

TUGAS AKHIR

**KARAKTERISTIK KUAT GESER TANAH DENGAN
STABILISASI BIOGROUTING BAKTERI *BACILLUS
SUBTILIS***



ANGELINA LYNDA

D 111 09 298

JURUSAN SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis persembahkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tugas akhir dengan judul “**KARAKTERISTIK KUAT GESER TANAH DENGAN STABILISASI BIOGROUTING BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS***”, sebagai salah satu persyaratan yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Hasanuddin, Pusat Penelitian Bioteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Cibinong, dan Laboratorium Mikrostruktur Universitas Negeri Makassar.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penelitian serta penulisan tugas akhir ini tidak akan terlaksana sebagaimana yang diharapkan tanpa adanya bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini perkenankanlah penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus dan Bunda Maria, yang selalu menyertai setiap langkah kehidupan penulis, yang setia menjadi sumber kekuatan dan pengharapan yang abadi. Terima kasih untuk setiap kesempatan mengadu dan mengucapkan syukur untuk semua hal yang boleh terjadi.
2. Ayahanda Paulus P. Tandilese dan Ibunda (alm.) Christina Rukka untuk semua kasih sayang yang selalu diberikan, untuk semua doa yang selalu teruntai, untuk semua dukungan moral dan materiil yang tidak akan pernah mampu ananda balas.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, M.S., M.Eng., selaku pembimbing I, Bapak Dr. Eng. Tri Harianto, S.T., M.T., selaku pembimbing II, dan Ibu Prof. Dr. Lisdianti Puspita selaku dosen pendamping, untuk semua kesabaran selama membimbing dan mengarahkan penulis dari awal penelitian hingga selesainya semua tahap penulisan dan pemaparan hasil penelitian.
4. Saudara-saudaraku: Veronika Betty, Stanislaus Rizal, Margaretha Refty, Loriena Lenny dan Albertus Shandy. Om Natan, Tante Eko dan Tante Ojen untuk semua dukungan yang selalu kalian berikan dan untuk semua permohonan yang tak pernah lupa kalian sisipkan dalam setiap doa, meskipun dari tempat-tempat yang berjauhan.

5. Kak Fatmi Paramitha, Kak Iffah Fadliah dan St. Astycha A. Sofyan, sebagai teman seperjuangan dari awal memulai penelitian ini, selama masa penyusunan laporan dan akhirnya boleh bersama-sama menyelesaikan pemaparan hasil penelitian ini. Terima kasih untuk kesempatan dimana penulis boleh belajar dan bekerja bersama di Makassar dan di Bogor dengan kalian, hingga akhirnya boleh bersama-sama kembali mengucapkan syukur untuk semua hal yang telah kita perjuangkan.
6. The Bocaz: Alleen (karibo), Syane, Rensi, Jcein, Mima, Ondong, dan teman-teman civilkozongzembilan: Anshari, Anti, Ari, Atong,, Boni, Bude, Desti, ST., Dian gendut, Ely, Ezra, Fila, Hery, Langgu, Mawan, Ray, Yamsir dan semua teman-teman Sipil angkatan 2009. Terima kasih untuk semua tetes keringat, air mata, tenaga, waktu dan kebersamaan yang sudah kita habiskan bersama-sama tidak hanya selama penelitian di laboratorium, namun di setiap detik kehidupan kita di kampus merah dari awal menjadi maba hingga sekarang kita menjadi mantan maba.
7. Kak Ardy, Kak Dewi, Kak Haady, Kak Uppy, Amir, Risal, Siau, Yusuf dan Alfian sebagai partner asisten di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Hasanuddin. Terima kasih untuk semua bantuan, bimbingan dan arahan yang sudah diberikan selama penyusunan tugas akhir ini. Untuk semua jawaban-jawaban pencerahan bagi setiap pertanyaan penulis yang membingungkan dan untuk setiap kebersamaan dan kegilaan yang boleh terlewati selama pengabdian kita sebagai asisten.
8. KMKT: Aka, Eta, Pius (gundul), Hardy dan semua anggota keluarga. Anak-anak SKM: Desen, Hein, Hezron, Mardy, Boge, Yusrin dan anak-anak yang lain. Terima kasih untuk semua bantuan dan kesabaran kalian untuk tetap tersenyum dan bercanda meskipun selalu direpotkan, terutama selama pelaksanaan penelitian di laboratorium.
9. Bunda, Abang Toriq, Ade Kayla dan Mba Le' di Jakarta. Terima kasih untuk kesediaan menerima dan menampung kami selama penelitian kami di Bogor berlangsung, untuk pintu yang terbuka sangat lebar bagi kami, untuk penerimaan yang begitu luar biasa bagi kami dan untuk sepuluh hari yang berlalu begitu nyaman dan menyenangkan bagi kami. Terima kasih karena sudah menganggap kami menjadi seperti keluarga sendiri.
10. Semua dosen dan pegawai Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, semua peneliti dan pegawai di Pusat Penelitian Bioteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Cibinong, semua dosen dan asisten di Laboratorium Mikrostruktur Universitas Negeri Makassar serta

kakak-kakak senior dan adik-adik Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, untuk semua bantuan dan kerjasama selama penyelesaian tugas akhir ini.

11. Serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu karena begitu banyaknya bantuan, dukungan dan doa yang penulis terima selama penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan laporan ini masih terdapat banyak celah kekeliruan dan kekurangan. Oleh karena itu penulis akan sangat berterima kasih atas setiap koreksi, saran, masukan maupun petunjuk yang bersifat konstruktif untuk kelanjutan penyusunan yang jauh lebih baik.

Akhir kata, penulis berharap dengan selesainya penulisan dan penyusunan tugas akhir ini maka dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi peningkatan pengetahuan semua pihak yang turut membaca, khususnya dalam bidang geoteknik dan bagi pembangunan dunia ketekniksipil secara umum.



Makassar, Juni 2013

Penulis

Abstrak

Usaha stabilisasi tanah yang biasa dilakukan pada tanah berbutir yaitu dengan menambah bahan kimia pada tanah sehingga terjadi reaksi kimia yang mengakibatkan ikatan antara butir-butir tanah tersebut menjadi kompak. Tapi karena sebagian besar proses ini tidak ramah lingkungan, beberapa penelitian dilakukan untuk menemukan cara yang lebih aman.

Salah satu cara tersebut adalah biogrouting bakteri *Bacillus subtilis* ke dalam tanah pasir berlempung untuk mempercepat proses pembentukan kalsit. Tujuan utama yang akan dicapai dengan menstabilkan tanah itu sendiri adalah meningkatkan kemampuannya untuk menahan beban tanah dan meningkatkan stabilitas tanah.

Pengujian mekanik yang dilakukan adalah dengan metode pengujian geser langsung berdasarkan SNI 2813.2008 dengan sampel tanah pasir berlempung dengan variasi pencampuran yang berbeda. Yaitu 2 cc, 4 cc dan 6 cc untuk setiap larutan sementasi dan larutan Bakteri *Bacillus subtilis*. Dengan waktu inkubasi masing-masing sampel adalah 3, 7, 14, 21 dan 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mendapatkan hasil stabilisasi yang optimal, dibutuhkan larutan sementasi, larutan Bakteri *Bacillus subtilis* dan tanah pasir berlempung dengan perbandingan volume 1:1:11, yaitu 1 cc larutan sementasi berbanding 1 cc larutan Bakteri *Bacillus subtilis* berbanding 11 cm³ tanah pasir berlempung.

Kata kunci : stabilisasi tanah, biogrouting, bakteri Bacillus subtilis, tanah pasir berlempung, daya dukung tanah, geser langsung.

Abstract

Soil stabilization efforts made on fine -grained soil that is by inserting chemicals into the ground (grouting) so that chemical reactions occur that result in the bond between the soil details. But because most of these processes are not environmentally friendly , some research done to find a more peaceful way .

One of these way is biogrouting *Bacillus subtilis* bacteria into sandly-clay to expedite the formation of calcite. The main purpose will be achieved by stabilizing the soil itself is improving its ability to withstand the load-bearing soil and improve soil stability.

Mechanical testing was performed with the Direct Shear Testing method based on SNI 2813.2008 with sandly-clay samples with different mixing variations . that is 2 cc, 4 cc and 6 cc for each of cemented solution and *Bacillus subtilis* bacteria solution with incubation time , respectively 3 , 7 , 14 , 21 and 28 days.

The results showed that to obtain optimal stabilization result , it takes solution of *Bacillus subtilis* bacteria and sandly-clay with volume comparison of 1:16, ie 1 cc *Bacillus subtilis* than 16 cm³ sandly-clay.

Keywords: soil stabilization, biogrouting, Bacillus subtilis bacteria, sandly-clay, soil bearing-capacity, direct-shear

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i	
KATA PENGANTAR	ii	
ABSTRAK	v	
DAFTAR ISI	vii	
DAFTAR GAMBAR	xi	
DAFTAR TABEL	xii	
DAFTAR LAMPIRAN	xiii	
LEMBAR PENGESAHAN	xiv	
BAB I	PENDAHULUAN	
1.1	Latar Belakang Masalah	I - 01
1.2	Rumusan Masalah	I - 03
1.3	Maksud dan Tujuan Penelitian	I - 03
1.4	Manfaat Penelitian	I - 04
1.5	Batasan Masalah Penelitian	I - 05
1.6	Sistematika Penulisan	I - 06
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	
2.1	Konsepsi Stabilisasi Tanah	II - 01
2.2	Teknologi Biogrouting	II - 03
2.3	Teknik Identifikasi Mikrostruktur Tanah	II - 05
	2.3.1 <i>X-ray Diffraction (XRD)</i>	II - 05
	2.3.2 <i>Scanning Electron Microscope(SEM)</i>	II - 07
2.4	Karakteristik Tanah Pasir Berlempung	II - 08
	2.4.1 Sifat Fisis Tanah	II - 10
	2.4.2 Sifat Mekanis Tanah	II - 17
	2.4.3 Sifat Mikrostruktur Tanah	II - 27
2.5	Studi Terdahulu	II - 29
BAB III	METODE PELAKSANAAN PENELITIAN	
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian	III - 01

3.2	Rancangan Penelitian	III - 01
3.2.1	Penyiapan Alat dan Material / Bahan Uji Yang Digunakan	III - 01
3.2.2	Pekerjaan Laboratorium dan Pembuatan Benda Uji	III - 03
3.2.3	Pembuatan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> Serta Penumbuhannya	III - 12
3.3	Bagan Alir Penelitian	III - 18
3.4	Metode Pengujian dan Analisa Data	III - 19
3.4.1	Indeks Properties Tanah	III - 21
3.4.2	Mekanis Tanah	III - 24
3.4.3	Microstruktur Tanah	III - 26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Pasir Berlempung	IV - 01
4.1.1	Hasil Pengujian Karakteristik Fisis Tanah Pasir Berlempung	IV - 01
4.1.2	Hasil Pengujian Karakteristik Mekanis Tanah Pasir Berlempung	IV - 06
4.2	Hasil Pengujian <i>X-ray Diffraction (XRD)</i> dan <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i> Tanah Pasir Berlempung	IV - 08
4.2.1	Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> Tanah Pasir Berlempung	IV - 08
4.2.2	Hasil Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (<i>SEM</i>) Tanah Pasir Berlempung	IV - 09
4.3	Hasil Pengujian Geser Langsung Terhadap Sampel Biogrouting Tanah Pasir Berlempung Dengan Larutan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	IV - 10

4.4	Hasil Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) Campuran Tanah Pasir Berlempung Dengan Larutan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	IV - 16
BAB V	PENUTUP	
5.1	Kesimpulan	V - 01
5.2	Saran	V - 01
DAFTAR PUSTAKA		xv
LAMPIRAN		xvii



DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1** Berbagai tipe kristal kalsit yang terbentuk dari aktivitas enzimurease bakteri biogrouting (20x). a) tipe sperulit dengan tekstur permukaan yang kasar (2.1.4), b) tipe rhombohedral (P3BG43), c) tipe spherical vaterite (SA.08.6), d) tipe triangular (3.2.2).
- Gambar 2.2** Skema Pembuatan Bakteri *Bacillus subtilis*
- Gambar 2.3** Difraksi X-ray dari bidang kristal (*crystal planes*)
- Gambar 2.4** Observation using Scanning Electron Microscopy (SEM)
- Gambar 2.5** Kerangka pikir penulis
- Gambar 3.1** Proses Pencampuran dan Pembuatan Media B4
- Gambar 3.2** Proses Sterilisasi Media B4
- Gambar 3.3** Isolat Bakteri *Bacillus subtilis*
- Gambar 3.4** Alat *Laminar Airflow*
- Gambar 3.5** Proses Pengocokan (*shaking*) Campuran Bakteri dengan Media B4
- Gambar 3.6** Pembuatan Larutan Sementasi 1.1 M
- Gambar 3.7** Bagan Alir Tahapan Pelaksanaan Penelitian
- Gambar 3.8** Alat Pengujian *X-ray Diffraction (XRD)*
- Gambar 3.9** Alat Pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)*
- Gambar 4.1** Grafik Hubungan Berat Volume Kering dan Kadar Air
- Gambar 4.2** Grafik Hasil Pengujian *X-ray Diffraction (XRD)* untuk Tanah Pasir Berlempung
- Gambar 4.3** Grafik Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)* untuk Pasir Berlempung
- Gambar 4.4** Grafik Hubungan Tegangan Normal - Tegangan Geser Sampel 1x Injeksi
- Gambar 4.5** Grafik Hubungan Tegangan Normal - Tegangan Geser Sampel 2x Injeksi

Gambar 4.6 Grafik Hubungan Tegangan Normal - Tegangan Geser Sampel 3x Injeksi

Gambar 4.7 Grafik Penggabungan Hubungan Tegangan Normal - Tegangan Geser Hari ke-28

Gambar 4.8 Hasil Uji SEM Sampel 1x Injeksi Dengan Waktu Pemeraman 28 Hari

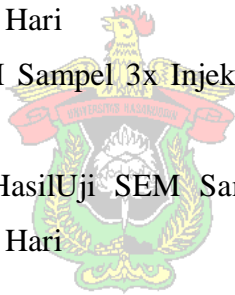
Gambar 4.9 Grafik EDS HasilUji SEM Sampel 1x Injeksi Dengan Waktu Pemeraman 28 Hari

Gambar 4.10 Hasil Uji SEM Sampel 2x Injeksi Dengan Waktu Pemeraman 28 Hari

Gambar4.11 Grafik EDS HasilUji SEM Sampel 2x Injeksi Dengan Waktu Pemeraman 28 Hari

Gambar 4.12 Hasil Uji SEM Sampel 3x Injeksi Dengan Waktu Pemeraman 28 Hari

Gambar 4.13 Grafik EDS HasilUji SEM Sampel 3x Injeksi Dengan Waktu Pemeraman 28 Hari



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Berat Minimum Penyiapan Sampel Untuk Pengujian Kadar Air
Tabel 2.2	Berat jenis Dari Berbagai Jenis Tanah
Tabel 2.3	Pembagian Ukuran Butiran Tanah Kasar Dan Tanah Halus
Tabel 2.4	Harga Sudut Geser Dalam Untuk Pasir dan Lanau
Tabel 2.5	Aktivitas tanah lempung
Tabel 2.6	Specific gravity mineral-mineral penting pada tanah
Tabel 3.1	Sampel Tanah asli untuk Pengujian Sifat Fisis dan Karakteristik
Tabel 3.2	Sampel Pengujian untuk Campuran Tanah Asli dengan Larutan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> untuk Pengujian Geser Langsung
Tabel 3.3	Standar Metode Pengujian Sifat Fisis Tanah
Tabel 3.4	Standar Metode Pengujian Uji Sifat Mekanis Tanah
Tabel 4.1	Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah
Tabel 4.2	Rekapitulasi Hasil Pengujian Berdasarkan Variasi Pencampuran

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Spesifikasi



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Tanah merupakan komponen yang paling penting dalam semua pekerjaan yang berhubungan dengan pembangunan pondasi konstruksi/struktur suatu bangunan. Tanah yang digunakan untuk konstruksi harus melalui proses pengendalian mutu. Tanah dasar yang baik dan stabil merupakan syarat bagi kemampuan konstruksi dalam memikul beban di atasnya. Bendungan, tanggul sungai, dan timbunan badan jalan merupakan contoh pemakaian tanah sebagai bahan konstruksi.

Banyak masalah yang terjadi pada pekerjaan dibidang teknik sipil terjadi karena masalah pada tanah. Meskipun tanah merupakan salah satu bahan konstruksi yang langsung tersedia di alam, namun jika langsung digunakan maka akan membutuhkan nilai ekonomi yang tinggi (mahal). Selain itu tanah jenis pasir dan lempung lunak mempunyai daya dukung yang sangat kecil, namun sebaliknya memiliki potensi penurunan yang besar sehingga seringkali menyebabkan kerusakan-kerusakan pada struktur di atasnya.

Kerusakan struktur bisa terjadi akibat lapisan tanah dasar yang mengalami penurunan pada saat lapisan di atasnya menerima

beban. Penurunan seperti ini seringkali dijumpai di lapangan, umumnya terjadi pada lapisan perkerasan terutama jika lapisan tanah dasar tergolong kedalam jenis tanah pasir dan lempung lunak yang terkenal memiliki sifat kembang-susut yang tinggi.

Usaha-usaha untuk memperbaiki sifat tanah yang mengandung sifat kembang susut tinggi telah banyak dilakukan dengan metode stabilisasi tanah. Stabilisasi dapat dilakukan dengan meningkatkan kerapatan tanah sehingga nilai kohesi tanah atau sudut geser meningkat, menambah bahan yang menyebabkan perubahan kimiawi atau fisis tanah, dan menurunkan muka air tanah.

Usaha stabilisasi tanah yang biasa dilakukan pada tanah berbutir adalah dengan menambah bahan kimia pada tanah sehingga terjadi reaksi kimia yang mengakibatkan ikatan antara butir-butir tanah tersebut menjadi kompak. Salahsatu proses penambahan bahan kimia ke dalam tanah yaitu dengan metode *grouting*. Namun metode *grouting* yang selama ini dilakukan pada umumnya tidak ramah lingkungan karena menggunakan bahan berupa suspensi (semen, lempung-semen, *pozzolan*, *bentonite*, dsb) atau emulsi (aspal, dsb) (Xanthakos et al., 1994; Karol, 2003). Padahal semua bahan kimia untuk *grouting*, kecuali natrium silikat adalah toksik dan atau berbahaya. (Karol, 2003; van Paassen, 2009).

Oleh sebab itu kami mencari alternative metode *grouting* yang ramah lingkungan. Salah satunya dengan pemanfaatan mikroorganisme, yaitu bakteri yang dapat menghasilkan kalsit/kristal kalsium karbonat

sehingga merubah butiran tanah pasir menjadi batuan pasir bila diinjeksikan kedalam tanah dengan perbandingan dan proses yang tepat. Bakteri tersebut adalah Bakteri *Bacillus subtilis*. Metode penambahan mikroorganisme kedalam tanah tersebut lebih terkenal dengan istilah **biogrouting**, karena dilakukan dengan cara menginjeksikan (*grouting*) suatu zat atau makhluk yang hidup (*bio*).

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Apa yang dimaksud dengan hasil stabilisasi *biogrouting* yang optimum?
2. Berapa perbandingan larutan bakteri *Bacillus subtilis* dan tanah pasir berlempung yang diperlukan untuk memperoleh hasil stabilisasi yang optimum?
3. Apa pengaruh mekanis yang terjadi akibat pencampuran larutan bakteri *Bacillus subtilis* pada tanah pasir berlempung?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Terkait dengan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya, maka maksud dan tujuan yang akan dicapai adalah sebagai berikut :

1. 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.

2. Menentukan perbandingan larutan bakteri *Bacillus subtilis* dan tanah pasir berlempung yang dibutuhkan untuk hasil stabilisasi yang optimum.
3. Mengevaluasi karakteristik mekanis tanah yang telah distabilisasi dengan larutan bakteri *Bacillus subtilis* dengan variasi waktu pemeraman melalui pengujian geser langsung.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Untuk mengetahui apa yang dimaksud dengan hasil stabilisasi yang optimum pada penelitian ini.
2. Untuk mengetahui perbandingan larutan bakteri *Bacillus subtilis*, larutan sementasidan tanah pasir berlempung yang dibutuhkan agar memperoleh hasil stabilisasi yang optimum.
3. Untuk mengetahui pengaruh pencampuran larutan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap tanah pasir berlempung.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian pengujian stabilisasi tanah ini dibuat untuk menghindari cakupan penelitian yang lebih luas agar

penelitian dapat berjalan efektif, serta dapat mencapai sasaran yang diinginkan. Adapun yang di bahas adalah hal-hal sebagai berikut :

1. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah pasir berlempung.
2. Penelitian hanya terbatas pada sifat-sifat fisis dan mekanis tanah pasir berlempung, tidak menganalisis unsur kimia tanah pasir berlempung.
3. Evaluasi karakteristik sifat-sifat fisis tanah meliputi:
 - a. Pengujian kadar air.
 - b. Pengujian berat jenis.
 - c. Pengujian batas-batas atterberg.
 - d. Pengujian analisa saringan dan hydrometer.
 - e. Pengujian pemadatan (kompaksi).
4. Hasil stabilisasi yang dimaksudkan disini adalah nilai parameter kuat geser tanah yaitu kohesi dan sudut geser dalam.
5. Uji mekanis yang dilakukan adalah Pengujian Geser Langsung berdasarkan metode SNI 2813.2008.
6. Variasi persentase larutan sementasi dan larutan bakteri *Bacillus Subtilis*.
 - a. Tanah pasir berlempung + 0 cc larutan sementasi + 0 cc larutan bakteri *Bacillus Subtilis*.
 - b. Tanah pasir berlempung + 2 cc larutan sementasi + 2 cc larutan bakteri *Bacillus Subtilis*.

- c. Tanah pasir berlempung + 4 cc larutan sementasi + 4 cc larutan bakteri *Bacilius Subtilis*.
- d. Tanah pasir berlempung + 6 cc larutan sementasi + 6 cc larutan bakteri *Bacilius Subtilis*.

Dengan masa pemeraman 3, 7, 14, 21 dan 28 hari.

- 7. Bahan stabilisasi yang digunakan adalah larutan bakteri *Bacilius subtilis* yang diperoleh dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Untuk memudahkan pembahasan dalam penelitian ini, maka sistematika penulisan penelitian disusun dalam lima bab. Adapun sistematika penulisan penelitian adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Menguraikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, pokok bahasan dan batasan masalah serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menyajikan teori-teori yang digunakan sebagai landasan untuk menganalisis dan membahas permasalahan penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Menjelaskan mengenai langkah-langkah atas prosedur pengambilan dan pengolahan data hasil penelitian.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Menyajikan data-data hasil penelitian di laboratorium, analisis data, hasil analisis data dan pembahasannya.

BAB V PENUTUP

Menyajikan kesimpulan dan saran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan usaha perbaikan daya dukung (mutu) tanah yang tidak atau kurang baik. Dapat juga dikatakan bahwa stabilisasi tanah ialah usaha meningkatkan daya dukung (mutu) tanah yang sudah tergolong baik.

Apabila suatu tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan dan apabila ia mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitasnya yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan sehingga dapat memenuhi syarat-syarat teknis yang diperlukan.

Tujuan utama yang akan dicapai dari stabilisasi tanah itu sendiri adalah meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dalam menahan beban serta untuk meningkatkan kestabilan tanah.

Stabilisasi tanah dapat berupa suatu pekerjaan atau gabungan – gabungan pekerjaan berikut :

1. Secara dinamis yaitu pemadatan tanah dengan alat pemadat.
2. Perbaikan gradasi dengan cara menambah tanah pada fraksi tertentu yang dianggap kurang, sehingga tercapai gradasi yang rapat. Fraksi yang kurang biasanya adalah fraksi yang berbutir kasar, cara yang dilakukan adalah mencampur tanah dengan fraksi butir kasar seperti pasir, dan kerikil atau pasir saja.

3. Stabilisasi kimiawi, yaitu menambahkan bahan kimia tertentu, sehingga terjadi reaksi kimia. Bahan yang biasanya digunakan antara lain :portland semen, kapur tohor, atau bahan kimia lainnya. Stabilisasi ini dilakukan dengan dua cara yaitu : mencampur tanah dengan bahan kimia kemudian diaduk dan dipadatkan atau memasukkan bahan kimia kedalam tanah (*grouting*) sehingga bahan kimia bereaksi dengan tanah.
4. Pembongkaran dan penggantian tanah yang jelek. Tanah yang jelek mengandung bahan organik sehingga akan terjadi pembusukan di dalamnya. Selain itu apabila terkena tanah tersebut diberi beban maka akan mengalami penurunan yang tidak sama. Perbaikan tanah untuk jenis ini dilakukan dengan mengganti tanah jelek tersebut dengan tanah berkualitas baik, misalnya dengan tanah yang memiliki CBR yang lebih sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

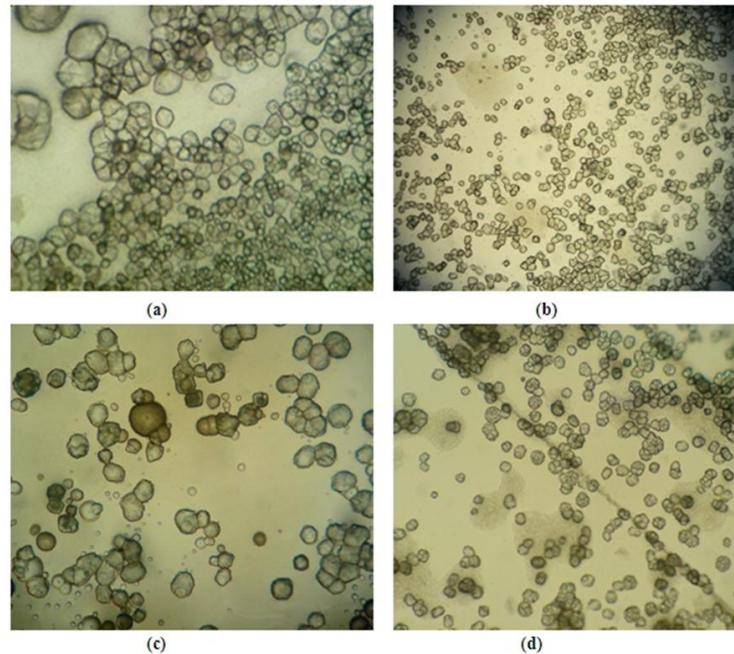
Menurut *Bowles (1986)* stabilisasi dapat berupa :

- a. Meningkatkan kerapatan tanah.
- b. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul.
- c. Menambah material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisik dari material tanah.
- d. Menurunkan muka air tanah.
- e. Mengganti tanah yang buruk.

2.2 Teknologi Biogrouting

Grout adalah material konstruksi yang biasanya terdiri dari campuran air, semen, dan pasir. Material ini dapat digunakan untuk memperbaiki struktur tanah karena pengendapan mineral ini dapat mengubah karakter geomorfologi tanah. Umumnya grouting untuk tujuan rancang bangun atau rekayasa dilakukan secara kimia menggunakan campuran senyawa silika (*waterglass*). Silika mudah mengendap ketika dicampur dengan larutan metal atau asam bikarboksilat. Proses ini membutuhkan tekanan injeksi tinggi yang dapat membuat tanah tidak stabil dan memiliki permeabilitas rendah. Beberapa tahun terakhir sedang dikembangkan teknologi grouting secara biologi yang dikenal dengan teknologi biogrouting melalui mekanisme pengendapan kalsium karbonat. Keuntungan utama dari biogrouting adalah pemberian substrat dapat dipindahkan dalam bentuk inaktif ke daerah yang jauh dari titik injeksi. Teknologi biogrouting merupakan teknologi yang mensimulasikan proses diagenesis, yaitu transformasi butiran pasir menjadi batuan pasir (*calcarenite* atau *sandstone*). Kristal kalsium karbonat (CaCO_3) yang terbentuk dari teknologi biogrouting akan menjadi jembatan antara butiran pasir sehingga menyebabkan proses sementasi, dan mengubah pasir menjadi batuan pasir. Secara alami, proses ini memerlukan waktu hingga jutaan tahun. Oleh karena itu digunakan bakteri untuk mempercepat proses pembentukan kalsit dengan memanfaatkan proses presipitasi karbonat hasil aktivitas metabolisme bakteri (*DeJong et al., 2006; Lee, 3003*).

Gambar 2.1 Berbagai tipe kristal kalsit yang terbentuk dari aktivitas enzim urease bakteri biogrouting (20x). a) tipe sperulit dengan tekstur permukaan yang kasar (2.1.4), b) tipe rhombohedral (P3BG43), c) tipe spherical vaterite (SA.08.6), d) tipe trianguler (3.2.2).

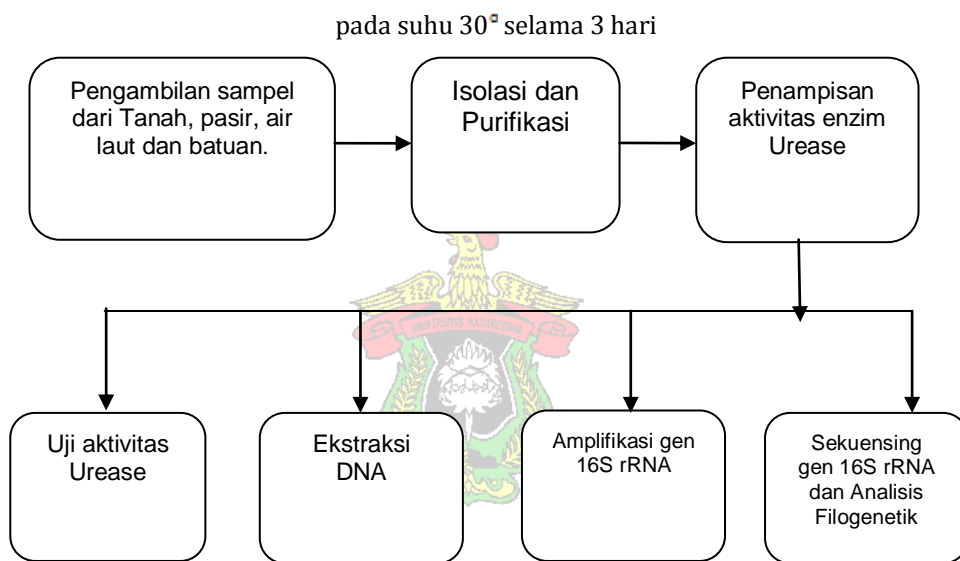


Adanya peran bakteri dalam proses *biogrouting* berkaitan erat dengan kemampuan bakteri untuk bertahan dan toleran terhadap konsentrasi urea dan kalsium yang tinggi. Bakteri ini juga harus mampu menghasilkan enzim urease dengan aktivitas yang tinggi. Pada proses biogrouting, karena konsentrasi urea yang tinggi dihidrolisa selama sementasi. Maka hanya bakteri yang aktivitas enzim ureasenya tidak ditekan oleh amonium saja yang cocok untuk digunakan. Pada saat ini, bakteri dari genus *Sporosarcina (Bacillus)* telah mulai diaplikasikan pada proses biogrouting karena mempunyai aktivitas urease yang tinggi dan tidak patogen (Fujita *et al.*, 2000).

Mekanisme pembentukan kalsit pada proses biogrouting secara sederhana memanfaatkan proses presipitasi karbonat oleh bakteri. Pada mekanisme ini bakteri

menghidrolisa urea dengan katalis oleh enzim urease yang dihasilkan oleh bakteri itu sendiri. Dengan adanya Ca^{2+} terlarut disekitarnya, maka akan dihasilkan Kristal padat kalsit/kalsium karbonat (CaCO_3) yang akan berkaitan dengan reaksi dibawah ini:

Skema Pembuatan bakteri *Bacillus subtilis*



Gambar 2.2 Skema Pembuatan bakteri *Bacillus subtilis*

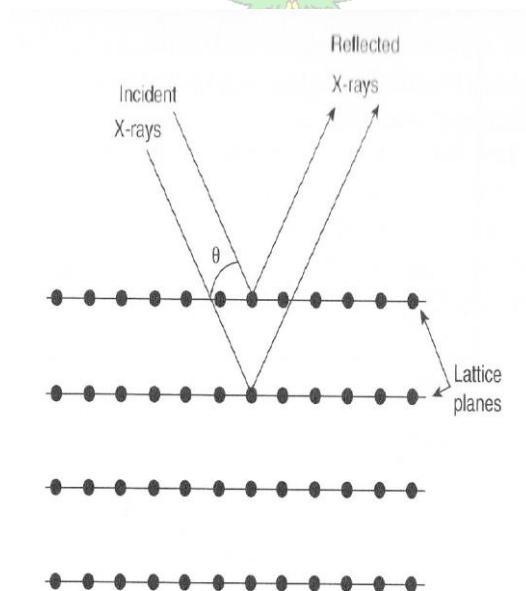
2.3 Teknik Identifikasi Mikrostruktur Tanah

2.3.1 *X-ray diffraction (XRD)*

X-ray diffraction (XRD) adalah alat yang sangat powerful yang digunakan secara intensif dalam mengidentifikasi mineral dan lempung yang mempunyai kristal. XRD ini dapat juga digunakan untuk mengkarakterisasi lempung apakah suatu lempung merupakan lempung yang dapat swelling atau non-swelling. Namun demikian, XRD ini tidak dapat digunakan untuk mengidentifikasi

lempung yang amorfus yang banyak ditemukan pada tanah tropis dan jenis tanah Andisols.

Prinsip XRD ini adalah dengan cara melakukan penyinaran dengan berbagai sudut datang (incident angle) dari suatu sampel yang mengandung mineral (Gambar 5). Ketika θ sudut datang menghasilkan interferens konstruktif "Reflected X-ray", maka d (basal spacings = jarak antara layer atom dalam kristal) dapat dihitung menggunakan hukum Bragg. Untuk diketahui bahwa jarak antara bidang lattice, karakteristik swelling dari bermacam-macam lempung akan berbeda-beda saat lempung tersebut bereaksi dengan bermacam-macam pelarut (solvent). Dari informasi ini, dapat disimpulkan bahwa XRD dapat pula digunakan untuk mengkarakterisasi suatu lempung dan mengidentifikasi jenis lempung yang ada dalam suatu sampel.



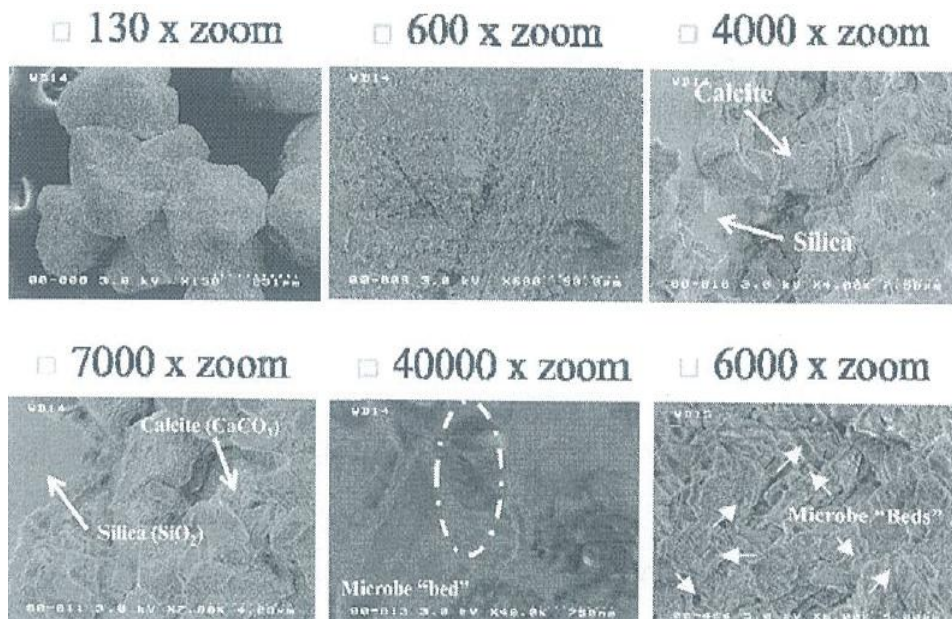
Gambar 2.3 Difraksi X-ray dari bidang kristal (*crystal planes*)

2.3.2 *Scanning Electron Mikroscope (SEM)*

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Elektron ditembakkan dan berinteraksi dengan bahan sehingga menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang permukaan bahan meliputi topografi, morfologi, komposisi serta informasi kristalogafi.

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan untuk analisa permukaan material. SEM juga dapat digunakan untuk menganalisa data kristalogafi, sehingga dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa. Pada prinsip kerja SEM, dua sinar elektron digunakan secara simultan. Satu *strike specimen* digunakan untuk menguji dan yang lainnya CRT (*Cathode Ray Tube*) memberikan tampilan gambar.

SEM menggunakan prinsip *scanning*, maksudnya berkas elektron diarahkan dari titik ke titik pada objek. Gerakan berkas elektron dari satu titik ke titik yang ada pada suatu daerah objek merupakan gerakan membaca. Komponen utama SEM terdiri dari dua unit, *electron column* dan *display console*.



Gambar 2.4 Observation using scanning electron microscopy (SEM) (Brian C. et.al.ASCE. 2009)

2.4 Karakteristik Tanah Pasir Berlempung

Tanah pasir merupakan tanah yang terbentuk dari batuan beku serta batuan sedimen yang memiliki butir kasar dan berkerikil. Daya serap air pada tanah pasir sangat rendah, disebabkan karena tanah pasir tersusun atas 70% partikel tanah berukuran besar (0,02 mm – 2 mm) (klasifikasi berdasarkan USDA).

Kandungan tanah pasir berlempung akan mempengaruhi sifat-sifat tanah seperti struktur tanah, permeabilitas, dan porositas. Kandungan mineral yang paling umum terdapat pada jenis tanah pasir berlempung adalah kuarsa (S), mineral quartz dan feldspar.

Tanah pasir bertekstur kasar, dicirikan adanya ruang pori besar diantara butir-butirnya. Kondisi ini menyebabkan tanah menjadi berstruktur lepas dan gembur. Melihat dari ciri-ciri tanah pasir tersebut dapat dengan

mudah dijelaskan bahwa pasir memiliki kemampuan mengikat air yang sangat rendah.

Definisi tanah pasir berlempung menurut beberapa ahli :

1. Dr. Ir. Abdul Madjid, MS

Tanah pasir berlempung adalah bagian butir tanah yang berukuran antara 0,050 mm sampai dengan 2 mm. Tanah yang tergolong pasir berlempung dapat dikenali di lapangan dengan merasakan apabila rasa kasar pada tanah terasa jelas, tanah sedikit sekali melekat dan dapat dibentuk bola tetapi mudah sekali hancur. Secara fisik, karakteristik tanah pasir berlempung sangat sulit dibedakan dengan tanah lempung berpasir. Karena keduanya memiliki ciri yang hampir sama. Tanah lempung berpasir terasa agak kasar, agak melekat, dan dapat dibuat bola tetapi mudah hancur.

2. Ilmu tanah dan Sumberdaya Lahan Univ. Padjadjaran

Pasir berlempung adalah:

- i. Bahan tanah yang mengandung:
pada batas atas: 85% - 90% pasir dan presentase debu (lanau) ditambah 1,5 kali presentase liat (lempung) tidak lebih dari 15% dan pada batas bawah mengandung tidak kurang dari 70% -85% pasir dan presentase debu (lanau) ditambah 2 kali presentase liat (lempung) tidak lebih dari 30%.
- ii. 25% atau lebih pasir sangat kasar, pasir kasar dan pasir medium dan 50% pasir sangat halus atau pasir halus.

3. Badan Pertanahan Nasional

Mendefinisikan bahwa tekstur tanah adalah keadaan tingkat kehalusan tanah yang terjadi karena terdapatnya perbedaan komposisi kandungan fraksi pasir, debu dan liat yang terkandung pada tanah. Dari ketiga jenis fraksi tersebut partikel pasir mempunyai ukuran diameter paling besar yaitu 2 – 0.05 mm, debu dengan ukuran 0.05 – 0.002 mm dan liat dengan ukuran < 0.002 mm.

2.4.1 Sifat Fisis Tanah

a. Kadar Air

Test ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air dari sampel tanah yaitu perbandingan berat air yang terkandung dalam sampel tanah dengan berat kering tanah tersebut.

Kadar air atau *water content* didefinisikan sebagai:

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

Table 2.1 Berat Minimum Penyiapan Sampel Untuk Pengujian Kadar Air

Maximum size of soil particles (95%-100% passes the given sieve)	Recommended minimum sample weight (gr)
No. 4 (4,75 mm)	100
No. 40 (0,420 mm)	10 – 50
12,5 mm	300
50 mm	1000

(Sumber: Modul Lab. Mektan, 2011)

b. Berat Jenis

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir-butir tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperature tertentu.

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis dari tanah sampel yang lolos saringan no.40 dengan menggunakan labu ukur.

Berat jenis butiran tanah atau *specific gravity* dapat dihitung sebagai:

$$G_s = \frac{Y_s}{Y_w} = \frac{W_s}{V_s \cdot Y_w}$$

Dimana Y_s = berat satuan butiran tanah (tanpa pori). Untuk mendapatkan berat jenis butiran tanah (G_s), perlu diketahui terlebih dahulu berat volume dari bagian yang mewakili butiran tanah.

Nilai-nilai khas G_s untuk butiran tanah adalah 2,65-2,72. Berikut iniditampilkan nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah.

Tabel 2.2 Berat jenis Dari Berbagai Jenis Tanah

Macam Tanah	Berat jenis G_s
Kerikil	2.65 – 2.68
Pasir	2.65 – 2.68
Lanau tak organik	2.62 – 2.68
Lempung Organik	2.58 – 2.65
Lempung tak organik	2.68 – 2.75
Humus	1.37
Gambut	1.25 – 1.80

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

c. Analisis Pembagian Butir (Grain Size Analysis) Dan Hidrometer.

1. Pemeriksaan Analisis Pembagian Butir

Pemeriksaan analisa saringan/pembagian butir dimaksudkan untuk mengetahui ukuran butir dan susunan butir (gradasi) dari sampel tanah yang tertahan saringan No.200.

Dari pemeriksaan ini akan diperoleh:

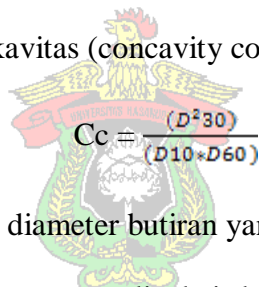
- Koefisien keseragaman (uniform coefficient)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Dimana D60 = diameter butiran yang lolos 60%

D10 = diameter butiran yang lolos 10%

- Koefisien konkavitas (concavity coefficient)



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

Dimana D30 = diameter butiran yang lolos 30%

Adapun pedoman yang dipakai dalam percobaan ini adalah batas ukuran butiran menurut ASTM

Tabel 2.3 Pembagian Ukuran Butiran Tanah Kasar Dan Tanah Halus

Tanah berbutir kasar						Tanah berbutir halus	
Bolders	Cobbler	Gravel	Sand			Lanau	Lempung
			Coarse	Medium	Fine		
Ukuran (mm)	7,5	4,75	2	0,42	0,075	0,005	
No. saringan	3	4	10	40	200		

(sumber: Modul Lab. Mektan, 2011)

Untuk membedakan antara tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus, kita memakai saringan No. 200:

- Tanah berbutir kasar adalah tanah dimana butiran yang tertahan saringan No.200 dan kandungan fraksinya > 50%.
- Tanah berbutir halus adalah tanah dimana butiran yang lolos saringan No.200 dan kandungan fraksinya > 50%.

Untuk analisa lebih lanjut, klasifikasi tanah dapat dibuat menggunakan system AASTHO dan system UNIFIED.

2. Pemeriksaan Hidrometer

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan ukuran dan susunan butir (gradasi) yang lolos saringan No.200. beberapa rumus yang digunakan dalam perhitungan analisa hydrometer adalah:

- $R_{cp} = R + \text{temperature correction} + \text{zero correction}$
- $R_{cl} = R + \text{minescus correction}$

Dimana: R_{cp} = hasil pembacaan alat ukur hydrometer yang sudah dikoreksi

R = hasil pembacaan alat ukur hydrometer

- Menghitung persentase butiran halus

$$\% \text{ butiran halus} = \frac{\alpha \cdot R_{cp}}{W_s} \times 100\%$$

Dimana: W_s = berat kering contoh tanah

α = koreksi untuk berat jenis dari butiran tanah

$$\alpha = \frac{G_s \times 1,65}{(G_s - 1) \times G_s}$$

- Mencari garis tengah butir-butir tanah:

$$D = K \left(\frac{L}{t} \right)^{0,5}$$

Dimana: K = rasio kekentalan air yang ditentukan dengan menggunakan grafik

L = panjang efektif yang ditentukan dengan menggunakan grafik yang diberikan pada gambar sesuai dengan harga R yang bersangkutan.

t = waktu pembacaan

d. Batas-batas Atterberg

Batas cair dan batas plastis tidak secara langsung memberi angka-angka yang dapat dipakai dalam perhitungan desain atau desain. Yang kita peroleh dari percobaan Atterberg limit ini adalah gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat-sifat teknis yang buruk, yaitu kekuatannya rendah, kompresibilitasnya tinggi dan sulit dalam pematatannya. 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 yaitu:

1. Batas Cair

Batas cair (liquid limit) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis (yaitu batas atas atau daerah plastis) atau menyatakan kadar air minimum dimana tanah masih dapat

mengalir dibawah beratnya. Cara menentukannya adalah dengan menggunakan alat Cassagrande. Tanah yang telah dicampur dengan air ditaruh di dalam mangkuk Cassagrande dan di dalamnya dibuat alur dengan menggunakan alat spatel (grooving tool). Bentuk alur sebelum dan sesudah percobaan tampak berbeda. Engkol dibuka sehingga mangkuk dinaikkan dan dijatuhkan pada dasar dan banyaknya pukulan dihitung sampai kedua tepi alur tersebut berhimpit. Biasanya percobaan ini dilakukan terhadap beberapa contoh tanah dengan kadar air berbeda dan banyaknya pukulan dihitung untuk masing-masing kadar air. Dengan demikian dapat dibuat grafik kadar air terhadap banyaknya pukulan. Dari grafik ini dapat dibaca kadar air pada pukulan tertentu.

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air dari contoh sampel tanah pada keadaan plastis dan keadaan cair. Untuk mencari batas cair digunakan rumus:

$$WL = WN \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0.12}$$

Dimana WL = batas cair

WN = kadar air pada pukulan ke N

N = pukulan yang mendekati pukulan ke-25

2. Batas Plastis

Batas plastis (plastic limit) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis atau kadar air minimum dimana tanah dapat digulung-gulung sampai diameter 3,1 mm (1/8 inchi). Kadar air ini ditentukan dengan

menggiling tanah pada plat kaca hingga diameter dari batang yang dibentuk mencapai 1/8 inci. Bilamana tanah mulai pecah pada saat diameternya 1/8 inci, maka kadar air tanah itu adalah batas plastis.

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air dari suatu contoh tanah pada perpindahan keadaan dari keadaan semi padat ke keadaan plastis. Indeks plastisitas (IP) dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$IP = LL - PL$$

Dimana LL = batas cair pada ketukan 25 (%)

PL = batas plastis

3. Batas Susut

Batas susut adalah kadar air maksimum, dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak menyebabkan berkurangnya volume tanah. Batas susut menunjukkan kadar air atau batas dimana tanah dalam keadaan jenuh yang sudah kering tidak akan menyusut lagi, meskipun dikeringkan terus atau batas dimana sesudah kehilangan kadar air selanjutnya tidak menyebabkan penyusutan volume tanah. Percobaan batas susut (shrinkage limit) ini bertujuan untuk mengetahui batas menyusut tanah yaitu kadar air dari contoh tanah pada keadaan padat dan keadaan semi padat. Rumus untuk mencari batas susut (SL) adalah:

$$SL = \omega - \left(\frac{V_w - V_d}{W_d} \right) \times 100$$

Dimana SL = batas susut (%)

ω = kadar air (%)

V_w = volume tanah basah (cm^3)

V_d = volume tanah kering (cm^3)

W_d = berat tanah kering (gr)

$$V_d = \frac{W_s - W_p}{\rho} \quad ; \quad V_w = \frac{W_4 - W_1}{\rho}$$

4. Indeks Plastisitas

Indeks Plastisitas adalah selisih antara batas cair dan batas plastis yaitu daerah dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis (plasticity index).

Rumus untuk mencari Indeks Plastisitas (PI) adalah:

$$PI = LL - PL$$

Keterangan ; PI : Indeks Plastisitas

LL : Batas cair

PL : Batas plastis

2.4.2 Penelitian Sifat Mekanis Tanah

a. Pemadatan (kompaksi)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah. Ada beberapa rumus yang digunakan dalam pengujian ini, diantaranya:

- Menghitung kadar air

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

- Menghitung kadar air akhir

$$\omega_{akhir} = \omega_{mula} - \text{mula} + \left(\frac{\omega_{mula} - \text{mula} + \text{penambahan air}}{\text{berat tanah}} \right) \times 100$$

- Menghitung berat volume basah

$$\gamma_{wet} = \frac{W_{wet}}{V_{mould}}$$

- Menghitung berat kering

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

- Menghitung berat isi kering

$$V_{dry} = \frac{W_{dry}}{\gamma_{mould}}$$

- Menghitung berat isi basah

$$\gamma_{wet} = \frac{Gs}{1 + (\omega \times Gs)}$$



b. Geser Langsung

- **Kuat Geser Tanah**

Kekuatan geser tanah ditentukan untuk mengukur kemampuan tanah menahan tekanan tanpa terjadi keruntuhan. Seperti material teknik lainnya, tanah mengalami penyusutan volume jika menderita tekanan merata disekelilingnya. Apabila menerima tegangan geser, tanah akan mengalami distorsi dan apabila distorsi yang terjadi cukup besar, maka partikel-partikelnya akan terpeleket satu sama lain dan tanah akan dikatakan gagal dalam geser. Dalam hampir semua jenis tanah daya dukungnya terhadap tegangan tarik sangat kecil atau bahkan tidak mampu sama sekali.

Tanah tidak berkohesi, kekuatan gesernya hanya terletak pada gesekan antara butir tanah saja ($c = 0$), sedangkan pada tanah berkohesi dalam kondisi jenuh, maka $\phi = 0$ dan $S = c$. Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisa-analisa daya dukung tanah (bearing capacity), tegangan tanah terhadap dinding penahan (earth pressure) dan kestabilan lereng (slope stability).

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:

$$\tau_s = c + (\sigma - u) \tan \phi$$

Dimana : τ_s = Kekuatan geser

σ = Tegangan total pada bidang geser

u = Tegangan air pori

c = Kohesi

ϕ = Sudut geser

- Kekuatan geser tanah jenuh dapat dihitung dengan rumus:

$$\tau_s = \sigma' + u$$

Pada tanah jenuh air, besarnya tegangan normal total pada sebuah titik adalah sama dengan jumlah tegangan efektif ditambah dengan tegangan air pori.

Dimana:

τ_s = Kekuatan geser

σ' = Tegangan efektif

u = Tegangan air pori

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 (ϕ 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.

- **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 pengukuran engineering properties tanah dengan Direct Shear Test.

c. Pengujian Geser Langsung

Uji geser langsung merupakan pengujian yang sederhana dan langsung. Pengujian dilakukan dengan menempatkan contoh tanah ke dalam kotak geser. Kotak ini terbelah, dengan setengah bagian yang bawah merupakan bagian yang tetap dan bagian atas mudah bertranslasi. Kotak ini tersedia dalam beberapa ukuran, tetapi biasanya mempunyai diameter 6.4 cm atau bujur sangkar 5,0 x 5,0 cm . Contoh tanah secara hati-hati diletakkan di dalam kotak, sebuah blok pembebanan, termasuk batu-batu berpori bergigi untuk drainase yang cepat, diletakkan di atas contoh tanah. Kemudian suatu beban normal P_v dikerjakan. Kedua bagian

kotak ini akan menjadi sedikit terpisah dan blok pembebanan serta setengah bagian atas kotak bergabung menjadi satu.

Kekuatan geser tanah dapat dianggap terdiri dari dua bagian atau komponen, yaitu :

- Gesekan dalam, yang sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang geser.
- 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 ϕ (misal lanau)

Pada pengujian tertentu ,tegangan normal dapat dihitung sebagai berikut:

$$\sigma = \text{Tegangan normal} = \frac{\text{gayanormal}}{\text{Luaspenampanglintangsampeltanah}}$$

$$\tau = \text{Tegangan geser} = \frac{\text{Gayageseryangmelawangerakan}}{\text{luaspenampanglintangsampeltanah}}$$

Harga – harga yang umum dari sudut geser internal kondisi drained untuk pasir dan lanau dapat dilihat pada table

Tabel 2.4 Harga Sudut Geser Dalam Untuk Pasir dan Lanau

TIPE TANAH	SUDUT GESER DALAM (ϕ)°
<i>Pasir : butiran bulat</i>	
Renggang /lepas	27 – 30
Menengah	30 – 35
Padat	35 – 38
<i>Pasir : butiran bersudut</i>	
Renggang / lepas	30 –35
Menengah	35 – 40
Padat	40 – 45
Kerikil bercampur pasir	34 – 48
Lanau	26 – 35

Tegangan normal didapat dengan pembagian besarnya gaya normal dengan permukaan bidang geser, konsep ini dijelaskan dengan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

dimana σ = Tegangan Normal (kg/cm²)

P = Gaya Normal (kg)

A = Luas permukaan bidang geser (cm²)

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*.

$$\tau = \frac{G \times \text{kalibrasi proving ring}}{A}$$

dimana : τ = tegangan geser (kg/cm^2)

G = gaya geser, didapat dari pembacaan maksimum *load ring dial*

A = luas penampang *shear box*

Kalibrasi *proving ring* = 0,464 kg/div

Pengetahuan tentang kekuatan geser diperlukan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang berhubungan dengan stabilitas massa tanah. Bila suatu titik pada sembarang bidang dari suatu massa tanah memiliki tegangan geser yang sama dengan kekuatan gesernya, maka keruntuhan akan terjadi pada titik tersebut. Kekuatan geser tanah (τ_r) di suatu titik pada suatu bidang tertentu dikemukakan oleh Coulomb sebagai suatu fungsi linier terhadap tegangan normal (σ_f) pada bidang tersebut pada titik yang sama, sebagai berikut:

$$\tau_f = c + \sigma_f \tan \phi$$

Dimana c dan ϕ adalah parameter-parameter geser, yang berturut-turut didefinisikan sebagai kohesi (*cohesion intercept* atau *apparent cohesion*) dan sudut tahanan geser (*angle of shearing resistance*).

Berdasarkan konsep Terzaghi, tegangan geser pada suatu tanah hanya dapat ditahan oleh tegangan partikel-partikel padatnya. Kekuatan

geser tanah dapat juga dinyatakan sebagai fungsi dari tegangan efektif sebagai berikut:

$$\tau_f = c' + \sigma'_f \tan \varphi'$$

Dimana c' dan φ' adalah parameter-parameter kekuatan geser pada tegangan efektif. Dengan demikian keruntuhan akan terjadi pada titik yang mengalami keadaan kritis yang disebabkan oleh kombinasi antara tegangan geser dan tegangan normal efektif.

Parameter-parameter kekuatan geser untuk suatu tanah tertentu dapat ditentukan dari hasil-hasil pengujian laboratorium pada benda uji yang diambil dari lokasi lapangan hasil pengeboran (*in-situ soil*) yang dianggap mewakili (Hardiyatmo, 2010).

Pemeriksaan geser langsung ini dimaksudkan untuk menentukan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam tanah (φ) secara tepat. Yang dimaksud dengan kuat geser tanah adalah kemampuan tanah untuk melawan pergeseran yang terjadi dalam tanah. Kuat geser tanah diperlukan untuk berbagai macam soal praktis, terutama untuk menghitung daya dukung tanah, tegangan tanah terhadap dinding penahan tanah dan kestabilan lereng. Kuat geser langsung juga menunjukkan apakah termasuk tanah padat atau kurang padat.

Pada sampel yang diuji, terjadi 2 (dua) gaya yang bekerja yaitu gaya vertical P_v dan gaya horizontal P_h , dimana:

$$\sigma_n = \frac{P_v}{A}$$

$$\tau = \frac{P_h}{A}$$

Bila A adalah luas sampel / specimen, maka:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi$$

1. Proses menghitung gaya geser

$$P = 0.21 * (X)^{0.991}$$

X = pembacaan arloji

2. Menghitung luas bidang geser

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

D = diameter sampel (cm)

3. Menghitung tegangan geser

$$\tau = \frac{P}{A}$$



4. Menghitung pergeseran

Pergeseran = Waktu x Kecepatan pergeseran

5. Menghitung regangan pecah

$$\epsilon = \frac{\text{Pergeseran}}{d} \times 100\%$$

6. Tebal benda uji/sampel

Tebal = Tebal awal – Penurunan

7. Membuat grafik hubungan antara tegangan geser (τ) dan tegangan normal (σ), kemiringan terhadap sumbu σ adalah sudut gesek intern ϕ dan perpotongan garis tersebut sengan sumbu τ ordinat adalah nilai kohesi tanah sesuai rumus Coulomb : $\tau = c + \sigma_n \tan \phi$.

2.4.3 Sifat Microstruktur Tanah Lempung

Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0.002 mm (Das, 1995). Hardiyatmo (2010), mengatakan sifat- sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran-butiran halus <0,002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat. Sifat dan Perilaku lempung terlihat pada komposisi mineral, unsur-unsur kimianya, dan partikel-partikelnya serta pengaruh yang ditimbulkan di lingkungan sekitarnya. Sehingga untuk dapat memahami sifat dan perilakunya diperlukan pengetahuan tentang mineral dan komposisi kimia lempung, hal ini dikarenakan mineralogi adalah faktor utama untuk mengontrol ukuran, bentuk dan sifat fisik serta kimia dari partikel tanah. Tanah lempung memiliki sifat yang khas yaitu apabila dalam keadaan kering dia akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air.

Ada beberapa hal istilah yang perlu dibedakan dalam mempelajari mengenai lempung yaitu:

- a) Penggunaan istilah ukuran lempung, lebih dihubungkan dengan komposisi dari ukuran partikel, yang biasanya berukuran $< 2\mu\text{m}$.
- b) Penggunaan istilah mineral lempung, lebih dihubungkan dengan komposisi ukuran mineral. Ukuran mineral ini lebih spesifik, kadang-kadang ukuran mineral ini $< 2\mu\text{m}$ dan dapat pula $> 2\mu\text{m}$, meskipun pada umumnya $< 2\mu\text{m}$.

Partikel lempung berasal dari pelapukan tanah yang berupa susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Terdapat banyak mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung. Di antaranya terdiri dari kelompok-kelompok: *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite*. Terdapat juga kelompok yang lain, misalnya: *chlorite*, *vermiculite*, dan *halloysite* (Hardiyatmo, 2010). Umumnya, terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung.

Tabel 2.5 Aktivitas Tanah Lempung

Minerologi tanah lempung	Nilai Aktivitas
Kaolinite	0,4 – 0,5
Illite	0,5 – 1,0
montmorillonite	1,0 – 7,0

(sumber : Skempton, 1953)

Tabel 2.6 Specific Gravity Mineral-mineral Penting Pada Tanah

Mineral	Specific gravity
Quartz (kwarsa)	2.65
Kaolinite	2.60
Illite	2.80
Montmorillonite	- 2.80
Halloysite	- 2.55
Potassium feldspar	2.57
Sodium and calcium feldspar	2.62 – 2.76
Chlorite	2.60 – 2.90
Biorite	2.80 – 3.20
Muscovite	2.76 – 3.10
Horn blende	3.00 – 3.47
Limonite	3.60 – 4.00
Olivine	3.27 – 3.37

(Sumber : Das, 1994)

2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian tentang stabilisasi dengan cara Biogrouting telah banyak dilakukan. Seperti yang dilakukan oleh:

1. Dejong, 2006

Pada penelitian ini menggunakan tanah umum mikroorganisme *Bacillus pasteurii*. Faktor penting untuk menentukan keberhasilan pengobatan mikroba meliputi pH, suplai oksigen, metabolisme status, dan konsentrasi mikroba, dan ion kalsium di flushes pengolahan biologis dan gizi, serta urutan waktunya suntikan. Spesimen disemen dengan gipsum dan mikroba diinduksi Kalsit keduanya menunjukkan perilaku serupa dalam hal diamati dan kecepatan gelombang geser dan normalisasi, Laju perubahan diamati juga terdeteksi. Awalnya, tingkat rendah, dan secara bertahap meningkat menjadi maksimal kemudian mulai berkurang, mendekati nol pada kesimpulan dari sementasi.

Hasilnya menunjukkan kekakuan geser meningkat awal dan kapasitas elastis yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen longgar tidak diobati, dan mirip dengan kontrol gipsum-disemen perilaku spesimen. Degradasi sementasi baik gipsum dan spesimen.

2. W.K. van Wijngaarden, 2009

Pada penelitian ini sebuah model telah dirumuskan untuk menggambarkan proses biogrout. Model memberikan wawasan beberapa aspek dari proses biogrout. Proses Biogrout mempengaruhi sifat beberapa lapisan tanah

tersebut. Hasilnya adalah Pengendapan kalsium karbonat padat dapat menurunkan porositas dan permeabilitas.

3. Leon, 2009

Pada penelitian ini adalah meningkatkan untuk menemukan metode biologis untuk memperbaiki sifat tanah, biogrouting. Bila diaktifkan dengan substrat yang cocok, mikro-organisme dapat mengkatalisis konversi biokimia di bawah permukaan menghasilkan pengendapan mineral anorganik, yang mengubah sifat mekanik tanah. Salah satu proses tersebut adalah hidrolisis urea. Proses biogrouting menggunakan bakteri jenis *Sporosarcina pasteurii*, spesies bakteri yang mengandung sejumlah besar enzim urease yang dibudidayakan, disuntikkan di tanah dan disertakan dengan larutan yang mengandung urea dan kalsium klorida. Urease yang mengkatalisis konversi urea menjadi amonium dan karbonat dan karbonat dihasilkan presipitat dengan kalsium sebagai kristal kalsium karbonat. Kristal ini membentuk ikatan antara butiran pasir meningkatkan kekuatan dan kekakuan dari pasir. amonium klorida tersisa diekstraksi dan dibuang.

4. Masaru Akiyama, 2010

Pada penelitian ini, kami melakukan percobaan laboratorium mendasar pada biogrouting Kalsium Senyawa Fosfat (CPC) yang menggunakan ekstrak tanah yang meliputi mikroorganisme yang berasal dari dua tanah yang berbeda pada pH dan asam amino sebagai sumber amonia baru. Terutama dalam hal

penggunaan ekstrak tanah dari tanah asam, hasil biogrouting Kalsium Senyawa Fosfat (CPC) didapatkan hasil dari pengujian uji kuat tekan bebas lebih besar dibandingkan dengan biogrouting tanpa sumber amonia.

5. Hamed A. Keykha, 2011

Pada Penelitian ini Biogrouting adalah metode baru untuk pengendapan CaCO_3 di tanah berpasir oleh aktivitas mikroba untuk meningkatkan kekuatan. *Pasteurii Bacillus* adalah jenis bakteri dengan enzim urease yang menghidrolisis amonia dan menghasilkan Ca^{+2} . Dalam larutan CaCl_2 , kristal dari CaCO_3 dibuat antara partikel tanah.

Elektrokinetik adalah teknik berlaku untuk mengangkut partikel bermuatan dan cairan dalam potensial listrik. Untuk menghasilkan urease harus bercampur dengan amonia dan ditransportasi di tanah baik dengan metode listrik. Akhirnya, solusi menambahkan kalsium klorida sebagai proses injeksi. Metode ini dapat membuat curah hujan karbonat diinduksi (CaCO_3) untuk memperbaiki tanah. Hal ini dapat beroperasi di tanah halus seperti tanah liat, lumpur dan gambut yang tidak memiliki kemampuan dalam perjalanan banyak mikroorganisme dan bakteri.

6. Lisdianti Puspita, 2011

Pada penelitian ini peneliti mencari alternative bahan yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan tanah dengan memanfaatkan mikroorganisme. Mikroorganisme 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.

7. Suprpto H.Y, 2011

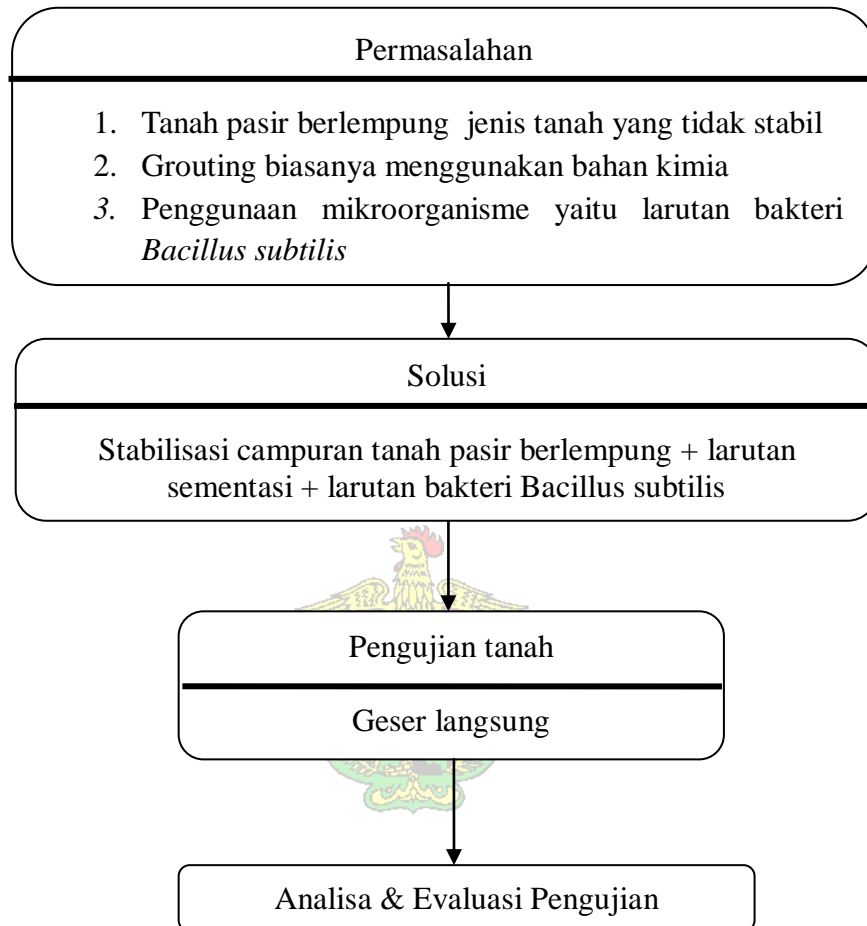
Pada penelitian ini peneliti menggunakan mikroorganisme untuk meningkatkan kapasitas tanah telah dilaporkan oleh beberapa penelitian tentang bioclogging dan biosementasi. Kedua metode memiliki tujuan yang sama untuk memenuhi pori tanah. Dengan menyuntikkan bakteri ke dalam tanah, bisa menghasilkan kalsit untuk memenuhi pori-pori antara itu. Setelah pengobatan, itu bisa meningkatkan kapasitas tanah hingga lima kali lipat. aplikasi bakteri dalam pembenahan pencampuran beton atau beton telah berhasil diterapkan di beberapa penelitian. Metode ini diyakini lebih ekonomis dan memiliki keuntungan yang lebih bagi environment tersebut.

Dengan menambahkan bakteri yang mampu menghasilkan kalsit untuk mengisi pori beton, dapat meningkatkan nilai kekuatan tekan. Untuk aplikasi lebih lanjut, itu mampu memenuhi retak beton. Metode ini sangat tergantung ke kondisi lingkungan. Faktor-faktor yang dapat pengaruhnya produksi kalsit. Dari 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.

8. Cheng, L. 2012

Pada penelitian ini menyajikan sebuah aplikasi baru yaitu Pengendapan Kalsium Karbonhidrat Padat (MICP) sebagai teknik konsolidasi untuk tanah jenuh dengan menggunakan metode permukaan isolasi yang mudah diterapkan. 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. Peningkatan kekuatan kolom pasir mencapai tingkat yang wajar homogenitas tanpa pembentukan kerak di permukaan.

Gambar 2.5 Kerangka pikir penulis



BAB III

METODE PELAKSANAAN PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan sejak bulan Maret hingga Mei 2013. Lokasi penelitian terbagi menjadi tiga, yaitu:

1. Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Tamalanrea, Makassar.
2. Pusat Penelitian Bioteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Cibinong, Bogor.
3. Laboratorium Mikrostruktur Jurusan Fisika Universitas Negeri Makassar.

Jenis penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium berupa pengujian tanah pasir berlempung yang digROUTING menggunakan larutan bakteri *Bacillus subtilis*.

3.2 Rancangan Penelitian

3.2.1 Penyiapan Alat dan Material / Bahan Uji Yang Digunakan

a. Penyiapan Alat

1. Satu set alat pengujian kadar air untuk menentukan kadar air sampel tanah yang digunakan pada penelitian ini.
2. Satu set alat pengujian berat jenis untuk mengetahui berat jenis sampel tanah yang digunakan pada penelitian ini.

3. Satu set alat pengujian batas-batas atterberg untuk menentukan batas cair, batas plastis dan batas susut sampel tanah yang digunakan pada penelitian ini.
4. Satu set alat pengujian analisa saringan dan hydrometer untuk menentukan gradasi dari sampel tanah yang digunakan pada penelitian ini .
5. Satu set alat pengujian pemadatan (kompaksi) untuk mengetahui nilai berat isi kering dan kadar air optimum dari sampel tanah maupun campuran tanah dengan bahan stabilisasi yang digunakan pada penelitian ini.
6. Satu set alat pengujian geser langsung untuk mengetahui nilai kohesi dan sudut geser dalam dari sampel campuran tanah dengan bahan stabilisasi yang digunakan pada penelitian ini.
7. Pipa paralon dengan ukuran yang disesuaikan dengan cetakan sampel geser langsung, yaitu dengan diameter 6,4 cm dan tinggi 2 cm yang bagian bawahnya dialasi dengan plastic dan diikat dengan karet gelang. Jumlah cetakan disesuaikan dengan jumlah sampel yang dibuat.
8. Dua buah suntik sebagai alat injeksi (*grouting*) dengan kapasitas 1cc. masing-masing digunakan untuk larutan sementasi dan larutan bakteri *Bacillus subtilis*.

b. Penyiapan Material/Bahan Uji yang Digunakan


Jenis tanah yang digunakan adalah tanah pasir berlempung yang merupakan tanah asli yang diambil dalam kondisi terganggu di Kelurahan Tamalanrea, Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar.

Sedangkan larutan bakteri *Bacillus subtilis* berasal dari Pusat Penelitian Bioteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).

3.2.2 Pekerjaan Laboratorium dan Pembuatan Benda Uji

a. Pekerjaan Laboratorium

1. Laboratorium Bioteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia



Pengujian yang dilakukan di Pusat Penelitian Bioteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) adalah pencampuran tanah dengan larutan bakteri *Bacillus subtilis* dengan metode grouting dalam beberapa variasi persentase pencampuran antara larutan sementasi dan larutan bakteri *Bacillus subtilis*. Variasi tersebut adalah 0 cc, 2 cc, 4 cc, dan 6 cc untuk masing-masing larutan sementasi dan larutan bakteri *Bacillus subtilis*. Kemudian dilakukan pemeraman dengan variasi waktu peram yaitu 3, 7, 14, 21 dan 28 hari.

2. Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Pengujian yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin adalah sebagai berikut :

- Pengujian sifat fisis yaitu kadar air, berat jenis, batas-batas atterberg dan pengujian analisis granular.
- Pengujian sifat mekanis tanah yaitu kompaksi dan geser langsung.

3. Pengujian yang dilakukan di Laboratorium Mikrostruktur Universitas Negeri Makassar adalah sebagai berikut:

- Pengujian tanah pasir berlempung dengan metode X-ray Diffraction (XRD).
- Pengujian mikrostruktur tanah meliputi pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM).

b. Pembuatan Benda Uji

Dalam penelitian ini sampel uji terdiri dari dua jenis. Yang pertama adalah sampel tanah asli yang akan diuji sifat fisis dan karakteristiknya. Dan sampel kedua adalah tanah campuran antara tanah asli dan bahan stabilisasi bakteri *Bacillus subtilis* yang akan diujikan dengan pengujian geser langsung. Setiap pengujian baik untuk tanah asli maupun tanah campuran

akan dilakukan berdasarkan variasi lama waktu pemeraman yang ditentukan yaitu 3, 7, 14, 21 dan 28 hari.

1. Benda Uji untuk Pengujian Sifat Fisis dan Karakteristik

Prosedur kerja untuk melakukan pengujian terhadap sifat fisis dan karakteristik tanah asli adalah sebagai berikut:

- Menyiapkan contoh tanah yang kering udara dengan cara digemburkan, apabila contoh tanah dalam kondisi basah, pengeringan dapat dilakukan dengan mengangin-anginkan (air-dry) atau menggunakan alat pengering yang dapat membatasi temperature contoh tanah sampai dengan 60°C.
- Mengambil contoh tanah yang lolos saringan no. 40 kemudian periksa kadar airnya (ω) dan disimpan dalam kantong pada temperature ruangan. Berat contoh tanah disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing standar pengujian yang akan diterapkan.
- Menyiapkan sampel tanah pasir berlempung untuk dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) sebelum dicampur dengan larutan sementasi dan larutan bakteri *Bacillus subtilis*.
- Menyiapkan sampel tanah pasir berlempung untuk dilakukan pengujian dengan metode X-ray diffraction (XRD) sebelum

dicampur dengan larutan sementasi dan larutan bakteri *Bacillus subtilis*.

Jumlah benda uji untuk pengujian sifat fisis dan karakteristik secara detail dipaparkan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 3.1 Sampel Tanah Asli untuk Pengujian Sifat Fisis dan Karakteristik

No	Pengujian	Jumlah Benda Uji
1.	Kadar Air	3 sampel
2.	Berat Jenis	3 sampel
3.	Analisa saringan	1 sampel
4.	Analisa Hidrometer	1 sampel
5.	Batas Cair	3 sampel
6.	Batas Plastis	3 sampel
7.	Batas Susut	3 sampel
8.	Standard Proctor	3 sampel
Jumlah		20 sampel

2. Benda Uji untuk Pengujian Geser Langsung

Untuk pembuatan benda uji campuran, dilakukan dengan pencampuran antara tanah pasir berlempung dengan bakteri *Bacillus subtilis*. Untuk pengujian geser langsung (*direct shear*) benda uji dibuat dengan menggunakan pipa dengan diameter 6,4 cm dan tinggi 2 cm. Sampel tanah pasir berlempung disesuaikan dengan berat isi

kering maksimum dan kadar air rencana, yang diperoleh melalui pengujian kompaksi *standar proctor* di laboratorium.

- Tahap Pembuatan Benda Uji

Sampel tanah yang akan digunakan adalah tanah pasir berlempung yang lolos saringan no. 40 yang telah dikeringkan di dalam oven selama 24 jam dengan suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$ untuk mendapatkan kondisi tanah kering oven. Untuk membuat sampel dengan kepadatan rencana, dihitung berdasarkan berat kering tanah pasir berlempung. Contoh perhitungan penentuan berat larutan bakteri *Bacillus subtilis* pada variasi Tanah Asli + 2cc larutan sementasi + 2cc larutan bakteri *Bacillus subtilis*.

➤ Diketahui γ_d tanah adalah $1,328 \text{ kg/cm}^2$ dan ω_{opt} tanah sebesar 36%

$$V_{\text{mould}} = \frac{1}{4}(3,14)(6,4^2)(2) = 64,307 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_{\text{wet}} = \gamma_{\text{dry}} \times (1 + \omega_{opt}) = 1,806 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{kepadatan } 80\%, \gamma_{\text{wet}} = (1,806)(80\%) = 1,445 \text{ gr/cm}^3$$

$$W_t = (1,445)(64,307) = 92,915 \text{ gr}$$

$$W_w = (92,915)(36\%) = 33,449 \text{ gr}$$

$$W_s = (92,915) - (33,449) = 59,466 \text{ gr}$$

➤ Untuk variasi Tanah Asli + 2cc larutan sementasi + 2cc larutan bakteri *Bacillus subtilis*.

$$\begin{aligned} W_{w \text{ campuran}} &= W_w - \text{larutan sementasi} - \text{larutan bakteri} \\ &= (33,449) - (2) - (2) = 29,449 \text{ gr} \end{aligned}$$

- Tahap Pencampuran

Tanah pasir berlempung yang sudah ditimbang berdasarkan perhitungan sebelumnya dicampur dengan air dan larutan sementasi awal sebanyak 2 cc untuk setiap variasinya, kemudian diaduk hingga rata dengan menggunakan spatula.

- Tahap Pencetakan Sampel

Campuran dengan berat yang telah ditentukan berdasarkan hasil perhitungan kemudian dimasukkan ke dalam cetakan yang sebelumnya telah dialasi dengan plastic yang diikat dengan karet dan diolesi dengan oli. Sampel kemudian diratakan dan diletakkan pada tempat dengan permukaan rata dan disimpan di dalam suhu ruangan. Sampel diusahakan untuk tidak tersentuh tangan apalagi hingga terguncang.

- Tahap *Grouting*

Untuk setiap variasi sampel, tahap ini membutuhkan waktu yang berbeda-beda dan juga jumlah penyuntikan yang berbeda pula. Hal yang penting untuk diingat bahwa untuk setiap *grouting* larutan bakteri *Bacillus subtilis* dilakukan minimal 2 jam setelah *grouting* larutan sementasi. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi penumpukan cairan. Larutan sementasi yang berfungsi sebagai media tumbuh bagi bakteri *Bacillus subtilis*, yang di-*grouting* terlebih dahulu diharapkan sudah dapat menyebar dan

menyerap secara merata ke dalam lapisan tanah disekitarnya dalam waktu 2 jam, sehingga pada saat penyuntikan larutan bakteri *Bacillus subtilis* tanah telah siap dan bakteri diharapkan dapat tumbuh dengan baik.

- Variasi Tanah asli + 6cc larutan sementasi+ 6cc larutan bakteri *Bacillus subtilis*

Variasi ini dibuat pada hari pertama.

Untuk setiap pencampuran awal dibutuhkan 2cc larutan sementasi yang diaduk homogen bersama dengan tanah. Dua jam setelah pencampuran dan pencetakan tanah dan larutan sementasi tersebut barulah injeksi bakteri *Bacillus subtilis* sebanyak 2cc dilakukan dengan cara disuntikkan ke dalam tanah secara perlahan pada alur yang telah dibuat sebelumnya. Setelah itu benda uji didiamkan selama 24 jam. Keesokan harinya pada waktu yang sama kembali disuntikkan 2cc larutan sementasi, dan selang 2 jam kemudian barulah 2cc larutan bakteri disuntikkan kedalam sampel tanah tersebut. Kemudian sampel tanah didiamkan kembali selama 24 jam.

Setelah 24 jam kedua kemudian kembali disuntikkan 2cc larutan sementasi, dan 2cc larutan bakteri setelah 2 jam berikutnya. Kemudian sampel tanah didiamkan kembali selama 24 jam berikutnya. Setelah masing-masing 6cc larutan sementasi dan larutan bakteri lengkap diinjeksikan selama 3 hari, barulah kemudian sampel didiamkan selama 24 jam dan kemudian dimulai pengujian terhadap variasi waktu yaitu 3, 7, 14, 21 dan 28 hari.

- Variasi Tanah asli + 4cc larutan sementasi+ 4cc larutan bakteri *Bacillus subtilis*

Variasi ini dibuat pada hari kedua, setelah variasi sebelumnya yaitu variasi tanah asli + 6cc larutan sementasi+ 6cc larutan bakteri *Bacillus subtilis* selesai dibuat.

Pembuatan sampel untuk variasi ini dilakukan lebih lambat satu hari, karena hanya memerlukan waktu 2 hari untuk proses injeksi bakteri. Satu hari pertama untuk masing-masing 2cc larutan sementasi dan larutan bakteri *Bacillus subtilis* dan hari kedua untuk injeksi 2cc larutan sementasi dan larutan bakteri *Bacillus subtilis* sisanya. Untuk setiap pencampuran awal dibutuhkan 2cc larutan sementasi yang diaduk homogen bersama dengan tanah. Dua jam setelah pencampuran dan pencetakan campuran tanah dan larutan sementasi tersebut barulah injeksi bakteri *Bacillus subtilis* sebanyak 2cc dilakukan dengan cara disuntikkan ke dalam tanah secara perlahan pada alur yang telah dibuat sebelumnya. Setelah itu benda uji didiamkan selama 24 jam. Keesokan harinya pada waktu yang sama kembali disuntikkan 2cc larutan sementasi, dan selang 2 jam kemudian barulah 2cc larutan bakteri disuntikkan kedalam sampel tanah tersebut. Setelah masing-masing 4cc larutan sementasi dan larutan bakteri lengkap diinjeksikan, barulah kemudian sampel didiamkan selama 24 jam dan kemudian dimulai pengujian terhadap variasi waktu yaitu 3, 7, 14, 21 dan 28 hari.

- Variasi Tanah asli + 2cc larutan sementasi+ 2cc larutan bakteri *Bacillus subtilis*

Variasi ini dibuat pada hari ketiga, sehari setelah variasi sebelumnya yaitu variasi tanah asli + 4cc larutan sementasi+ 4cc larutan bakteri *Bacillus subtilis* selesai dibuat.

Pembuatan sampel untuk variasi ini dilakukan bersama-sama dengan variasi tanah asli + 0cc larutan sementasi + 0cc larutan bakteri *Bacillus subtilis*, karena tidak perlu lagi menunggu tahapan waktu untuk injeksi larutan sementasi. Untuk setiap pencampuran awal dibutuhkan 2cc larutan sementasi, maka larutan sementasi untuk variasi ini tidak di *grouting* melainkan diaduk hingga homogen dengan tanah. Setelah dua jam kemudian, barulah larutan bakteri *Bacillus subtilis* sebanyak 2cc disuntikkan ke dalam tanah secara perlahan pada alur yang telah dibuat sebelumnya. Setelah itu benda uji didiamkan selama 24 jam dan barulah kemudian dimulai pengujian terhadap variasi waktu yaitu 3, 7, 14, 21 dan 28 hari.

- Variasi Tanah asli + 0cc larutan sementasi+ 0cc larutan bakteri *Bacillus subtilis*

Untuk variasi ini tidak ada penambahan larutan apapun. Jadi pencampuran benar-benar hanya antara tanah asli dan air saja. Namun pengujian yang dilakukan tetap dengan variasi waktu yang telah ditentukan. Setelah pencampuran tanah

dengan air dan pencetakan, sampel ini didiamkan selama 24 jam dan barulah kemudian dimulai pengujian terhadap variasi waktu yaitu 3, 7, 14, 21 dan 28 hari. Hasil pengujian sampel ini nantinya akan digunakan sebagai control terhadap hasil pengujian terhadap variasi sampel yang lain.

Tabel 3.2 Sampel Pengujian untuk Campuran Tanah Asli dengan Larutan Bakteri *Bacillus subtilis* untuk Pengujian Geser Langsung

Variasi campuran	Waktu pemeraman (hari)				
	3	7	14	21	28
Tanah Asli + 0cc larutan sementasi + 0cc larutan bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	3	3	3	3	3
Tanah Asli + 2cc larutan sementasi + 2cc larutan bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	3	3	3	3	3
Tanah Asli + 4cc larutan sementasi + 4cc larutan bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	0	0	3	0	3
Tanah Asli + 6cc larutan sementasi + 6cc larutan bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	0	0	3	0	3
Total sampel uji	6	6	12	6	12
	42				

3.2.3 Bakteri *Bacillus subtilis* serta Penumbuhannya

a. Kultur Bakteri/Media Tumbuh Bakteri (B4)

1. Komposisi

- 20 gr Urea
- 3 gr Nutrien Brouth (NB)
- 2,12 gr NaHCO₃

- 4,14 gr $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- 10 gr NH_4CL

2. Proses Pencampuran dan Pembuatan Media B4

- Campurkan 1 Liter Air dengan 20 gr Urea, 3 gr NB, 2,12 gr NaHCO_3 , 4.14 gr $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, dan 10 gr NH_4CL kedalam labu erlenmeyer. Sumbat labu dengan kapas lalu kertas alumunium foil dan kemudian ikat dengan karet.



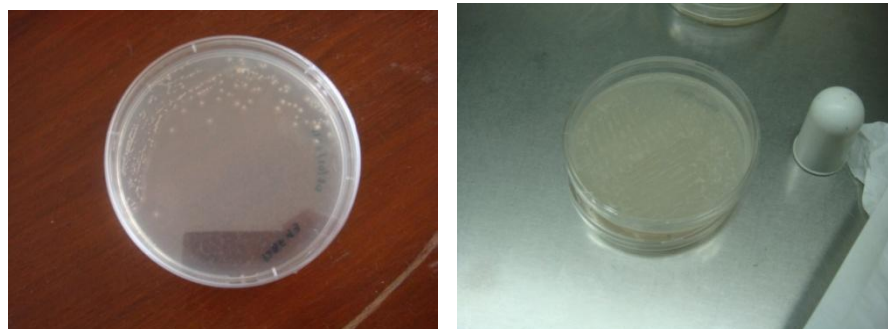
Gambar 3.1 Proses Pencampuran dan Pembuatan Media B4

- Setelah itu masukan kedalam mesin *Semiautomatic Autoclave Equipment for Reproduction and Molecular* untuk disterilisasikan. Alat ini berfungsi sebagai mesin *steam sterilizer* sehingga harus ditambahkan air untuk menjalankan fungsinya. Suhu yang dibutuhkan adalah 121°C , dengan waktu 15 menit dan tekanan 1 atm.



Gambar 3.2Proses Sterilisasi Media B4

- Kemudian lakukan proses inokulasi bakteri (proses penanaman bakteri) yaitu pencampuran isolate bakteri dengan memasukkannya kedalam cairan medium B4. Proses ini harus dikerjakan didalam alat *Laminar Airflow* yang dilengkapi dengan sinar UV untuk menghindari kontaminasi dengan bakteri dan untuk menjaga sterilisasi.



Gambar 3.3Isolat Bakteri *Bacillus subtilis*



Gambar 3.4 Alat *Laminar Airflow*

- Setelah itu proses inokulasi selesai, dilanjutkan dengan proses pengocokan (*shaking*). Proses ini dilakukan di ruangan khusus *shaker* selama 72 jam atau 3 hari.



Gambar 3.5 Proses Pengocokan (*shaking*) Campuran Bakteri dengan Media B4

b. Pembuatan Larutan Sementasi 1.1 M

Perhitungan Pencampuran Larutan adalah sebagai berikut:

Misalkan 1 L = 1000 ml

$$1. \text{ Larutan Urea} = \frac{1000 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{\text{gr}}{\text{Mr}}$$

- Berat urea yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} \text{gr Urea} &= \frac{1000 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{\text{gr}}{60.06} \\ &= 60.06 \times 1.1 \\ &= 66.066 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$2. \text{ Larutan CaCl}_2 = \frac{1000 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{\text{gr}}{\text{Mr}}$$

- Berat CaCl₂ yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} \text{gr CaCl}_2 &= \frac{1000 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{\text{gr}}{147.02} \\ &= 147.02 \times 1.1 \\ &= 161.722 \text{ gr} \end{aligned}$$



Gambar 3.6 Pembuatan Larutan Sementasi 1.1 M

c. Penghitungan Total Bakteri *Bacillus subtilis* dengan Metode TPC

- Tujuan:

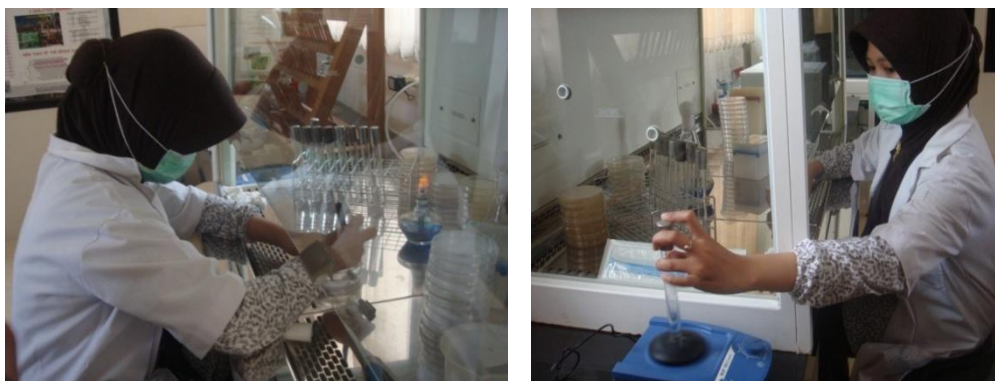
Menghitung jumlah bakteri biogROUT yang akan dan telah diinjeksi untuk proses biogROUTing.

- Bahan:

1. Air pengencer berupa pepton 0,1 %
2. Medium B4 untuk pertumbuhan bakteri biogROUTing

- Metode:

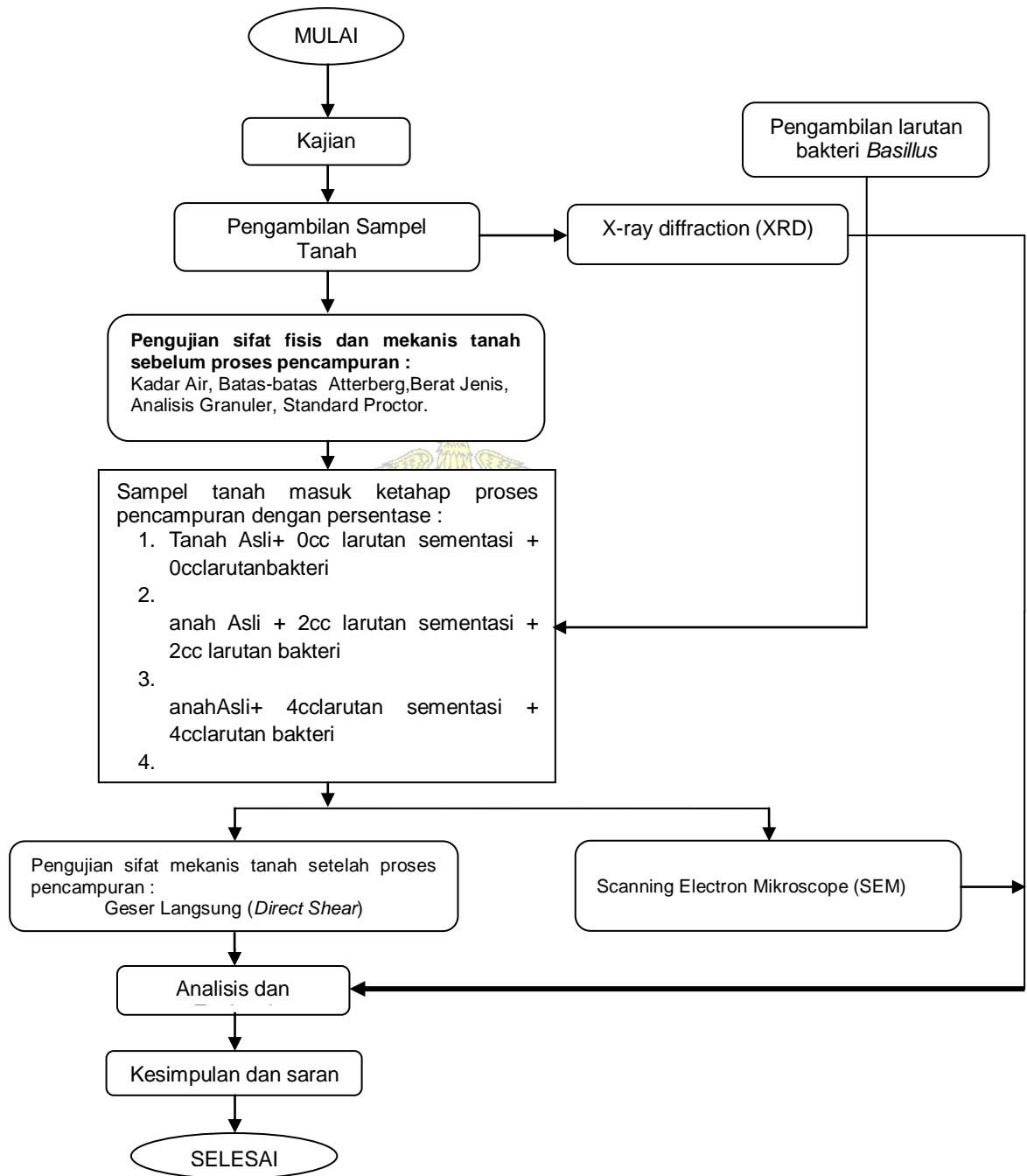
1. Pengenceran dilakukan secara serial dari 10^{-1} sampai 10^{-7}
2. Sampel (1 ml kultur bakteri) pada pengenceran 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , dan 10^{-7} diinokulasikan pada medium B4 dengan metode *pour plate*, kemudian diinkubasi pada suhu 30°C selama 1-2 hari. Sedangkan untuk sampel tanah disesuaikan dengan kebutuhan pengencerannya (gambar 16)



Gambar 3.7 Pelaksanaan Metode TPC

3.3 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ini diuraikan melalui skema di bawah ini:



Gambar 3.8 Bagan Alir Tahapan Pelaksanaan Penelitian

3.4 Metode Pengujian dan Analisa Data

a. Metode Pengujian

Pengujian sampel yang dilakukan dibagi menjadi 2 bagian yaitu pengujian untuk tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi. Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Tamalanrea, Makassar.

1. Pengujian Sifat Fisis Tanah

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan indeks properties tanah. Sifat-sifat indeks ini diperlukan untuk mengklasifikasikan tanah dimana hasilnya akan digunakan dalam menentukan jenis bahan stabilisasi dengan serbuk pengikat yang sesuai dan menentukan perkiraan awal jumlah kadar bahan serbuk pengikat yang perlu ditambahkan ke dalam tanah yang akan distabilisasi. Pengujian indeks ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3.3 Standar Metode Pengujian Sifat Fisis Tanah

Pengujian	Standar Metode
Pengujian Kadar Air	ASTM D 2216-71
Pengujian Berat Jenis	SNI 03-1964-2008
Pengujian Analisa Saringan	SNI 03-1968-1990
Pengujian Hidrometer	SNI 03-3423-1994
Pengujian Batas Cair	SNI 03-1967-1990
Pengujian Batas Plastis	SNI 03-1966-1990
Pengujian Batas Susut	SNI 03-1965-1990

2. Pengujian Sifat Mekanis Tanah

Tabel 3.4 Standar Metode Pengujian Uji Sifat Mekanis Tanah

Pengujian	Standar Metode
Alat uji pemadatan standar	SNI 03-1742-1989 atau SNI 03-1743-1989
Alat uji geser langsung	SNI 2813.2008

b. Metode Analisis Data

Analisis data yang digunakan pada penelitian ini yaitu analisis terhadap data hasil uji di laboratorium dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Analisis distribusi butiran terhadap tanah yaitu melakukan analisis hasil pengujian tanah di laboratorium dan klasifikasinya menurut klasifikasi tanah.
2. Analisis kadar air dan berat jenis tanah pasir berlempung terhadap penggunaan lapisan tanah dasar.
3. Analisis batas-batas konsistensi untuk mengklasifikasikan hasil uji batas cair dan batas plastis golongan tanah pasir terhadap analisis tanah pasir plastis tinggi terhadap konstruksi jalan raya.
4. Analisis hasil pemadatan (Uji Proctor). Analisis hasil pemadatan tanah asli dilakukan guna mengetahui nilai kadar air optimum terhadap peningkatan kepadatan tanah dasar (subgrade).
5. Analisa kandungan mineral pada tanah pasir berlempung dengan menggunakan pengujian X-ray diffraction (XRD).

6. Analisis hasil pengujian geser langsung sebelum dicampurkan larutan bakteri *Bacillus subtilis*.
7. Analisis biogrouting dengan persentase larutan bakteri *Bacillus subtilis* 2cc, 4cc, dan 6cc dengan masa pemeraman masing-masing 3, 7, 14, 21, dan 28 hari untuk pengujian Geser Langsung.
8. Analisis hasil pengujian geser langsung setelah dicampurkan larutan bakteri *Bacillus subtilis* dengan presentase dan masa pemeramanyang telah ditentukan.
9. Analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada sampel tanah asli dan sampel tanah yang bercampur larutan bakteri pada umur perendaman 3, 7, 14, 21 dan 28 hari.

3.4.1 Indeks Properties Tanah

Prosedur pelaksanaan untuk penelitian ini dapat dilihat pada skema alir penelitian. Adapun pengujian yang dilakukan di laboratorium yaitu sebagai berikut:

1. Kadar Air Tanah

Cara pengujian kadar air tanah adalah timbang cawan kosong kemudian masukan contoh tanah ke dalam cawan timbang, setelah itu dalam keadaan terbuka cawan bersama tanah dimasukan kedalam oven (105° - 110° c) selama 16-24 jam, setelah itu dinginkan dalam desikator \pm 2 jam, cawan yang berisi tanah tersebut ditimbang.

2. Berat Jenis (Specific Gravity)

Cara pengujian berat jenis adalah piknometer kosong di timbang masukan tanah kedalam picnometer, sehingga tanah terendam seluruhnya kira-kira 10 gram, diisi air kurang lebih 10cc kedalam picnometer, sehingga tanah terendam seluruhnya kira-kira 2-10 jam, setelah itu picnometer beserta tanah di vacuum sampai gelembungnya hilang kemudian tambahkan air sampai penuh, kemudian ukur suhunya kemudian timbang. Piknometer dikosongkan dan dibersihkan, kemudian diisi dengan air, ditutup kemudian ditimbang.

3. Batas Cair

Cara pengujian batas cair adalah contoh tanah diambil $\pm 150-200$ gram ditaruh dalam mangkuk dan diberi air sebanyak 15-20 ml, contoh tanah ditaruh dalam cawan batas cair, ratakan permukaan contoh dalam cawan menjadi sejajar dengan alas, buat alur dengan menggunakan alat grooving tool tegak lurus permukaan contoh, setelah itu angkat dan turunkan cawan tersebut dengan kecepatan 2 putaran/detik, hentikan aksi. Tersebut jika alur sudah tertutup sepanjang $\pm 1,25$ cm dan hitung berapa ketukan yang dibutuhkan, ambil contoh tanah untuk diperiksa kadar airnya. Ulangi percobaan dengan kadar air yang berbeda.

4. Batas Plastis

Cara pengujian tanah kering yang lolos saringan No. 40 atau tanah yang dipakai untuk menentukan batas cair diambil sebagian, ditaruh pada mangkuk dan diberi air aquades serta diaduk sampai merata setelah itu diambil sedikit dan ditaruh pada lempengan kaca terus digililng-giling sampai

tanah tersebut kelihatan retak-retak atau putus pada 3 mm. Setelah itu tanah diambil dan ditaruh pada cawan kemudian ditimbang dan dioven selama 24 jam ditimbang kembali.

5. Batas Susut

Cara pengujian batas susut adalah contoh tanah diambil sedikit taruh pada cawan porselin kemudian diberi air sedikit sampai campuran tanah tersebut dapat dicetak pada cawan penguap, setelah itu tanah dicetak dan diketok-ketok untuk menghilangkan rongga udara yang ada setelah itu ditimbang baru dioven selama 24 jam, setelah itu tanah kering ditimbang kembali cawan kaca ditimbang siapkan air raksa secukupnya taruh pada mangkok kaca yang bawahnya diberi juga diberi alas untuk tempat air raksa nanti yang tumpah, tanah kita ambil dan kita masukkan kedalam air raksa kemudian kita tekan dan geser-geser dengan lempengan kaca air raksa akan tumpah, air raksa yang tumpah tersebut kita taruh pada cawan kaca yang sudah diketahui beratnya dan kita timbang bersama air raksa yang tumpah tadi.

6. Distribusi Ukuran Butir Tanah.

Cara pengujian distribusi ukuran butir tanah adalah taruh contoh tanah dalam tabung gelas, tuangkan sebanyak ± 125 cc larut air + reagen yang telah disiapkan, tuangkan campuran tersebut ke dalam alat pengaduk kemudian pindahkan suspensi ke gelas silinder pengendap. Sediakan gelas silinder kedua yang diisi hanya dengan air destilasi. Tutup gelas isi suspensi dengan tutup karet, kocok suspensi dengan dengan membolak-balik vertical ke atas ke

bawah selama 1 menit, lakukan pembacaan hidrometri pada saat $t = 2; 5; 30;$
60; 250; 1440 menit (setelah $t=0$), setelah dibaca segera ambil hidrometri
pelan-pelan pindahkan ke dalam silinder kedua, dalam air kedua bacalah skala
hidrometri. Amati dan catat temperatur suspensi dengan mencelupkan
termometer, setelah pembacaan hidrometri tuangkan suspensi ke atas saringan
No. 200 seluruhnya, pindahkan butir-butir tanah yang tertinggal pada suatu
tempat, kemudian keringkan dalam oven (temperatur 105° - 110°), kemudian
dinginkan dan timbang serta catat berat tanah kering yang diperoleh, saring
tanah tersebut dengan alat saring yang ditentukan, timbang dan catat berat
bagian tanah yang tertinggal diatas tiap saringan.



3.4.2 Mekanis Tanah

1. Pengujian Kompaksi

Cara pengujian kompaksi adalah dengan menggunakan tanah kering yang lolos saringan No. 40 yang telah dihitung kadar airnya. Kemudian ambil 5 sampel dengan berat masing-masing 2 kg untuk setiap sampelnya. Diamkan sampel selama 24 jam di dalam kantong plastik. Kemudian ambil salah satu sampel lakukan penambahan air sedikit demi sedikit sambil diaduk dan catat jumlah penambahan air tersebut. Kemudian diamkan sampel 24 jam lagi. (lakukan hal yang sama untuk sisa 4 sampel lainnya dengan jumlah penambahan air yang berbeda)

Sekarang sampel tanah sudah siap untuk di kompaksi. Ambil salah satu sampel, masukkan $1/3$ bagian ke dalam mould berdiameter 10,09 cm dan

tinggi 11,61 cm dan lakukan penumbukan dengan penumbuk seberat 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm. tanah tersebut dipadatkan dalam 3 lapisan dengan tiap lapisannya ditumbuk sebanyak 25 kali. (Lakukan hal yang sama untuk lapisan kedua dan ketiga). Setelah selesai ratakan tanah dan isi rongga-rongga yang terbentuk dengan tanah bekas potongan. Kemudian timbang tanah beserta mouldnya. Kemudian ambil sampel di bagian tengah atas dan bawah mould untuk kemudian ditimbang dan dioven selama 24 jam untuk dihitung kadar airnya. (lakukan hal yang sama untuk 4 sampel lainnya)

2. Pengujian Geser Langsung

Cara pengujian geser langsung adalah dengan menggunakan sampel tanah uji yang telah dicampur berdasarkan perhitungan yang telah dibuat sebelumnya, dicetak ke dalam pipa mould berdiameter 6,4 cm dan tinggi 2 cm, dan diperam sesuai dengan waktu pemereaman yang ditentukan yaitu 3,7,14,21 dan 28 hari.

Atur bak geser dengan meletakkan plat geser bawah dan plat geser atas ke dalam bak perendam secara simetris kemudian mengencangkan baut pengunci. Kemudian susun plat bawah, kertas pori, sampel uji, kertas pori dan plat atas secara berturut-turut ke dalam bak geser. Kemudian pasang instalasi muatan geser (beban pertama 10kg) dan mulai atur dial pergeseran dan dial proving ring pada angka nol. Mulai memutar engkol sehingga tanah mulai menerima beban geser. Pembacaan dilakukan setiap perubahan deformasi yang diinginkan. Catat nilai pada dial proving ring sampai tercapai beban maksimum atau deformasi 10% dari diameter benda uji. Kemudian ganti

benda uji dan lakukan prosedur di atas untuk pembebanan 20 untuk benda uji kedua dan pembebanan 30 kg untuk benda uji ketiga. Hal ini juga berlaku untuk sampel-sampel dengan variasi hari pencampuran dan pemeraman yang lain.

3.4.3 Mikrostruktur Tanah

Pengujian ini bertujuan untuk melihat reaksi yang terjadi antara partikel tanah sebelum dan sesudah dilakukan injeksi bakteri. Selain itu pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral yang terdapat dalam tanah sebelum injeksi dan selama masa pemeraman setelah injeksi. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Mikrostruktur Jurusan Fisika Universitas Negeri Makassar.

Pengujian sampel yang dilakukan dibagi menjadi 2 bagian yaitu:

1. Pengujian Tanah Pasir Berlempung dengan Metode Pengujian *X-ray Diffraction (XRD)*.



Gambar 3.9 Alat Pengujian *X-ray Diffraction (XRD)*

2. Pengujian Mikrostruktur Tanah dengan Metode Pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)*.



Gambar 3.10 Alat Pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)*



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Pasir Berlempung

Pengujian karakteristik fisik dan mekanis tanah dilakukan untuk mengklasifikasikan jenis tanah yang digunakan pada penelitian. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh data-data karakteristik fisik dan mekanik tanah yang diperlukan untuk mengetahui jenis tanah yang digunakan sebagai bahan uji pada penelitian ini.



4.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Fisis Tanah

Penelitian di laboratorium meliputi penelitian **sampel tanah pasir berlempung** yang akan distabilisasi dengan menggunakan larutan bakteri *Bacillus subtilis*. Pada tanah pasir berlempung tersebut dilakukan uji awal untuk mendapatkan parameter-parameter sifat dasar tanah.

Beberapa parameter yang menentukan karakteristik tanah pasir berlempung antara lain Indeks Plastisitas, Aktivitas Tanah, Batas Cair, dan Batas Plastis. Berdasarkan parameter analisis ukuran butiran dan *specific gravity* (*G_s*) tanah dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok sehingga diperoleh kesamaan persepsi tentang jenis tanah dan sifat tanah.

Jenis pengujian laboratorium yang dilakukan untuk menentukan karakteristik tanah dalam penelitian ini meliputi:

- a. Pengujian kadar air.

- b. Pengujian berat jenis.
- c. Pengujian batas-batas atterberg.
- d. Pengujian analisa saringan dan hydrometer.
- e. Pengujian pemadatan (kompaksi).

Tabel 4.1 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan
1	Kadar Air Tanah Asli (ω)	43,40 %
2	Berat jenis (G_s)	2.65
3	Pemeriksaan Analisa Saringan	
	a. Berbutir Kasar	63.15 %
	b. Berbutir Halus	36.85 %
4	Atterberg	
	a. Batas Cair (LL)	45.97 %
	b. Batas Plastis (PL)	31.54 %
	c. Index Plastis (PI)	14.42 %
	d. Batas Susut (SL)	16.47 %
5	Berat isi	1.66 gram/cm ³

Hasil pemeriksaan karakteristik sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini menerangkan bahwa:

1. Nilai kadar air rata-rata yang diperoleh dari pengujian berat jenis untuk sampel tanah adalah sebesar **43,40 %**.
2. Nilai berat jenis rata-rata yang diperoleh dari pengujian berat jenis untuk sampel tanah adalah sebesar **2,65**. Sesuai dengan tabel spesifikasi pembagian jenis tanah berdasarkan berat jenis, sampel tanah termasuk dalam **tipe tanah pasir (sand)**. Dengan spesifikasi nilai G_s untuk tanah tipe pasir adalah 2,65 – 2,67.

3. Pemeriksaan Batas-batas Atterberg memberikan empat macam nilai, yaitu

- Batas cair (LL) = **45,97 %**
- Batas Plastis (PL) = **31,54 %**
- Indeks Plastisitas (PI) = **14,42 %**
- Batas Susut (SL) = **16,47 %**

Berdasarkan tabel hubungan nilai PI dengan sifat, macam tanah dan kohesi tanah, maka untuk nilai indeks plastisitas (PI) sebesar 14,42% sampel tanah termasuk ke dalam tipe **tanah dengan sifat plastisitas sedang** (spesifikasi PI 7%-17%), termasuk dalam jenis **tanah lempung berlanau yang kohesif**.

4. Pemeriksaan analisa saringan memberikan presentasi material berbutir kasar (material yang tertahan saringan No. 200) sebesar 63,15% dan material berbutir halus (material yang lolos saringan No. 200) sebesar 36,85%. Fraksi kasar yang tertahan saringan No.4 sebanyak 0,15% dan fraksi kasar yang lolos saringan No.4 sebanyak 99,85%.

Presentasi tanah yang lolos saringan No.40 adalah sebesar 96,27%. Sementara presentasi tanah yang lolos saringan No.100 adalah sebesar 92,90%.

Sehingga jenis atau tipe tanah dapat dikategorikan berdasarkan beberapa metode yang umum digunakan, seperti:

- a. System klasifikasi *USCS (Unified Soil Classification System)* (ASTM 1982)
- Divisi Utama
 - i. Sampel tanah masuk ke dalam kelompok **tanah berbutir kasar** (coarse-grained-soil) karena sebanyak 63,15% yaitu > 50 % berat total contoh tanah tertahan ayakan no.200.
 - ii. Sampel tanah tergolong ke dalam **tipe tanah pasir**, karena sebanyak 99,85% yaitu > 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4
 - iii. Tanah dapat tergolong ke dalam **tipe pasir bersih** atau **pasir dengan butiran halus**.
 - Simbol Kelompok
 - i. Jika tanah tergolong dalam pasir bersih (hanya pasir), simbol dapat berupa SW atau SP
 - ii. Sementara jika tanah tergolong dalam pasir dengan butiran halus, simbol dapat berupa SM atau SC..
 - Nama Umum
 - Simbol SW berarti tanah adalah pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus.
 - Simbol SP berarti pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus.
 - Simbol SM berarti pasir berlanau, campuran pasir-lanau.
 - Simbol SC berarti pasir berlempung, campuran pasir-lempung.

b. System klasifikasi AASTHO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*)

Membagi tanah kedalam delapan kelompok, A-1 sampai A-8, namun kelompok tanah A-8 tidak diperlihatkan tetapi merupakan gambut atau rawa yang ditentukan berdasarkan klasifikasi visual.

- Klasifikasi tanah

Sampel tanah tergolong ke dalam **tanah lanau – lempung** karena sebanyak 36,85% yaitu >35% dari seluruh contoh tanah lolos saringan No.200

- Klasifikasi kelompok

Berdasarkan:

- Persen lolos saringan No.100 yaitu sebanyak 92,90%
- Sifat fraksi lolos saringan No. 40, yaitu
 - Batas Cair (LL) = 45,97%
 - Indeks Plastisitas (PI) = 14,42%

Maka sampel tanah tergolong dalam klasifikasi **A-7**

Dengan syarat :

- Persen lolos saringan No.100 min 36%
- Batas Cair (LL) minimal 41%
- Indeks Plastisitas (PI) minimal 11%

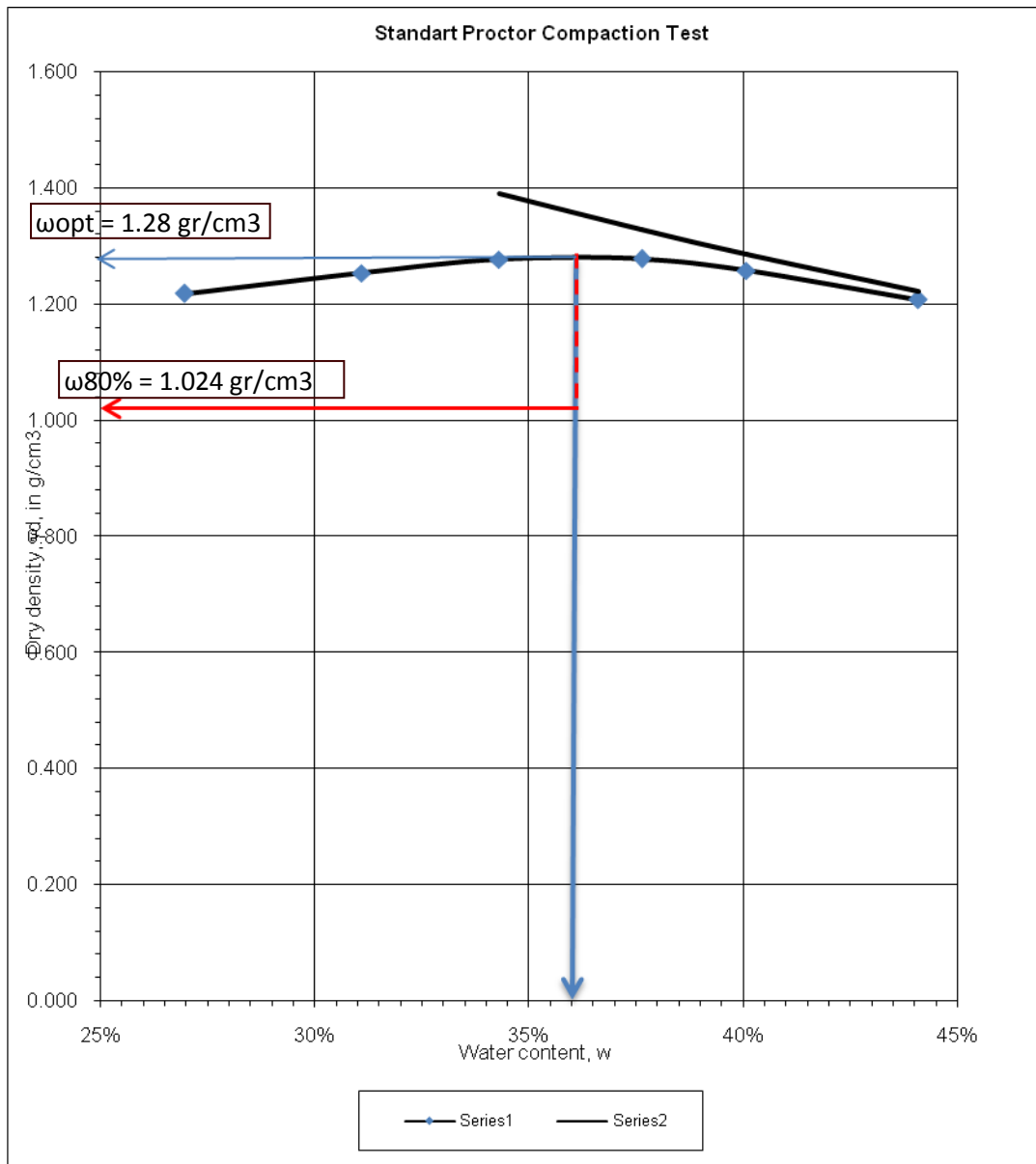
- Tipe material

Material yang paling dominan untuk jenis tanah dengan tipe seperti ini adalah tanah berlempung. Dengan penilaian **biasa sampai jelek** untuk digunakan sebagai bahan tanah dasar.

4.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Mekanis Tanah

Pengujian Kompaksi

Pengujian kompaksi adalah usaha yang dilakukan untuk mendapatkan kepadatan tanah maksimum dengan energy yang standar, sehingga dapat diketahui karakteristik kurva pemadatan dari sampel tanah asli agar diketahui kepadatan tanah dan kadar air optimum sampel. Hasil yang diperoleh dari pengujian pemadatan diinterpretasikan dalam bentuk grafik hubungan antara berat volume tanah kering (*dry density*) dan kadar air (*moisture content*)



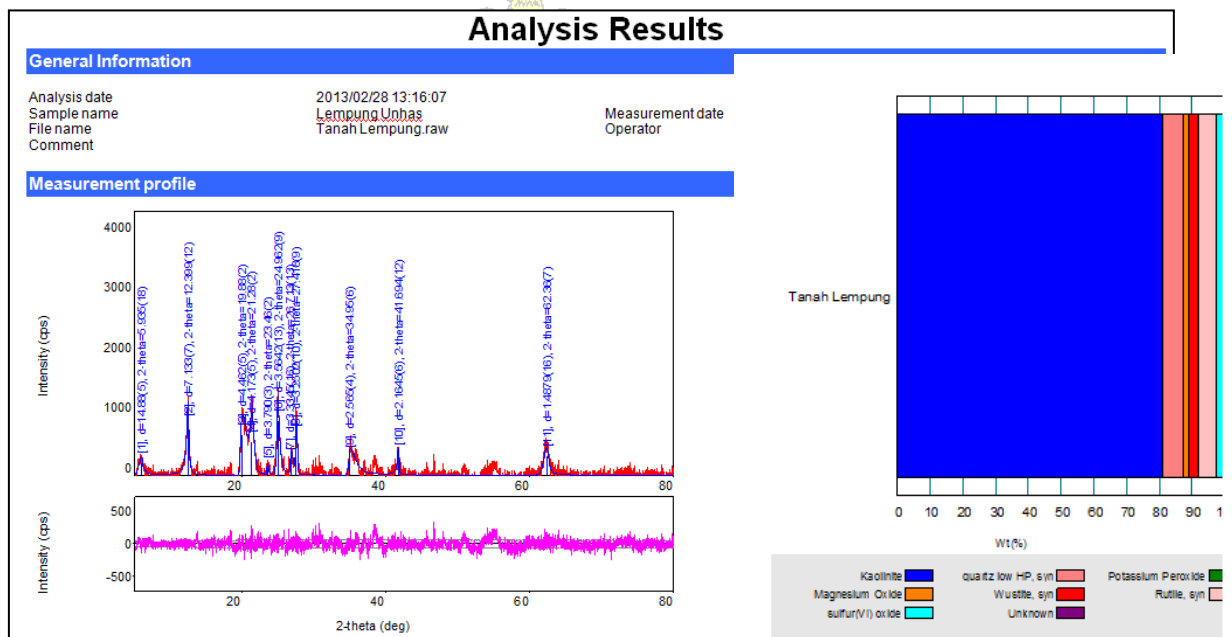
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Berat Berat Isi Kering dan Kadar Air Optimum

Gambar di atas menunjukkan bahwa tanah yang digunakan pada penelitian ini memiliki berat volume kering (V_{dry}) sebesar **1,280 gr/cm³**, untuk kadar air optimum (ω_{opt}) sebesar **36%**.

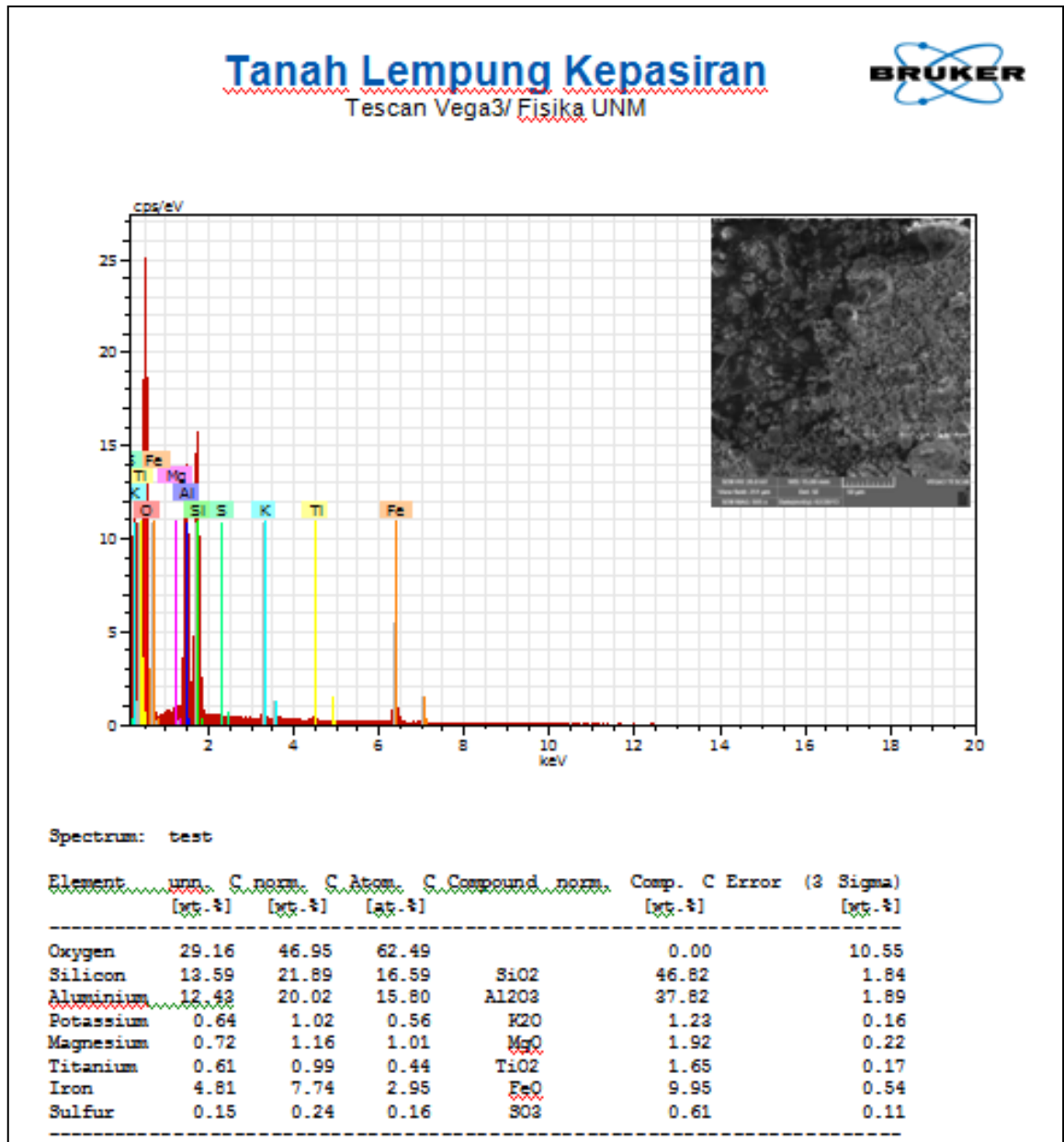
Namun karena pada penerapan asli di lapangan akan digunakan kepadatan tanah sebesar 80%, maka nilai berat volume kering lapangan yang digunakan adalah 80% dari nilai berat volume kering yaitu sebesar **1.024 gr/cm³** untuk kadar air optimum (ω_{opt}) sebesar **36%**.

4.2 X-ray Diffraction (XRD) Tanah Pasir Berlempung dan Scanning Electron Microscope (SEM)

4.2.1 X-ray Diffraction (XRD)



4.2.2 Scanning Electron Microscope (SEM)



Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)* untuk Tanah Pasir Berlempung

4.3 Karakteristik Hasil Pengujian Geser Langsung Terhadap Sampel Biogrouting Tanah Pasir Berlempung dengan Larutan Bakteri *Bacillus subtilis*

Pengujian geser langsung dilakukan pada tanah pasir berlempung dengan variasi campuran larutan bakteri *Bacillus subtilis* dan variasi pemeraman yang berbeda. Rekapitulasi hasil pengujian geser langsung terhadap sampel biogrouting tanah pasir berlempung dengan larutan bakteri *Bacillus subtilis* berdasarkan variasi campuran disajikan dalam tabel dan grafik di bawah ini.

Tabel 4.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berdasarkan Variasi Pencampuran

Sampel 0x injeksi

Tanah Asli + 0cc larutan sementasi + 0cc larutan bakteri *Bacillus subtilis*.

hasil pengujian	kohesi (c)	sudut geser dalam (ϕ) ($^{\circ}$)
	0.004	4.46

Tanah Asli + 2cc larutan sementasi + 2cc larutan bakteri *Bacillus subtilis*.

hasil pengujian	kohesi (c)	sudut geser dalam (ϕ) ($^{\circ}$)
waktu pemeraman		
3 hari	0.017	0.74
7 hari	0.022	2.23
14 hari	0.068	6.67
21 hari	0.125	14.20
28 hari	0.367	19.34

Sampel 2x injeksi

Tanah Asli + 4cc larutan sementasi + 4cc larutan bakteri *Bacillus subtilis*.

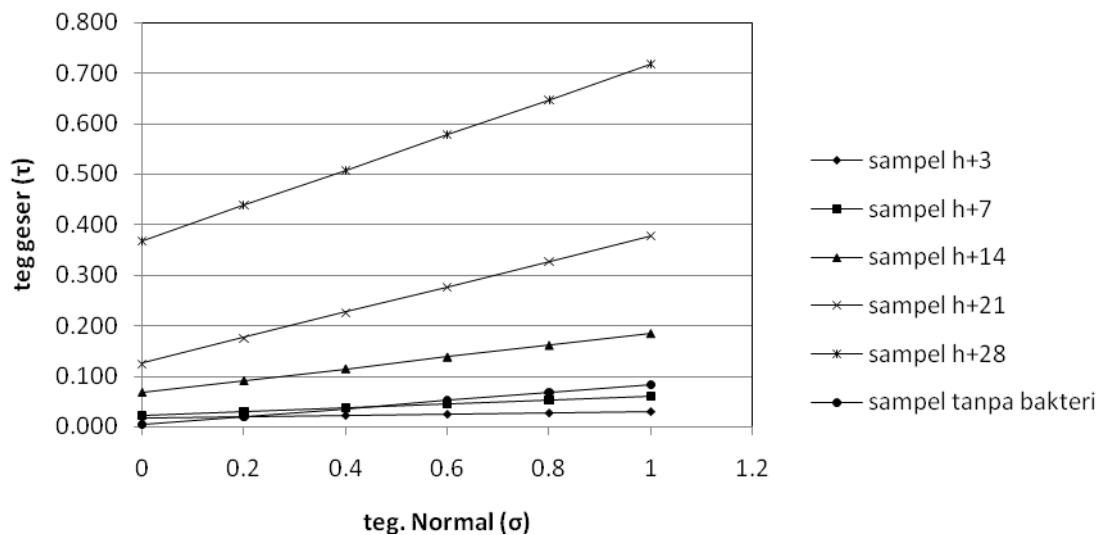
hasil pengujian	kohesi (c)	sudut geser dalam (ϕ) ($^{\circ}$)
waktu pemeraman		
14 hari	0.117	5.54
28 hari	1.087	34.29

Tanah Asli + 6cc larutan sementasi + 6cc larutan bakteri *Bacillus subtilis*.

hasil pengujian	kohesi (c)	sudut geser dalam (ϕ) ($^{\circ}$)
waktu pemeraman		
14 hari	0.121	2.23
28 hari	1.192	35.07

PEMBAHASAN

1. Sampel 1x injeksi



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Tegangan Normal - Tegangan Geser Sampel 1x Injeksi

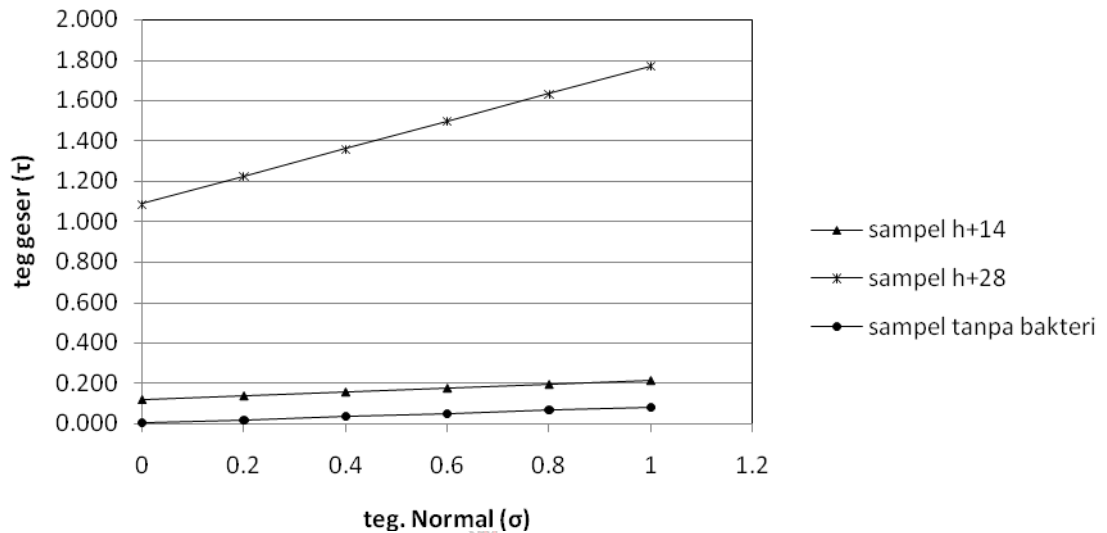
Pada pengujian sampel 1x injeksi ini terdapat lima buah sampel pengujian sesuai dengan waktu pemeraman masing-masing yaitu hari ke-3, hari ke-7, hari ke-14, hari ke-21 dan hari ke-28 serta satu sampel sebagai control terhadap sampel yang lain, yaitu sampel tanpa bakteri. Dari grafik dapat dilihat bahwa hasil pengujian untuk sampel hari ke-3 dan hari ke-7 terletak di bawah garis control

(sampel tanpa bakteri) sementara hasil pengujian untuk sampel hari ke-14, hari ke-21 dan hari ke-28 berada di atas garis control.

Hal ini menunjukkan bahwa nilai tegangan geser yang terjadi pada sampel hari ke-3 dan hari ke-7 mengalami penurunan dibandingkan dengan nilai tegangan geser yang terjadi pada sampel tanah tanpa bakteri. Sementara nilai tegangan geser yang terjadi pada sampel hari ke-14, hari ke-21 dan hari ke-28 secara berurutan mengalami peningkatan dibandingkan dengan nilai tegangan geser sampel tanah tanpa bakteri.



2. Sampel 2x Injeksi

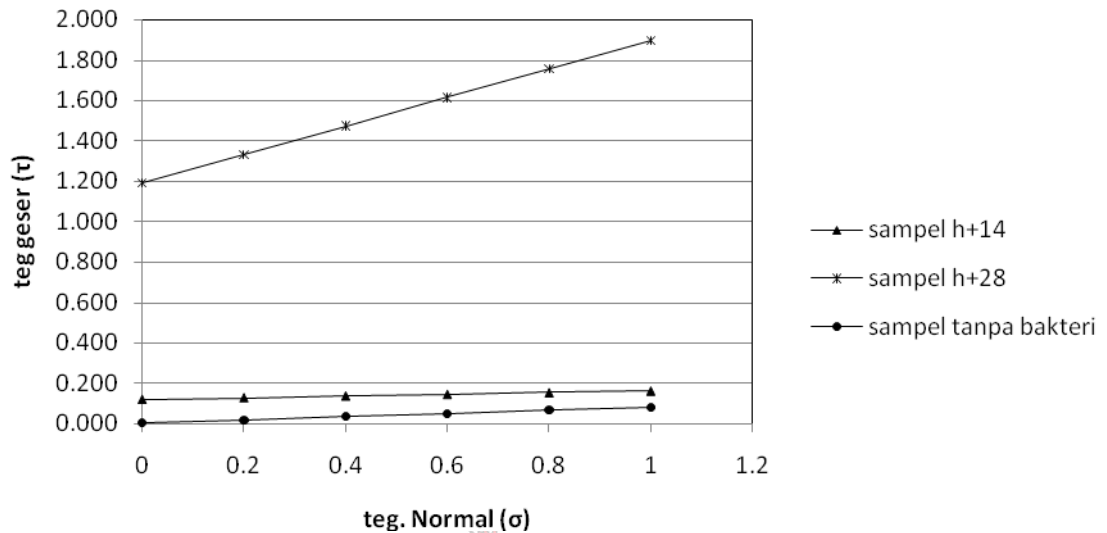


Gambar 4.5 Grafik Hubungan Tegangan Normal - Tegangan Geser Sampel 2x Injeksi

Pada pengujian sampel 2x injeksi ini terdapat dua buah sampel pengujian, yaitu sampel untuk pengujian hari ke-14 dan pengujian hari ke-28 serta satu sampel sebagai control terhadap sampel yang lain, yaitu sampel tanpa bakteri. Dari grafik dapat dilihat bahwa hasil pengujian untuk sampel hari ke-14 dan hari ke-28 berada di atas garis control (sampel tanpa bakteri).

Hal ini menunjukkan bahwa nilai tegangan geser yang terjadi pada sampel hari ke-14 dan hari ke-28 mengalami peningkatan yang signifikan terhadap nilai tegangan geser pada sampel tanah tanpa bakteri.

3. Sampel 3x Injeksi

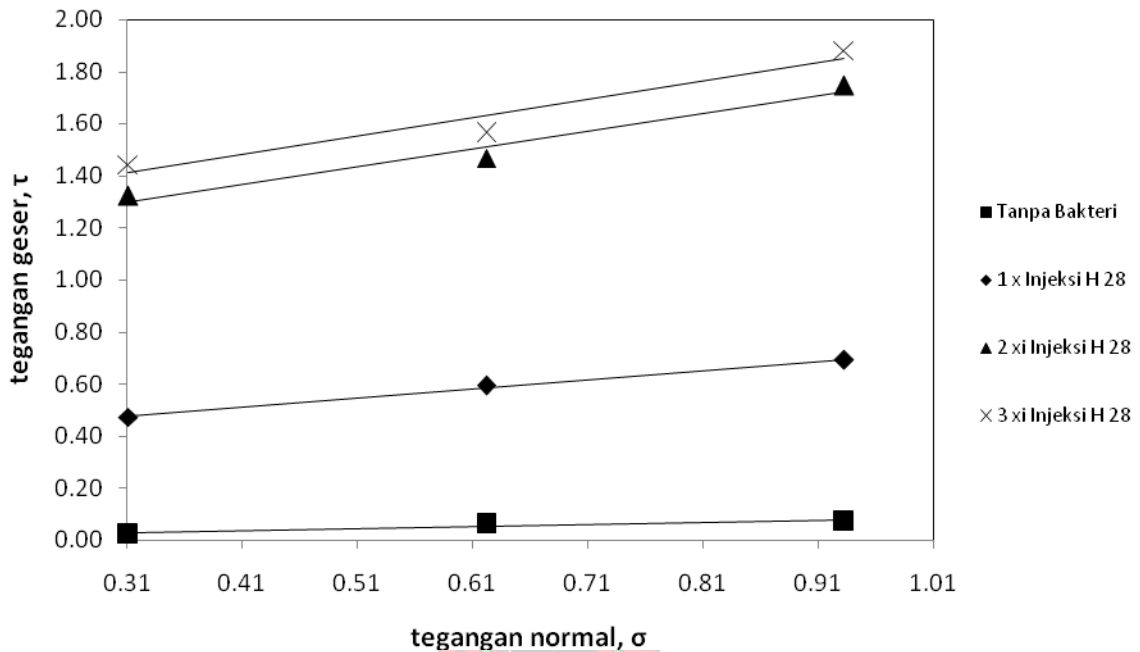


Gambar 4.6 Grafik Hubungan Tegangan Normal - Tegangan Geser Sampel 3x Injeksi

Sama seperti pengujian untuk sample 2x injeksi, pada pengujian sampel 3x injeksi ini terdapat dua buah sampel pengujian, yaitu sampel untuk pengujian hari ke-14 dan pengujian hari ke-28 serta satu sampel sebagai control terhadap sampel yang lain, yaitu sampel tanpa bakteri. Dari grafik dapat dilihat bahwa hasil pengujian untuk sampel hari ke-14 dan hari ke-28 berada di atas garis control (sampel tanpa bakteri).

Hal ini menunjukkan bahwa nilai tegangan geser yang terjadi pada sampel hari ke-14 mengalami sedikit peningkatan dibandingkan nilai tegangan geser sampel tanah tanpa bakteri. Sementara nilai tegangan geser pada sampel hari ke-28 mengalami peningkatan yang sangat drastis dibandingkan nilai tegangan geser sampel tanah tanpa bakteri.

4. Penggabungan Sampel



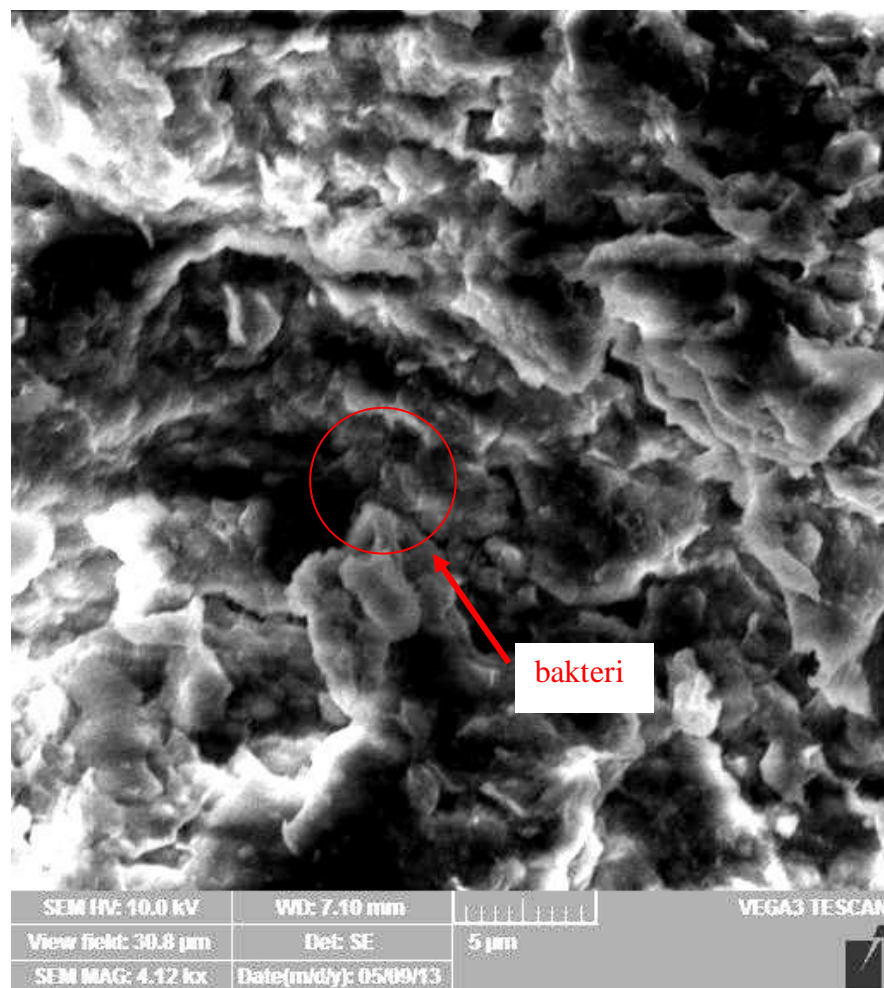
Gambar 4.7 Grafik Penggabungan Hubungan Tegangan Normal - Tegangan Geser Hari ke-28

Dari grafik penggabungan diatas dapat dilihat bahwa nilai tegangan geser pada pengujian sampel hari ke-28 selalu meningkat seiring dengan peningkatan nilai tegangan normal dan penambahan jumlah injeksi bakteri. Hal ini mengakibatkan peningkatan nilai kohesi dan nilai sudut geser dalam dari setiap variasi injeksi sampel.

4.4 Karakteristik Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)* Terhadap Sampel Biogrouting Tanah Pasir Berlempungdengan Larutan Bakteri *Bacillus subtilis*

Perubahan yang terjadi pada sampel pengujian akan dijelaskan berdasarkan gambar dibawah ini:

1. Sampel 1x injeksi dengan waktu pemeraman 28 hari

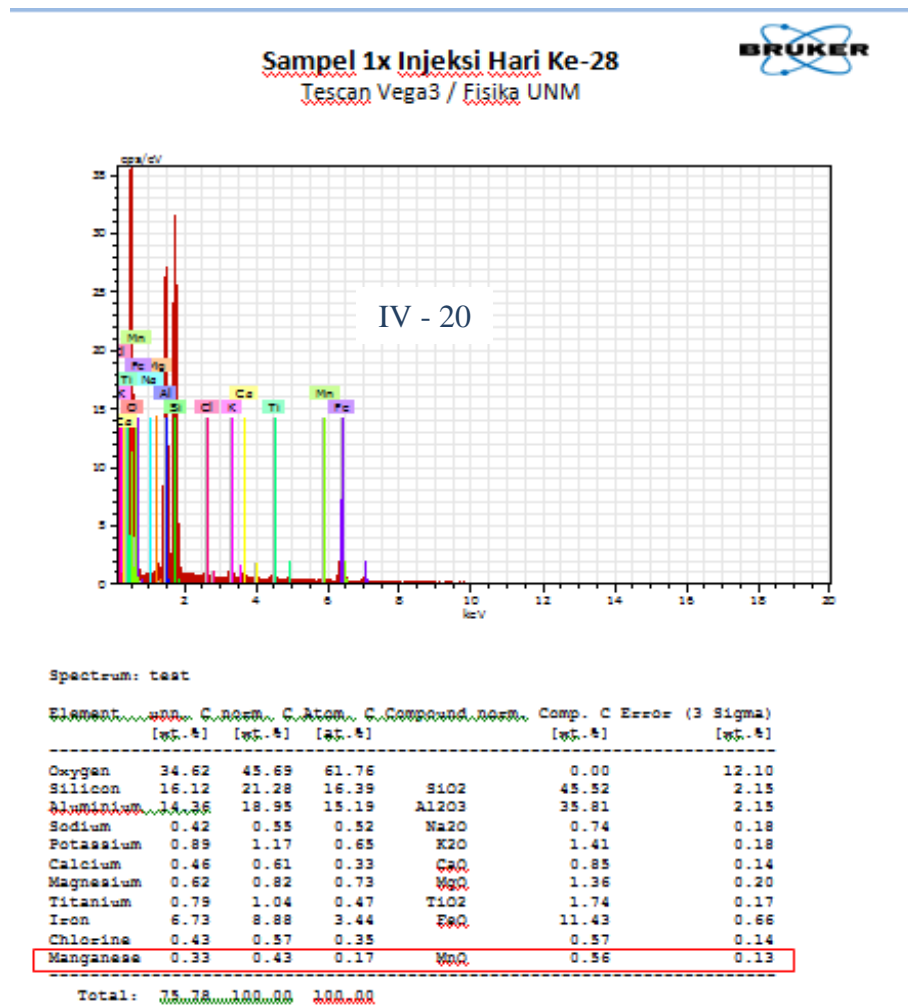


Gambar 4.8 Hasil Uji SEM Sampel 1x Injeksi Dengan Waktu Pemeraman 28 Hari

Pada pengujian ini, bakteri diinjeksi sebanyak satu kali (2cc). Perubahan yang terjadi pada tanah belum dapat terlihat secara signifikan. Namun bakteri yang berkembang di dalam tanah sudah dapat dilihat,

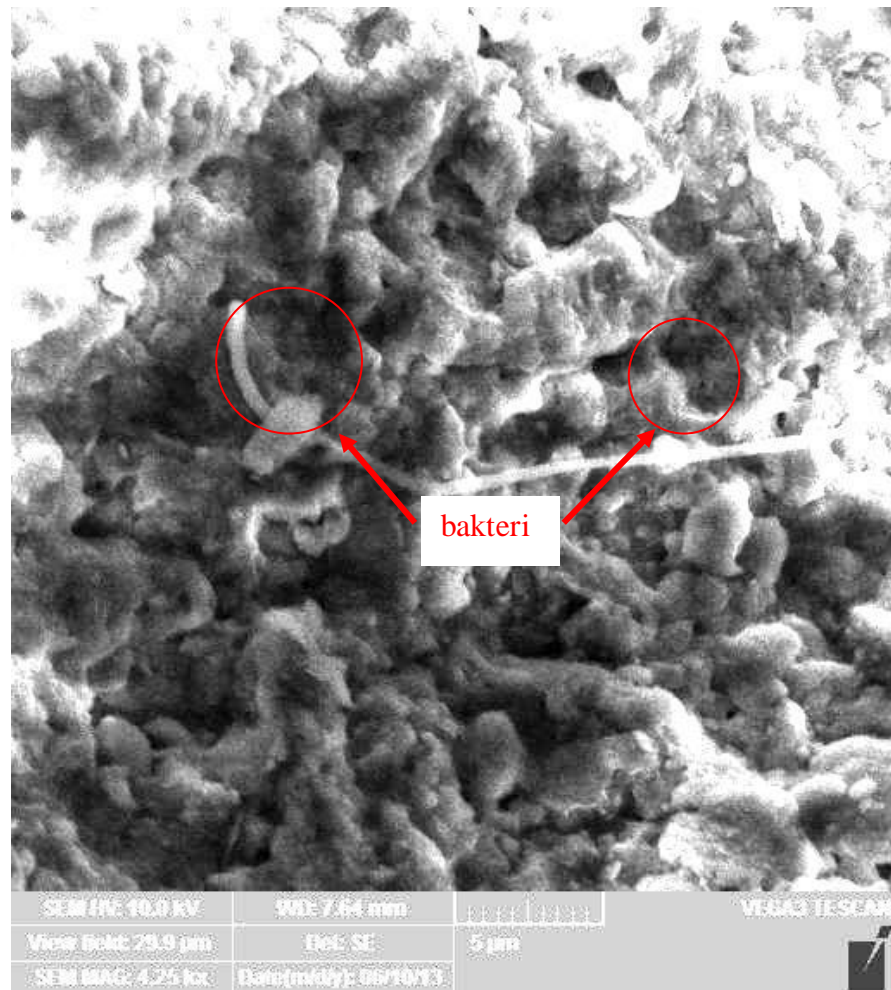
walaupun jumlahnya tidak begitu banyak. Hal ini karena kadar bakteri yang diinjeksikan sangat sedikit.

Pada pengujian ini muncul zat baru dalam tanah yang tidak ada pada tanah tanpa bakteri, yaitu Sodium, Calcium, Chlorine dan Manganese. Namun Sulfur tidak lagi ditemukan pada sampel tanah ini.



Gambar 4.9 Grafik EDS Hasil Uji SEM Sampel 1x Injeksi Dengan Waktu Pemeraman 28 Hari

2. Hasil uji SEM sampel 2x injeksi dengan waktu pemeraman 28 hari

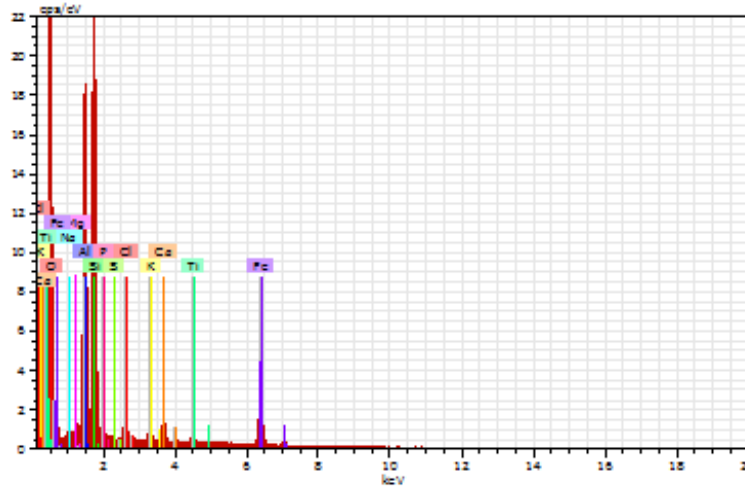


Gambar 4.10 Hasil Uji SEM Sampel 2x Injeksi Dengan Waktu Pemeraman 28 Hari

Pada pengujian ini, bakteri diinjeksi sebanyak dua kali (4cc). Perubahan yang terjadi pada tanah sudah dapat terlihat secara signifikan. Bakteri yang berkembang di dalam tanah pun sudah dapat dilihat, terutama perkembangbiakan dan pembelahannya. Jumlah bakteri yang dapat terlihat mulai bertambah. Hal ini karena kadar bakteri yang diinjeksikan juga bertambah.

Pada pengujian ini muncul zat baru dalam tanah yang tidak ada pada tanah tanpa bakteri yaitu Sodium, Calcium, Phosphorus, Chlorine.

Sampel 2x Injeksi Hari Ke-28
Tescan Vega3 / Fisika UNM

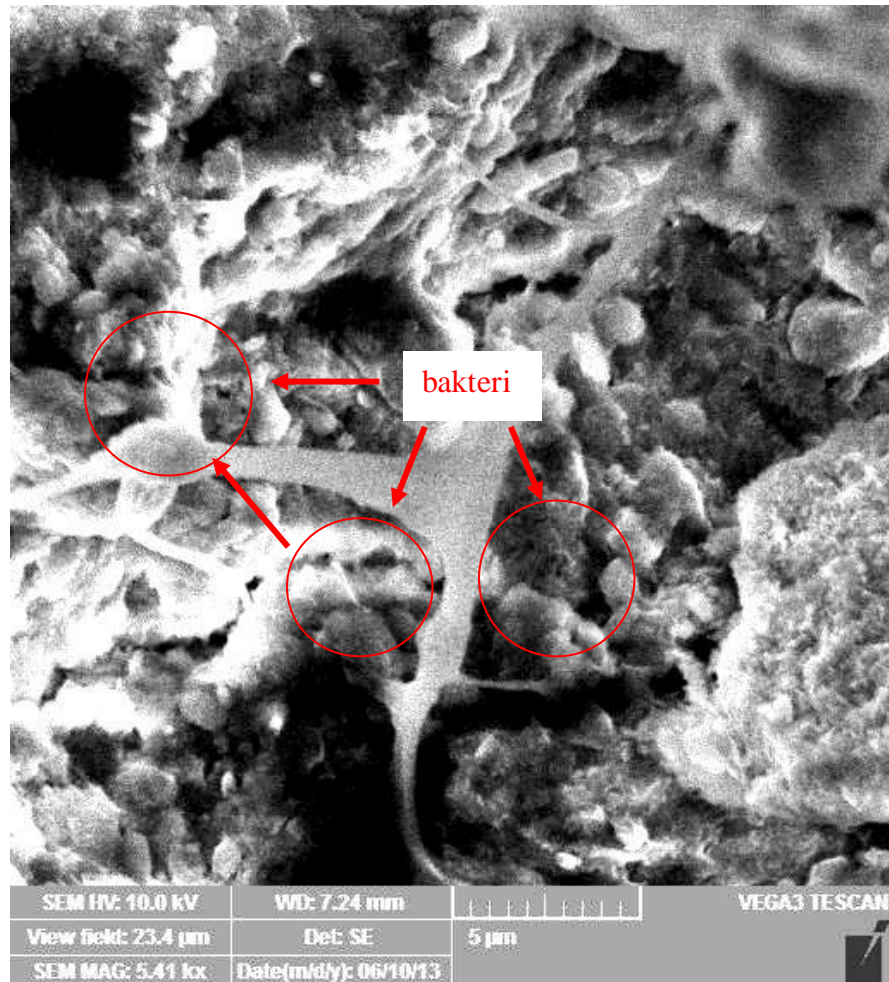


Spectrum: test

Element	Wt. %	Atom. %	Compound	Comp. %	Error (3 Sigma)	
Oxygen	31.69	45.06		0.00	11.30	
Silicon	14.81	21.06	SiO2	45.05	1.99	
Aluminum	12.37	17.58	Al2O3	33.22	1.87	
Sodium	0.48	0.68	Na2O	0.91	0.20	
Magnesium	0.57	0.81	MgO	1.34	0.19	
Potassium	0.78	1.11	K2O	1.34	0.17	
Calcium	1.30	1.84	CaO	2.58	0.22	
Titanium	0.71	1.01	TiO2	1.68	0.17	
Iron	6.28	8.93	FeO	11.48	0.64	
Phosphorus	0.23	0.33	P2O5	0.75	0.12	
Sulfur	0.02	0.03	SO3	0.06	0.08	
Chlorine	1.11	1.57		1.57	0.21	
Total:					70.32	100.00

Gambar 4.11 Grafik EDS Hasil Uji SEM Sampel 2x Injeksi Dengan Waktu Pemeraman 28 Hari

3. Hasil uji SEM sampel 3x injeksi dengan waktu pemeraman 28 hari



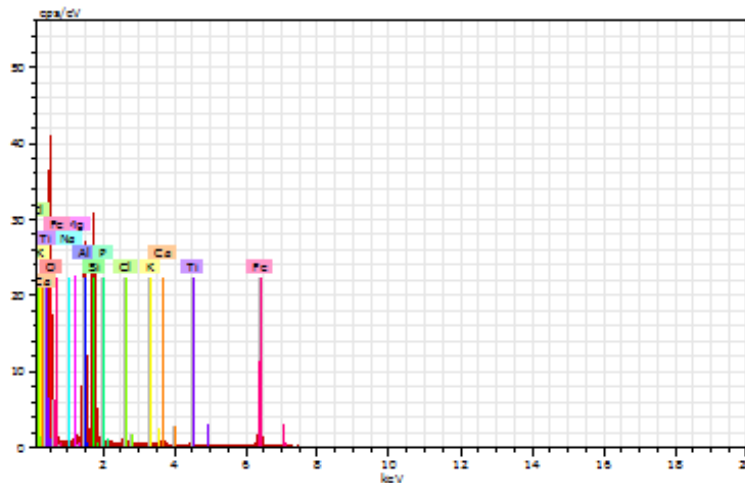
Gambar 4.12 Hasil Uji SEM Sampel 3x Injeksi Dengan Waktu Pemeraman 28 Hari

Pada pengujian ini, bakteri diinjeksi sebanyak tiga kali (6cc). Perubahan yang terjadi pada tanah terlihat secara signifikan. Bakteri yang berkembang di dalam tanah terlihat dengan jelas, terutama perkembangbiakan dan pembelahannya. Jumlah bakteri yang dapat

terlihat pun sudah cukup banyak. Hal ini karena kadar bakteri yang diinjeksikan juga cukup banyak.

Pada pengujian ini muncul zat baru dalam tanah yang tidak ada pada tanah tanpa bakteri yaitu Sodium, Calcium, dan Phosphorus.

Sampel 3x Injeksi Hari Ke-28
Tescan Vega3 / Fisika UNM



Spectrum: test

Element	WNN [wt.%]	C.Norm [wt.%]	C.Atom [wt.%]	C.Compound.norm.	Comp. C	Error (3 Sigma) [wt.%]
Oxygen	34.71	45.84	61.74		0.00	12.09
Silicon	15.98	21.11	16.19	SiO2	45.15	2.13
Aluminium	14.61	19.30	15.41	Al2O3	36.46	2.19
Sodium	0.46	0.60	0.57	Na2O	0.81	0.19
Magnesium	0.61	0.81	0.72	MgO	1.35	0.20
Potassium	0.48	0.64	0.35	K2O	0.77	0.14
Calcium	0.48	0.64	0.34	CaO	0.89	0.14
Phosphorus	0.26	0.35	0.24	P2O5	0.79	0.12
Titanium	0.59	0.77	0.35	TiO2	1.29	0.15
Iron	6.69	8.84	3.41	FeO	11.37	0.66
Chlorine	0.84	1.11	0.68		1.11	0.18
Total: 35.72 100.00 100.00						

Gambar 4.13 Grafik EDS Hasil Uji SEM Sampel 3x Injeksi Dengan Waktu Pemeraman 28 Hari

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil pengujian di laboratorium, dapat disimpulkan bahwa:

1. 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 dan nilai sudut geser dalam sebesar 35.07°.
2. Untuk memperoleh hasil stabilisasi yang optimum dibutuhkan larutan Bakteri *Bacillus subtilis*, larutan sementasi dan tanah pasir berlempung dengan perbandingan 1:1:11, yaitu 1 cc larutan Bakteri *Bacillus subtilis* berbanding 1 cc larutan sementasi berbanding 11 cm³ tanah pasir berlempung.
3. Karakteristik mekanis tanah yang mengalami stabilisasi optimum mengalami perubahan pada parameter kuat gesernya, yaitu:
 - a. Terjadi peningkatan nilai kohesi sebesar 297% terhadap nilai kohesi sampel tanah asli.
 - b. Terjadi peningkatan nilai sudut geser dalam sebesar 6,86 % terhadap nilai sudut geser dalam tanah asli.

5.2 SARAN

1. Sebaiknya penelitian yang dilakukan untuk pengujian karakteristik setelah pencampuran, dilakukan di satu tempat saja. Mengingat kondisi bakteri yang sangat sensitive terhadap pergerakan, sehingga akan sedikit menyulitkan jika bakteri harus dibawa ke daerah yang berjauhan. Apalagi dengan tingginya kemungkinan untuk terjadinya guncangan terhadap bakteri akan sangat mempengaruhi kualitas akhir dari kinerja bakteri itu sendiri
2. Sebaiknya alat-alat yang digunakan dalam penelitian terutama alat pengujian geser langsung diperbaiki dan dilengkapi lagi sehingga data yang diperoleh benar-benar valid.
3. Sebaiknya disediakan ruangan khusus untuk penyimpanan sampel agar sampel yang sementara diperam tidak terganggu sehingga memengaruhi kualitas akhir dari sampel.
4. Sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan terhadap permasalahan ini untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dengan ketelitian dan efektifitas alat yang lebih tinggi agar meminimalisasi kesalahan yang terjadi sehingga data dan hasil yang diperoleh lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- AkiyamaMasaru, (2010), Microbially mediated sand solidification using calcium phosphate compounds, Faculty of Engineering, Hokkaido University, Kata 13, Nishi 8, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido 060-8628, Japan
- Altschul SF, Thomas LM, Schaffer AA, Zhang J, Zhang Z, Miller W, Lipman DJ. 1997. Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs. *Nucleic Acids Res* 25:3389-402
- Biol. Biochem.* 31: 1563-1571 (<http://id.wikipedia.org/wiki/Bioremediasi>)
- Bowles, J.E. (1993), *AlihBahasaIr.JohanKelana Putra EdisiKedua, Sifat-SifatFisis Dan Geoteknis Tanah*, PenerbitErlangga, Jakarta.
- Brooker et al. (2008). *Biology*. McGraw-Hill. [ISBN 978-0-07-110200-1](https://doi.org/10.1002/9780711102001)
- Chen, F.H. (1988), *Foundation on Expansive Soils*, American Elsevier Science Publ., New york.
- Das, Braja M. (1995), *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsipRekayasaGeoteknis) Jilid I*, Erlangga, Jakarta.
- Dejong, J.T., B. M. Mortensen, B. C Martinez, D. C., Nelson . 2009. Bio-Mediated soil improvement. *Ecol, Eng.* Doi: 10.1016/j.ecolemg.2008.12.029.
- Dejong, (2006), Microbially Induced Cementation to Control Sand Response to Undrained Shear. *JOURNAL OF GEOTECHNICAL ANDGEOENVIRONMENTAL ENGINEERING © ASCE / NOVEMBER 2006 / 1391*
- Hardiyatmo, C. H. (2010), *Mekanika Tanah 1*, GadjahMada University Press, Jakarta.
- Holtz, R.D., and Kovacs, W.D. (1981), *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice Hall Civil Engineering and Engineering Mechanic Series.
- Karol, R.H.2003. *Chemical Grouting and Soil Stabilization*. New York. P558
- Keyka A. Hamed, Huad. K. B Bujang, Asadi A, Kawasaki S (2011) Electro-Biogroutingabd Its challenges, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 7 (2012)1196 – 1204.

- L. Cheng, (2012), In-Situ Soil Cementation with Ureolytic Bacteria by Surfa Percolation, Ecological Engineering, 42 . pp. 64-72.
- Lisdiyanti P, Suyanto E, Ratnakomala S, Fahrurrozi, Sari N.M, Gusmawati F.N (2011) Bacterial carbonate precipitation for biogrouting, Prosiding Simposium Nasional Ekohidrologi, PP 219-232.
- Lee, Young Nam. 2003. Calcite production by *Bacillus amyloliquefaciens* CMB01. Journal of Microbiology, Vol. 4, no. 4.
- Suprpto H, 2011. Application Of Microbiology To Improve Mechanical Properties Of Soil and Concrete. Faculty Of Engineering University Indonesia.
- Terzaghi, K dan R.B. Peck. (1987), Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa I, Alih bahasa Bagus, W., dan K. Benny. Erlangga, Jakarta.
- Van Paassen, LA, Biogrout, ground improvement by microbial induced carbonate precipitation, 2009, Delft University of Technology, pp 202.
- Wesley, L. D. (1977), Mekanika Tanah, Badan Penerbit Percetakan Umum, Jakarta.
- Wijngaarden V K.W M, Vermolen F.J, Meurs van M.A.G, Vuik C (2009) Modelling Biogrout: a new ground improvement method based on microbial induced carbonate precipitation, ISSN 1389-6520 Reports of the Delft Institute of Applied Mathematics Delft 2009.

LAMPIRAN TABEL SPESIFIKASI

1. TABEL PEMBAGIAN JENIS TANAH BERDASARKAN BERAT JENIS

Type Tanah	GS
Sand (Pasir)	2.65 – 2.67
Silty Sand (Pasir Berlanau)	2.67 – 2.70
Inorganic Clay (Lempung Inorganic)	2.70 – 2.80
Soil with mica or iron	2.75 – 3.00
Gambut	<2
Humus Soil	1.37
Grafel	>2.7

(Sumber: L. D. Wesley, Mektan, Cetakan IV hal. 5, tabel 1.1, Badan Penerbit Pekerjaan

Umum)

2. TABEL SISTEM KLASIFIKASI UNIFIED*

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	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerkil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SP	Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerkil, sedikit taua sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No.200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% 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 berkerkil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)
OL			Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%		MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomeae, atau lanau diatomeae, 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 (1982)

Berdasarkan tanah yang lolos ayakan 75 mm (3 in)

(Sumber: Braja M.Das (1995), Mekanika Tanah, Jilid I. Hal 71, Erlangga, Surabaya)

3. TABEL KLASIFIKASI TANAH UNTUK LAPISAN TANAH DASAR JALAN RAYA (SYSTEM AASHTO)

Klasifikasi tanah	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisaayakan (% lolos) No.10 No.40 No.100	Maks. 50 Maks. 30 Maks. 15	Maks. 50 Maks. 25	Min.51 Maks.1 0	Maks. 35	Maks. 35	Maks. 35	Maks. 35
Sifatfraksi yang lolos Ayakan No.40 Batas cair (LL) IndeksPlastisitas (IP)	Maks.6		NP	Maks. 40 Maks. 10	Min.4 1 Maks. 10	Maks. 40 Min.1 1	Min.4 1 Min.1 1
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlannau atau berlempung			
Penilaiansebagiaihantan ahdasar	Baiksekalisampaibaik						

Lanjutan..

Klasifikasitanah	Tanah lanau - lempung (Lebihdari 35% dariseluruhcontohtanahlolosayakan No.200			
Klasifikasikelompok	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-5'
Analisaayakan (% lolos) No.10 No.40 No.100	Maks.6	Min.36	Min.36	Min.36
Sifatfraksi yang lolos Ayakan No.40 Batas cair (LL) IndeksPlastisitas (IP)	Maks.40 Maks.10	Maks.41 Maks.10	Maks.40 Min.11	Min.41 Mn.11
Tipe material yang paling domonan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaiansebagai bahantanahdasar	Biasasampaijelek			

(Sumber: BrajaM.Das.(1995), Mekanika Tanah, Jilid I, Erlangga, Surabaya)

TABEL HUBUNGAN NILAI PI DENGAN SIFAT, MACAM TANAH DAN KOHESI

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
<7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7-17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber : Dr. Ir. Hary Christiady Hardiyatmo M.Eng, DEA. Mekanika Tanah I. Edisi- 3)

4. TABEL HUBUNGAN ANTARA SUDUT GESER DALAM DENGAN JENIS TANAH



Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (θ)
Kerikil kepasiran	$35^{\circ} - 40^{\circ}$
Kerikil kerakal	$35^{\circ} - 40^{\circ}$
Pasir padat	$35^{\circ} - 40^{\circ}$
Pasir lepas	30°
Lempung kelanauan	$25^{\circ} - 30^{\circ}$
Lempung	$20^{\circ} - 25^{\circ}$

(Sumber : Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 1)

5. TABEL RENTANG NILAI ϕ UNTUK PASIR

Jenis tanah	ϕ (sudut geser)
Pasir lepas	27 – 35
Pasir sedang	30 – 40
Pasir padat	35 – 45
Lempung berpasir	34 – 48
Lempung	26 – 35

6. TABEL HARGA KONSISTENSI TANAH BERDASARKAN HARGA KEKUATAN



Konsistensi	q_u	
	(ton/ft ²)	(kN/m ²)
Sangat lunak	0 - 0,25	0 – 23,94
Lunak	0,25 - 0,5	24 – 48
Menengah	0,5 - 1,48	48,1 – 96
Kaku	1,00 - 2,96	96,1 – 192
Sangat kaku	2,00 - 4,192	192,1 – 383
Keras	> 4	> 383

Sumber : Das Braja M, 1988

TANAH