

**STUDI EKSPERIMENTAL STABILISASI BIOGROUTING
BACILLUS SUBTILIS PADA TANAH LEMPUNG KEPASIRAN**

*EXPERIMENTAL ON SANDY CLAY SOIL
STABILIZATION BY BIOGROUTING BACILLUS SUBTILIS*

IFFAH FADLIAH



**PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

**STUDI EKSPERIMENTAL STABILISASI BIOGROUTING
BACILLUS SUBTILIS PADA TANAH LEMPUNG KEPASIRAN**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister Teknik

Program Studi

Teknik Sipil

Disusun dan Diajukan Oleh

IFFAH FADLIAH

Kepada

PROGRAM PASCA SARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

TESIS

STUDI EKSPERIMENTAL STABILISASI BIOGROUTING BACILLUS SUBTILIS PADA TANAH LEMPUNG KEPASIRAN

Disusun dan diajukan oleh

IFFAH FADLIAH

Nomor Pokok P2305211002

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasihat,

Dr. Eng. Tri Harianto, ST., MT.

Ketua

Ketua Program Studi
Teknik Sipil,

Dr. Puspita Lisdiyanti M, Agr. Sc

Anggota

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,

Dr. Rudy Djamaluddin, ST., M.Eng.

Prof. Dr. Ir. Mursalim.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Iffah Fadliah
Nomor Mahasiswa : P2305211002
Program Studi : Teknik Sipil
Konsentrasi : Geoteknik

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 19 Juli 2013
Yang menyatakan,

Iffah Fadliah

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wata'ala dengan selesainya tesis ini.

Gagasan yang melatari tajuk permasalahan ini timbul dari hasil pengamatan perbaikan tanah yang menggunakan bahan-bahan yang tidak ramah lingkungan sehingga penulis melakukan penelitian di laboratorium mekanika tanah untuk menganalisis pengaruh penambahan bakteri *Bacillus subtilis* pada tanah dengan cara *grouting*, diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti selanjutnya serta merupakan sumbangsi pemikiran perkembangan teknologi perkuatan tanah.

Banyak kendala yang di hadapi oleh penulis dalam rangka penyusunan tesis ini, berkat bantuan berbagai pihak maka tesis ini dapat selesai. Dalam kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih yang tak terhingga kepada Bapak Dr. Eng. Tri Harianto, ST., MT. sebagai Ketua Komisi Penasihat dan Ibu Dr. Puspita Lisdiyanti M, Agr, Sc. sebagai Anggota Komisi Penasihat atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mulai dari pengembangan minat terhadap permasalahan penelitian ini, pelaksanaan penelitian sampai dengan penulisan tesis ini. Rekan-rekan mahasiswa Pascasarjana Program Studi Teknik Sipil Konsentrasi Geoteknik angkatan 2011. Ucapan terimakasih secara khusus penulis sampaikan kepada orang tua tercinta Drs.H. M. Anas Ibrahim dan Hj. Makwani Tabroni Anas, special buat Aswadi, S.Kom dan

saudara-saudara penulis atas doa dan dorongan moril yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan,oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan tesis ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat dan digunakan untuk pengembangan wawasan serta peningkatan ilmu pengetahuan bagi kita semua termasuk penelitian lebih lanjut.

Makassar, 19 Juli 2013

Iffah fadhiah

ABSTRAK

IFFAH FADLIAH. Studi Eksperimental Stabilisasi Biogrouting *Bacillus Subtilis* Pada Tanah Lempung Kepasiran.(dibimbing oleh Tri Harianto dan Puspita Lisdiyanti)

Penelitian ini bertujuan untuk untuk menentukan komposisi optimum larutan bakteri *Bacillus subtilis* untuk stabilitasi tanah dan mengevaluasi karakteristik mekanis tanah yang telah distabilisasi dengan variasi larutan bakteri *Bacillus subtilis* dan larutan sementasi, dikombinasikan dengan variasi waktu pemeraman.

Penelitian ini menggunakan beberapa tahap, yaitu penumbuhan bakteri *Bacillus subtilis*, pembuatan larutan sementasi, dan pencampuran dengan cara grouting. Untuk pengujian tanah standar SNI dan ASTM. Pengujian dilakukan dengan model fisik laboratorium dengan pengujian Kuat tekan bebas, Permeabilitas dan Geser langsung yang masing-masing cetakan dirancang dengan ukuran 7.2 cm x 3.6 cm, 6 cm x 6.4 cm dan 2cm x 6.4 cm. dengan penginjeksian bakteri sebesar 1 (satu), 2 (dua), 3 (tiga), dan 4 (empat) kali injeksi serta variasi pemeraman selama 3, 7, 14, 21 dan 28 hari.

Dari hasil pengujian terhadap karakteristik mekanis (kuat tekan bebas, permeabilitas, dan geser langsung) didapatkan secara umum kadar optimum larutan bakteri *Bacillus subtilis* yang diinjeksikan ke dalam sampel tanah adalah empat kali (4) injeksi dengan masa pemeraman selama 28 hari. Dari hasil pengujian kuat tekan bebas didapatkan hasil peningkatan nilai kuat tekan terhadap nilai kuat tekan tanpa bakteri. Selanjutnya permeabilitas tanah yang distabilisasi dengan bakteri menunjukkan penurunan nilai koefisien permeabilitas. Kemudian hasil pengujian Geser langsung terjadi peningkatan nilai sudut geser seiring dengan penambahan volume bakteri kedalam sampel tanah.

Kata kunci : Biogrouting, *Bacillus subtilis*, Kuat tekan bebas, Permeabilitas, Geser Langsung

ABSTRACT

IFFAH FADLIAH. *Eksperimental On Sandy Clay Soil Stabilization By Biogrouting Bacillus Subtilis.*(Preceptor Tri Harianto dan Puspita Lisdiyanti)

This research aims to determine the optimum composition of the bacillus subtilis bacteria solution for soil stabilization and evaluate the mechanical characteristic of the soil that stabilized with variations bacillus subtilis bacteria solution and cementation solution, combined with variety of curing time.

The standard for soil testing of SNI and ASTM. Mechanical testing laboratory performed by unconfined compressive strength, permeability, and direct shear, which each mold designed with size 7.2 cm x 3.6 cm , 6cm x 6,6 cm, and 2cm x 6,4 cm. With bacteria injection is once, twice, thrice, and four times, and curing time is during 3, 7, 14, 21, and 28 days.

The result of mechanical characteristic test on soil, generally obtained optimum water content of solution bacillus subtilis are injected into the soil sample is four times with 28 days curing time. Of the test unconfined compressive strength result showed an increase compared to the unconfined compressive strength without bacteria. Permeability soil stabilized with bacteria showed decreased of permeability coefficient. Direct shear test result an increase in the value of friction angle is proportional to the additional volume of bacteria into the soil sample.

Keywords : Biogrouting, Bacillus subtilis, Unconfined compressive strength, Permeability, Direct Shear Test.

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR PERSAMAAN	xix
DAFTAR SIMBOL	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	3
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Stabilisasi Tanah	6
B. Biogrouting	8
C. Isolasi dan identifikasi bakteri penghasil enzim urease	10
1. Isolasi dan Purifikasi	10
2. Penampisan Aktivitas Enzim Urease	11

3. Uji Aktivitas Urease	12
4. Ekstraksi DNA	13
5. Amplifikasi gen 16S rRNA	13
6. Sekuensing gen rRNA dan Analisis Filogenetik	14
D. <i>Scanning Electron Mikroscope</i> (SEM)	15
E. X-ray diffraction (XRD)	17
F. Karakteristik Lempung	18
G. Penelitian Sifat Fisik Tanah	21
H. Penelitian Sifat Mekanik Tanah	21
1. Kekuatan Tekan Bebas	21
2. Pengujian Permeabilitas Tanah	23
3. Pengujian Geser Langsung	24
I. Penelitian Terdahulu	24
J. Kerangka Pikir Penulis	30
BAB III METODE PELAKSANAAN PENELITIAN	31
A. Lokasi Penelitian	31
B. Penyiapan Bahan dan Alat	31
1. Menyiapkan Material Bahan Uji	31
2. Penyiapan Alat	31
C. Bagan Alir Penelitian	32
D. Pekerjaan Laboratorium	33
E. Penumbuhan bakteri <i>Bacillus subtilis</i> , Pembuatan	

Larutan Sementasi, Perhitungan Koloni dan Pencampuran	34
1. Penumbuhan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	34
2. Pembuatan Larutan Sementasi 1.1 M	38
3. Perhitungan Total Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> Dengan Metode TPC	39
F. Pencampuran Larutan Bakteri, Larutan Sementasi dan Pemeraman	40
G. Pengujian Mikrostruktur Tanah Menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) dan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Tanah Lempung Kepasiran	43
H. Pengujian Tanah	44
I. Prosedur Pelaksanaan	45
J. Penyiapan Benda Uji	48
K. Metode Analisis	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	51
A. Karakteristik Mekanis Tanah Lempung Kepasiran	51
1. Sifat Indeks dan Teknis Tanah	54
2. Klasifikasi Tanah	54
B. Hasil <i>Scanning Electron Mikroskop</i> (SEM) dan <i>X-ray Diffraction</i> (XRD) Tanah Lempung Kepasiran Tanpa bakteri	56

1. <i>Scanning Electron Mikroscope</i> (SEM)	56
2. <i>X-ray Diffraction</i> (XRD)	57
C. Proses Pencampuran Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> Pada Tanah Lempung Kepasiran Dengan Menggunakan Cara Grouting	58
D. Hasil Pencampuran Mekanis Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> Pada Tanah Lempung Kepasiran	59
1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas	59
2. Permeabilitas	69
3. Geser Langsung	71
E. Hasil <i>Scanning Electron Mikroscope</i> (SEM) Setelah Dilakukan Proses Injeksi Larutan <i>Bacillus subtilis</i> dan Larutan Sementasi	76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	79
A. Kesimpulan	79
B. Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
1	Aktivitas tanah lempung	20
2	Specific gravity mineral-mineral penting pada tanah	20
3	Berat jenis Dari Berbagai Jenis Tanah	21
4	Kekuatan tekan bebas (q_u) tanah lempung dengan konsistensinya	23
5	Nilai-nilai koefisien rembesan	24
6	Sampel Pengujian untuk Tanah asli	41
7	Sampel Pengujian untuk campuran tanah asli dengan larutan bakteri <i>Bacillus subtilis</i> untuk pengujian Kuat Tekan Bebas	41
8	Sampel Pengujian untuk campuran tanah asli dengan larutan bakteri <i>Bacillus subtilis</i> untuk pengujian Permeabilitas.	42
9	Sampel Pengujian untuk campuran tanah asli dengan larutan bakteri <i>Bacillus subtilis</i> untuk pengujian Geser langsung	42
10	Standar Metode Pengujian Sifat Fisis Tanah	44
11	Standar Metode Pengujian Uji Sifat Mekanis Tanah	45
12	Hasil pengujian sifat fisis tanah	51
13	Hasil TPC Kultur Bakteri Biogrout yang diinjeksi	

	ketanah	58
14	Hasil pengujian Kuat tekan bebas	66
15	Hasil pengujian Kuat tekan bebas dalam satuan Mpa	67
16	Hasil pengujian Permeabilitas	71
17	Hasil pengujian Geser langsung	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
1	Berbagai tipe kalsit yang terbentuk dari a).Tipe sperulit dengan tekstur permukaan yang kasar b). Tipe rhombohedral (P3BG43) c).Tipe speherical vaterite (SA.08.6) d). Tipe trianguler	9
2	Penapisan bakteri pengendap karbonat. Hidrolisis urea oleh aktivitas enzim urease menyebabkan warna medium cair dari kuning menjadi ungu funchia/merah muda.	12
3	Skema Pembuatan bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	15
4	Observation using scanning electron microscopy (SEM)	16
5	Difraksi X-ray dari bidang kristal (<i>crystal planes</i>)	18
6	Kerangka pikir penelitian	30
7	Bagan alir tahapan Pelaksanaan Penelitian	32
8	Campuran bahan-bahan kimia dalam campuran larutan pertumbuhan bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	34
9	Dalam tabung eliyemeyer yang sudah tercampur larutan kimia dan air	35
10	Alat Autoclave	35
11	Isolat bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	36
12	Alat Laminar Airflow dan proses pencampuran isolate	

	bakteri kedalam larutan B4 didalam alat Laminar Airjlow	36
13	Isolat bakteri <i>Bacillus subtilis</i> dan larutan sementasi	37
14	Alat shaker dalam ruang shaker	37
15	Pencampuran larutan Urea dan larutan CaCl_2	38
16	Proses perhitungan total bakteri <i>bacillus subtilis</i>	39
17	Hasil biogrouting dengan bakteri <i>bacillus subtilis</i>	40
18	Gambar alat SEM	43
19	Gambar alat XRD	43
20	Grafik analisa butiran tanah	54
21	Grafik hubungan kadar air dan berat isi kering tanah asli	54
22	Hasil Scanning Electron Mikroscope (SEM) tanah lempung kepasiran.Foto pengujian sampel	56
23	Hasil X-ray diffraction (XRD) tanah lempung kepasiran	57
24	Grafik hubungan tegangan dan regangan pemeraman 3 hari	59
25	Foto sampel tanah pemeraman 3 hari untuk pengujian kuat tekan	60
26	Grafik hubungan tegangan dan regangan masa pemeraman 7 hari	61
27	Foto sampel tanah pemeraman 7 hari untuk pengujian kuat tekan	61
28	Grafik hubungan tegangan dan regangan masa	

	pemeraman 14 hari	62
29	Foto sampel tanah pemeraman 14 hari untuk pengujian kuat tekan	63
30	Grafik hubungan tegangan dan regangan masa pemeraman 21 hari	64
31	Foto sampel tanah pemeraman 21 hari untuk pengujian	64
32	Grafik hubungan tegangan dan regangan masa pemeraman 28 hari	65
33	Foto sampel tanah pemeraman 28 hari untuk pengujian kuat tekan	66
34	Grafik hubungan tegangan dan regangan pada injeksi 2x	67
35	Grafik hubungan tegangan dan regangan pada injeksi 3x	68
36	Grafik hubungan tegangan dan regangan pada injeksi 4x	69
37	Grafik hubungan Koefisien permeabilitas dan Jumlah Injeksi	70
38	Grafik hubungan Koefisien permeabilitas dan Waktu Pemeraman	71
39	Grafik hubungan tegangan geser dan tegangan normal pada injeksi 1x	73

40	Grafik hubungan tegangan geser dan tegangan normal pada injeksi 2x	74
41	Grafik hubungan tegangan geser dan tegangan normal pada injeksi 3x	74
42	Grafik hubungan tegangan geser dan tegangan normal dengan variasi injeksi dengan masa pemeraman 28 hari	75
43	Hasil <i>Scanning Electron Mikroscope</i> (SEM) injeksi bakteri <i>Bacillus subtilis</i> dengan variasi masa pemeraman. (a) tanpa bakteri, (b) pemeraman 3 hari, (c) pemeraman 7 hari, (d) pemeraman 14 hari, (e) pemeraman 21 hari, (f) pemeraman 28 hari.	76
44	Hasil <i>Scanning Electron Mikroscope</i> (SEM) Injeksi bakteri <i>Bacillus subtilis</i> yang mengalami perkembangbiakan didalam pori tanah	78

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan		Halaman
1	Regangan aksial	22
2	Koreksi Luas	22
3	Tegangan	22
4	Koefisien Permeabilitas	23
5	Koefisien Permeabilitas pada suhu 20°	23
6	Larutan Urea	38
7	Larutan CaCl ₂	38

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
CaCO_3	Calcium carbonate
NaHCO_3	Sodium hydrogen bicarbonate
NH_4Cl	Amonium klorida
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Calcium chlorida dihidrat
Na_2HPO_4	Natrium hidrogen posfat
KH_2PO_4	Kalium hidrogen posfat
NaOH	Natrium hidroksida
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Amonium sulfat
NH_3	Amoniak
CPC	Calcium Phosphate Compounds
MICP	Microbially Induced Carbonate Precipitation
pH	Derajat keasaman
g	Gram
L	Liter

°C	Celsius
rpm	Rotasi permenit
cc	Cubic centimeter
μl	Mikro liter
mM	Milli molar
ml	Mili liter
cm	Sentimeter
mm	Milli meter
μm	Mikro meter
γd	Kepadatan kering
%	Persen
qu	Kuat Tekan Bebas
A	Luas Sampel
LRC	Kalibrasi Alat Kuat Tekan
kg	Kilo gram
δh	Pembacaan deformasi
ε	Regangan

P	Pembacaan aksia
A_0	Luas awal
σ	Tegangan
h	Tinggi
CBR	California bearing ratio
μmol	Mikro mol
DNA	Asam deoksiribonukleat
rRNA	Ribosom ribonucleic acid
PCR	Polymerase chain reaction
ASTM	American society for testing and materials
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
SNI	Standar nasional Indonesia
USCS	Unified Soil Classification System

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Tanah mempunyai karakteristik yang berbeda-beda, tanah lempung terutama lempung lunak mempunyai daya dukung sangat kecil sehingga hal tersebut banyak menjadi masalah pada pekerjaan di bidang teknik sipil. Kerusakan struktur bisa terjadi akibat penurunan tanah terutama pada jenis tanah yang memiliki potensi penurunan yang besar seperti lempung lunak.

Tanah merupakan komponen yang paling penting dalam semua pekerjaan yang berhubungan dengan pembangunan dari pondasi konstruksi/struktur suatu bangunan. Namun seringkali di lapangan dijumpai kerusakan-kerusakan pada lapisan perkerasan, hal tersebut disebabkan oleh lapisan tanah dasar yang mengalami penurunan pada saat lapisan atas menerima beban.

Oleh sebab itu para perencana harus mengetahui karakteristik tanah pada lokasi dimana akan dibangun suatu konstruksi bangunan. Kerusakan struktur bisa terjadi akibat penurunan tanah terutama pada jenis tanah yang memiliki potensi penurunan yang besar seperti lempung lunak. Tanah dasar yang baik dan stabil merupakan syarat bagi kemampuan konstruksi dalam memikul beban di atasnya. Usaha-usaha

untuk memperbaiki sifat tanah yang mengandung sifat kembang susut besar telah banyak dilakukan dengan metode stabilisasi tanah, diantaranya stabilisasi yaitu menggunakan metode grouting yang tidak ramah lingkungan yang biasanya berupa suspensi (semen, lempung-semen, *pozzolan*, *bentonite*, dsb) atau emulsi (aspal, dsb) (Xanthakos et al., 1994; Karol, 2003). Semua bahan kimia untuk grouting, kecuali sodium silikat adalah toksik dan atau berbahaya (Karol, 2003; van Paassen, 2009).

Oleh sebab itu kami mencari alternatif metode grouting yang ramah lingkungan, yaitu dengan pemanfaatan mikroorganisme yang berasal dari bakteri karena dapat menghasilkan kalsit/kristal kalsium karbonat yang bisa merubah butiran pasir menjadi batuan pasir, metode ini disebut dengan biogrouting.

B. Rumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Umumnya penggunaan material stabilisasi tanah tidak ramah lingkungan.
2. Dibutuhkan upaya untuk menggunakan material yang ramah lingkungan dan mudah didapatkan, seperti material dari biogrouting
3. Untuk mengetahui pengaruh pencampuran larutan bakteri *Bacillus subtilis* pada tanah lempung kepasiran.

C. Tujuan Penelitian

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

1. Menentukan komposisi optimum larutan bakteri *Bacillus subtilis* untuk stabilitasi tanah
2. Mengevaluasi karakteristik mekanis tanah yang telah distabilisasi dengan variasi larutan bakteri *Bacillus subtilis* dan larutan sementasi, dikombinasikan dengan variasi waktu pemeraman.

D. 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 batasan adalah hal-hal sebagai berikut :

1. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung kepasiran yang diambil dari kota Makassar.
2. Penelitian hanya terbatas pada sifat-sifat fisik dan mekanis tanah lempung kepasiran, tidak menganalisis unsur kimia tanah lempung kepasiran.
3. Pengujian Kuat Tekan Bebas yang dipergunakan adalah berdasarkan metode SNI 03-3638-1994/ASTM D. 2166.
4. Pengujian Permeabilitas yang dipergunakan adalah berdasarkan metode ASTM D. 2434-68.

5. Pengujian Geser langsung yang dipergunakan adalah berdasarkan metode ASTM D. 3080-04.
6. Variasi persentase larutan sementasi dan larutan bakteri *Bacillus subtilis* untuk percobaan kuat tekan bebas.
 - a. Tanah Lempung Kepasiran + 0 cc larutan bakteri *Bacillus subtilis*
 - b. Tanah Lempung Kepasiran + 6 cc larutan sementasi + 6 cc larutan bakteri *Bacillus subtilis* (2 kali)
 - c. Tanah Lempung Kepasiran + 9 cc larutan sementasi + 9 cc larutan bakteri *Bacillus subtilis* (3 kali)
 - d. Tanah Lempung Kepasiran + 12 cc larutan sementasi + 12 cc larutan bakteri *Bacillus subtilis* (4 kali)
7. Variasi persentase larutan sementasi dan larutan bakteri *Bacillus subtilis* untuk percobaan Permeabilitas
 - a. Tanah Lempung Kepasiran + 0 cc larutan bakteri *Bacillus subtilis*
 - b. Tanah Lempung Kepasiran + 16 cc larutan sementasi + 16 cc larutan bakteri *Bacillus subtilis* (2 kali)
 - c. Tanah Lempung Kepasiran + 24 cc larutan sementasi + 24 cc larutan bakteri *Bacillus subtilis* (3 kali)
 - d. Tanah Lempung Kepasiran + 32 cc larutan sementasi + 32 cc larutan bakteri *Bacillus subtilis* (4 kali)
8. Variasi persentase larutan sementasi dan larutan bakteri *Bacillus subtilis* untuk percobaan Permeabilitas Geser langsung
 - a. Tanah Lempung Kepasiran + 0 cc larutan bakteri *Bacillus subtilis*

- b. Tanah Lempung Kepasiran + 2 cc larutan sementasi + 2 cc larutan bakteri *Bacillus subtilis* (1 kali)
- c. Tanah Lempung Kepasiran + 4 cc larutan sementasi + 4 cc larutan bakteri *Bacillus subtilis* (2 kali)
- d. Tanah Lempung Kepasiran + 6 cc larutan sementasi + 6 cc larutan bakteri *Bacillus subtilis* (3 kali)

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

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

E. Manfaat Penelitian

- 1. Untuk mengetahui pengaruh pencampuran larutan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap stabilisasi tanah lempung kepasiran.
- 2. Penggunaan alternatif material stabilisasi tanah yang lebih ramah lingkungan dengan metode biogrouting menggunakan larutan bakteri *Bacillus subtilis* yang tidak pathogen.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah disebut dengan perbaikan tanah di bidang rekayasa teknik sipil. Stabilisasi dapat dilaksanakan dengan menambah sesuatu bahan atau komposit tertentu untuk menambah kekuatan pada tanah. Tujuan dari stabilisasi tanah yaitu untuk meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dalam menahan serta meningkatkan stabilitas tanah.

Menurut *Bowles (1986)* stabilisasi dapat berupa :

1. Meningkatkan kerapatan tanah
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul
3. Menambah material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisik dari material tanah
4. Menurunkan muka air tanah
5. Mengganti tanah yang buruk

Pada umumnya ada dua cara stabilisasi tanah, yaitu dengan cara mekanis dan cara kimiawi. Stabilisasi tanah secara mekanis bertujuan untuk mendapatkan tanah yang bergradasi baik (*well graded*) sedemikian rupa sehingga dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Prinsipnya stabilisasi tanah secara mekanis adalah dengan penambahan kekuatan dan daya dukung terhadap tanah dengan mengatur gradasi dari butir

tanah yang bersangkutan sehingga dapat meningkatkan kepadatannya, menambah dan mencampur tanah yang ada (*natural soil*) dengan jenis tanah yang lain sehingga mempunyai gradasi baru yang lebih baik adalah contoh stabilisasi tanah secara mekanis. Yang perlu diperhatikan dalam stabilisasi tanah secara mekanis adalah gradasi butir tanah yang secara kimiawi yang memiliki daya ikat (*binder soil*) dan kadar air.

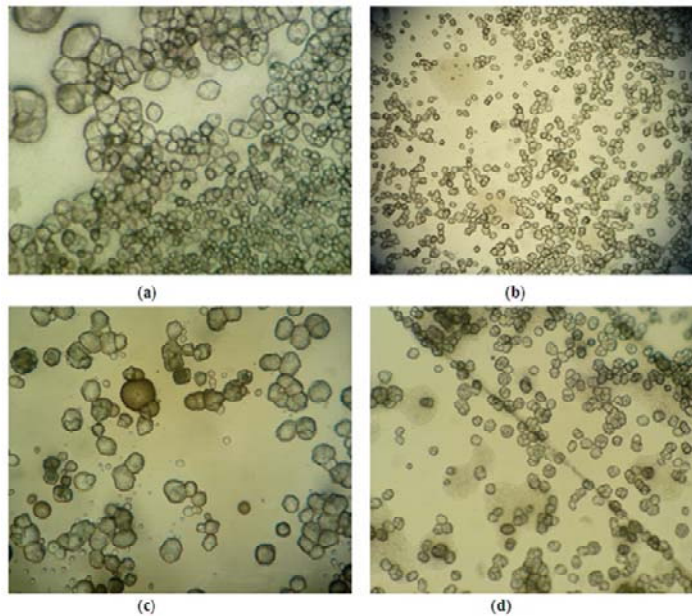
Perbaikan kualitas tanah harus segera dilakukan dengan cara stabilisasi tanah, jika tanah asli yang digunakan sebagai landasan suatu perkerasan jalan memiliki kualitas daya dukung yang kurang baik untuk dijadikan sebagai lapisan tanah dasar maupun sebagai material timbunan. Pemilihan kualitas jenis tanah yang dapat dijadikan tanah dasar melalui penyelidikan tanah menjadi penting karena tanah dasar akan sangat menentukan tebal lapis perkerasan di atasnya, sifat fisik perkerasan di kemudian hari, dan kelakuan perkerasan seperti deformasi permukaan dan lain sebagainya. Kekuatan yang tidak memadai (ketahanan terhadap deformasi) merupakan masalah yang sering dijumpai pada pelaksanaan konstruksi jalan dan merupakan penyebab kerugian secara ekonomis atau juga bisa menyebabkan terjadi kecelakaan. Perbaikan tanah pada lapis tanah dasar (*subgrade*) dengan stabilisasi merupakan suatu pilihan untuk mengatasi kondisi tersebut. Maksud dari stabilisasi lapisan tanah dasar (*subgrade*) pada konstruksi jalan adalah suatu usaha untuk perbaikan sifat-sifat tanah eksisting agar memenuhi spesifikasi teknis. Untuk sistem

struktur perkerasan jalan, sifat-sifat ini diharapkan agar bisa memenuhi sebagai bagian dari lapisan perkerasan.

B. 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 pada Gambar 1 (DeJong et al., 2006; Lee, 3003).

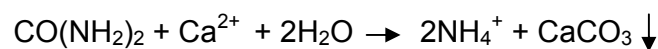


Gambar 1. Berbagai tipe kristal kalsit yang terbentuk dari aktivitas enzim urease bakteri biogrouting (20x). a) tipe sperulit dengan tekstur permukaan yang kasar (2.1.4), b) tipe rhombohedral (P3BG43), c) tipe spherical vaterite (SA.08.6), d) tipe trianguler (3.2.2) (Lisdiyanti, 2011)

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:



C. Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Penghasil Urease Atau Untuk Biogrouting

Bakteri penghasil urease atau (bakteri biogroting) dapat ditemukan di alam. Pada penelitian ini yang dilakukan oleh Lisdiyanti dkk (2010,2011) telah dilakukan isolasi dan purifikasi bakteri penghasil urease dari berbagai daerah di Indonesia.

1. Isolasi Dan Purifikasi

Pengambilan sampel dilakukan di lokasi Grasberg (Papua), Gua Selarong dan Pantai Parang Tritis (Yogyakarta), Taman Nasional

Bantimurung, Benteng Rotterdam, Pulau Lae-Lae dan Pulau Samalona (Sulawesi Tenggara) yang meliputi pengambilan sampel tanah, pasir, air laut, dan batuan. Metode isolasi bakteri biogrouting dilakukan dengan metode cawan tuang pada media B4 agar yang terdiri dari 3 g *nutrient broth*, 20 g urea, 2,12 g NaHCO_3 , 10 g NH_4Cl , 4,41 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 1 L air distilasi, dan 15 g agar jika diperlukan (Hammes *et al.* 2003). Koloni bakteri yang membentuk kristal bila dilihat menggunakan mikroskop selanjutnya diisolasi dan dimurnikan

2. Penapisan Aktivitas Enzim Urease

Sebanyak 1 ose bakteri biogrouting diinokulasikan ke dalam medium urea broth lalu diinkubasi pada suhu 30°C selama 3 hari. Kemudian diamati isolat yang menghasilkan urease. Isolat bakteri yang memiliki aktivitas urease positif akan mengubah warna media cair dari warna kuning menjadi warna merah muda fuchsia terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Penapisan bakteri pengendap karbonat. Hidrolisis urea oleh aktivitas enzim urease menyebabkan warna medium cair dari kuning menjadi ungu fuchsia/merah muda (Lisdiyanti, 2011)

3. Uji Aktivitas Urease

Bakteri biogrouting ditumbuhkan dalam media produksi enzim, diinkubasi pada inkubator bergoyang 150 rpm, suhu 30°C sampai produksi enzim optimum. Aktivitas urease diukur menggunakan metode Weatherburn (1967) yang dimodifikasi, yaitu Na_2HPO_4 digunakan dalam larutan alkalin hipoklorit dibandingkan NaOH dan waktu pembentukan warna diperpanjang dari 20 menit menjadi 30 menit. Reaksi dilakukan dalam tabung eppendorf yang berisi 100 μl sampel, 500 μl urea 50 mM dan 500 μl Bufer KH_2PO_4 100 mM (pH 8,0) sehingga total volume adalah 1,1 ml. Campuran reaksi diinkubasi dalam inkubator bergoyang suhu 37°C selama 30 menit. Reaksi dihentikan dengan mentransfer 50 μl campuran reaksi ke dalam tabung yang berisi 500 μl larutan phenol-sodium

nitroprusside. Sebanyak 500 µl larutan alkalin hipoklorit ditambahkan ke dalam tabung dan diinkubasi pada suhu ruang selama 30 menit. Selanjutnya kerapatan/densitas bakteri yang telah tumbuh diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 630 nm dan dibandingkan dengan kurva standar $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Satu Unit aktivitas urease adalah jumlah enzim yang dibutuhkan untuk membebaskan 1 µmol NH_3 dari urea per menit dalam kondisi assay standar.

4. Ekstraksi DNA

DNA genom bakteri diekstraksi menggunakan *InstaGene Matrix Kit* (BioRad). Koloni bakteri berumur 1 hari disuspensikan pada 1.0 mL air steril, disentrifugasi pada 10.000-12.000 rpm selama 1 menit, supernatan dibuang, dan pelet diresuspensi dengan InstaGene matrix sebanyak 50 µl untuk melisiskan/melarutkan dinding sel dari bakteri. Larutan suspensi bakteri diinkubasi pada 56°C selama 15-30 menit, divorteks selama 10 detik, diinkubasi pada 100°C selama 8 menit, divorteks kembali 10 detik, dan disentrifugasi pada 10,000-12,000 rpm selama 2-3 menit untuk memisahkan larutan DNA dan sel debris. Supernatan yang mengandung DNA disimpan pada -20°C sebelum digunakan.

5. Amplifikasi Gen 16S rRNA

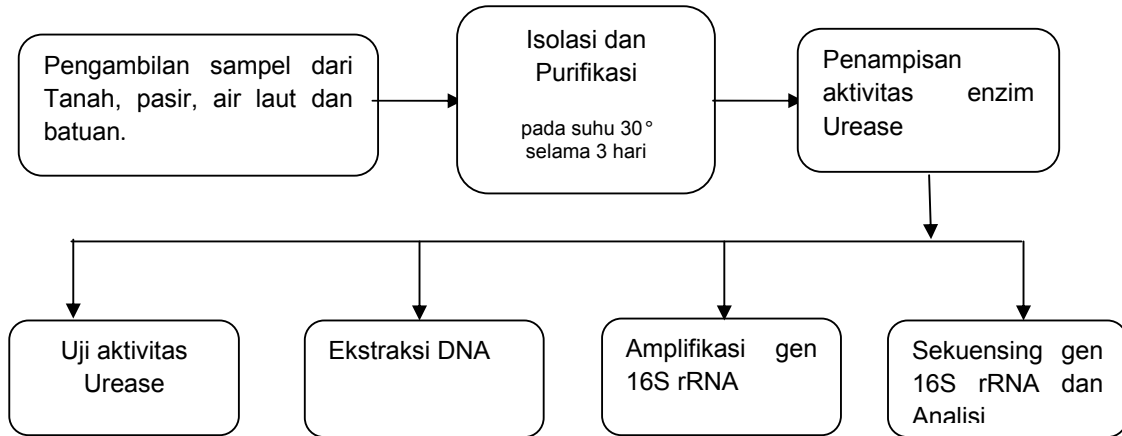
Identifikasi bakteri potensial dilakukan secara molekuler, dengan menganalisis sebagian gen 16S rRNANYA. Gen 16S rRNA diamplifikasi dengan PCR menggunakan primer 9F (5'-AGRGTTTGATCMTGGCTCAG-3') dan 1492R (1492R: 5'-TACGGYTACCTTGTTAYGACTT-3') (Posisi

penomoran urutan basah berdasarkan pada *Escherichia coli* numbering system (accession number V00348, Brosius *et al.* 1981). Adapun kondisi reaksi PCR adalah 95°C, 2 menit (1 siklus); 95°C, 30 detik, 65°C, 1 menit, 72°C, 2 menit (10 siklus); 95°C, 30 detik, 55°C, 1 menit, 72°C, 2 menit (30 siklus); serta 72°C, 2 menit (1 siklus). Purifikasi gen hasil PCR dilakukan menggunakan kit Pregman dan dikerjakan sesuai petunjuk kerja. Initial denaturation (96°C selama 5 menit), Denaturation (96°C selama 0.3 menit), Annealing (55°C selama 0.3 menit).

6. Sekuensing Gen 16S rRNA dan Analisis Filogenetik

Urutan sekuen gen 16S rRNA dianalisis dengan menggunakan mesin otomatis DNA sequencer di PT. Genetika Science, Indonesia. Informasi urutan basa didapatkan dari hasil sekuen kemudian dilacak keserupaannya dengan data base GeneBank/DDBJ/EMBL berdasarkan BLAST (Altschul *et al.* 1997). Proses penyejajaran sekuen dengan menggunakan program ClustalX (Thompson *et al.*, 1994), jarak matriks dihitung menggunakan metoda 2 parameter dari Kimura (1980) dalam Lisdiyanti (2011), dan pohon genetik dibentuk dengan menggunakan program neighbor-joining (NJ) Saitou dan Nei, (1987) dalam Puspita Lisdiyanti (2011).

Skema Pembuatan bakteri *Bacillus subtilis*



Gambar 3. Skema Isolasi dan Identifikasi bakteri *Bacillus subtilis* dari alam Indonesia

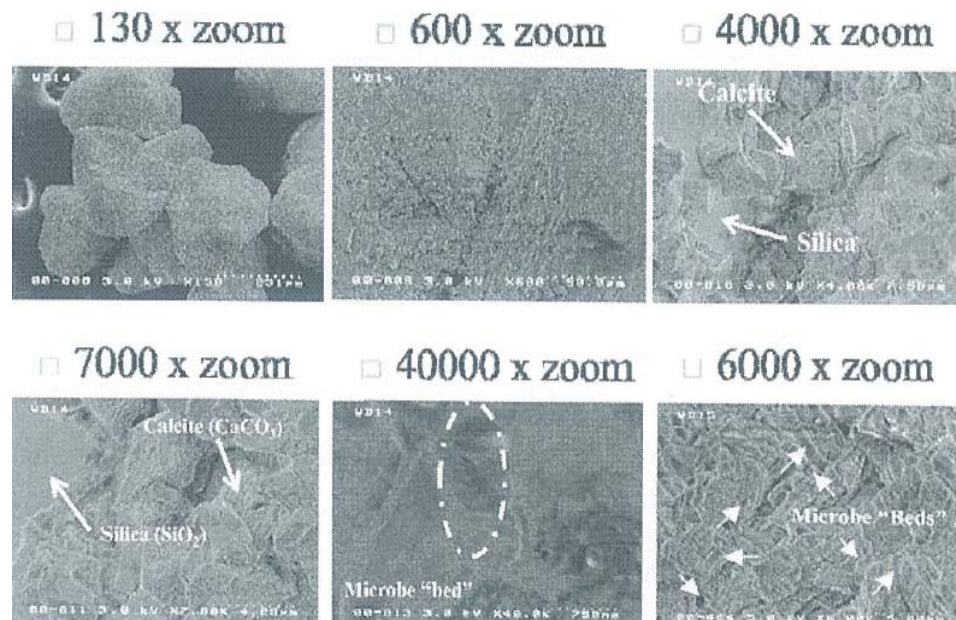
D. Scanning Electron Mikroscope (SEM)

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.

SEM banyak digunakan untuk analisa permukaan material, SEM juga dapat digunakan untuk menganalisa data kristalografi, 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 lainya 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 *dispaly console*, pada Gambar 4.

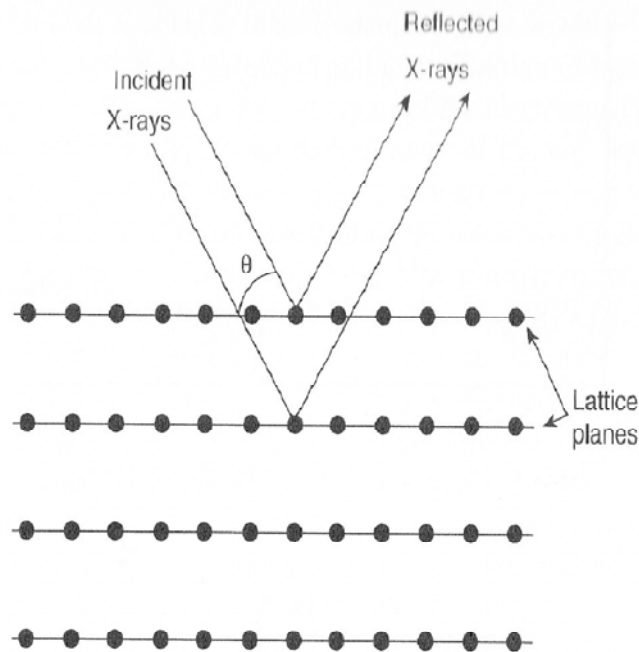


Gambar 4. Observation using scanning electron microscopy (SEM) (Brian C. et.al. ASCE. 2009)

E. 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 amorfos 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 5. Difraksi X-ray dari bidang kristal (*crystal planes*)

F. Karakteristik Lempung

1. Karakteristik Umum 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 pada. 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 1. 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. Specific gravity mineral-mineral penting pada tanah

Mineral	Specific gravity
Quarts (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)

G. Penelitian Sifat Fisis Tanah

1. Kadar Air
2. Berat Jenis

Tabel 3 . Berat jenis Dari Berbagai Jenis Tanah

Macam Tanah	Berat jenis Gs
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)

3. Analisis pembagian butir (Grain size analysis)
4. Batas-batas Atterberg

H. Penelitian Sifat Mekanis Tanah

1. Kekuatan Tekan Bebas (*Unconfined compressive strength*)

Parameter kuat geser tanah ditentukan dari pengujian-pengujian laboratorium pada benda uji yang diambil dari lokasi lapangan hasil pengeboran yang dianggap mewakili (Hardiyatmo, 2010)

Ada beberapa cara untuk menentukan kuat geser tanah, salah satu diantaranya adalah pengujian tekan bebas. Pemeriksaan ini dimaksudkan

untuk menentukan besarnya kekuatan tekan bebas contoh tanah dan batuan yang bersifat kohesif dalam keadaan asli maupun buatan. Yang dimaksud dengan kekuatan tekan bebas ialah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20%. Pada Tabel 4 memperlihatkan kekuatan tekan bebas (q_u) tanah lempung dengan konsistensinya.

Analisa perhitungan jika diketahui : A = luas sampel (cm^2), LRC = kalibrasi alat kuat tekan (kg/div) dan δh = pembacaan deformasi (mm), diperoleh rumus :

a. Regangan aksial

$$\varepsilon = \frac{\delta h}{h} \quad (1)$$

b. Gaya Aksial

P = Pembacaan gaya aksial

c. Koreksi Luas

$$A = A_0 / (1 - \delta h / h) \quad (2)$$

d. Tegangan

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3)$$

Tabel 4. Kekuatan tekan bebas (qu) tanah lempung dengan konsistensinya.

Konsistensi	qu (kg/cm ²)
Lempung Keras	> 4.00
Lempung Sangat kaku	2.00 – 4.00
Lempung kaku	1.00 – 2.00
Lempung Sedang	0.50 – 1.00
Lempung Lunak	0.25 – 0.50
Lempung sangat Lunak	< 0.25

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

2. Pengujian Permeabilitas Tanah

Menurut persamaan Bernoulli tinggi energi total pada suatu titik didalam air yang mengalir dapat dinyatakan sebagai penjumlahan dari tinggi tekanan, tinggi kecepatan, dan tinggi elevasi.

Adapun beberapa cara untuk menentukan daya rembes suatu tanah, salah satu diantaranya adalah pengujian permeabilitas. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat permeabilitas atau daya rembes untuk tanah dengan menggunakan metode constant head (uji tinggi konstan)

Analisa perhitungan jika diketahui : A = luas sampel (cm²), tinggi (cm), waktu (detik), volume air (cc), dan temperatur (C°), diperoleh rumus:

a. Koefisien Permeabilitas

$$K_T = \frac{Q.L}{A_t} \times \ln \left[\frac{h_i}{h_f} \right] \quad (4)$$

b. Koefisien Permeabilitas pada suhu 20°

$$k_{20} = K_T \left[\frac{\eta_T}{\eta_{20}} \right] \quad (5)$$

Tabel 5. Nilai-nilai koefisien rembesan

Jenis Tanah	k	
	(cm/detik)	(ft/menit)
Kerikil Basah	1.0 – 100	2.0 – 200
Pasir Kasar	1.0 – 0.01	2.0 – 0.002
Pasir Halus	0.01 – 0.001	0.02 – 0.002
Lanau	0.001 – 0.00001	0.002 – 0.00002
Lempung	≤ 0.000001	≤ 0.000002

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

3. Pengujian Geser Langsung

Parameter kuat geser tanah ditentukan dari pengujian-pengujian laboratorium pada benda uji yang diambil dari lokasi lapangan hasil pengeboran yang dianggap mewakili (hardiyatmo, 2010).

Direct Shear Test adalah cara pengujian parameter kuat geser tanah yang paling mudah dan sederhana. Bentuk benda uji dapat berupa lingkaran (*ring*) atau persegi (*square*). DST lebih sesuai untuk menguji tanah berpasir dalam kondisi *loose* dan *dense*.

I. 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. Van Passen, 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, transportasi 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 diwilayah 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 baerasal 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 1 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

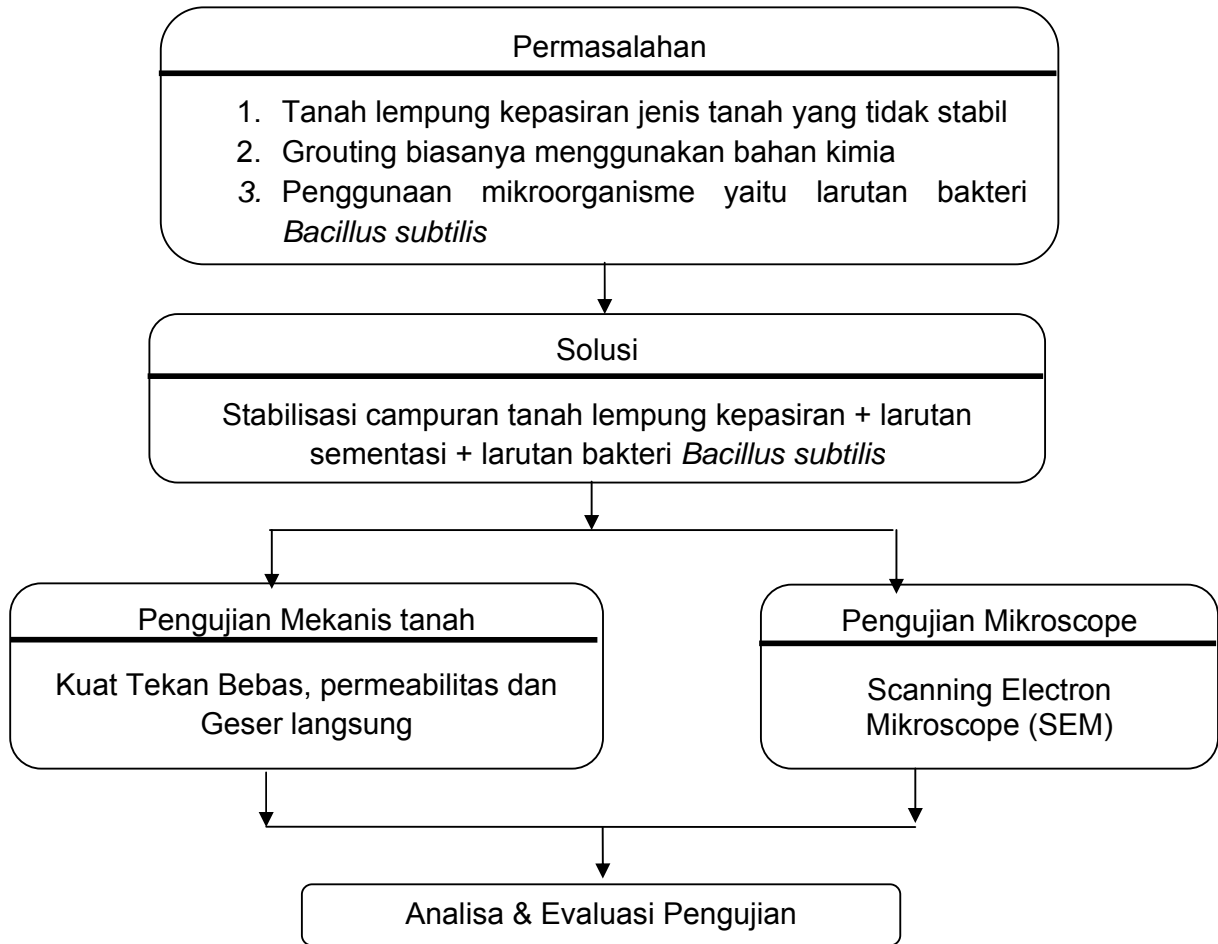
Pada penelitian ini peneliti menggunakan mikroorganisme untuk meningkatkan kapasitas tanah telah dilaporkan oleh beberapa penelitian tentang bioclogging dan biosementasi. Kedua metode memiliki tujuan yang sama untuk memenuhi pori tanah. Dengan menyuntikkan bakteri ke dalam tanah, bisa menghasilkan kalsit 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 enviromement 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.

KERANGKA PIKIR PENULIS



Gambar 6. Kerangka pikir penulis