningkat. Reaksi pozzolanic yang menyebabkan terjadinya *pozzolanic strength gain* meningkatkan kekuatan tanah juga meningkatkan daya dukung tanah.

4. Didiek Hadjar, (2017) : Aplikasi mikroba terbukti tidak hanya terbatas di dalam bidang pertanian dan semua turunannya (pangan, kesehatan, dan lingkungan), tetapi terbukti juga memiliki peran penting di bidang keteknik sipil. Perakitan teknologi yang ramah lingkungan, mudah, dan murah menjadi sangat penting untuk mencapai efisiensi dan manfaat yang optimal. Pemanfaatan mikroba

khususnya bakteri penghasil enzim urease yang memfasilitasi pembentukan kalsit dan/atau aragonit sangat prospektif untuk perbaikan sifat mekanis atau keteknikan tanah. Keanekaragaman bakteri yang tinggi memberi peluang untuk memilih isolat yang paling unggul untuk dikembangkan menjadi produk komersial yang kompetitif. Bagaimanapun juga, penelitian perlu terus dilanjutkan guna menjawab tantangan ke depan khususnya menyangkut aplikasi secara luas dari perlakuan setempat dan ketahanan kinerja jangka panjang sementasi yang didorong dengan penggunaan mikroba.

5. Angelina Lynda, (2013) : Karakteristik Kuat Geser Tanah Dengan Metode Stabilisasi Biogrouting Bakteri *Bacillus Subtilis*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil stabilisasi tanah yang optimum dengan metode biogrouting yang dimaksud pada penelitian ini, yaitu ketika nilai parameter kuat geser tanah (kohesi dan sudut geser dalam) yang diperoleh merupakan nilai terbesar dari semua perbandingan pencampuran sampel tanah dengan bakteri untuk waktu pemeraman selama 28 hari. Variasi persentase larutan sementasi dan larutan bakteri *Bacillus Subtilis* yaitu Tanah pasir berlempung + 0 cc larutan sementasi + 0 cc larutan bakteri *Bacillus Subtilis*. Tanah pasir berlempung + 2 cc larutan sementasi + 2 cc larutan bakteri *Bacillus Subtilis*. Tanah pasir berlempung + 4 cc larutan sementasi + 4 cc larutan bakteri *Bacillus Subtilis*. Hasil

stabilisasi biogrouting Bakteri *Bacillus subtilis* yang optimum diperoleh pada sampel tanah dengan 3x injeksi (6cc larutan bakteri dan 6cc larutan sementasi). Dimana nilai kohesi yang diperoleh sebesar 1,192 kg/cm² dan nilai sudut geser dalam sebesar 35.07°. Karakteristik mekanis tanah yang mengalami stabilisasi optimum mengalami perubahan pada parameter kuat gesernya, yaitu: Terjadi peningkatan nilai kohesi sebesar 297% terhadap nilai kohesi sampel tanah asli. Terjadi peningkatan nilai sudut geser dalam sebesar 6,86 % terhadap nilai sudut geser dalam tanah asli.

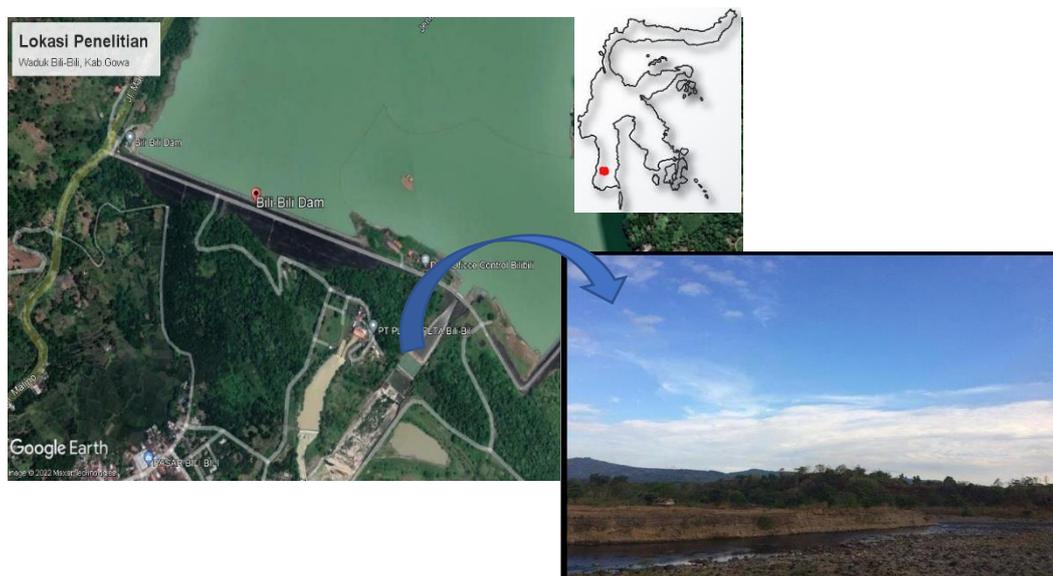
6. Lisdianti Puspita, (2011) : Pada penelitian ini peneliti mencari alternative bahan yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan tanah dengan memanfaatkan mikroorganismenya. Mikroorganismenya yang dimaksud didapatkan dari pengambilan sampel diantaranya batuan, tanah, dan air laut yang berada di wilayah Indonesia. Diteliti, observasi dan dilakukan pengamatan didapatkan jenis bakteri *Bacillus subtilis* menunjukkan bahwa bakteri yang dapat berkembang biak dengan suhu di Indonesia serta menghasilkan kalsit/Kristal terbanyak berasal dari wilayah Papua. Kemudian peneliti melakukan pengujian dengan mencampurkan bakteri dan pasir, lalu diperam atau didiamkan selama 1 bulan lamanya dengan suhu ruang. Hasil yang didapatkan menunjukkan perubahan dari pasir menjadi batuan pasir hal ini disebabkan oleh bakteri *Bacillus subtilis* selama masa pemeraman sudah mencapai tahap maksimal

menghasilkan Kristal/kalsit yang membentuk batuan pasda pasir tersebut. Hasil penelitian ini juga didukung oleh dari hasil foto SEM yang menunjukkan adanya Kristal didalam kandungan pasir tersebut.

BAB 3. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari waduk Bili – Bili, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan.



Gambar 4. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

Uji sifat fisis dan mekanis tanah, pembuatan benda uji, dan uji mekanis benda uji dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, di Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Adapun waktu penelitian mengacu pada interval dan durasi yang telah ditetapkan berdasarkan standar pengujian yang digunakan

B. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan pada bahan-bahan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji. Yang pertama dilakukan adalah

pemilihan bahan dengan melihat ciri-cirinya secara visual, selanjutnya menguji karakteristik bahan-bahan tersebut untuk memastikan kesesuaiannya dengan karakteristik bahan-bahan yang dibutuhkan.

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah untuk menganalisis perilaku tanah sedimen yang terstabilisasi bakteri. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap karakteristik perilaku mekanik yang dihasilkan dari uji kuat tekan bebas tanah sedimen sebelum dan sesudah distabilisasi.

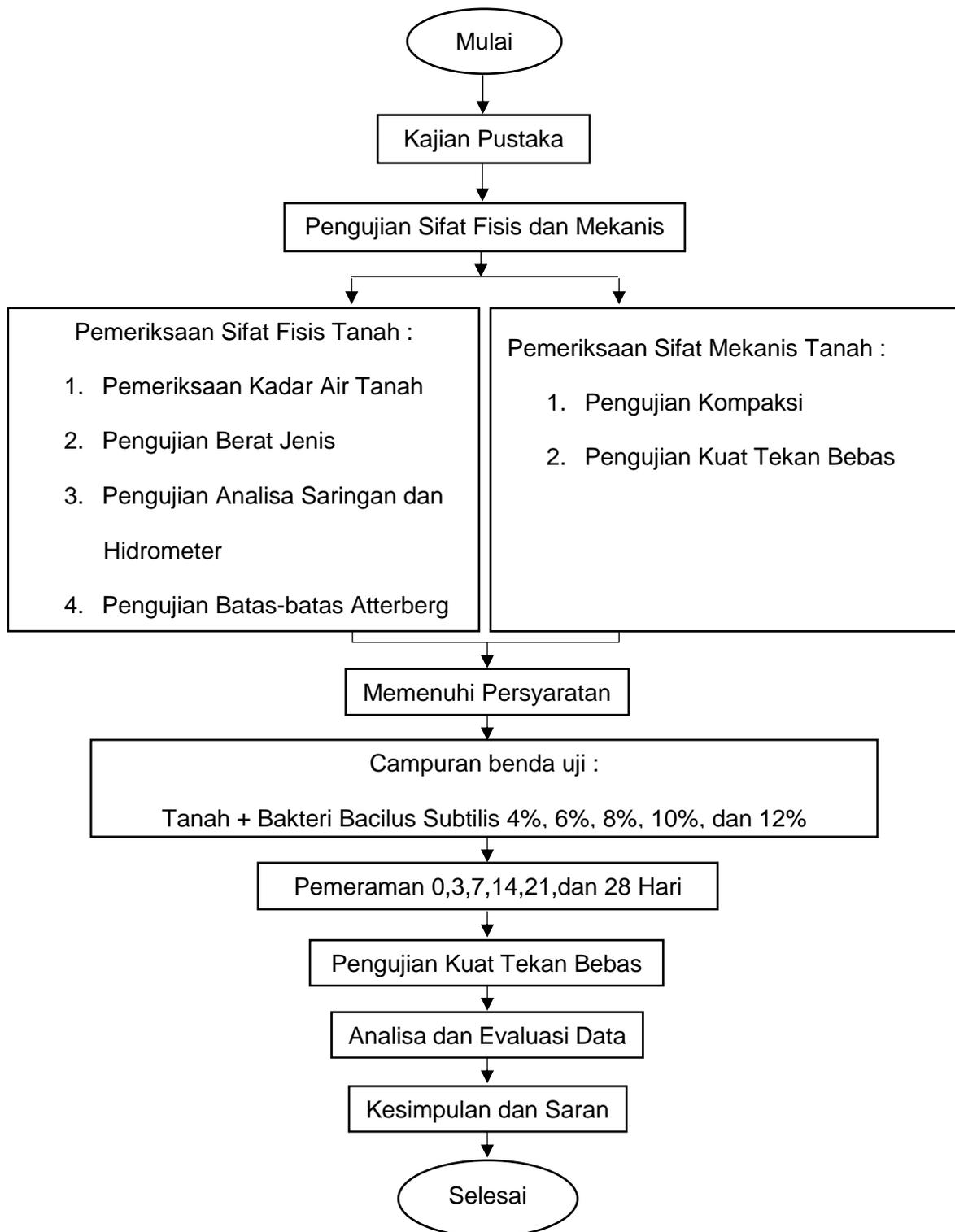
Data karakteristik dari setiap bahan merupakan variabel-variabel yang akan dianalisis sebagai landasan untuk mengukur hasil penelitian berdasarkan data pengujian benda uji, kemudian dijadikan dasar dalam menarik kesimpulan.

C. Kerangka Alir Penelitian

Sebelum dilakukan penelitian maka dibuat langkah-langkah pelaksanaan alur kegiatan penelitian agar dapat berjalan secara sistematis dan tepat sasaran.

Langkah awal yang perlu dilakukan adalah studi pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah dan tujuan penelitian kemudian dikaji dalam kajian pustaka dan berbagai teori dasar.

Langkah selanjutnya adalah meneliti, menguji, dan menganalisis hasil yang diperoleh. Lebih lengkapnya dapat dilihat pada bagan alir berikut:



Gambar 5. Bagan Alir Penelitian

D. Material

D.1. Tanah Asli

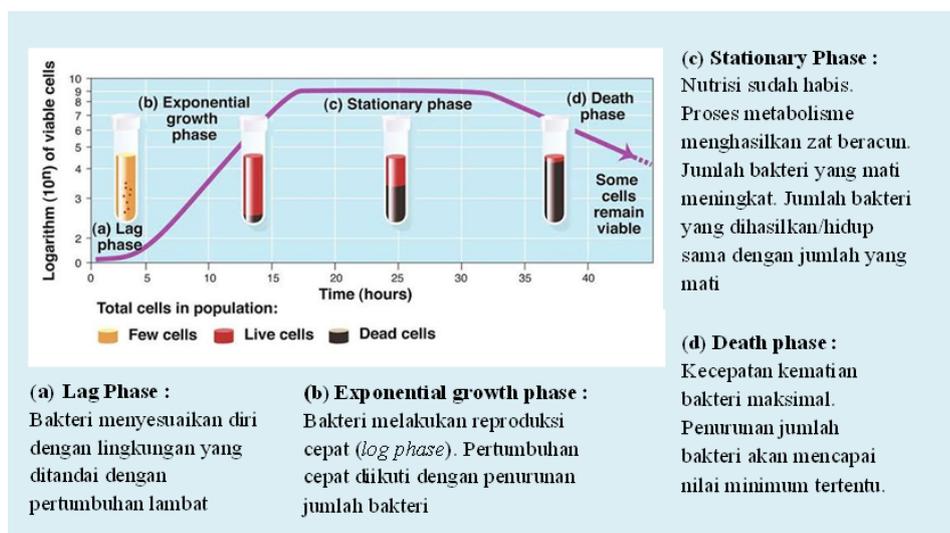
Tanah yang digunakan dalam penelitian ini, yakni tanah sedimentasi dari waduk Bili – Bili, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan.



Gambar 6. Tanah Asli

D.2. Bakteri

Fase-fase pertumbuhan bakteri disajikan dalam kurva pertumbuhan bakteri seperti yang terlihat pada gambar 7.



Gambar 7. Kurva pertumbuhan bakteri

Bakteri yang digunakan dalam penelitian ini adalah kultur murni (*Bacillus subtilis*) yang di inokulasi dengan lama inkubasi 24 jam. Tahap-tahap inokulasi adalah sebagai berikut,:

1. Menyiapkan medium nutrient agar (NA) miring yang akan ditanami bakteri
2. Menyiapkan biakan murni yang akan dikembangkan
3. Menyiapkan jarum ose dan lampu Bunsen
4. Mengambil biakan murni bakteri secara aseptis
5. Menginokulasikan pada medium agar miring dengan menggesekkan jarum ose yang sudah ada bakterinya ke permukaan medium agar-agar miring dari bagian bawah tabung reaksi menuju ke atas atau mulut tabung reaksi
6. Menggesekkan jarum ose dilakukan secara zigzag supaya hasil penanaman kelihatan lebih jelas
7. Memanaskan lagi jarum ose yang telah digunakan untuk mensterilkan dari bakteri dan mikroorganisme lainnya
8. Menginkubasi hasil inokulasi pada suhu kamar 37°C (derajat celcius) selama 24 jam.



Gambar 8. Bakteri yang telah diperbanyak dengan aquades

Bacillus subtilis dibudidayakan dengan umur kultur 3 hari yang nantinya akan digunakan dengan jumlah yang bervariasi sesuai dengan rancangan benda Uji dalam proses stabilisasi tanah.

E. Peralatan Laboratorium

Berikut ini alat yang digunakan untuk pengujian sifat fisis (Tabel 4) dan pengujian sifat mekanis (Tabel 5).

Tabel 4. Alat-alat dan Gambar Pengujian Sifat Fisis

No	Nama Alat	Gambar
1	Pengujian Berat Jenis	
2	Pengujian kadar air	

3	Pengujian Batas-Batas Atterberg	
4	Pengujian Analisa Saringan	
5	Pengujian analisa Hidrometer	

Tabel 5. Alat-alat dan Gambar Pengujian Sifat Mekanis

No	Nama Alat	Gambar
1	Pengujian UCS (<i>Unconfined Compression Strength</i>)	

2 Pengujian Kompaksi



F. Pengujian Karakteristik Tanah Asli

Benda uji dibuat untuk masing-masing pengujian, yaitu pengujian sifat fisis dan pengujian sifat mekanis. Untuk tanah asli dilakukan pengujian keduanya begitupun dengan tanah asli yang dicampur dengan bahan stabilisasi. Jumlah sampel untuk tanah asli secara detail disajikan pada Tabel 6 di bawah ini :

Tabel 6. Jumlah Benda uji untuk pengujian pada tanah asli

No.	Pengujian	Jumlah Benda Uji
1	Berat Jenis	1
2	Kadar Organik	1
3	Batas-batas Atterberg	1
4	Analisa Saringan dan Hidrometer	1
5	Kompaksi	1
6	Kuat Tekan Bebas	1

G. Optimalisasi Bahan Stabilisator

Untuk menentukan komposisi optimum bahan stabilisator (*bacillus subtilis*), dilakukan pengujian pada benda uji menggunakan media tanah sedimen Waduk Bili-bili , dengan variasi komposisi sebagaimana pada tabel 7.

Tabel 7. Variasi Persentase Komposisi Bahan Stabilisasi

Stabilisator (%)	Tanah (gram)	Jumlah Benda Uji Per Masa Pemeraman					
		0 hari	3 hari	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
4	397,80	2	2	2	2	2	2
6	398,54	2	2	2	2	2	2
8	398,95	2	2	2	2	2	2
10	403,36	2	2	2	2	2	2
12	403,81	2	2	2	2	2	2

Persentase bahan stabilisasi ditentukan berdasarkan berat tanah dengan kadar air mula-mula. Setiap variasi stabilisator digunakan terhadap 2 benda uji , yang kemudian diuji pada umur pemeraman 0 hari,3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian Kuat Tekan Bebas.

H. Pengujian

Dalam penelitian ini sampel pengujian terdiri dari dua jenis. Yang pertama adalah sampel tanah asli yang akan diuji sifat fisis dan mekanisnya. Kemudian sampel ke dua adalah tanah asli terstabilisasi *Bacillus Subtilis*.

H.1 Uji Sifat Fisis

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan indeks properties tanah. Berdasarkan indeks properties ini nantinya tanah dapat diklasifikasikan yang hasilnya nanti menjadi bahan pertimbangan saat akan melakukan proses pencampuran dan stabilisasi. Pengujian properties tersebut meliputi pengujian analisa saringan, Analisa hidrometer, kadar air berat isi, berat jenis dan batas-batas atterberg.

H.2 Uji Sifat Mekanis

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan maupun daya dukung tanah. Adapun uji mekanis yang dilakukan adalah uji pemadatan (Standard Proctor Compaction) dan Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compression Strength).

1) Pengujian Kompaksi (*Standard Proctor Compaction*)

Pengujian ini adalah untuk pemadatan tanah, yaitu suatu proses pengeluaran udara pada tanah dengan cara (digilas atau ditumbuk). Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum.

2) Pengujian Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression Strength*)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai kuat tekan tanah yang berhubungan dengan daya dukung tanah. Uji kuat ini mengukur seberapa kuat tanah dalam menerima kuat tekan yang diberikan sampai tanah tersebut terpisah dari butiran-butirannya, juga mengukur regangan tanah akibat adanya tekanan yang diberikan. Untuk membuat benda uji, tanah harus ditambahkan air sesuai dengan kadar air optimum agar dapat mencapai berat isi kering maksimum pada pengujian kompaksi.

I. Proses Pembuatan Benda Uji

Dalam proses pembuatan benda uji hal yang pertama kali dilakukan adalah mempersiapkan cetakan dan material benda uji. Cetakan yang digunakan pada pembuatan benda uji ini terbuat dari pipa PVC berbentuk tabung dengan ukuran 1 : 2.

Selanjutnya dilakukan pencampuran tanah dengan bahan stabilisasi sesuai variasi yang telah ditentukan. Kemudian campuran tanah dan bahan stabilisasi yang sudah di campurkan di masukkan ke dalam cetakan benda uji yang telah diberi pelumas agar dapat dengan mudah dilepaskan dari cetakan. Perlu diperhatikan bahwa dalam pencampuran, nilai berat isi kering tanah maksimum maupun kadar air optimum harus diketahui terlebih dahulu melalui pengujian kompaksi.

Hal ini dikarenakan agar campuran yang dibuat sesuai dengan volume cetakan untuk menghasilkan benda uji yang optimal. Setelah itu

campuran yang telah dimasukkan ke dalam cetakan dipadatkan menggunakan alat pemadatan statis yaitu hidrolik hingga membentuk cetakan benda uji.

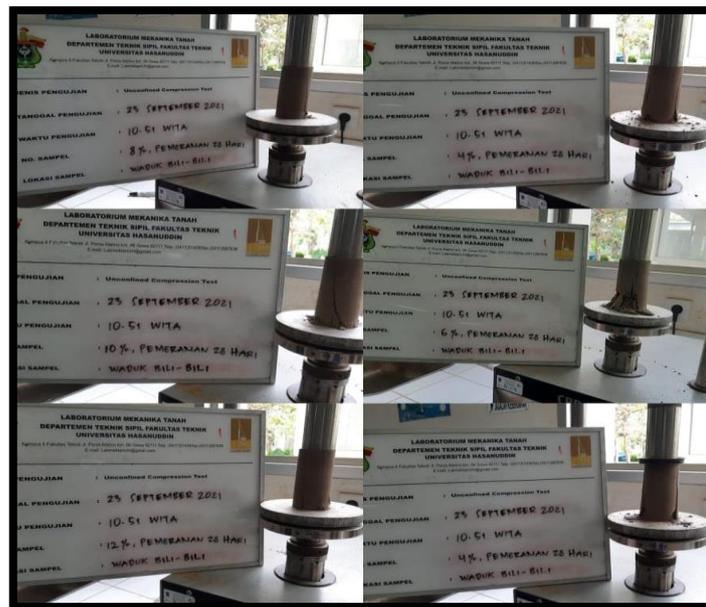


Gambar 9. Contoh Benda Uji

J. Pengujian Kuat Tekan Bebas dengan metode Pemeraman

Benda uji yang telah dicetak dengan alat pemadatan statis kemudian dikeluarkan dari cetakan dan ditimbang terlebih dahulu, lalu untuk benda uji dengan masa pemeraman 0 Hari didiamkan terlebih dahulu selama 3 jam agar bahan stabilisator mulai bekerja sebelum dilakukan pengujian, sedangkan untuk benda uji dengan masa pemeraman 7, 14, dan 28 hari diletakkan di tempat terbuka dengan suhu ruangan dan ditunggu hingga masa pemeraman telah tercapai lalu ditimbang sebelum kemudian di uji pada alat kuat tekan bebas, setelah pengujian kuat tekan bebas telah selesai, kemudian dilakukan pengambilan kadar air pada benda uji untuk

kemudian dihitung berat isi kering maksimumnya setelah masa pemeraman, digunakan 2 benda uji pada tiap variasi pemeraman, dan nilai kuat tekan bebas yang digunakan adalah rata-rata dari nilai kuat tekan bebas kedua benda uji tersebut.



(a) Saat Pengujian



(b) Setelah Pengujian

Gambar 10. Pengujian Benda Uji

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil pengujian sifat fisis tanah asli, digunakan dua system klasifikasi yaitu AASHTO dan USCS. Berdasarkan klasifikasi AASHTO tanah asli termasuk A-4 yang berarti tanah termasuk tanah berlanau. Sedangkan berdasarkan klasifikasi USCS tanah asli diklasifikasikan sebagai ML dengan plastisitas rendah.
2. Penambahan bahan stabilisator, yakni bakteri *bacillus subtilis*, terbukti meningkatkan nilai daya dukung tanah. Dalam hal ini nilai Kuat Tekan Bebas maksimum yang berhasil di capai yaitu sebesar 25,44 kg/cm² dimana kenaikannya sebesar 7,21 kali dibandingkan tanah tanpa stabilisasi, yaitu 3,1 kg/cm².
3. Seiring bertambahnya masa pemeraman, nilai Kuat Tekan Bebas tanah terstabilisasi *Bacillus Subtilis* mengalami peningkatan. Dengan penambahan bakteri sebesar 8% dan pemeraman 28 hari memberikan kenaikan sebesar 7,21 kali. Sedangkan untuk kenaikan yang paling rendah diperoleh untuk penambahan bakteri 4% dan pemeraman 0 hari memberikan kenaikan sebesar 38%.

B. Saran

1. Sebaiknya disediakan ruangan khusus untuk penyimpanan sampel, agar sampel yang sementara diperam tidak terganggu sehingga memengaruhi kualitas akhir dari sampel.
2. Perlu diadakan penelitian lanjutan terkait penambahan bahan stabilisasi dan masa pemeraman agar di dapatkan hasil yang baik dan data yang dihasilkan lebih akurat.
3. Sebaiknya proses pencampuran tanah dengan bahan stabilisasi harus diperhatikan agar diperoleh campuran yang lebih homogen.
4. Perlu diadakan penelitian lanjutan dengan variasi campuran bahan stabilisasi lainnya dan komposisi yang berbeda.
5. Diharapkan pada penelitian lanjutan agar benda uji dibuat semirip langsung dengan kondisi lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Darwis, H. (2017). Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah. Yogyakarta : Pustaka AQ.
- Das, B. M. 1995. Mekanika Tanah (Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Fadliah, Iffah. (2013). *Studi Eksperimental Stabilisasi Biogrouting Bacillus subtilis pada Tanah Lempung Kepasiran* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Goenadi, Didiek, Hadjar. (2017). Perbaikan sifat fisika-mekanis tanah dengan mediasi teknik hayati. *Menara Perkebunan*, 85(1), 44-52.
- Hardiyatmo, H. C. 2017. Mekanika Tanah 1 Edisi Ketujuh. Yogyakarta: Gajah Mada University Pers.
- Hasriana, Lawalenna Samang, M.Natsir Djide, dan Tri Harianto (2017), "Pengaruh Penambahan Bakteri (Bacillus Subtilis) Pada Tanah Lunak Terhadap Karakteristik Kuat Tekan", Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil XI, 27 Oktober 2017
- Hasriana, (2018). "Studi Perbaikan Tanah Lempung Dengan Bakteri Bacillus Subtilis Sebagai Lapisan Subbase Jalan". Teknik Sipil. Universitas Hasanuddin: Makassar.
- Lynda, A. (2013). Karakteristik Kuat Geser Tanah Dengan Metode Stabilisasi Biogrouting Bakteri Bacillus Subtilis.

Qunik Wiqoyah, Renaningsih, Agus Susanto, Anto Budi L, Muhammad Tahta MH, (2018), "Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung Nambuhan, Purwodadi Yang Dicampurkan Dengan Asam Fosfat (H_3PO_4) Dengan Perawatan 4 dan 7 Hari", Simposium Nasional RAPI XVII, 2018 FT UMS

Suprpto H, 2011. Application Of Microbiology To Improve Mechanical Properties Of Soil and Concrete. Faculty Of Engineering University Indonesia.

Van Paassen, L. A. (2009). Biogrout, ground improvement by microbial induced carbonate precipitation. Delft University of Technology, pp 202