



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI AWAL PEMANFAATAN TEKNIK *BIOGROUTING*
PADA TANAH PASIR UNTUK PROSES SEMENTASI**

TESIS

ALAM TRONICS

NPM 0806477434

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

DEPOK

Mei 2011

No. : 227/FT.01/TESIS/05/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI AWAL PEMANFAATAN TEKNIK *BIOGROUTING*
PADA TANAH PASIR UNTUK PROSES SEMENTASI**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik

ALAM TRONICS

NPM 0806477434

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN GEOTEKNIK
DEPOK
Mei 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Alam Tronics

NPM : 0806477434

Tanda Tangan :



Tanggal : 3 Mei 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Alam Tronics
NPM : 0806477434
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Tesis :

STUDI AWAL PEMANFAATAN TEKNIK *BIOGROUTING* PADA TANAH PASIR UNTUK PROSES SEMENTASI

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Ir. Wiwik Rahayu (.....)

Pembimbing 2 : Niken Financia G., S.Si, M.Si (.....)

Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Tommy Ilyas, M.Eng. (.....)

Penguji 2 : Ir. Widjojo A. Prakoso, Ph.D. (.....)

Penguji 3 : Dr. Puspita Lisdiyanti (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 3 Mei 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- a. Ibu Dr. Ir. Wiwik Rahayu, sebagai Pembimbing pertama yang telah meluangkan banyak waktu untuk melakukan diskusi-diskusi intensif.
- b. Ibu Niken Financia G., S.Si, M.Si, sebagai Pembimbing kedua yang telah meluangkan kesempatan untuk berdiskusi tentang teknik *biogrouting* disela-sela kegiatan penelitian ibu di Pusat Riset Teknologi Kelautan, Badan Riset Kelautan dan Perikanan, Departemen Kelautan dan Perikanan.
- c. Bapak Prof. Dr. Ir. Tommy Ilyas M.Eng., Bapak Ir. Widjojo A. Prakoso, Ph.D., Ibu Dr. Puspita Lisdiyanti, selaku para Penguji dan sekaligus telah banyak memberikan masukan berharga dalam riset ini.
- d. Rekan-rekan mahasiswa dan para laboran di Laboratorium Mekanika Tanah UI yang telah memberikan bantuan yang luar biasa kepada penulis.
- e. Ayah, Ibu dari penulis yang selalu mendukung dengan sabar, memberikan masukan yang membangun, dan doa yang dipanjatkan tiada hentinya untuk kelancaran menyelesaikan studi program Magister Teknik selama ini.

Penulis merasa, bahwa tesis ini belum sempurna, banyak hal yang masih dapat digali dari riset ini maupun bagaimana pengembangannya lebih lanjut. Untuk itu, penulis mengundang semua pihak untuk dapat memberikan masukan dan diskusi guna perbaikan serta pengembangan riset ini.

Terima kasih atas perhatian dan bantuan dari semua pihak.

Depok, 3 Mei 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alam Tronics
NPM : 0806477434
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**STUDI AWAL PEMANFAATAN TEKNIK *BIOGROUTING* PADA TANAH
PASIR UNTUK PROSES SEMENTASI**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*data base*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok

Pada Tanggal: 3 Mei 2011

Yang menyatakan,



(Alam Tronics)

ABSTRAK

Nama : Alam Tronics

Program Studi : Teknik Sipil

Judul :

STUDI AWAL PEMANFAATAN TEKNIK *BIOGROUTING* PADA TANAH PASIR UNTUK PROSES SEMENTASI

Tesis ini membahas tentang metode *grouting* yang ramah lingkungan, salah satunya adalah teknik *biogrouting* yang memanfaatkan bakteri lokal Indonesia. Penelitian ini menggunakan sampel tanah pasir pantai Karawang. Proses pencampuran ini dibagi atas dua metode pencampuran yaitu: metode Harkes dan metode De Jong. Sampel tanah asli dan sampel tanah hasil pencampuran telah diujikan dengan uji permeabilitas dengan metode *constant head* dan uji geser langsung. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai parameter kuat geser tanah dan koefisien permeabilitas tanah saat sebelum dan setelah proses pencampuran.

Pada penelitian ini sampel tanah hasil proses pencampuran dengan metode Harkes/ De Jong adalah sampel tanah masih dalam kondisi terkristalisasi, tidak mencapai pada sampel tanah dengan kondisi tersementasi. Pada hasil analisis uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli didapat nilai koefisien permeabilitas tanah asli, $k_T = 1,461 \times 10^{-3}$ cm/s dan nilai koefisien permeabilitas terkoreksi suhu untuk tanah asli, $k_{20} = 1,212 \times 10^{-3}$ cm/s, sedangkan sampel tanah hasil proses pencampuran dengan metode Harkes/ De Jong analisis hasilnya tidak dapat disimpulkan karena cara pengujiannya (persiapan sampel uji) tidak valid. Dari hasil uji geser langsung pada tanah asli didapat nilai kohesi tanah asli sangat kecil/tidak kohesif ($c \approx 0$), sedangkan pada sampel tanah hasil proses pencampuran didapat nilai kohesi tanahnya adalah sedikit kohesif ($c \neq 0$), walaupun tidak signifikan. Dari hasil uji geser langsung juga didapat analisis data sudut geser dalam efektif (ϕ'), dari hasil analisis datanya diperoleh kesimpulan terjadi peningkatan nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') untuk sampel tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes/ De Jong, jika dibandingkan dengan nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') untuk tanah asli. Kesimpulan dari analisis data hasil uji geser langsung pada sampel tanah sebelum dan setelah proses pencampuran adalah terjadinya peningkatan nilai kohesi, walaupun tidak signifikan dan peningkatan nilai sudut geser dalam efektif akibat dari proses kristalisasi yang belum mencapai proses sementasi, sehingga diperlukan perbaikan pada penelitian-penelitian berikutnya.

Kata kunci:

teknik *biogrouting*, metode Harkes, metode De Jong, koefisien permeabilitas, kohesi, sudut geser dalam efektif.

ABSTRACT

Name : Alam Tronics
Study Program : Civil Engineering
Title :

PRELIMINARY STUDY ON SAND SOIL USE THE BIOGROUTING TECHNIQUES FOR PROCESS CEMENTATION

This thesis discusses the grouting method is environmentally friendly, one of which is a technique that utilizes local bacteria biogrouting of Indonesia. This study used soil samples Karawang beach sand. Mixing process is divided into the two mixing methods, namely: Harkes method and the method of De Jong. The original soil samples and soil samples with the results of mixing process have been tested using constant head permeability test and direct shear test. The purpose of this research is to obtain the value of shear strength parameters of soil and soil permeability coefficient before and after the mixing process.

In this study, the soil sample results of the mixing process with the method Harkes /De Jong is still in the soil samples crystallized condition, did not reach the soil samples with cementation condition. In the analysis, permeability testing with constant head method for the original soil obtained permeability coefficients of the original soil, $k_T = 1.461 \times 10^{-3}$ cm/s and temperature corrected of permeability coefficient of the original soil, $k_{20} = 1.212 \times 10^{-3}$ cm/s, while the soil sample result the mixing process with the method Harkes'/De Jong's analysis of result can not be concluded because of the way test (the test sample preparation) is invalid. From the direct shear test results on the original soil obtained the the original soil cohesion is very small / no cohesive ($c \approx 0$), while the soil sample with result the mixing process obtained slightly cohesive soil cohesion ($c \neq 0$), although not significant. From the direct shear test results are also obtained data analysis in the effective angle of internal friction (ϕ'), from analysis of data obtained a conclusion was increasing the value effective friction angle (ϕ') for soil samples with the method of mixing result Harkes/De Jong, compared with the value effective friction angle (ϕ') to the original soil. Conclusions from the analysis of direct shear test data the soil samples before and after the mixing process is the increase in the value cohesion, although not significant, and increasing the value effective internal friction angle resulting from the crystallization process that has not reached the cementation process, so that needed improvements the subsequent studies.

Keywords:

biogrouting techniques, methods Harkes, the method of De Jong, coefficient of permeability, cohesion, effective friction angle.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Ruang Lingkup Permasalahan	3
1.3 Tujuan dan Batasan Penelitian	4
1.4 Sistematika Penulisan	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pendahuluan	6
2.2 Perbaikan Tanah (<i>Soil Improvement</i>) dengan Konsep Metode <i>Grouting</i>	8
2.2.1 Konsep Metode <i>Grouting</i> yang Konvensional	8
2.2.2 Konsep Metode <i>Grouting</i> yang Ramah Lingkungan	10
2.3 Peran Bakteri Dalam <i>Biogrouting</i>	13
2.3.1 Pengertian dari Presipitasi Kalsium Karbonat oleh Bakteri	16
2.4 Uji Permeabilitas	19
2.4.1 Uji Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i>	20
2.5 Parameter Kuat Geser Tanah dan Uji Geser Langsung	24
2.5.1 Parameter Kuat Geser Tanah	24
2.5.2 Uji Geser Langsung (<i>Direct Shear Test</i>)	26
3. METODE PENELITIAN	30
3.1 Bagan Alir	30
3.2 Persiapan Alat dan Bahan	32
3.3.1 Alat	32
3.3.2 Media Pencampuran dan Mikroorganisme	34
3.3 Metode Pelaksanaan	35
3.3.1 Persiapan Sampel Tanah Sebelum Proses Pencampuran untuk Uji Permeabilitas dan Uji Geser Langsung	35
3.3.2 Persiapan Sampel Tanah untuk Proses Pencampuran dengan <i>Tray</i> untuk Uji Permeabilitas dan <i>Tray</i> untuk Uji Geser Langsung	36
3.4 Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah	43
3.4.1 Uji Analisa Ukuran Butiran	43
3.4.2 Uji Spesifik Gravitasi	44
3.4.3 Uji Permeabilitas Tanah dengan Metode <i>Constant Head</i>	45
3.4.4 Uji Geser Langsung	45

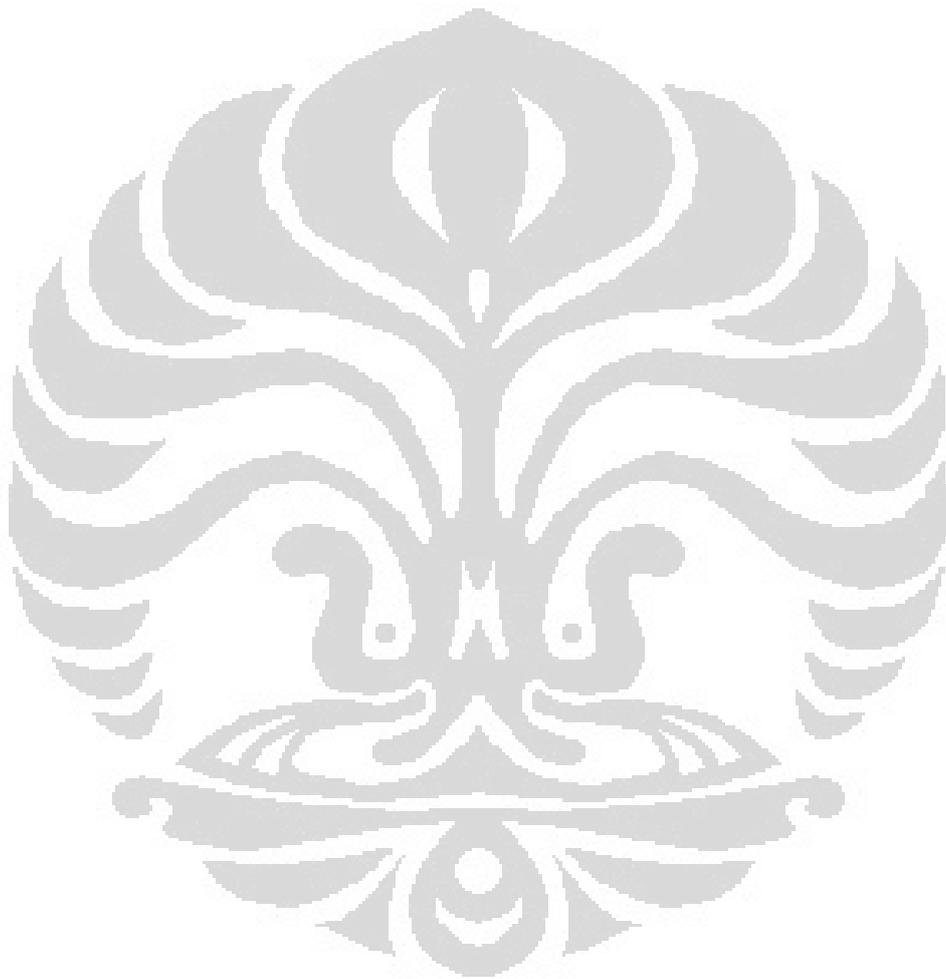
3.4.5 Penulisan Laporan Penelitian	46
4. PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA	48
4.1 Hasil Uji Sifat Fisik Dan Mekanik Tanah Asli	48
4.1.1 Analisa Ukuran Butiran untuk Tanah Asli	48
4.1.2 Analisis Hasil Uji Spesifik Gravitasi untuk Tanah Asli	50
4.1.3 Analisis Hasil Uji Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i> untuk Tanah Asli	51
4.1.4 Analisis Hasil Uji Geser Langsung untuk Tanah Asli	53
4.2 Analisis Hasil Pencampuran Sampel Tanah Pasir Karawang dengan Cara <i>Biogrouting</i>	54
4.3 Analisis Hasil Uji Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i> dan Uji Geser Langsung untuk Sampel Tanah Setelah Proses Pencampuran	59
4.3.1 Analisis Hasil Uji Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i> untuk Tanah Asli Setelah Proses Pencampuran dengan Metode Harkes	61
4.3.2 Analisis Hasil Uji Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i> untuk Tanah Asli Setelah Proses Pencampuran dengan Metode De Jong	63
4.3.3 Analisis Hasil Uji Geser Langsung untuk Tanah Asli Setelah Proses Pencampuran dengan Metode Harkes	65
4.3.4 Analisis Hasil Uji Geser Langsung untuk Tanah Asli Setelah Proses Pencampuran dengan Metode De Jong	71
4.4 Ringkasan Hasil Penelitian <i>Biogrouting</i> pada Sampel Tanah Pasir Karawang	77
4.4.1 Ringkasan Hasil Uji Permeabilitas Setelah Proses Pencampuran dengan Metode Harkes dan Metode De Jong	77
4.4.2 Ringkasan Hasil Uji Geser Langsung Setelah Proses Pencampuran	80
4.4.3 Ringkasan Penyebab Hasil Pencampuran Tidak Mencapai Proses Sementasi	83
5. KESIMPULAN DAN SARAN	85
5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran	89
DAFTAR REFERENSI	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Butir Tunggal: (a) Tidak Padat, (b) Padat dan (c) Struktur Sarang Lebah	8
Gambar 2.2	Metode-metode Presipitasi Kalsit dengan Mediasi Mikro-organisme	13
Gambar 2.3	Reaksi Presipitasi Kalsium Karbonat dengan Mediasi Bakteri ...	15
Gambar 2.4	Bakteri yang Berperan dalam Proses <i>Biogrouting</i>	17
Gambar 2.5	Hasil <i>Scanning Electron Micrograph</i> (SEM) pada Proses Mineralisasi	19
Gambar 2.6	Skema Alat Uji Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i> ...	21
Gambar 2.7	Uji Permeabilitas Metode <i>Constant Head</i> pada Sampel Tanah Pasir Itterbeck	23
Gambar 2.8	Kriteria Kegagalan Mohr-Coulomb	25
Gambar 2.9	Skema Alat Uji Geser Langsung	27
Gambar 2.10	Grafik Pengolahan Data Uji Geser Langsung Berdasarkan Kriteria Mohr-Coulomb pada Sampel Tanah dengan (a.) Tanah Kohesif, $c \neq 0$; dan (b.) Tanah Non-Kohesif, $c = 0$	28
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	31
Gambar 3.2	Lokasi Pengambilan Sampel Tanah di Karawang, Jawa Barat ...	34
Gambar 3.3	Medium Bakteri untuk Proses Pencampuran	35
Gambar 3.4	Ukuran dan Wadah yang Digunakan untuk Media Tanahnya ...	39
Gambar 3.5	Metode Pelaksanaan Injeksi Langsung pada Medium Sampel Tanah	40
Gambar 3.6	Alat yang Digunakan untuk Mencetak dan Memindahkan Sampel Tanah	41
Gambar 4.1	Persentase Ukuran Butir Partikel Tanah untuk Mendapatkan Nilai-Nilai dari Diameter Butir D_{10} , D_{30} , D_{50} Dan D_{60}	49
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Tegangan Normal terhadap Tegangan Geser pada Tanah Asli	54
Gambar 4.3	Sampel Tanah saat Sebelum dan Setelah Proses <i>Biogrouting</i> ...	55
Gambar 4.4	Sampel Tanah Hasil Proses Pencampuran	56

Gambar 4.5	Proses Aerasi Didalam Media Pertumbuhan Bakteri dan Bahan-Bahan Pencampur Lainnya untuk Proses Pencampuran dengan Metode De Jong	57
Gambar 4.6	Potongan Bentuk Sampel Tanah setelah Proses <i>Biogrouting</i> Hari Ke – 4	58
Gambar 4.7	Sampel Tanah Hasil Pencampuran (<i>Biogrouting</i>) untuk Diujikan Tes Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i>	60
Gambar 4.8	Proses Pemindahan Sampel Uji ke dalam <i>Shear Box</i>	61
Gambar 4.9	Grafik Analisis Hasil Uji Geser Langsung Hubungan antara Tegangan Geser, τ , terhadap Tegangan Normal, σ_n , pada Sampel Tanah Pasir Kerawang Hasil Pencampuran dengan Metode Harkes dengan Waktu Peram Selama 26 Hari	66
Gambar 4.10	Grafik Hubungan antara Sudut Geser Dalam Efektif, ϕ' , terhadap Waktu Peram dari Analisis Hasil Uji Geser Langsung pada Sampel Tanah Pasir Karawang Hasil Pencampuran dengan Metode Harkes	69
Gambar 4.11	Grafik Hubungan antara Kadar Air, w , terhadap Waktu Peram dari Analisis Hasil Uji Geser Langsung pada Sampel Tanah Karawang Hasil Pencampuran dengan Metode Harkes	70
Gambar 4.12	Grafik Analisis Hasil Uji Geser Langsung Hubungan antara Tegangan Geser, τ , terhadap Tegangan Normal, σ_n , pada Sampel Tanah Pasir Kerawang Hasil Pencampuran dengan Metode De Jong dengan Waktu Peram Selama 26 Hari	73
Gambar 4.13	Grafik Hubungan antara Sudut Geser Dalam Efektif, ϕ' , terhadap Waktu Peram dari Analisis Hasil Uji Geser Langsung pada Sampel Tanah Pasir Karawang Hasil Pencampuran dengan Metode De Jong	75
Gambar 4.14	Grafik Hubungan antara Kadar Air, w , terhadap Waktu Peram dari Analisis Hasil Uji Geser Langsung pada Sampel Tanah Karawang Hasil Pencampuran dengan Metode De Jong	76
Gambar 4.15	Grafik Hubungan antara Sudut Geser Dalam Efektif, ϕ' , terhadap Waktu Peram untuk Hasil Uji Geser Langsung pada Sampel Tanah	

Pasir Karawang Hasil Pencampuran dengan Metode Harkes dan
Metode De Jong 82



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Rentang Ukuran Partikel Pasir (ASTM D 422 – 63 - ASTM D 1140 – 54)	7
Tabel 2.2	Komposisi Mineral <i>Quartz</i> dan <i>Fieldspar</i>	7
Tabel 2.3	Kekuatan dan Kekakuan Tanah Hasil Proses <i>Biogrouting</i>	11
Tabel 2.4	Koefisien Permeabilitas (cm/s) Tanah pada Temperatur 20°C	21
Tabel 2.5	Nilai μ_T/μ_{20} untuk Tiap Temperatur Ruang Tertentu	22
Tabel 2.6	Nilai Sudut Geser Dalam Efektif (ϕ') untuk Jenis Tanah Pasir	28
Tabel 3.1	Persiapan Alat untuk Uji Sifat Mekanik Tanah di Laboratorium	32
Tabel 3.2	Rincian Alat-alat yang Digunakan saat Proses Pencampuran	33
Tabel 3.3	Rangkuman Pelaksanaan Proses Pencampuran dengan Metode Harkes	38
Tabel 3.4	Rangkuman Pelaksanaan Proses Pencampuran dengan Metode De Jong	38
Tabel 3.5	Rencana Kerja dan Pelaksanaan Pengujian Geser Langsung dan Permeabilitas	42
Tabel 4.1	Persentase Analisa Ukuran Butiran untuk Butiran Pasir Tanah Asli Karawang	49
Tabel 4.2	Ringkasan Tentang Hasil Analisis Ukuran Butiran Sampel Tanah Asli Karawang	50
Tabel 4.3	Berat Jenis Tanah (<i>Specific Gravity</i>)	51
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i> dan Nilai pH Tanah untuk Tanah Asli	52
Tabel 4.5	Ringkasan Parameter Kuat Geser Tanah dari Tanah Asli	54
Tabel 4.6	Koefisien Permeabilitas Terhadap Waktu Peram dari Hasil Uji Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i> pada Sampel Tanah Pasir Karawang Hasil Pencampuran dengan Metode Harkes	62
Tabel 4.7	Koefisien Permeabilitas Terhadap Waktu Peram dari Hasil Uji Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i> pada Sampel Tanah Pasir Karawang Hasil Pencampuran dengan Metode De Jong	64

Tabel 4.8	Parameter Kuat Geser Tanah Terhadap Waktu Peram Hasil Uji Geser Langsung pada Sampel Tanah Pasir Karawang Hasil Pencampuran dengan Metode Harkes	67
Tabel 4.9	Sudut Geser Dalam Efektif (ϕ') Terhadap Waktu Peram Hasil Uji Geser Langsung pada Sampel Tanah Pasir Karawang Hasil Pencampuran dengan Metode Harkes	68
Tabel 4.10	Kadar Air Sampel Tanah Terhadap Waktu Peram dari Analisis Hasil Uji Geser Langsung pada Sampel Tanah Pasir Karawang Hasil Pencampuran dengan Metode Harkes	71
Tabel 4.11	Parameter Kuat Geser Tanah Terhadap Waktu Peram Hasil Uji Geser Langsung pada Sampel Tanah Pasir Karawang Hasil Pencampuran dengan Metode De Jong	73
Tabel 4.12	Sudut Geser Dalam Efektif (ϕ') Terhadap Waktu Peram Hasil Uji Geser Langsung pada Sampel Tanah Pasir Karawang Hasil Pencampuran dengan Metode De Jong	74
Tabel 4.13	Kadar Air Sampel Tanah Terhadap Waktu Peram dari Analisis Hasil Uji Geser Langsung pada Sampel Tanah Pasir Karawang Hasil Pencampuran dengan Metode De Jong	76
Tabel 4.14	Koefisien Permeabilitas Terhadap Waktu Peram dari Hasil Uji Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i> pada Sampel Tanah Pasir Karawang Hasil Pencampuran	78
Tabel 4.15	Parameter Kuat Geser Tanah Terhadap Waktu Peram Hasil Uji Geser Langsung pada Sampel Tanah Pasir Karawang Hasil Pencampuran dengan Metode Harkes dan Metode De Jong	81

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar dan Tabel Hasil Uji Analisa Ukuran Butiran untuk Tanah Asli	99
Lampiran 2. Tabel Hasil Pengujian <i>Specific Gravity</i> untuk Tanah Asli	100
Lampiran 3. Data Hasil Uji Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i> untuk Tanah Asli	101
Lampiran 4. Data Hasil Uji Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i> untuk Tanah Asli Setelah Proses Pencampuran dengan Metode Harkes ...	102
Lampiran 5. Data Hasil Uji Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i> untuk Tanah Asli Setelah Proses Pencampuran dengan Metode De Jong ..	107
Lampiran 6. Data Hasil Uji Geser Langsung untuk Tanah Asli	112
Lampiran 7. Data Hasil Uji Geser Langsung untuk Tanah Asli Setelah Proses Pencampuran dengan Metode Harkes	116
Lampiran 8. Data Hasil Uji Geser Langsung untuk Tanah Asli Setelah Proses Pencampuran dengan Metode De Jong	136
Lampiran 9. Buku Log Penelitian	156

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Daerah di sekitar pantai banyak didirikan sarana dan prasarana umum (gedung-gedung hotel, fasilitas umum, jalan raya, dermaga, dsb) yang berfungsi mendukung kegiatan ekonomi dan sosial masyarakat lokal. Daerah pantai juga memiliki struktur tanah yang sangatlah beragam karena jenis tanah asli di pantai secara alamiah tersusun atas lapisan yang bervariasi. Sifat tanah asli yang terdapat di pantai terdiri dari butiran tanah yang sangat padat hingga sangat lepas. Apabila kondisi alamiah pantai memerlukan penanganan khusus (untuk didirikan sarana dan prasarana penunjang bangunan pantai) maka diperlukan cara penanganan yang baik yang ramah lingkungan. Salah satu alternatif pilihannya adalah dengan penanganan rekayasa lunak (*soft engineering*) misalnya teknik *biogrouting* yang telah dimulai sejak akhir dasawarsa 80-an dan mulai dikembangkan untuk penanganan masalah pesisir pantai, terutama akibat erosi pantai, karena tidak dapat hanya menggunakan pendekatan keras (penanganan masalah kerusakan pesisir dengan suatu rekayasa pantai menggunakan sarana dan prasarana tertentu, misalnya bangunan pantai), tetapi juga membutuhkan kombinasi pendekatan lunak dan keras yang ramah lingkungan.

Tanah asli pantai merupakan jenis tanah non kohesif (*cohesionless soil*), mempunyai sifat antar butir yang lepas (*loose*), hal ini ditunjukkan dari butiran tanah yang akan terpisah-pisah apabila dikeringkan dan hanya akan melekat apabila dalam keadaan basah yang disebabkan oleh gaya tarik permukaan. Tanah non kohesif tidak mempunyai garis batas antara keadaan plastis dan tidak plastis, karena jenis tanah ini tidak plastis untuk semua nilai kadar air. Tetapi dalam beberapa kondisi tertentu, tanah non kohesif dengan kadar air yang cukup tinggi dapat bersifat sebagai suatu cairan

kental (Bowless, 1986). Parameter kuat geser tanah berkaitan dengan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Jika tanah asli yang cenderung didominasi pasir, (menurut klasifikasi Unified, butiran kasar kurang dari 50% tinggal pada saringan no. 4) maka nilai kohesi untuk kelompok tanah pasir, $c = 0$, sehingga parameter kuat geser untuk tanah pasir hanya dikaitkan dengan besaran sudut geser dalam (ϕ).

Tanah asli yang diperbaiki karakteristik tanahnya dengan teknik *biogrouting* bertujuan untuk memperkuat struktur tanah aslinya, dan dapat diaplikasikan bersama dengan pendekatan keras (*hard engineering*), misalnya dengan beton pemecah gelombang laut (*tetrapod*), geotekstil, tembok laut, groin pantai, *jetty*, krib sejajar pantai dan tanggul laut.

Teknik *biogrouting* merupakan teknik *grouting* yang memerlukan bakteri dan medium pertumbuhannya. Secara alami, proses biologis dan kimiawi tersebut memakan waktu hingga jutaan tahun. Oleh karena itu, teknik *biogrouting* yang memanfaatkan bakteri *biogrouting* berdasarkan penelitian sebelumnya diyakini mampu mempercepat proses sementasi tersebut.

Bakteri-bakteri yang mampu memproduksi enzim urease akan mengkatalisis urea menjadi karbonat dan ammonium. Dengan adanya kalsium, karbonat akan membentuk kristal CaCO_3 yang menjadi perekat antara butiran pasir sehingga menyebabkan proses sementasi. Aplikasi teknik *biogrouting* dilakukan dengan menginjeksikan bakteri ke dalam tanah bersama dengan medium pertumbuhan dan bahan-bahan campuran secara bertahap dan dengan komposisi tertentu, sehingga tanah mengalami proses sementasi sebagai hasil dari aktivitas bakteri tersebut.

Penerapan contoh untuk aplikasi dalam teknik *biogrouting* telah dimanfaatkan untuk beberapa tujuan seperti restorasi material batu kalsit (Tiano *et al.*, 1995 ; Castanier *et al.*, 2000 ; Stock-Fisher *et al.*, 1999 ; Rodriguez-Navarro *et al.*, 2003), bioremediasi (Ferris, 2003 ; Fujita *et al.*, 2000 ; Warren *et al.*, 2001), pengolahan air limbah (Hammes *et al.*, 2003), penguatan kongkret (Ramachandran *et al.* 2001) dan *plugging* selektif untuk meningkatkan *oil recovery* (Ferris dan Steheimer, 1992 ; Gollapudi *et al.*,

1995 ; Nemati dan Voordouw, 2005). Teknik *biogrouting* ini pun sangat memungkinkan untuk dimanfaatkan dalam memperkuat struktur tanah di kawasan pesisir dalam upaya pencegahan erosi pantai, perbaikan kekuatan tanah, reklamasi pantai, penguatan *dike/dune* di pantai, penguatan tanggul pada tambak, bahkan meningkatkan kekuatan tanah keruk di bawah pondasi bangunan.

Dari penerapan dalam rekayasa geoteknik, presipitasi kalsit dengan mikroorganisme (bakteri) merupakan teknik untuk memperbaiki karakteristik tanah sehingga sesuai dengan penggunaan tanah yang diinginkan (misalkan untuk meningkatkan kekuatan tanah pada pondasi bangunan, stabilisasi *subgrade* di bawah jalan raya, penguatan tanggul, dll). Presipitasi mineral yang terkontrol pada ruang-ruang pori tersebut mengubah karakteristik makro tanah sehingga disebut teknik ruang-pori merupakan pendekatan inovatif baru pada rekayasa geoteknik pada medium tanah.

Kelebihan dari teknik *biogrouting* adalah peningkatan parameter kuat geser tanah asli yang terikat oleh CaCO_3 (kalsit) terhadap tegangan/beban normal (σ_n) tanpa mempengaruhi porositas, manfaat lain dari teknik *biogrouting* adalah logam berat yang mencemari tanah dapat diendapkan/terurai dalam kristal kalsit sehingga membantu meminimalkan pencemaran lingkungan pada kawasan pesisir (Hammes *et al.*, 2003).

Medium tanah dalam proses pencampuran dibatasi pada tanah pasir pantai Karawang, Jawa Barat. Supaya proses pencampuran dapat dilaksanakan di tempat aslinya maka diujikan metode yang paling mudah dikerjakan dan hemat waktu pengerjaannya.

1.2 RUANG LINGKUP PERMASALAHAN

Metode *grouting* adalah salah satu kegiatan dalam rekayasa geoteknik yang memanfaatkan material campuran yang telah dimodifikasi secara kimia, sehingga pH dari tanah berubah dan juga berbahaya karena sifatnya mencemari tanah. Metode *grouting* tersebut memiliki beberapa kekurangan. Metode *grouting* dengan menginjeksikan bahan kimia, saat ini, menjadi

perhatian publik karena meningkatnya kepedulian terhadap lingkungan. Semua bahan kimia untuk *grouting*, kecuali sodium silikat adalah toksik dan atau berbahaya (Karol, 2003). Maka itu diperlukanlah solusi alternatif untuk mengurangi akibat pencemaran bahan-bahan kimia berbahaya yang mencemari tanah yaitu alternatif lain yang ramah lingkungan yaitu memanfaatkan proses biologi alami bakteri dan kimia. Salah satunya adalah teknik *biogrouting* yang memanfaatkan bakteri lokal Indonesia.

Penelitian ini difokuskan pada sampel tanah dari pasir pantai Karawang yang telah diuji dengan uji geser langsung dan uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk dua kondisi yaitu tanah asli dan tanah asli setelah proses pencampuran. Hasil masing-masing uji geser langsung dan uji permeabilitas dengan metode *constant head* adalah untuk mendapatkan nilai parameter kuat geser dan koefisien permeabilitas tanahnya. Penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya (De Jong *et al.*, 2006; Harkes, 2008) dengan memanfaatkan bakteri *biogrouting* (bakteri aerob) yang berasal dari daerah tropis di Indonesia.

1.3 TUJUAN DAN BATASAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai parameter kuat geser tanah dari uji geser langsung (*direct shear test*) dan koefisien permeabilitas tanah dari uji permeabilitas (*permeability test*) dengan metode *constant head* saat sebelum dan setelah proses pencampuran. Batasan penelitian adalah pada parameter kuat geser tanah yang didapat dari uji geser langsung yaitu nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') dan kohesi (c) saat sebelum dan setelah proses pencampuran serta parameter permeabilitas tanah yang didapat dari uji permeabilitas dengan metode *constant head* yaitu koefisien permeabilitas (k_T dan k_{20}) untuk sampel tanah saat sebelum dan setelah proses pencampuran.

1.4 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulis membagi tulisan ini dalam lima bagian yakni:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini meliputi latar belakang, ruang lingkup permasalahan, tujuan dan batasan penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan secara umum yang berkaitan dengan penulisan tesis, perbaikan tanah dengan konsep metode *grouting*, peran bakteri dalam *biogrouting*, uji permeabilitas dan penjelasan parameter kuat geser tanah dan uji geser langsung.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan susunan prosedur pelaksanaan yang berupa bagan alir, persiapan alat dan bahan, metode pelaksanaan, dan tata cara jenis pengujian yang telah dilakukan.

BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

Bab ini akan menyajikan hasil pengolahan data dan analisis sifat fisik dan mekanik tanah asli, dan analisis sifat fisik dan mekanik tanah asli setelah proses pencampuran.

BAB 5 KESIMPULAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil uji yang telah dilakukan.

DAFTAR REFERENSI

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PENDAHULUAN

Secara umum, definisi tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya yang terbentuk karena pelapukan batuan. Ikatan yang lemah antara partikel – partikel tanah disebabkan oleh pengaruh karbonat atau oksida yang tersenyawa diantara partikel – partikel tersebut, atau dapat juga disebabkan oleh adanya material organik (Craig, 1994).

Secara garis besar dari perspektif geoteknik, tanah merupakan material yang terdiri agregat (butiran) mineral – mineral padat yang tidak ter sedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan – bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang – ruang kosong diantara partikel – partikel padat tersebut (Das, 1988).

Menurut Terzaghi (1993) tanah adalah kumpulan (*agregat*) butiran mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat termaksud diaduk dalam air. Peranan tanah sangat penting dalam perencanaan atau pelaksanaan bangunan, dikarenakan tanah tersebut berfungsi untuk mendukung beban yang ada di atasnya. Oleh karena itu tanah yang akan digunakan sebagai pendukung konstruksi haruslah dipersiapkan terlebih dahulu sebelum dipergunakan sebagai tanah dasar (*subgrade*), lereng ataupun dinding penahan tanah.

Tanah pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0.074 mm sampai dengan 5 mm, berkisar dari kasar (3 mm sampai dengan 5 mm) hingga halus (<1 mm). Secara visual, tanah pasir dapat ditentukan melalui teksturnya, dan dengan berdasarkan penampilan tekstur ini pula tanah pasir lebih mudah untuk diklasifikasikan. Pasir dapat dibagi lagi menjadi fraksi-fraksi kasar, medium, dan halus (Lihat **Tabel 2.1**).

Tabel 2.1 Rentang ukuran partikel pasir (ASTM D 422 – 63 s.d. ASTM D 1140 – 54).

Golongan Pasir	Ukuran Butiran
Halus	0.42 s.d. 0.074 mm
Sedang	2.0 s.d. 0.42 mm
Kasar	4.76 s.d. 2.0 mm

Tanah pasir merupakan jenis tanah non kohesif (*cohesionless soil*). Tanah non kohesif mempunyai sifat antar butiran lepas (*loose*), hal ini ditunjukkan dari butiran tanah yang akan terpisah-pisah apabila dikeringkan dan hanya akan melekat apabila dalam keadaan yang disebabkan oleh gaya tarik permukaan. Tanah non kohesif tidak mempunyai garis batas antara keadaan plastis dan tidak plastis, karena jenis tanah ini tidak plastis untuk semua nilai kadar air (Bowles, 1986). Berdasarkan mineral yang terkandung di dalamnya, pasir terdiri dari sebagian besar mineral *quartz* (kwarsa) dan *feldspar*. Komposisi mineral *quartz* dan *feldspar* ditunjukkan dalam **Tabel 2.2**.

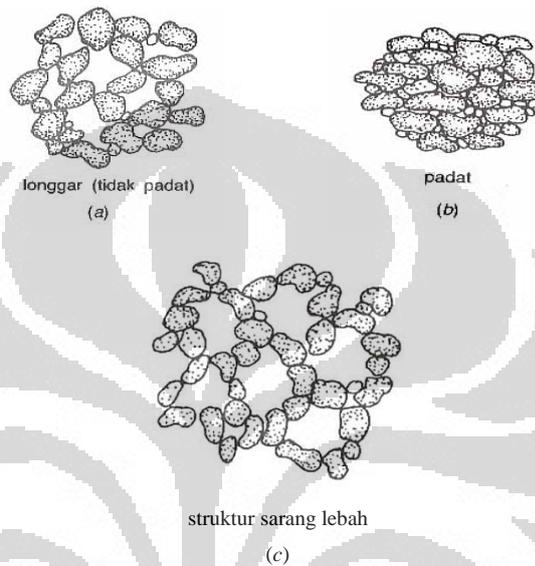
Tabel 2.2 Komposisi mineral *Quartz* dan *Feldspar*.

Mineral	Komposisi
Quartz	SiO_2 (Silikon dioksida)
Fieldspar	
Ortoklas	$\text{K(Al)Si}_3\text{O}_8$
Plagioklas	$\text{Na(Al)Si}_3\text{O}_8$

(Sumber: Bowles, 1986)

Butiran tanah pasir adalah butiran yang dapat mengendap pada suatu larutan suspensi secara individu, tak bergantung pada butiran yang lain dan berupa susunan tunggal. Tanah berpasir, susunan tanah mungkin tidak padat (angka pori tinggi atau kerapatan rendah) atau padat (angka pori rendah atau kerapatan tinggi) (**Gambar 2.1a** dan **2.1b**). Angka pori bergantung pada distribusi ukuran butiran, susunan serta kerapatan butiran. Pada struktur butir tunggal, butiran tanah berbeda dalam keadaan relatif stabil dan tiap-tiap butir bersentuhan satu terhadap yang lain. Bentuk dan pembagian

ukuran butiran tanah serta kedudukannya mempengaruhi sifat kepadatan tanah. Variasi angka pori yang disebabkan oleh kedudukan butiran. Untuk suatu susunan dalam keadaan lepas, angka pori adalah 0,9, tetapi angka pori berkurang menjadi 0,35 apabila butiran dipadatkan sedemikian rupa, sehingga susunan menjadi sangat padat (Das, 1995).



Gambar 2.1 Struktur butir tunggal: (a) tidak padat, (b) padat dan (c) struktur sarang lebah.
(Sumber: Das, 1995)

Tanah granular dapat membentuk hubungan sarang lebah (*honeycomb*) (Lihat **Gambar 2.1c**) yang dapat mempunyai angka pori yang tinggi. Pada struktur sarang lebah, pasir halus dan lanau membentuk lengkungan-lengkungan kecil hingga merupakan rantai butiran. Lengkungan butiran dapat mendukung beban statis yang tidak begitu besar. Struktur tersebut bila dikenai beban berat atau beban getar, struktur tanah akan rusak dan menyebabkan penurunan yang besar.

2.2 PERBAIKAN TANAH (*SOIL IMPROVEMENT*) DENGAN KONSEP METODE *GROUTING*

2.2.1 Konsep Metode *Grouting* yang Konvensional

Perbaikan sifat-sifat mekanik tanah dengan metode *grouting* sudah diketahui dan dikerjakan sejak awal abad 19, tetapi mulai awal abad 20 ini saja pengembangan diarahkan pada konsep *grouting* yang ramah lingkungan. Metode *grouting* adalah metode pengisian pori dan celah diantara partikel tanah pada kedalaman tertentu dengan bahan *grout* di bawah tekanan, bahan *grout* pada saat diinjeksikan ke dalam tanah masih berbentuk cairan yang kemudian dalam jangka waktu tertentu akan mengeras. Bahan *grout* biasanya berupa suspensi (semen, lempung-semen, *pozzolan*, *bentonite*, campuran dari masing-masing, dsb) atau bahan kimia (silikat, uretan, urea, *akrilamid*, dsb) atau emulsi (aspal, dsb) (Xanthakos *et al.*, 1994; Karol, 2003). Sebagai hasilnya, karakteristik mekanis tanah akan menjadi lebih baik dan daya permeabilitas tanah akan berkurang (lebih kedap air).

Aplikasi pada stabilisasi tanah di lapangan terkadang dibatasi oleh ketersediaan perlengkapan *mixing*, atau karena viskositas bahan *grout* yang tinggi, bahkan karena waktu pengerasan bahan *grout* yang singkat, sehingga metode tradisional ini tidaklah cocok untuk perlakuan dalam volume yang besar. Selain membutuhkan biaya besar, teknik *grouting* membutuhkan alat-alat berat dan mengganggu infrastruktur masyarakat di sekitar lokasi *grouting*. Metode ini pun mengurangi permeabilitas tanah secara signifikan sehingga menghambat aliran air tanah dan membatasi injeksi jarak jauh serta membuat perlakuan skala besar menjadi tidak mudah untuk dilakukan (van Paassen, 2008).

Pendekatan teknik *grouting* saat ini juga mendapatkan penilaian rendah pada "kepastian pelaksanaan", misalnya, kemampuan untuk membuat kondisi tertentu yang sesuai dengan desain teknik di lapangan. Secara umum, teknik *grouting* hanya efektif sekitar 1 – 2 m dari titik injeksi, sehingga kontrol kualitas selama konstruksi hanya dapat dilakukan dengan berdasarkan pengawasan pada volume injeksi dan tekanan, tidak ada pengukuran *real time* yang dapat memantau mekanisme yang terjadi di bawah permukaan tanah. Ketidakpastian ini mendorong terjadinya perbedaan pada disain awal yang mengakibatkan penambahan biaya proyek

yang tidak perlu dan kebutuhan material *grout* yang meningkat. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif cara lain yang ramah lingkungan.

2.2.2 Konsep Metode *Grouting* yang Ramah Lingkungan

Metode *grouting* yang konvensional yang sudah disebutkan sebelumnya memiliki beberapa kekurangan. Metode *grouting* konvensional menginjeksi bahan kimia tertentu yang bisa mencemari tanah, sedangkan saat ini pencemaran lingkungan menjadi perhatian publik, karena peran publik terhadap kepedulian lingkungan (slogan untuk “*go green*”). Semua bahan kimia untuk *grouting*, kecuali sodium silikat adalah toksik dan atau berbahaya (Karol, 2003). Maka, perlu dicarikan alternatif metode *grouting* yang ramah lingkungan sekaligus dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki struktur tanah.

Konsep metode *grouting* yang ramah lingkungan adalah dengan teknik *biogrouting*. Metode ini adalah teknik *grouting* yang menggunakan bantuan bakteri, karakteristik fisik, kimia dan biologi tanah yang dapat diubah/dimodifikasi sesuai manfaat yang diperlukan nantinya, misalnya menjaga stabilisasi tanah. Teknik *biogrouting* diaplikasikan dengan menginjeksikan bakteri urease, bersama dengan nutriennya, yaitu urea dan bahan lain, yaitu CaCl_2 , dengan komposisi dan tahapan tertentu. Bakteri urease ini akan mengkatalisis urea sehingga melepas ion karbonat, yang selanjutnya akan terikat dengan ion Kalsium dari CaCl_2 dan mempresipitasikan Kalsium Karbonat/Kalsit (CaCO_3). Kalsit inilah yang mengikat partikel tanah satu sama lain. Oleh karena itu, presipitasi kalsium karbonat merupakan proses yang utama dalam teknik *biogrouting* ini.

Teknik *biogrouting* bekerja pada tingkat pori-pori (teknologi nano), yaitu memperbaiki kondisi tanah dengan meningkatkan kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*), serta sedikit mempengaruhi permeabilitas, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2.3**. Pada aplikasinya, teknik ini diharapkan dapat memperbaiki kondisi tanah berpasir yang terdapat pada kawasan pesisir, sehingga dapat mengurangi kerusakan infrastruktur akibat erosi pantai/abrasi.

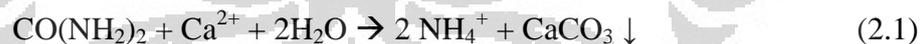
Tabel 2.3 Kekuatan dan kekakuan tanah hasil proses *biogrouting*.

No.	Mikroorganisme	Obyek	Hasil	Referensi
1.	Bacillus pasteurii	Remediasi Rekahan Granit	Rekahan granit dapat diremediasi dengan bakteri dicampur dengan debu silika dan pasir	Gollapudi <i>et al.</i> (1995), Zhong and Islam (1995)
2.	Bacillus pasteurii teramobil pada Polyurethane Foam	Remediasi Rekahan Konkret	- Tidak terjadi peningkatan kekuatan regangan (<i>tensile strength</i>) dan modulus elastik. - Peningkatan kekuatan kompresi (<i>compressive strength</i>)	Bang <i>et. al.</i> (2001)
3.	Bacillus pasteurii ATCC 11859 dan Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853	Remediasi Rekahan Konkret	Peningkatan Kuat Mampat (<i>Compressive Strength</i>) dan Kekakuan Kubus Mortar Semen	Ramachandran <i>et. al.</i> (2001)
4.	Bacillus amyloliquefaciens CMB01	Konservasi batuan ornamental dan karya seni	Produksi dan Pencetakan kristal kalsit dalam bentuk butiran	Lee (2003)
5.	Bacillus pasteurii	Perbaikan Kondisi Tanah	Peningkatan Kekakuan Tanah (<i>Shear Wave Velocity</i> dan <i>Undrained Shear Strength</i>)	De Jong (2006)
6.	Sporosarcina pasteurii (DSMZ 33)	Perbaikan Kondisi Tanah	- Peningkatan kekuatan dan kekakuan tanah - Perbaikan kapasitas penahan muatan (<i>load bearing capacity</i>) pada tanah tanpa membuat tanah <i>impermeabel</i> terhadap fluida.	Whiffin <i>et al.</i> (2007)
7.	Sporosarcina pasteurii (DSMZ 33)	Perbandingan kandungan CaCO ₃ dengan kekuatan	Peningkatan <i>unconfined compressive strength</i> sejalan dengan peningkatan kandungan CaCO ₃	Harkes <i>et al.</i> (2008)

Teknologi *biogrouting* telah dikembangkan di Australia dan di Belanda. Perusahaan Australia seperti *Calcit Technology Pty. Ltd.* (Perth, Australia) mengembangkan *Calcit In-situ Precipitation System* (CIPS) untuk merestorasi atau memperkuat permukaan monumen-monumen batuan pasir dari kerusakan akibat pengaruh lingkungan (Ismail et al., 2002). Sedangkan di Belanda, Perusahaan *Smart Soil* dan *Delft University* juga aktif mengembangkan teknologi ini.

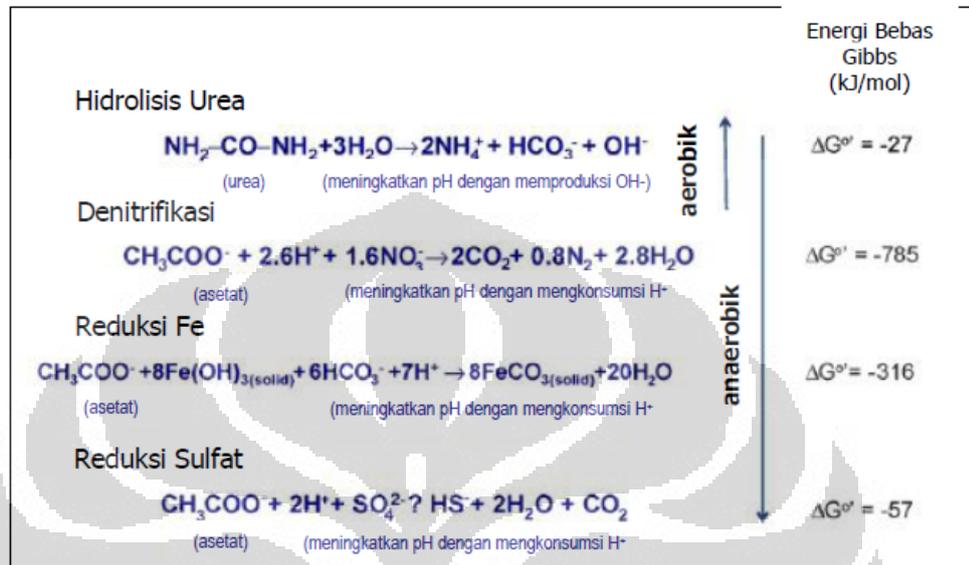
Teknologi ini sangat memungkinkan untuk dimanfaatkan dalam memperkuat struktur tanah di kawasan pesisir dalam upaya pencegahan erosi pantai, perbaikan pondasi, dan reklamasi pantai. Pasir dapat saling mengikat dengan erat dengan adanya kalsit. Ukuran pasir dan kalsit dapat menyatu dengan baik menyebabkan proses sementasi. Teknologi *biogrouting* termasuk dalam teknologi pendekatan lunak (*soft engineering*) pada kerusakan pantai karena memperkuat struktur tanah berpasir.

Mekanisme pembentukan semen/sementasi pada proses *biogrouting* secara sederhana memanfaatkan proses presipitasi karbonat oleh bakteri. Pada mekanisme ini bakteri menghidrolisa urea dengan dikatalis oleh enzim urease yang dihasilkan oleh bakteri itu sendiri. Akibat dari Ca^{2+} terlarut disekitarnya, maka akan dihasilkan kristal padat kalsit/kalsium karbonat (CaCO_3) yang akan berikatan dengan reaksi dibawah ini:



Material kalsit (CaCO_3) yang dihasilkan dari presipitasi karbonat ini adalah mineral yang terdistribusi secara luas di bumi dan ditemukan di bebatuan seperti batu marmer, batu pasir di perairan maupun di daratan (Hammes and Verstraete, 2002). Kelompok bakteri diduga berkontribusi terhadap pembentukan bebatuan kalsit ini (Drew, 1910). Presipitasi/pengendapan kalsit paling tidak ditentukan oleh 3 parameter yaitu: (1) konsentrasi kalsium; (2) konsentrasi karbonat; dan (3) pH lingkungan (Hammes & Verstraete, 2002; Hammes et al., 2003a & b). Presipitasi karbonat secara teori dapat terjadi di lingkungan alami dengan meningkatkan konsentrasi kalsium dan atau karbonat pada larutan atau dengan menurunkan daya larut kalsium dan atau karbonat. Teknik

biogrouting adalah teknik yang proses utamanya presipitasi kalsit. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mempresipitaskan kalsit dengan mediasi mikroorganisme dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.

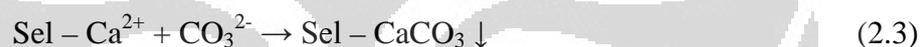


Gambar 2.2 Metode-metode presipitasi kalsit dengan mediasi mikroorganisme. (Sumber: De Jong *et al.*, 2009)

Penentuan proses biologis yang dapat meningkatkan pH dan membentuk kondisi sangat jenuh yang penting untuk presipitasi kalsit, dapat didasarkan pada efisiensi dari komunitas mikroorganisme tanah yang potensial untuk melakukan serangkaian reaksi. Berdasarkan **Gambar 2.2**, perubahan energi bebas pada kondisi standar ($T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 1\text{ atm}$, $[C] = 1\text{ M}$) pada proses Hidrolisis urea lebih rendah dibandingkan dengan proses lain. Hal ini disebabkan karena reaksi tersebut mengubah kondisi lingkungan dari suatu sistem (misalnya, dengan peningkatan pH), yang menghambat proses kompetitif lain (Pikuta *et al.* 2007). Selain alasan tersebut di atas, proses presipitasi kalsit dengan hidrolisis urea lebih banyak digunakan dibandingkan metode alternatif lain karena metode ini lebih cepat membentuk kondisi lingkungan yang sangat jenuh di dalam sistemnya dan tetap dapat dipertahankan (De Jong *et al.*, 2009).

2.3 PERAN BAKTERI DALAM *BIOGROUTING*

Peran bakteri dalam *biogrouting* adalah pada saat proses presipitasi kalsium karbonat. Beberapa penelitian (Gusmawati, N.F. dkk 2009) menyebutkan bahwa presipitasi kalsium karbonat oleh bakteri diakibatkan oleh adanya aktivitas sel bakteri, ion Ca^{2+} dari senyawa CaCl_2 yang ditarik oleh bakteri dari lingkungan dan terdepositkan pada permukaan sel, dan enzim urease yang mengambil urea ke dalam bakteri yang mendekomposisinya menjadi ammonia (NH_3) dan karbon dioksida (CO_2). Suatu investigasi terhadap kinetika telah mengindikasikan bahwa presipitasi kalsit merupakan fungsi dari konsentrasi sel, kekuatan ionik dan pH media (Lappin-Scott 1998 dan Deo 1997). Mikroorganisme (seluruh permukaan selnya bermuatan negatif) menarik kation termasuk ion Ca^{2+} dari lingkungan dan terdepositkan pada permukaan sel. Rangkuman berikut menjelaskan peran sel bakteri sebagai suatu presipitasi kalsium karbonat:



Peneliti lain (Ramakrishnan *et al.* 2000; Castanier *et al.* 2000; Zavarzin, 2002) mengatakan bahwa teori presipitasi kalsium karbonat merupakan kalsit yang dipresipitaskan dan dibentuk melalui beberapa reaksi di bawah ini:



Reaksi kimiawi dari **Persamaan 2.4** diakibatkan oleh adanya perubahan pH dalam media. Lingkungan pH yang tinggi disebabkan oleh aktivitas bakterial pada dekomposisi oleh urease. Oleh karena itu, bakteri yang berperan sebagai katalis pada presipitasi kalsit (Ramakrishnan *et al.* 2000) dapat dituliskan dalam persamaan berikut ini:

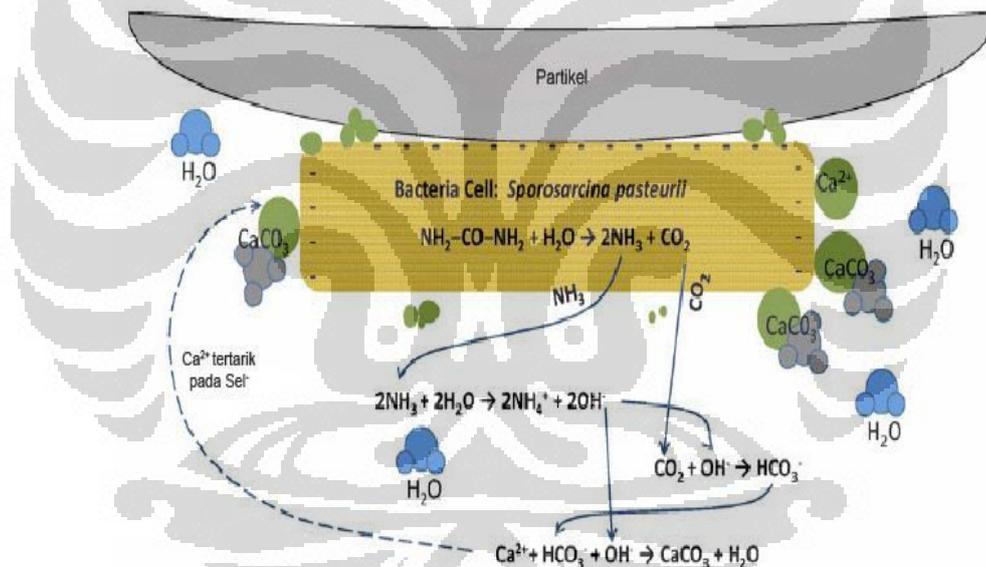


Dari persamaan-persamaan diatas dapat dirangkumkan bahwa presipitasi kalsit secara biogenik melalui beberapa rangkaian proses biokimia (Castanier *et al.* 2000; Zavarzin, 2002) sebagai berikut:

1. Pembentukan barrier geokimia yang alkalin.
2. Pembentukan larutan CaCO_3 super jenuh.

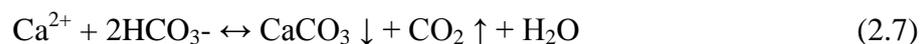
3. Produksi koloid kalsit.
4. Nukleasi kalsium karbonat pada lendir bakteri yang mengandung Ca^{2+} teramobil.
5. Diagenesis dan kristalisasi mineral kalsium.
6. Sementasi dan konsolidasi yang menyebabkan transformasi sedimen jadi batuan.

Pada **Gambar 2.3** menunjukkan aktivitas metabolik *Sporosarcina pasteurii*, salah satu jenis bakteri tanah yang bersifat alkalifilik yang memiliki enzim urease yang sangat aktif (Ferris *et al.*, 1996), yang mengambil urea ke dalam bakteri, mendekomposisinya menjadi ammonia (NH_3) dan karbon dioksida (CO_2).



Gambar 2.3 Reaksi presipitasi kalsium karbonat dengan mediasi bakteri.
(Sumber: Laporan Penelitian BRKP oleh Gusmawati, N.F. dkk 2009)

Secara singkatnya, proses reaksi presipitasi kalsium karbonat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut (Gusmawati, N.F. dkk 2009):



Molekul-molekul kimia ini akan berdifusi menembus dinding sel bakteri yang bermuatan positif dan memasuki solusi (cairan kental) di sekeliling bakteri. Selanjutnya, reaksi yang spontan akan terjadi dengan adanya air,

yaitu ammonia akan dikonversi menjadi ammonium (NH_4^+) dan karbondioksida akan menyeimbangkan reaksi kimia menjadi asam karbonat, ion karbonat dan ion bikarbonat, sesuai dengan pH lingkungannya. Kenaikan pH lingkungan disebabkan karena ion hidroksil (OH^-) yang terbentuk dari produksi NH_4^+ yang melebihi ketersediaan Ca^{2+} di solusi (cairan kental) untuk presipitasi kalsit. Hal ini membentuk lingkungan alkalin, sehingga karbonat dibutuhkan untuk presipitasi kalsit (CaCO_3). Sel bakteri yang bermuatan negatif akan tertarik menuju permukaan partikel tanah karena konsentrasi nutrisi yang lebih tinggi pada permukaan sel. (Hall-Stoodley *et al.* 2004), selain juga karena karakteristik fisikokimia dari sel bakteri maupun partikel tanah itu sendiri (Falk dan Wuerts, 2007).

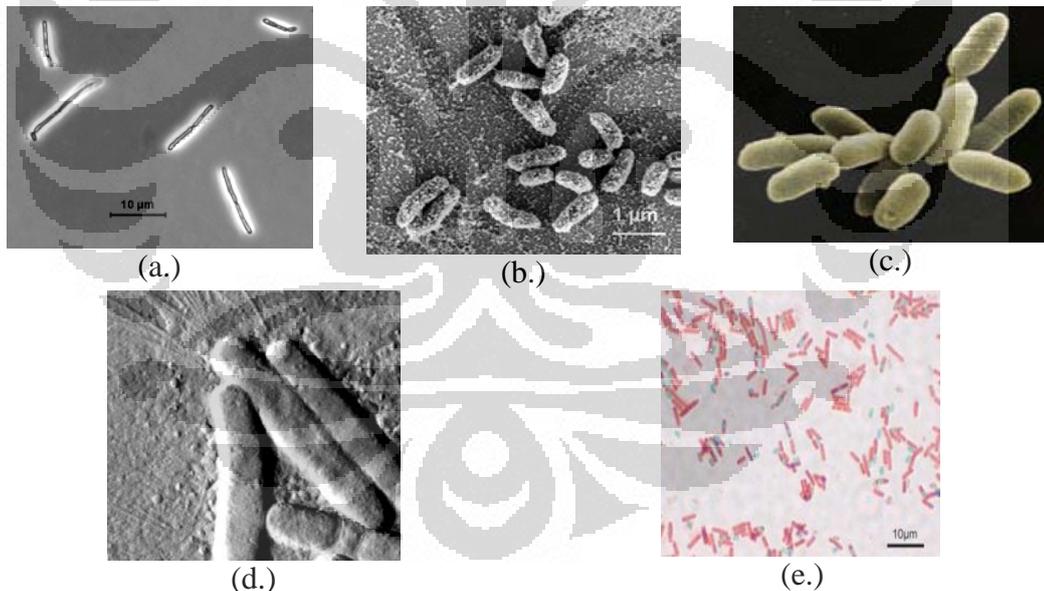
2.3.1 Pengertian dari Presipitasi Kalsium Karbonat oleh Bakteri

Presipitasi Kalsium Karbonat (CaCO_3) oleh bakteri merupakan kejadian yang tampak terjadi di berbagai lingkungan geologis, dari mata air panas sampai ke lingkungan laut dan gua, dan ditemukan di bebatuan seperti batu marmer dan batu pasir di perairan maupun di daratan (Boquet *et al.*, 1973; Hammes dan Verstraete, 2002). Beberapa bakteri diyakini mempunyai kontribusi terhadap pembentukan bebatuan kalsit ini (Drew, 1910). Bakteri yang memberi kontribusi ini merupakan bakteri yang tahan terhadap kondisi lingkungan dengan konsentrasi urea dan kalsiumnya cukup tinggi, bakteri ini juga mampu menghasilkan aktivitas urease yang tinggi. Secara general bakteri-bakteri ini berperan dalam presipitasi kalsit di lingkungan dengan memproduksi enzim urease. Urease (Urea amidohidrolase E.C. 3.5.1.5) mengkatalisis urea untuk memproduksi CO_2 dan amonia, yang menyebabkan peningkatan pH di sekelilingnya dimana ion mineral (Ca^{2+} dan CO_3^{2-}) mengalami presipitasi sebagai CaCO_3 .

Bakteri penghasil urease dapat dikelompokkan dalam dua kelompok berdasarkan respon terhadap amonium, yaitu: (1) kelompok yang aktivitas enzim urease-nya ditekan oleh keberadaan amonium seperti dari jenis *Pseudomonas aeruginosa*, *Alcaligenes autrophus*, *Bacillus megaterium* (Kaltwasser *et al.*, 1972) dan *Klebsiella aerogenes* (Friedrich dan

Magasanik, 1997); dan (2) kelompok yang aktivitas enzim urease-nya tidak dipengaruhi oleh amonium seperti *Sporosarcina pasteurii* (*Bacillus pasteurii*), *Proteus vulgaris*, *Helicobacter pylori*. Pada proses *biogrouting*, karena konsentrasi urea yang tinggi dihidrolisa selama proses sementasi, maka hanya mikroorganisme yang aktivitas enzim ureasenya tidak ditekan oleh amonium 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; Mobley *et al.*, 1995). Beberapa contoh bakteri pembentuk karbonat lainnya misalnya *Micrococcus sp.*, *Bacillus subtilis*, *Deleya halophila*, *Halomonas eurihalina*, dan *Myxococcus xanthus* (Rivadeneira *et al.* 1991; 1996; 1998; Tiano *et al.* 1999; Castanier *et al.*, 2000; Rodrigues-Navarro *et al.* 2003), dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Bakteri yang berperan dalam proses *biogrouting*.
(Sumber: Rivadeneira *et al.* 1991; 1996; 1998; Tiano *et al.* 1999; Castanier *et al.*, 2000; Rodrigues-Navarro *et al.* 2003)

Keterangan:

a. *Bacillus pasteurii*

b. *Deleya halophila*

c. *Halomonas eurihalin*

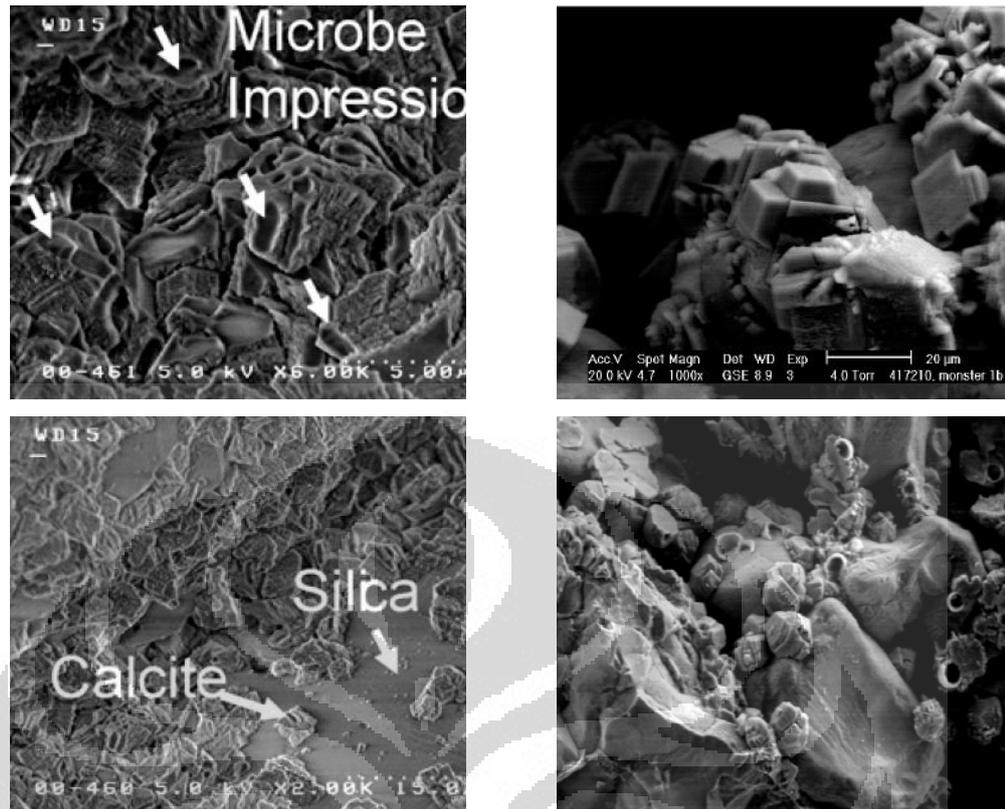
d. *Myxococcus Xanthus*

e. *Bacillus subtilis*

Metabolisme bakteri heterotrof mempengaruhi terjadinya proses presipitasi CaCO_3 secara pasif (Krumbein, 1972) maupun aktif (Castanier *et*

al. 1989; Canaveras *et al.* 2001). Pada presipitasi pasif, jalur metabolik seperti amonifikasi asam amino, reduksi nitrat, hidrolisis urea dan reduksi sulfat akan meningkatkan pH lingkungan di sekelilingnya dan memproduksi ion karbonat dan bikarbonat, sehingga memfasilitasi presipitasi CaCO_3 (Castanier *et al.* 1999; 2000). Pada presipitasi aktif, karbonat diproduksi dengan pertukaran ion melalui membran sel (Castanier *et al.* 1999, 2000; Greenfield 1963). Proses kimia yang terjadi dapat dipengaruhi oleh empat faktor utama, yaitu: (1.) konsentrasi kalsium (Ca^{2+}); (2.) konsentrasi karbon anorganik terlarut; (3.) pH; dan (4.) ketersediaan situs nukleasi (Baskar *et al.* 2006; Kile *et al.* 2000; Sanchez-Moral *et al.* 1999).

Berbagai jenis bakteri mampu mempresipitasikan kristal karbonat polimorfik (kalsit, aragonit, dolomit, dan lain-lain) dengan jumlah, ukuran dan tipe yang berbeda, tergantung pada jenis bakteri dan pertumbuhannya. Kalsit merupakan struktur kristal berbentuk heksagonal dan rombohedral, serta bersifat stabil secara termodinamika. Aragonit menunjukkan struktur kristal ortorombik, seringkali berbentuk seperti jarum dan bersifat metastabil. Vaterit menampilkan kristal berbentuk heksagonal, seperti disk, dan bersifat metastabil juga. Umumnya spesies bakteri kalsifikasi mampu memproduksi kalsit, tetapi vaterit tidak hanya spesifik-spesies, tetapi juga *temperature-dependent* (Chakraborty *et al.*, 1994). Berikut ini adalah hasil *Scanning Electron Micrograph* (SEM) untuk memperlihatkan mineralisasi kalsit yang menyebabkan proses sementasi (**Gambar 2.5**).



Gambar 2.5 Hasil *Scanning Electron Micrograph* (SEM) pada proses mineralisasi. (Sumber: van Paassen, 2008; DeJong *et al.* 2009)

Bakteri *biogrouting* pada penelitian ini adalah bakteri yang memiliki aktivitas urease yang optimum. Bakteri sebagai mikroorganisme yang dimanfaatkan dalam proses *biogrouting* adalah bakteri yang berasal dari Grasberg di Papua. Untuk mengetahui aktivitas urease, diambil 1,8 ml kultur bakteri kemudian diinokulasikan ke dalam medium 250 ml ammonium-ekstrak khamir pH 7.0 (Harkes *et al.* 2008) yang telah dimodifikasi, dengan komposisi 20 gr/L ekstrak khamir, 10g/L NH_4Cl dan $10\mu\text{M}$ NiCl_2 dalam 750 ml air laut dan 250 ml akuades. Bakteri dikultivasi selama 48 jam pada suhu 30°C dalam inkubator bergoyang 150 rpm (Lisdiyanti, P. dkk 2010).

2.4 UJI PERMEABILITAS

Permeabilitas didefinisikan sebagai bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori (Hardiyatmo, 2006). Pori-pori tanah saling

berhubungan antara satu dengan yang lainnya, sehingga air dapat mengalir dari titik dengan tinggi energi tinggi ke titik dengan tinggi energi yang lebih rendah. Untuk tanah pasir, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah pasir.

Pada tanah pasir, sifat aliran mungkin laminar atau turbulen. Tahanan terhadap aliran bergantung ukuran butiran, bentuk butiran, rapat massa, serta bentuk geometri rongga pori. Temperatur juga sangat mempengaruhi tahanan aliran (kekentalan dan tegangan permukaan). Walaupun secara teoritis semua jenis tanah lebih atau kurang mempunyai rongga pori, namun dalam prakteknya, istilah mudah meloloskan air (*permeable*) dimaksudkan untuk tanah yang benar-benar mempunyai sifat meloloskan air. Sebaliknya, tanah disebut kedap air (*impermeable*), bila kemampuan tanah meloloskan air sangat kecil.

Ada empat macam pengujian di Laboratorium untuk menentukan koefisien permeabilitas di laboratorium, yaitu:

1. Uji tinggi energi tetap (*constant-head*)
2. Uji tinggi energi turun (*falling-head*)
3. Penentuan secara tidak langsung dari uji konsolidasi
4. Penentuan secara tidak langsung dari uji kapiler horisontal.

2.4.1 Uji Permeabilitas dengan Metode *Constant Head*

Penelitian ini menggunakan pengujian permeabilitas dengan metode uji tinggi energi tetap (*constant head*). Prinsip pengujian dapat dilihat pada **Gambar 2.6**. Tanah benda uji diletakkan di dalam silinder. Pada gambar tersebut tinggi energi hilang adalah h . Aliran air lewat tanah diatur. Banyak air yang keluar ditampung di dalam gelas ukuran. Waktu pengumpulan air dicatat.

Data pengamatan yang diperoleh, kemudian di substitusikan ke dalam persamaan Darcy:

$$Q = q \cdot t = k \cdot i \cdot A \cdot t \quad (2.8)$$

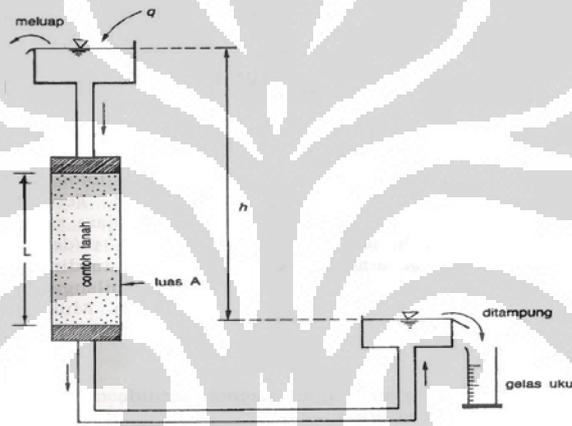
Dengan A adalah luas penampang benda uji dan Q adalah volume air dalam gelas ukur. Karena $i = h/L$, dengan L adalah panjang benda uji atau pengaliran, maka:

$$Q = k \cdot \left(\frac{h}{L}\right) \cdot A \cdot t \quad (2.9)$$

Dari **Persamaan 2.9** diperoleh:

$$k = \frac{Q \cdot L}{h \cdot A \cdot t} \quad (2.10)$$

Suku persamaan di sebelah kanan diperoleh dari hasil pengujian. Dengan substitusi masing-masing nilainya, maka koefisien permeabilitas (k) diperoleh. Koefisien permeabilitas pada temperatur tertentu, T ($^{\circ}\text{C}$) juga dapat dituliskan dengan $k = k_T$.



Gambar 2.6 Skema alat uji permeabilitas dengan metode *constant head*.

Tabel 2.4 Koefisien permeabilitas tanah (cm/s) pada temperatur 20°C , k_{20} .

Jenis Tanah	k_{20} (cm/s)
Butiran kasar	$10^{-1} - 10$
Kerikil halus, butiran kasar bercampur pasir butiran sedang	$10^{-4} - 10^{-1}$
Pasir halus, lanau longgar	$10^{-6} - 10^{-4}$
Lanau padat, lanau berlempung	$10^{-7} - 10^{-6}$
Lempung berlanau, lempung	$10^{-10} - 10^{-7}$

(Sumber: Craig, 1994)

Koefisien permeabilitas terutama tergantung pada ukuran rata-rata pori yang dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel, bentuk partikel, dan struktur tanah. Secara garis besar, makin kecil ukuran partikel, makin kecil pula ukuran pori dan makin rendah koefisien permeabilitasnya dan begitu

juga sebaliknya. Beberapa kisaran nilai k dari berbagai jenis tanah ditunjukkan dalam **Tabel 2.4**. Koefisien permeabilitas tanah biasanya dinyatakan pada temperatur 20 °C.

Pada sembarang temperatur T , koefisien permeabilitas k dapat diperoleh dari persamaan:

$$\frac{k_{20}}{k_T} = \frac{(\gamma_{w20})(\mu_T)}{(\gamma_{wT})(\mu_{20})} \quad (2.11)$$

dengan,

k_T, k_{20} = berturut-turut koefisien permeabilitas pada T° dan 20°C

$\gamma_{wT}, \gamma_{w20}$ = berturut-turut berat volume air pada T° dan 20°C

μ_T, μ_{20} = berturut-turut koefisien kekentalan (viskositas) air pada T° dan 20°C

Jika nilai γ_{wT}/γ_{w20} mendekati 1, maka **Persamaan 2.11** menjadi

$$k_{20} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{20}} \quad (2.12)$$

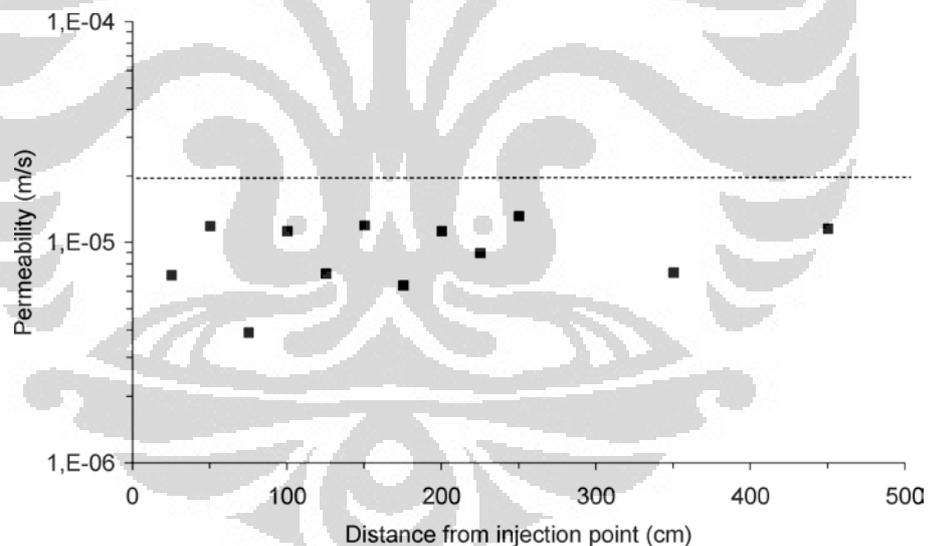
Dari **Tabel 2.5** ditunjukkan nilai μ_T/μ_{20} untuk berbagai derajat temperatur. Pada penelitian ini nilai μ_T/μ_{20} dari **Tabel 2.5** digunakan untuk mendapatkan angka koreksi koefisien permeabilitas pada suhu, $T = 20^\circ\text{C}$ dari temperatur ruang tertentu (T) yang terukur oleh alat pengukur suhu ruangan.

Tabel 2.5 Nilai μ_T/μ_{20} untuk tiap temperatur ruang tertentu.

Temperatur $T, ^\circ\text{C}$	μ_T/μ_{20}	Temperatur $T, ^\circ\text{C}$	μ_T/μ_{20}
10	1,298	21	0,975
11	1,263	22	0,952
12	1,228	23	0,930
13	1,195	24	0,908
14	1,165	25	0,887
15	1,135	26	0,867
16	1,106	27	0,847
17	1,078	28	0,829
18	1,051	29	0,811
19	1,025	30	0,793
20	1,0		

Beberapa peneliti sebelumnya yang mengembangkan bakteri sementasi induksi untuk perbaikan tanah meneliti perubahan permeabilitas tanah sebagai perubahan sifat fisik dan mekanik tanahnya, diantaranya Ferris dkk (1996) dalam laporan penelitiannya yang berkaitan tentang *Calcit*

In-situ Precipitation System (CIPS) pada tanah pasir memberikan laporan terjadi penurunan koefisien permeabilitas (k_{20}) tanah pasir I yang awalnya $1,1 \times 10^{-2}$ cm/s menjadi $2,4 \times 10^{-3}$ cm/s dan penurunan koefisien permeabilitas (k_{20}) tanah pasir II yang awalnya $4,7 \times 10^{-3}$ cm/s menjadi $7,8 \times 10^{-4}$ cm/s. Nemati dan Voordouw (2003) membuktikan penurunan koefisien permeabilitas (k_{20}) tanah pasir akibat proses *biogrouting* pada tanah pasir Berea mencapai 98% dari koefisien permeabilitas tanah sebelum proses *biogrouting*. Leon A. van Paassen (2008) untuk penelitian *Microbial carbonate precipitation (MCP)* pada tanah pasir Itterberck 125-250 μm (Karakteristik ukuran butiran: $d_{10} = 110 \mu\text{m}$; $d_{50} = 165 \mu\text{m}$; $d_{90} = 275 \mu\text{m}$) dan berat kering tanah, $\gamma_d = 1,65 \text{ g/cm}^3$ dengan pengujian permeabilitas metode *constant head* melaporkan ada penurunan koefisien permeabilitas (k_{20}) tanah pasir Itterberck dari koefisien permeabilitas awal $1,92 \times 10^{-3}$ cm/s menjadi 3×10^{-4} cm/s seperti terlihat pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Uji permeabilitas metode *constant head* pada sampel tanah pasir Itterbeck. Garis putus-putus di atas titik-titik hitam adalah permeabilitas kondisi awal tanahnya. (Sumber: van Paassen, 2008)

Peneliti lainnya, seperti Whiffin dkk (2007) dalam penelitian *Microbial carbonate precipitation (MCP)* terhadap pasir Ottawa 50 – 70 μm ($D_{50} = 0,12\text{mm}$, $C_u = 1,6$, $C_c = 0,8$, $G_s = 2,65$) menuliskan terjadinya

penurunan koefisien permeabilitas (k_{20}) tanah pasir Ottawa mencapai 75% dari koefisien permeabilitas tanah aslinya.

2.5 PARAMETER KUAT GESER TANAH DAN UJI GESER LANGSUNG

2.5.1 Parameter Kuat Geser Tanah

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisa kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Menurut teori Mohr (1910), kondisi reruntuhan suatu bahan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan oleh persamaan:

$$\tau = f(\sigma) \quad (2.13)$$

dengan τ adalah tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan (*failure*), dan σ adalah tegangan normal pada saat kondisi tersebut.

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

1. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak bergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Parameter kuat geser tanah ditentukan dari uji-uji laboratorium pada benda uji yang diambil dari lapangan yaitu dari hasil pengeboran tanah yang dianggap mewakili. Tanah yang diambil dari lapangan harus diusahakan tidak mengubah kondisinya, terutama pada contoh asli, karena harus tetap menjaga kadar air dan susunan tanah seperti halnya keadaan di lapangan. Coulomb (1776) mendefinisikan $f(\sigma)$ sebagai:

$$f(\sigma) = \tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (2.14)$$

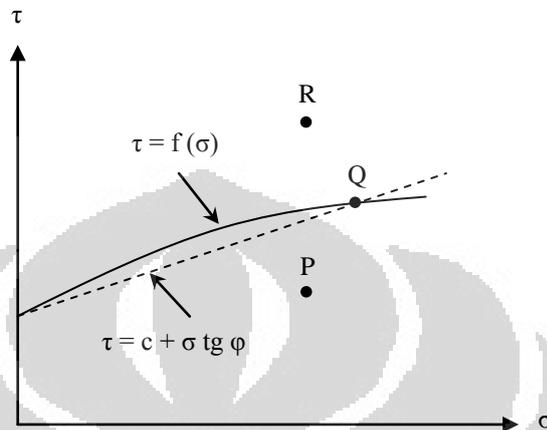
dengan,

τ = kuat geser tanah (kN/m²)

c = kohesi tanah (kN/m²)

φ = sudut geser dalam tanah atau sudut geser intern (derajat)

σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)



Gambar 2.8 Kriteria kegagalan Mohr-Coulomb.

Persamaan 2.14 disebut kriteria keruntuhan atau kegagalan Mohr-Coulomb, di mana garis selubung kegagalan dari persamaan tersebut dilukiskan dalam bentuk garis lurus pada **Gambar 2.8**. Pengertian mengenai keruntuhan suatu bahan dapat diterangkan sebagai berikut (**Gambar 2.8**): Jika kedudukan tegangan-tegangan baru mencapai titik **P**, keruntuhan tanah akibat geser tidak akan terjadi. Keruntuhan geser akan terjadi jika tegangan-tegangan mencapai titik **Q** yang terletak pada garis selubung kegagalan (*failure envelope*). Kedudukan tegangan yang ditunjukkan oleh titik **R**, bahan sudah mengalami keruntuhan.

Tegangan efektif yang terjadi di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh tekanan air pori. Terzaghi (1925) mengubah persamaan Mohr-Coulomb dalam bentuk tegangan efektif sebagai berikut:

$$\tau = c' + (\sigma - u) \tan \varphi' \quad (2.15)$$

Karena, $\sigma' = \sigma - u$, maka

$$\tau = c' + \sigma' \tan \varphi' \quad (2.16)$$

dengan,

τ = kuat geser tanah (kN/m²)

c' = kohesi tanah efektif (kN/m^2)

u = tekanan air pori (kN/m^2)

φ' = sudut geser dalam tanah efektif (derajat)

σ' = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

Ada beberapa cara untuk menentukan parameter kuat geser tanah di laboratorium, yaitu:

1. Uji geser langsung (*direct shear test*)
2. Uji triaksial (*triaxial test*)
3. Uji tekan bebas (*unconfined compression test*)

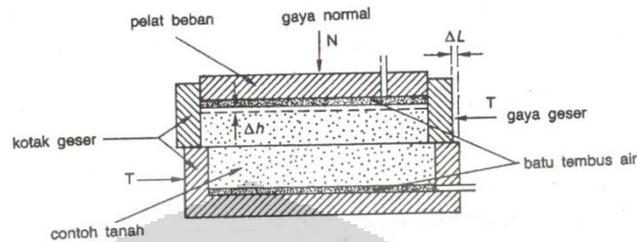
Pada penelitian ini pengujian untuk menentukan parameter kuat geser pada tanah yang dipilih adalah dengan uji geser langsung (*direct shear test*), alasannya karena sederhana dan sesuai untuk tanah-tanah granular.

2.5.2 Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

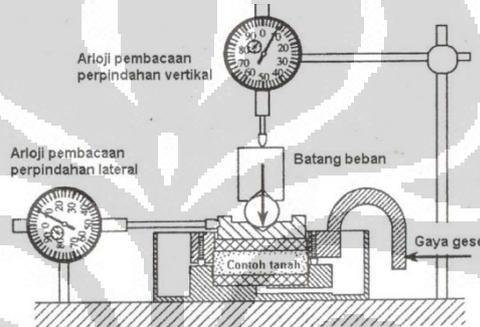
Pada penelitian ini cara untuk menentukan kuat geser tanah yang dipilih adalah uji geser langsung (*direct shear test*). Diagram skematis dari alat uji geser langsung diperlihatkan pada **Gambar 2.9**. Peralatan pengujian meliputi kotak geser dari besi, yang berfungsi sebagai tempat benda uji. Kotak geser tempat benda uji dapat berbentuk lingkaran, dengan luas, $A = 28,274 \text{ cm}^2$ dengan tinggi, $h = 2 \text{ cm}$. Kotak terpisah menjadi 2 bagian yang sama. Kelebihan tekanan air pori akibat adanya beban yang bekerja di atas tanah pasir dalam kondisi jenuh adalah nol. Hal ini disebabkan tanah pasir mempunyai permeabilitas besar, sehingga pada kenaikan beban, air pori relatif lebih cepat menghambur ke luar tanpa menimbulkan tekanan yang berarti. Jadi, dapat dianggap bahwa kondisi pembebanan pada tanah pasir akan berupa pembebanan pada kondisi terdrainase atau *drained*.

Benda uji menjadi cukup mengembang saat mencapai tegangan batasnya dimana tegangan geser menjadi konstan. Pada pasir yang padat, sudut geser antar butir besar, sedangkan pasir yang tidak padat, sudut geser antar butir kecil sehingga kenaikan tegangan geser secara berangsur-angsur akan menghasilkan suatu nilai yang menuju nilai tegangan batas, dengan

tidak ada nilai tegangan geser puncak. Tiap kenaikan tegangan geser, akan diikuti oleh pengurangan volume benda uji. Nilai sudut geser dalam efektif, ϕ' , pada masing-masing jenis tanah pasir diperlihatkan pada **Tabel 2.6**.



(a.) Skema contoh tanah setelah tergeser.



(b.) Skema pengujian

Gambar 2.9 Skema alat uji geser langsung.

Uji geser langsung dapat bekerja dalam beberapa kondisi. Sampel dalam keadaan saturasi normal sebelum tes dijalankan dan dapat juga bekerja dalam keadaan kadar air di lapangan. Beberapa spesimen tanah diujikan dalam beragam tegangan normal untuk mendapatkan parameter kuat geser, seperti nilai kohesi tanah (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Dalam uji geser langsung terdapat dua gaya yang bekerja, pada tegangan normal (σ_n) yang bekerja adalah *beban vertikal*, P_v , dan pada tegangan geser (τ) yang bekerja adalah *beban horizontal*, P_h . Tegangan-tegangan ini secara sederhana dapat dituliskan:

$$\sigma_n = \frac{P_v}{A} \quad (2.17)$$

$$\tau = \frac{P_h}{A} \quad (2.18)$$

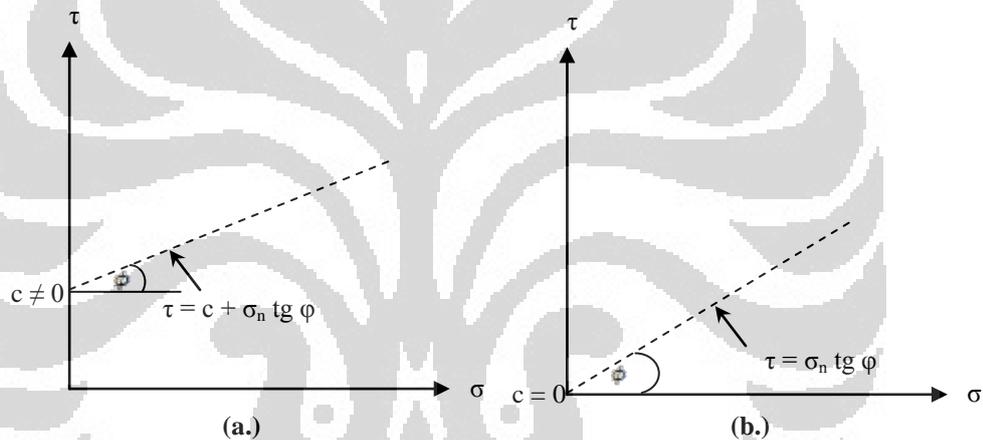
dimana A adalah nilai dari luas area relatif spesimen (*shearbox*). Luas area yang dimaksud tidak konstan karena mekanisme perpindahan (ΔL) akibat

gaya geser dari setengah bagian kotaknya. Sudut dari tahanan geser (ϕ) menurut kriteria dari kekuatan geser Mohr-Coulomb dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\tan \phi = \frac{\tau}{\sigma_n} = \frac{T}{N} \quad (2.19)$$

$$\phi = \arctan \left(\frac{\tau}{\sigma_n} \right) \quad (2.20)$$

Sudut geser dalam ini adalah rasio dari tegangan-tegangan yang akan terukur dan terekam dalam pengujian geser langsung, akibat bekerjanya gaya-gaya vertikal (P_v) dan horizontal (P_h). **Gambar 2.10** adalah grafik yang menggambarkan kriteria Mohr-Coulomb dari hasil pengolahan data uji geser langsung untuk tanah kohesif dan non-kohesif.



Gambar 2.10 Grafik pengolahan data uji geser langsung berdasarkan kriteria Mohr-Coulomb pada sampel tanah dengan (a.) tanah kohesif, $c \neq 0$; dan (b.) tanah non-kohesif, $c = 0$.

Tabel 2.6 Nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') untuk jenis tanah pasir.

Macam	Sudut geser dalam efektif (ϕ')	
	Tidak padat	Padat
Pasir bulat, seragam	27°	35°
Pasir gradasi baik, bentuk bersudut	33°	45°
Kerikil berpasir	38°	50°
Pasir berlanau	20° - 30°	28° - 34°

(Sumber: Bowles, 1986)

Tegangan-tegangan yang tercatat dari hasil pengolahan data-data uji geser langsung berdasarkan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dapat dituliskan sebagai persamaan:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \quad (2.22)$$

sedangkan untuk tanah non-kohefif ($c = 0$) dapat dituliskan sebagai:

$$\tau = \sigma_n \tan \phi \quad (2.23)$$

Uji geser langsung adalah pengujian yang sederhana, sesuai untuk tanah-tanah granular, sekaligus pengujian yang memiliki beberapa kekurangan yaitu kondisi pengaliran (drainasi) yang tidak dapat dikontrol, tegangan normal total saja yang dapat diukur, geser murni yang dihasilkan pada contoh hanya ditentukan dengan perkiraan, dan tegangan geser pada bidang runtuh yang tidak merata.

2.6 KESIMPULAN HASIL STUDI PUSTAKA

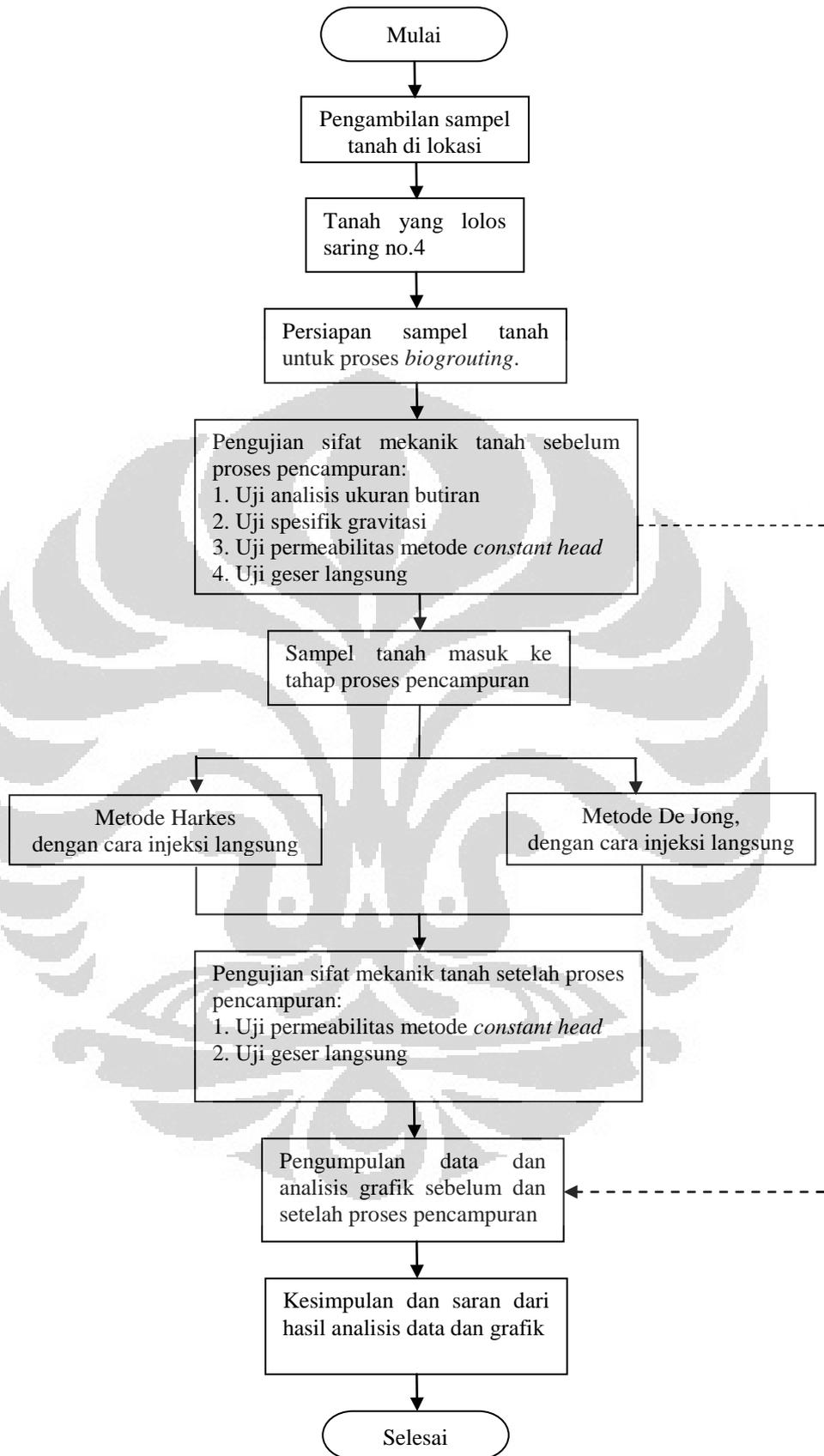
Pengaruh proses *biogrouting* pada penelitian ini adalah adanya proses sementasi pada sampel tanah pasir Karawang yang dapat diamati secara visual dan untuk dikembangkan lagi oleh peneliti-peneliti berikutnya. Jenis pengujian tanah untuk mengetahui perubahan sifat fisik dan mekanik tanah yang dipilih oleh penulis sebagai tujuan dari penelitian ini adalah dengan uji permeabilitas dan uji geser langsung. Uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk penelitian *biogrouting* telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada sampel tanah hasil proses *biogrouting*. Uji geser langsung untuk sampel tanah hasil proses *biogrouting* menurut sepengetahuan penulis adalah baru pertama kali dilakukan di Indonesia.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 BAGAN ALIR

Selain studi literatur yang terkait dengan penelitian maka dilakukan uji laboratorium terhadap sampel tanah uji yang diambil dari tanah pasir pantai dari daerah Karawang, Jawa Barat. Pemilihan tanah pasir pantai dari daerah Karawang ini berkaitan dengan kerjasama antara Laboratorium Mekanika Tanah, UI dengan pihak Pusat Riset Teknologi Kelautan, BRKP, Departemen Kelautan dan Perikanan dan pihak Puslit Bioteknologi LIPI Cibinong. Tanah pasir pantai ini terlebih dahulu disaring dengan saringan no. 4 untuk membuang kotoran dan bebatuan kerikil yang tidak diperlukan, kemudian sampel tanah yang telah tersaring akan diuji sifat mekanik tanahnya, tujuannya adalah untuk mendapatkan properti tanah sebelum proses pencampuran. Pengujian sifat mekanik tanah awal yang dilakukan diantaranya dengan uji analisis ukuran butiran, uji spesifik gravitasi, uji permeabilitas dengan metode *constant head* dan uji geser langsung. Selanjutnya, sampel-sampel tanah ini dipersiapkan untuk proses pencampuran dengan metode Harkes dan metode De Jong. Sampel-sampel tanah yang telah tercampur diujikan kembali dengan uji permeabilitas metode *constant head* dan uji geser langsung untuk mengetahui adanya perbedaan setelah proses pencampuran sesuai dengan tujuan dan batasan penelitian. Data-data dan grafik analisis sebelum dan setelah proses pencampuran dikumpulkan untuk dibuatkan kesimpulan dari penelitian ini. Secara lengkapnya diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.1**:



Gambar 3.1 Bagan alir penelitian.

3.2 PERSIAPAN ALAT DAN BAHAN

3.2.1 Alat

Penelitian ini terdiri dari dua bagian pelaksanaan di laboratorium, yaitu:

1. Uji sifat fisik dan mekanik tanah (*Index and Mechanical Properties*): uji permeabilitas dengan metode *constant head*, dan uji geser langsung seperti yang terdapat di **Tabel 3.1**.
2. Teknik pencampuran yang telah dilakukan adalah:
 - a. Metode Harkes yang sudah dimodifikasi
 - b. Metode De Jong yang sudah dimodifikasi

Pada pengujian sifat mekanik tanah menggunakan fasilitas di Laboratorium Mekanika Tanah, Teknik Sipil, FT UI, Depok.

Tabel 3.1 Persiapan alat untuk uji sifat mekanik tanah di laboratorium.

No	Uraian	Alat
Uji Sifat Mekanik Tanah		
1.	Uji Geser Langsung	<i>Constan Shear Box</i> , alat pemberi beban horizontal dengan <i>Proving Ring</i> no.13740, timbangan dengan ketelitian 0,01 gram, jangka sorong dengan ketelitian 0,01 mm, alat pengaduk, <i>can</i> , <i>stop watch</i> .
2.	Uji Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i>	Tabung air, selang, gelas ukur, pengukur ketinggian, tabung permeabilitas sesuai standar ASTM D 2434 – 68

Pelaksanaan proses pencampuran dengan *metode Harkes*, menggunakan alat-alat sebagai berikut: 1. Botol *spray* ukuran volume 500 ml untuk menjenuhkan tanah dengan air leding; dan 2. Alat suntik untuk injeksi larutan kapasitas tabung 20 ml; 3. Wadah plastik. Sedangkan pelaksanaan proses pencampuran dengan *metode De Jong*, menggunakan alat-alat sebagai berikut: 1. Mesin aerator sederhana akuarium; 2. Alat suntik untuk injeksi larutan kapasitas tabung 20 ml; 3. Filter udara

penyaring bakteri yang dihubungkan diantara selang yang berasal dari mesin aerator sederhana akuarium menuju selang yang berfungsi sebagai *outlet* udara.

Pelaksanaan injeksi langsung untuk kedua metode tadi (metode Harkes dan metode De Jong) menggunakan alat suntik sederhana dengan volume maksimum tabung 20 ml. Alat ukur pH tanah dengan **pH Universal** yang dipinjamkan dari Laboratorium Bioteknologi, LIPI, Cibinong-Bogor. Rincian alat-alat yang digunakan dalam proses injeksi pada masing-masing metode dapat dilihat pada **Tabel 3.2**. Pelaksanaan proses penjuenan tanah dengan metode Harkes adalah penjuenan tanah dengan air yang disimpan dalam tabung *spray* dan disemprotkan ke seluruh bagian sampel tanah secara merata. Wadah plastik digunakan untuk melarutkan campuran bahan-bahan kimia (urea dan CaCl_2) dengan air. Pelaksanaan proses injeksi langsung bahan-bahan kimia terlarut yang akan dicampur dengan sampel tanah adalah dengan alat suntik sederhana. Alat suntik sederhana ini juga digunakan untuk menginjeksi sejumlah bakteri ke dalam sampel tanah.

Tabel 3.2 Rincian alat-alat yang digunakan saat proses pencampuran.

	Botol sprayer	Alat suntik	pH Universal	Wadah plastik
Metode Harkes				
	Alat suntik	pH Universal	Mesin aerator akuarium + selang plastik	Filter udara penyaring bakteri udara
Metode De Jong				

Pada metode De Jong proses pencampuran berbeda dengan metode Harkes, proses pencampurannya adalah dengan proses aerasi yang menggunakan mesin aerator sederhana yang dilengkapi dengan selang plastik. Pada bagian penghubung mesin aerator dengan *outlet* udara dipasangkan sebuah filter udara penahan bakteri udara yang berguna untuk menyaring partikel/bakteri yang terdapat di udara, sehingga proses aerasi dengan volume udara yang masuk ke dalam tabung elyemeyer sudah tersaring dari bakteri udara. Proses aerasi yang terjadi dalam tabung elyemeyer yang berisi larutan campuran memerlukan waktu ± 5 menit (pH larutan campuran mencapai 8,0) untuk mencapai kondisi yang diinginkan, selanjutnya setelah kondisi pH yang diharapkan tercapai (pH = 8,0) selanjutnya adalah injeksi larutan yang tercampur ke dalam sampel tanah dengan alat suntik sederhana. Proses aerasi dalam tabung elyemeyer tetap dilaksanakan hingga larutan campuran yang berada dalam tabung elyemeyer habis terpakai saat proses injeksi.

3.2.2 Media Pencampuran dan Mikroorganisme

Tanah asli sebagai media pencampuran

Tanah asli sebagai media pencampuran adalah tanah yang diambil dari pantai di kawasan UPTD BPBPLAPU Jl. Raya Cipucuk No. 13-15, Desa Pusaka Jaya Utara, Kecamatan Cilebar, Kabupaten Karawang, Jawa Barat. Foto lokasi pengambilan sampel tanah dapat dilihat pada **Gambar 3.2**. Sampel tanah sebelum proses pencampuran telah dibilas dengan air distilasi.



Gambar 3.2 Lokasi pengambilan sampel tanah di Karawang, Jawa Barat.

Bakteri sebagai mikroorganisme yang dimanfaatkan dalam proses pencampuran

Bakteri sebagai mikroorganisme yang dimanfaatkan dalam proses pencampuran adalah bakteri yang berasal dari Grasberg di Papua. Sampel dari daerah ini memiliki keunikan, karena bakteri ini diisolasi dari daerah dataran tinggi (± 4.000 m di atas permukaan laut) di Indonesia di Grasberg, Papua. Isolat bakteri ini ditulis dengan kode **P3BG43**, dengan nama latin *Oceanobacillus sp. YIM DH3* (Lisdiyanti, 2010). Medium bakteri untuk proses pencampuran dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Medium bakteri untuk proses pencampuran.

Keterangan:

- a. Medium bakteri untuk proses pencampuran dengan metode Harkes
- b. Medium bakteri yang tersimpan dalam tabung kapsul untuk proses pencampuran dengan metode De Jong.

3.3 METODE PELAKSANAAN

3.3.1 Persiapan Sampel Tanah Sebelum Proses Pencampuran untuk Uji Permeabilitas dan Uji Geser Langsung

Penelitian ini menggunakan sampel tanah yang lolos saringan no. 4 dan telah dibilas dengan air distilasi sehingga berbeda dengan kondisi sampel tanah asli. Sampel tanah yang telah disiapkan ini akan disimpan dalam kantung plastik sebanyak 2 kantung plastik yang berat tanahnya masing-masing 1500 gram dan diperam selama 1 hari agar kadar airnya merata di dalam sampel tanah. Sampel tanah sebelum proses pencampuran yang sudah disiapkan tadi dipakai sebagai benda uji untuk uji permeabilitas dengan metode *constant head* dan uji geser langsung dengan masing-masing dalam satu kantung plastik berisi sampel tanah seberat 1500 gram. Sampel

tanah sebelum proses pencampuran untuk uji permeabilitas dengan metode *constant head* yang sudah disiapkan tadi kemudian dipindahkan dari kantung plastik tanpa pemadatan ke dalam mold alat uji permeabilitas hingga mencapai tinggi sampel tanah, $L = \pm 10$ cm. Selanjutnya masukan mold tersebut kedalam alat tes permeabilitas dan direndam selama 24 jam agar tanah menjadi jenuh. Uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk sampel tanah sebelum proses pencampuran dilakukan sebanyak 5 seri pengujian agar dicari konsistensi volume air yang tertampung didalam gelas ukur dengan durasi waktu masing-masing 300 detik, saat itu juga diukur pH tanah sebelum proses pencampuran.

Sampel tanah yang sudah disiapkan untuk uji geser langsung, dipindahkan dari kantung plastik ke dalam *shear box* dengan sendok tanpa pemadatan dan diratakan permukaannya dengan alat pengaduk. Sampel tanah sebelum proses pencampuran untuk uji geser langsung dilakukan sebanyak 2 seri pengujian agar dicari konsistensi data hasil uji geser langsung pada benda ujinya.

3.3.2 Persiapan Sampel Tanah untuk Proses Pencampuran

Setelah mendapatkan data-data dari uji permeabilitas dengan metode *constant head* dan uji geser langsung untuk sampel tanah sebelum proses pencampuran, maka tahap selanjutnya adalah sampel tanah untuk proses pencampuran dengan menggunakan dua metode pencampuran, yaitu dengan metode Harkes dan metode De Jong dan sampel tanah yang disiapkan berbeda dengan kondisi tanah asli karena telah dibersihkan dengan air distilasi untuk membuang kotoran-kotoran yang ada didalamnya sesuai prosedur beberapa referensi.

Sampel tanah untuk proses pencampuran disiapkan dalam 4 kantung plastik (2 kantung plastik disiapkan untuk proses pencampuran dengan metode Harkes, 2 kantung plastik lagi untuk proses pencampuran dengan metode De Jong) yang berat tanahnya masing-masing 1500 gram dan diperam selama 1 hari agar kadar airnya merata di dalam sampel tanah. Masing-masing kantung plastik yang berisi sampel tanah untuk proses

pencampuran disiapkan dalam dua jenis *tray*, *tray* yang pertama adalah sampel tanah yang disiapkan untuk uji permeabilitas dengan metode *constant head*, dan *tray* yang kedua adalah sampel tanah yang disiapkan untuk uji geser langsung. Sampel tanah yang telah disiapkan tadi kemudian dipindahkan dari kantong plastik ke dalam wadah plastik dengan cara dihamparkan (tidak dipadatkan) dan wadahnya digoyangkan-goyangkan secara manual sehingga sampel tanah tersebar merata di bidang permukaan wadah.

Pada metode Harkes, air dipakai untuk pembilasan tanah dan mempermudah untuk mengukur pH media tanah. Pada metode De Jong untuk sampel tanahnya tidak perlu dibilas dengan air, karena dalam metodenya sampel tanah langsung diinjeksi dengan bahan-bahan untuk proses pencampuran (larutan yang terdiri dari air distilasi, nutrisi bakteri, bakteri *biogrouting*, urea).

Tahapan injeksi, waktu yang dibutuhkan, debit aliran dan bahan-bahan yang digunakan dengan metode Harkes dirangkum di **Tabel 3.3**, sedangkan tahapan injeksi, waktu yang dibutuhkan, debit aliran dan bahan-bahan yang digunakan dengan metode De Jong dirangkum di **Tabel 3.4**. Berat Molekul (BM) CaCl_2 adalah 110,98 gram/mol, dan urea adalah 60,06 gram/mol. Jika ditentukan 50 mM CaCl_2 dalam 70 ml larutan campuran, maka dapat diartikan berat CaCl_2 yang diperlukan dalam 70 ml larutan campuran adalah $\text{Molar} \times \text{Vol (Liter)} \times \text{BM} = 0,05 \times 0,07 \times 110,98 = 0,39$ gram CaCl_2 . Pengertian dari 1,1 M urea dan CaCl_2 dalam 70 ml larutan campuran adalah kebutuhan bahan kimia yang terdiri dari 1,1 M urea dalam 35 ml larutan campuran dan 1,1 M CaCl_2 dalam 35 ml larutan campuran. Pada 1,1 M urea dalam 35 ml larutan campuran diperlukan berat urea sebanyak $1,1 \times 0,035 \times 60,06 = 2,31$ gram urea, dan 1,1 M CaCl_2 dalam 35 ml larutan campuran diperlukan berat CaCl_2 sebanyak $1,1 \times 0,035 \times 110,98 = 4,27$ gram CaCl_2 . Larutan campuran urea dan CaCl_2 yang sudah didapat tadi kemudian dicampur (*mix*) untuk mendapatkan 70 ml larutan campuran urea dan CaCl_2 .

Tabel 3.3 Rangkuman pelaksanaan proses pencampuran dengan metode Harkes.

Hari	Fase	Deskripsi	Durasi (menit)	Debit (ml/menit)	Volume (ml)	Keterangan
1	Pembilasan (<i>Rinse</i>)	Penyiraman Air	5	10	50	Air
		Injeksi CaCl ₂	7	10	70	50 mM CaCl ₂
	Penempatan (<i>Placement</i>)	Injeksi Bakteri	5	10	50	Aktivitas Urease= 374,94 U/ml <i>Oceanobacillus sp. YIM DH3</i>
		Tanpa Aliran – Reaksi	240	0	0	
	Sementasi (<i>Cementation</i>)	Injeksi Larutan Reaksi	7	10	70	1,1 M urea dan CaCl ₂
		Tanpa Aliran – Reaksi	1440	0	0	
2	Sementasi (<i>Cementation</i>)	Injeksi Larutan Reaksi	7	10	70	1,1 M urea dan CaCl ₂
		Tanpa Aliran – Reaksi	1440	0	0	

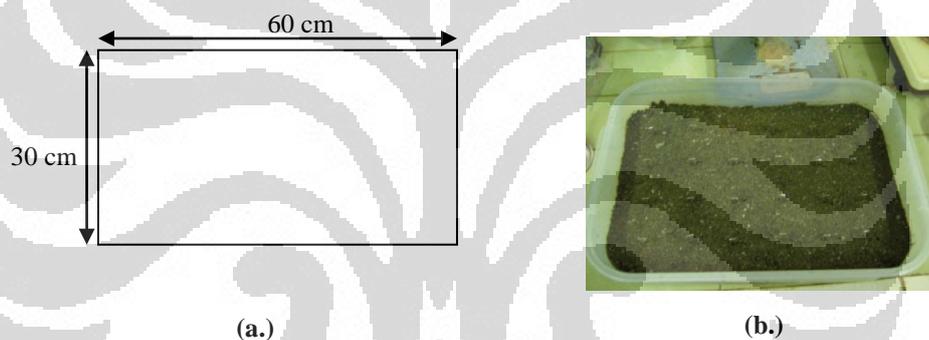
Tabel 3.4 Rangkuman pelaksanaan proses pencampuran dengan metode De Jong.

Hari	Deskripsi	Durasi (menit)	Debit (ml/menit)	Volume (ml)	Keterangan
1	Injeksi bakteri yang sudah dalam media pertumbuhan	12	10	115,25	107,5 ml Media Pertumbuhan urea+ 5,5 ml Kultur bakteri+ 2,25 ml Larutan Stok CaCl ₂ diaduk dan diaerasi dengan udara yang difilter
	Proses reaksi	240	0	0	Wadah dibiarkan tanpa tindakan lain
	Sementasi	11	10	109,75	107,5 ml Media Pertumbuhan urea+ 2,25 ml Larutan Stok CaCl ₂ diaduk dan diaerasi dengan udara yang difilter
	Proses reaksi	1440	0	0	Wadah dibiarkan tanpa tindakan lain
2	Sementasi	11	10	109,75	107,5 ml Media Pertumbuhan urea+ 2,25 ml Larutan Stok CaCl ₂ diaduk dan diaerasi dengan udara yang difilter
	Proses reaksi	1440	0	0	Wadah dibiarkan tanpa penambahan material baru

Perbedaan pelaksanaan diantara metode Harkes dan metode De Jong adalah persiapan injeksi bakteri, untuk metode Harkes tindakan untuk injeksi bakteri dilakukan setelah injeksi CaCl₂ yang bertujuan untuk meningkatkan pH tanah dari awalnya 7,5 menjadi 8,0. Jika pH tanah sudah mencapai 8,0, maka bakteri aktif mengkatalisis urea yang telah diinjeksi dengan enzim urease (Harkes, 2008). Metode De Jong, ketika proses injeksi bakteri, bahan utama bakterinya telah disiapkan dalam media pertumbuhan

(larutan campuran dimana terdiri dari urea dan CaCl_2), dalam metode De Jong medium pertumbuhan bakteri dan bakterinya dicampur dan diaerasi untuk mencapai pH larutan campuran adalah 8,0 (De Jong *et al.*, 2006) selanjutnya larutan campuran itu diinjeksikan ke dalam masing-masing *tray* yang berisi sampel tanah yang telah disiapkan tadi.

Wadah yang digunakan untuk media sampel tanah sebelum proses pencampuran adalah wadah berbahan plastik transparan dengan ukuran sebagai berikut: $p \times l \times h = 60 \times 30 \times 4 \text{ cm}^3$, seperti yang terlihat dalam **Gambar 3.4** telah diisikan sampel tanah dengan tinggi sampel tanah, $h' = \pm 2 \text{ cm}$, sehingga volume sampel tanah yang telah disiapkan adalah $60 \times 30 \times 2 \text{ cm}^3$.



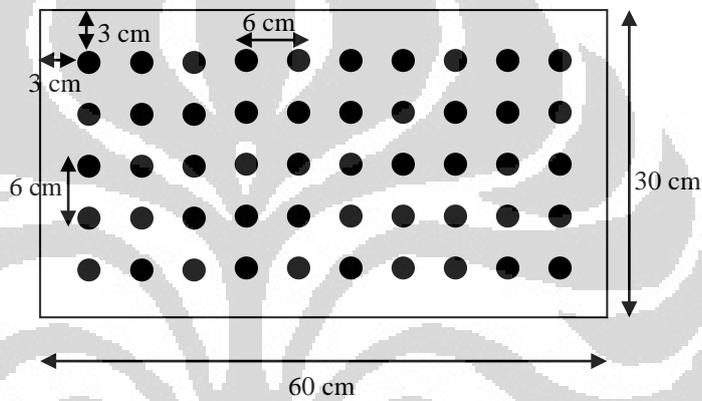
Gambar 3.4 Ukuran dan wadah yang digunakan untuk media tanahnya.

Keterangan:

- Ukuran wadah untuk sampel tanah.
- Wadah yang sudah diisi dengan sampel tanah.

Pelaksanaan injeksi langsung mengikuti pelaksanaan injeksi seperti pada **Gambar 3.5**, sedangkan metode pengukuran pH sampel tanah diambil secara random dari beberapa titik-titik yang mewakili titik-titik dalam pelaksanaan injeksi tadi. Pada metode pelaksanaan untuk kedua metode pencampuran yang telah disebutkan diatas dikerjakan secara paralel atau bersamaan, sehingga dapat dimungkinkan untuk dikontrol dalam kondisi lingkungan yang sama, yaitu pada kondisi temperatur ruang $28 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Waktu yang diperlukan untuk proses injeksi juga relatif pendek sekitar 20 – 30 menit untuk kedua metode yang dikerjakan secara paralel baik pada proses injeksi bakteri ataupun pencampuran urea dan CaCl_2 ke sampel tanah

yang disiapkan tadi. Proses penginjeksian langsung untuk kedua metode diatas dibatasi hingga hari ke - 2 saja. Sampel tanah yang disiapkan untuk masing-masing metode pencampuran diatas adalah dengan dua macam *tray*, wadah plastik yang pertama adalah *tray* yang berisi sampel tanah untuk uji geser langsung dan wadah plastik yang kedua adalah *tray* yang berisi sampel tanah untuk uji permeabilitas dengan metode *constant head*. Total sampel tanah yang disiapkan dalam wadah plastik untuk masing-masing metode pencampuran yang sudah disebutkan diatas adalah 4 buah wadah plastik yang berisi sampel tanah yang telah disiapkan tadi.



Gambar 3.5 Metode pelaksanaan injeksi langsung pada medium sampel tanah.

Hasil reaksi dari proses pencampuran telah terlihat pada hari ke - 3 yang dimulai dari awal proses injeksi dan berdasarkan dari beberapa referensi penelitian sebelumnya yang menyebutkan hasil reaksi mulai terlihat kering pada hari ke - 3 (De Jong *et al.*, 2006; Harkes *et al.*, 2008) adalah hasil dari proses terjadinya sementasi, maka penulis disini melakukan uji geser langsung dan uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk beberapa perbedaan waktu pengambilan sampel yang diurutkan dari hari ke - 4, 8, 16, 24 dan 28 seperti yang terdapat dalam **Tabel 3.5** berlaku untuk sampel tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes maupun untuk sampel tanah hasil pencampuran dengan metode De Jong.

Alat yang digunakan untuk pengambilan sampel tanah setelah proses pencampuran untuk *tray* pada uji geser langsung menggunakan ring berdiameter, $D = 6$ cm dengan tinggi, $h = 2,5$ cm, dan untuk pengambilan sampel tanah setelah proses pencampuran untuk *tray* pada uji permeabilitas

menggunakan sekop seperti yang terlihat pada **Gambar 3.6**. Pada *tray* untuk uji geser langsung yang telah dicetak dan dipindahkan dengan ring secara hati-hati untuk ditimbang kemudian dipindahkan ke dalam *shear box*. Sedangkan pada *tray* untuk uji permeabilitas dengan metode *constant head* dipindahkan dengan sekop secara manual ke dalam mold permeabilitas.



Gambar 3.6 Alat yang digunakan untuk mencetak dan memindahkan sampel tanah.

Keterangan:
a. Ring
b. Sekop

Pada hari ke - 4 (waktu peram 2 hari) untuk sampel tanah hasil pencampuran tadi pada *tray* yang disiapkan untuk uji permeabilitas dengan metode *constant head* dipindahkan dari wadah plastik ke dalam mold permeabilitas. Persiapan pemindahan ini dimulai dari persiapan mold alat uji permeabilitasnya, ukur tinggi dan diameternya. Kemudian, sampel tanah yang disiapkan untuk uji permeabilitas dengan metode *constant head* dipindahkan dari wadah plastik ke dalam mold permeabilitas dengan sekop, sesudah itu diukur tinggi sampel tanah tersebut hingga mencapai tinggi sampel uji, $L = 10$ cm. Selanjutnya mold permeabilitas tersebut dipindahkan ke dalam alat tes permeabilitas dan direndam selama 24 jam agar tanah menjadi jenuh. Langkah selanjutnya adalah diukur dan dicatat waktu yang diperlukan untuk memenuhi suatu volume tertentu. Pelaksanaan pada uji permeabilitas dengan metode *constant head* pada sampel tanah hasil proses pencampuran dengan metode Harkes dan metode De Jong masing-masing diulang sebanyak 5 seri agar dicari konsistensi volume air yang tertampung didalam gelas ukur (waktu yang dibutuhkan untuk 1 seri pengujian adalah 300 detik), saat itu juga diukur pH sampel tanah hasil proses pencampuran.

Pengujian permeabilitas dengan metode *constant head* untuk sampel tanah hasil pencampuran dilakukan juga pada hari ke – 8, hari ke – 16, hari ke – 24 dan hari ke – 28 seperti yang terdapat dalam **Tabel 3.5** berlaku untuk sampel tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes maupun untuk sampel tanah hasil pencampuran dengan metode De Jong.

Tabel 3.5 Rencana kerja dan pelaksanaan pengujian geser langsung dan permeabilitas.

Hari ke - i	1	2	3	4	8	16	24	28
Metode Harkes	Injeksi CaCl ₂ , medium bakteri dan urea secara bertahap.		Terlihat mekanisme perubahan pada sampel tanah hasil pencampuran yang disertai dengan munculnya cairan kuning ke-coklatan hasil proses <i>biogrouting</i> yang terlihat menjadi kering	<ol style="list-style-type: none"> Masing-masing <i>tray</i> untuk uji geser langsung dan uji permeabilitas dengan metode <i>constant head</i>. Pembacaan pH sampel tanah. 				
Metode De Jong	Injeksi bakteri yang sudah dalam media pertumbuhan yang telah diaerasi (pH larutan adalah 8). Injeksi CaCl ₂ dan urea yang telah diaerasi.	Injeksi urea dan CaCl ₂ .						

Pada hari ke – 4 (waktu peram 2 hari) untuk sampel tanah hasil pencampuran tadi pada *tray* yang disiapkan untuk uji geser langsung dipindahkan dari wadah plastik ke dalam *shear box* dengan ring. Langkah selanjutnya adalah dicatat pembacaan *ring dial* setiap interval waktu 15 detik dengan kecepatan pergeseran horizontal 1 mm/menit dimulai dengan beban pemberat 11,31 kg. Percobaan ini diulangi dengan berat beban normal yang berbeda-beda dari beban 22,62 kg, 33,93 kg, 45,24 kg dan 56,55 kg, hal ini berguna untuk mendapatkan beberapa titik pada grafik antara tegangan normal (σ_n) dengan tegangan geser (τ). Pelaksanaan pada uji geser langsung pada sampel tanah hasil proses pencampuran dengan metode

Harkes dan metode De Jong dilakukan juga pada hari ke – 8 (pemeraman 6 hari), hari ke – 16 (pemeraman 14 hari), hari ke – 24 (pemeraman 22 hari) dan hari ke – 28 (pemeraman 26 hari) dan masing-masing dengan 2 seri pengujian untuk melihat konsistensi data hasil pengujiannya, saat itu juga diukur pH sampel tanah hasil proses pencampuran.

Pengamatan yang sederhana untuk mengetahui batas waktu dari proses *biogrouting* berhenti dalam medium tanah adalah perubahan pH, jika pH tanah saat proses *biogrouting* berangsur-angsur kembali ke tingkat pH awal tanahnya maka proses *biogrouting* dinyatakan sudah berhenti, hal ini dikarenakan oleh berkurangnya aktivitas bakterial pada dekomposisi urea dengan enzim urease dan berkurangnya nutrisi yang dibutuhkan bakteri *biogrouting* di dalam sampel tanah (Ramakrishnan *et al.*, 2000; De Jong, 2006 dan 2009).

3.4 PENGUJIAN SIFAT FISIK DAN MEKANIK TANAH

Pengujian laboratorium terhadap sampel tanah asli diperlukan untuk menganalisis properti tanahnya, sehingga diperoleh gambaran tentang sifat fisik dan mekanik tanahnya.

3.4.1 Uji Analisa Ukuran Butiran

Pengujian analisa ukuran butiran dilakukan sesuai ASTM D 2487 – 93. Prosedur pengujian meliputi tahapan menyiapkan contoh tanah:

- a. Tanah murni kering oven ditimbang seberat ± 500 gram.
- b. Tanah tersebut dicuci dengan air leding di atas saringan no. 200 agar bersih dari lempung, sehingga hanya pasir yang tertinggal.
- c. Pasir yang sudah bersih dari lempung ini lalu dikeringkan dalam oven selama 18 – 24 jam.

Urutan pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

1. Tanah dari oven ditimbang.
2. Disusun ayakan ASTM berturut-turut dari atas ke bawah no. 4 – 10 – 20 – 40 – 100 – 200 dan pan lalu ditutup.
3. Tanah dimasukkan ke saringan paling atas, yaitu pada saringan no. 4.

4. Susunan ayakan yang berisi contoh tanah lalu diguncang selama 15 menit di mesin pengguncang.
5. Butiran tanah yang tertahan pada masing-masing ayakan dipindahkan ke can lalu ditimbang dan dicatat.

3.4.2 Uji Spesifik Gravitasi

Pengujian Berat Jenis Tanah dilakukan sesuai dengan ASTM D 854 –

83. Urutan pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

1. Benda uji dikeringkan dalam oven pada temperatur $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam, setelah itu didinginkan dalam desikator.
2. Piknometer atau botol ukur dicuci dengan air suling, kemudian dikeringkan dan selanjutnya ditimbang.
3. Benda uji dimasukkan ke dalam piknometer atau botol ukur yang digunakan, kemudian ditimbang.
4. Air suling ditambahkan ke dalam piknometer atau botol ukur yang berisi benda uji, sehingga piknometer atau botol ukur terisi duapertiganya.
5. Untuk benda uji yang mengandung lempung diamkan benda uji terendam selama 24 jam atau lebih.
6. Piknometer atau botol ukur yang berisi rendaman benda uji dipanaskan dengan hati - hati selama 10 menit atau lebih sehingga udara dalam benda uji ke luar seluruhnya. Untuk mempercepat proses pengeluaran udara, piknometer atau botol ukur dapat dimiringkan sekali – kali.
7. Pengeluaran udara dapat dilakukan dengan pompa hampa udara, dengan tekanan 13,33 kPa (100 mm Hg).
8. Piknometer atau botol ukur direndam dalam bak perendam, sampai temperaturnya tetap. Air suling ditambahkan secukupnya sampai penuh. Bagian luarnya dikeringkan, lalu ditimbang.
9. Temperatur isi piknometer atau botol ukur diukur, untuk mendapatkan faktor koreksi.
10. Bila isi piknometer atau botol ukur belum diketahui, isinya ditentukan sebagai berikut :

- Kosongkan dan bersihkan piknometer atau botol ukur yang akan digunakan;
 - Isi piknometer atau botol ukur dengan air suling yang temperaturnya sama, kemudian keringkan dan timbang.
11. Dengan perhitungan tertentu, akan dapat ditentukan nilai berat jenis tanah yang diuji.

3.4.3 Uji Permeabilitas Tanah dengan Metode *Constant Head*

Pengujian permeabilitas dengan metode *constant head* dilakukan sesuai ASTM D 2434 – 68. Prosedur pengujian meliputi tahapan menyiapkan contoh tanah:

- a. Siapkan mold alat tes permeabilitasnya, ukur tinggi dan diameternya.
- b. Pindahkan tanah ke dalam mold permeabilitas, sesudah itu ukur tinggi contoh tanah tersebut.
- c. Selanjutnya masukan mold tersebut kedalam alat tes permeabilitas dan direndam selama 24 jam agar tanah menjadi jenuh.

Urutan pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

1. Udara yang ada dalam alat tes permeabilitas harus dihilangkan dan sesudah itu tutup kran yang menuju *standpipe*.
2. Usahakan agar air dalam reservoir tingginya tetap dan tidak bergolak akibat penambahan air.
3. Ukur tinggi air di reservoir terhadap air di alat (h).
4. Perhatikan apakah air yang menetes sudah konstan. Bila tampaknya sudah konstan, siapkan stopwatch dan gelas ukur.
5. Ukur dan catat waktu yang diperlukan untuk memenuhi suatu volume tertentu.

3.4.4 Uji Geser Langsung

Pengujian geser langsung dilakukan sesuai ASTM D 3080 – 72. Prosedur pengujian meliputi tahapan menyiapkan contoh tanah:

- a. Ambil sampel tanah secukupnya dan bersihkan dari kotoran – kotoran yang ada didalamnya.
- b. Ukur diameter dari *shear box* ($d = 6$ cm) beberapa kali dan ambil harga rata-ratanya.
- c. Timbang berat penutup *shear box*.
- d. Siapkan beban – beban pemberat yang terdiri dari: (11,31, 22,62, 33,93, 45,24, 56,55) kg.

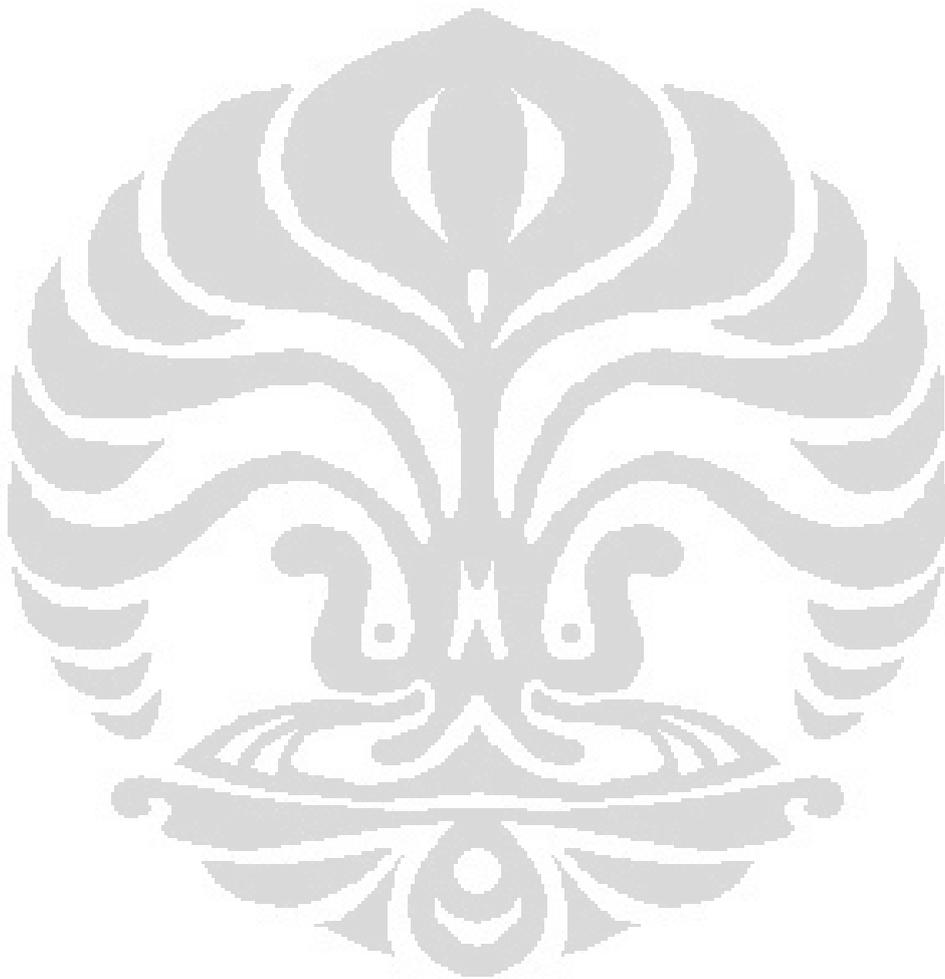
Urutan pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

1. Sampel tanah yang telah dibersihkan dimasukkan ke dalam *shear box*.
2. *Shear box* kemudian dikunci.
3. Agar sampel tanah menjadi agak padat (tidak berongga) tanah tersebut dicocok-cocok dengan alat pengaduk selama 2-5 menit. Kemudian permukaannya diratakan dan ditutup dengan serat-serat batu berpori yang serat-seratnya tegak lurus terhadap arah gaya geser agar tanah tidak menggeser/menggelincir yang akan mempengaruhi besarnya tegangan yang akan timbul.
4. Beban 11,31 kg mulai diletakkan, percobaan segera dimulai dengan kecepatan pergeseran horizontal 1 mm/menit.
5. Baca penunjukkan *ring dial* setiap interval waktu 15 detik mulai dari start, langsung dicatat.
6. Bila pada suatu saat pembacaan pada *ring dial* menjadi konstan untuk kemudian menurun, percobaan kita hentikan dan tanah dianggap telah mengalami keruntuhan.
7. Percobaan ini diulangi dengan berat beban normal yang berbeda-beda dari beban 22,62 kg, 33,93 kg, 45,24 kg dan 56,55 kg, hal ini guna mendapatkan beberapa titik pada grafik antara tegangan normal (σ_n) vs tegangan geser (τ).

3.4.5 Penulisan Laporan Penelitian

Hasil dari penelitian ini disusun menjadi suatu laporan yang lengkap yang berisi tentang pengolahan data dan analisa dari uji permeabilitas dengan metode *constant head* dan uji geser langsung untuk pengujian sifat fisik dan

mekanik tanah dari kondisi sebelum dan setelah proses pencampuran. Sebagai data awal untuk sampel tanah asli bukan data pembanding akan dimasukkan juga pengolahan data dari uji analisa ukuran butiran dan uji spesifik gravitasi. Sedangkan untuk data tambahan lainnya bukan pembanding adalah pH sampel tanah setelah proses pencampuran.



BAB 4

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

4.1 HASIL UJI SIFAT FISIK DAN MEKANIK TANAH ASLI

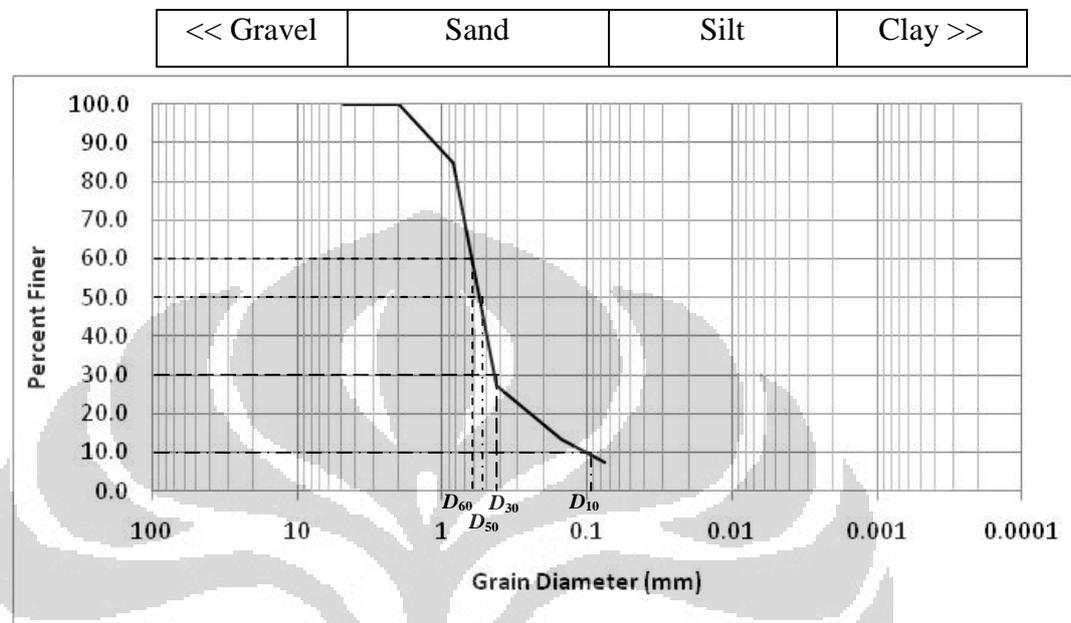
Hasil uji sifat fisik dan mekanik tanah pada tanah asli terdiri dari uji analisa ukuran butiran, uji spesifik gravitasi, uji permeabilitas dengan metode *constant head*, dan uji geser langsung (*direct shear test*). Selanjutnya detail tiap hasil pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat pada pembahasan sub bab dibawah ini.

4.1.1 Analisa Ukuran Butiran untuk Tanah Asli

Hasil analisa ukuran butiran untuk tanah asli dari berat total 499,5 gram tanah didapat bahwa 92,5% adalah butiran adalah pasir, dan 7,5% adalah butiran lanau dan lempung. Tanah asli termasuk jenis tanah pasir berbutir kasar/sedang, karena hanya 7,5% lolos saringan no.200. Berdasarkan sistem klasifikasi Unified (**ASTM Designation D-2487 - 93**), tanah asli ini dapat digolongkan sebagai tanah pasir kelanauan (*SM*), karena ukuran butiran halus adalah berupa tanah lanau (*nonplastis*). Grafik analisa ukuran butiran untuk tanah asli dapat dilihat pada **Gambar 4.1**. Butiran pasir terbagai atas 3 fraksi butiran pasir yaitu pasir kasar (ukuran butiran adalah 4,75 s.d. 2,0 mm), pasir sedang (ukuran butiran adalah 2,0 s.d. 0,425 mm) dan pasir halus (ukuran butiran adalah 0,425 s.d. 0,075 mm). Persentase detail dari fraksi-fraksi butiran pasir untuk tanah asli dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

Dari analisis ukuran butiran tanah asli (**Tabel 4.1**) terlihat bahwa ukuran butiran pasirnya memiliki komposisi butiran pasir sedang lebih banyak dibandingkan dengan komposisi butiran pasir kasar atau halus, dimana persentase butiran pasir sedang mencapai 72,72 % dari total ukuran butiran tanahnya dibandingkan dengan butiran pasir halus yang persentasenya lebih kecil sekitar 19,78% dari total ukuran butiran tanahnya. Maka tanah asli yang komposisi yang telah disebutkan tadi dapat dikatakan

tanah bergradasi seragam (*uniformly graded soil*) karena jumlah berat butiran sebagian besar mengelompok di dalam batas interval yang relatif sempit yang berada pada diameter butiran pasir sedang.



Gambar 4.1 Persentase ukuran butir partikel tanah untuk mendapatkan nilai-nilai dari diameter butir D_{10} , D_{30} , D_{50} dan D_{60} .

Tabel 4.1 Persentase analisa ukuran butiran untuk butiran pasir tanah asli Karawang.

Golongan Pasir	Nomor Saringan	Diameter Butiran	Persentase dari Total Ukuran Butiran Tanah (%)
Kasar	no.4 s.d. 10	4.75 s.d. 2.0 mm	0
Sedang	no.10 s.d. 40	2.0 s.d. 0.425 mm	72,72
Halus	no. 40 s.d. 200	0.425 s.d. 0.075 mm	19.78

Pada grafik analisa ukuran butiran untuk tanah asli (**Gambar 4.1**) diperoleh nilai $D_{10} = 0,1$ mm, yang diartikan 10% dari berat butiran total berdiameter kurang dari 0,1 mm atau 10% dari massa partikel terdiri dari partikel halus yang berdiameter kurang dari 0,1 mm. Ukuran-ukuran yang lain seperti $D_{30} = 0,5$ mm, yang diartikan 30% dari berat butiran total berdiameter kurang dari 0,5 mm, dan $D_{60} = 0,75$ mm, yang diartikan 60% dari berat butiran total berdiameter kurang dari 0,75 mm. Ukuran butir rata-rata, $D_{50} = 0,65$ mm adalah ukuran yang 50% dari massa partikel terdiri dari

partikel halus yang berdiameter kurang dari 0,65 mm. Setelah diperoleh data analisa untuk D_{10} , D_{30} dan D_{60} selanjutnya menentukan kemiringan dan bentuk umum dari kurva distribusi butiran dengan koefisien keseragaman (*coefficient of uniformity*), C_u , dan koefisien gradasi (*coefficient of gradation*), C_c yang didapat dengan perhitungan sebagai berikut:

Koefisien keseragaman:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,75}{0,1} = 7,5 \quad (4.1)$$

Koefisien gradasi:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} D_{60}} = \frac{(0,5)^2}{0,1 \cdot 0,75} = 3,3 \quad (4.2)$$

Tabel 4.2 Ringkasan tentang hasil analisis ukuran butiran sampel tanah asli Karawang.

D_{10} (mm)	D_{30} (mm)	D_{50} (mm)	D_{60} (mm)	C_u	C_c	Ringkasan tentang sampel tanah asli Karawang
0,1	0,5	0,65	0,75	7,5	3,3	Tidak memenuhi salah satu kriteria: Koefisien gradasi, $1 < C_c < 3$ Koefisien keseragaman, $C_u > 6$ Maka dikelompokkan sebagai, <i>SP - SM</i>

Tanah bergradasi baik jika memenuhi persyaratan untuk koefisien gradasi, $1 < C_c < 3$ dan koefisien keseragaman, $C_u > 6$ untuk kelompok tanah pasir. Berdasarkan hasil perhitungan **Persamaan 4.1** dan **4.2**, tanah asli ini dapat dikatakan tanah bergradasi buruk, walaupun koefisien keseragaman, $C_u > 6$, namun koefisien gradasi $C_c > 3$. Jika berdasarkan dari sistem klasifikasi tanah Unified dan hasil uji analisa ukuran butiran, maka sampel tanah asli termasuk dalam kriteria tanah bergradasi buruk dan tanah ini dikelompokkan dalam kelompok tanah *SP - SM* yang artinya adalah jenis tanah pasir kelanauan yang bergradasi buruk. Tanah bergradasi buruk adalah tanah yang ukuran butirannya seragam dan kelengkungan kurvanya tidak lebar dari butiran kasar hingga butiran halus.

4.1.2 Analisis Hasil Uji Spesifik Gravitasi untuk Tanah Asli

Uji spesifik gravitasi untuk tanah asli adalah untuk mendapatkan perbandingan dari kepadatan material/berat volume butiran padat tanah asli (γ_s) dengan berat isi air (γ_w) pada temperatur 4 °C. Secara tipikal, berat jenis berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. Hasil uji spesifik gravitasi menunjukkan bahwa nilai G_s tanah asli rata-rata adalah 2,697, dengan faktor koreksi $\alpha = 0,99627$ untuk temperatur 28 °C (Lihat **Lampiran 2**). Tingkat kesalahan penentuan nilai G_s dari 2 seri pengujian adalah 0,04% < 2% yang artinya masih diterima. Pengelompokan berdasarkan **Tabel 4.3** untuk berat jenis sampel tanah asli dapat dikategorikan sebagai berat jenis tanah pasir kelanauan, karena berada pada batasan angka 2,67 s.d. 2,70.

Tabel 4.3 Berat jenis tanah (*specific gravity*)

Jenis Tanah	G_s
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Pasir kelanauan	2,67 – 2,70
Lanau anorganik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Tanah dengan unsur mika dan besi	2,75 – 3,00
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber: Hardiyatmo, 2006)

4.1.3 Analisis Hasil Uji Permeabilitas dengan Metode *Constant Head* untuk Tanah Asli

Uji permeabilitas dengan metode *constant head* ini sesuai untuk jenis tanah granular. Pengujian tes permeabilitas pada tanah asli bertujuan untuk menentukan koefisien permeabilitas (*coefficient of permeability*). Aliran air lewat sampel tanah diatur supaya konstan. Banyaknya air yang keluar ditampung di dalam gelas ukuran. Waktu pengumpulan air dan pH tanah

yang tercatat dapat dilihat pada **Tabel 4.4**. Durasi waktu pengumpulan air rata-rata 300 detik (5 menit) untuk satu seri pengetesan. Volume air rata-rata yang tercatat di dalam gelas ukuran adalah 285,8 ml, dengan temperatur ruang rata-rata, $T = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan pH tanah yang tercatat adalah 7,5. Koefisien permeabilitas saat $T = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$, k_T , dapat dihitung dengan melihat kembali **Persamaan 2.10**. Hasil perhitungannya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$k_T = QL/Aht = \frac{285,8 \times 10}{78,54 \times 83 \times 300} = 1,461 \times 10^{-3} \text{ cm/s} \quad (4.3)$$

Dari **Persamaan 4.3** diperoleh nilai koefisien permeabilitas tanah saat $T = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ adalah $1,461 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$.

Tabel 4.4 Hasil pengujian permeabilitas dengan metode *constant head* dan nilai pH tanah untuk tanah asli.

Tes No.	t (detik)	Q (ml)	T ($^{\circ}\text{C}$)	pH tanah
1	300	285	28	7,5
2	300	285	28	7,5
3	300	287	28	7,5
4	300	285	28	7,5
5	300	287	28	7,5
Rata-rata	300	285.8	28	7,5

Koefisien permeabilitas koreksi terhadap suhu, k_{20} , didapat dengan menggunakan **Persamaan 2.12** dengan faktor koreksi terhadap suhu, $\mu_T/\mu_{20} = 0,829$ untuk $T = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Lihat pada **Tabel 2.5**). Hasil perhitungan koefisien permeabilitas pada temperatur $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, k_{20} dapat dituliskan sebagai berikut:

$$k_{20} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{20}} = 1,461 \times 10^{-3} \times 0,829 = 1,212 \times 10^{-3} \text{ cm/s} \quad (4.4)$$

Nilai koefisien permeabilitas tanah asli yang diperoleh dari **Persamaan 4.4** menurut **Tabel 2.4** dikelompokkan sebagai koefisien permeabilitas untuk tanah pasir berlanau butiran sedang (Craig, 1994).

Data tambahan dari hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* adalah data berat isi basah (γ) tanah asli yang dapat dituliskan dengan persamaan dibawah ini:

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{1217,4 \text{ gram}}{785,398 \text{ cm}^3} = \frac{1,550 \text{ gram}}{\text{cm}^3} = 15,5 \text{ kN/m}^3 \quad (4.5)$$

Berat isi basah (γ) untuk tanah asli yang terukur adalah $15,5 \text{ kN/m}^3$. Data hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli dapat dilihat selengkapnya pada **Lampiran 3**.

4.1.4 Analisis Hasil Uji Geser Langsung untuk Tanah Asli

Data hasil uji geser langsung untuk tanah asli yang dilakukan sebanyak 2 seri dapat dilihat pada **Lampiran 6**. Dari data-data hasil uji geser langsung pada tanah asli diketahui bahwa kadar air untuk tanah asli adalah 14%. Sedangkan dari analisis data hasil uji geser langsung dapat ditarik suatu garis persamaan linier yang menghubungkan titik-titik perpotongan antara tegangan normal dan tegangan geser seperti yang terlihat pada **Gambar 4.2**, dimana persamaan ini dapat dituliskan sebagai persamaan linier dari hasil uji geser langsung pada tanah asli salah satunya adalah untuk seri 1 dapat dituliskan sebagai berikut:

$$y = 0,3704x + c \quad (4.6)$$

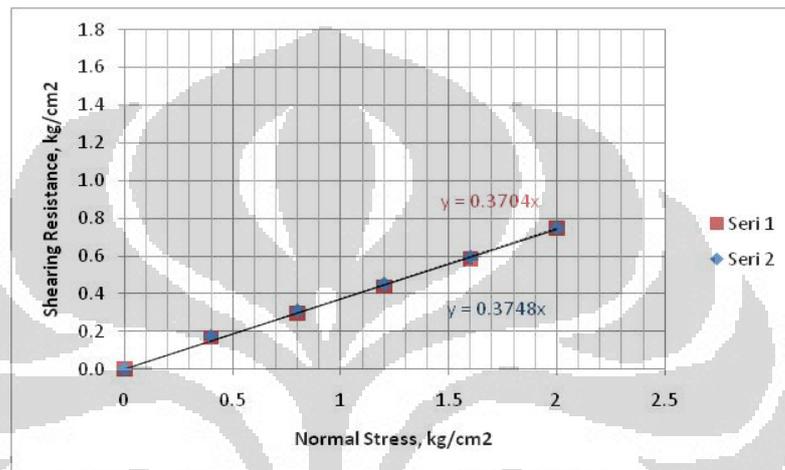
Kemudian **Persamaan 4.6** diubah menjadi suatu fungsi sudut tangensial dari hasil uji geser langsung pada tanah asli untuk seri 1 adalah sebagai berikut:

$$\tan \phi' = \frac{y}{x} = 0,3704 \quad (4.7)$$

dimana konstanta, c , adalah nilai kohesi. Selanjutnya dari **Persamaan 4.7** didapat nilai sudut geser dalam efektif (ϕ'). Nilai sudut geser dalam efektif untuk tanah asli dari hasil uji geser langsung untuk seri 1 adalah $20,32^\circ$. Perhitungan dengan persamaan linier untuk seri 2 diperoleh nilai kohesi tanah mendekati nol ($c \approx 0$) dan sudut geser dalam efektif, $\phi' = 20,55^\circ$.

Rangkuman data analisis hasil uji geser langsung untuk tanah asli dengan 2 seri pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.5** didapat bahwa nilai rata-rata kohesi dari tanah asli sangat kecil sehingga kohesi tanah mendekati nol ($c \approx 0$) dan rata-rata sudut geser dalam efektif dari tanah asli, $\phi' =$

20,43°. Dari hasil uji geser langsung dari tanah asli dapat disimpulkan bahwa tanah asli adalah tanah nonplastis/tidak kohesif dan nilai sudut geser dalam efektif untuk tanah asli dengan 2 seri hasil uji geser langsung ($\phi' = 20,43^\circ$) berdasarkan nilai sudut geser dalam efektif yang terdapat pada **Tabel 2.6**, tanah asli dapat dikelompokkan sebagai tanah pasir berlanau yang tidak padat.



Gambar 4.2 Grafik hubungan tegangan normal terhadap tegangan geser pada tanah asli.

Tabel 4.5 Ringkasan parameter kuat geser tanah dari tanah asli.

Tes No.	Kohesi, c (kg/cm^2)	Sudut Geser Dalam Efektif, ϕ' ($^\circ$)
1	0	20,32
2	0	20,55
Rata-rata	0	20,43

Data tambahan dari hasil uji geser langsung yang tidak berkaitan langsung dengan parameter kuat geser adalah kadar air. Kadar air untuk tanah asli dari analisis hasil uji geser langsung diperoleh, $w = 14\%$. Kadar air untuk tanah asli mewakili kadar air di lapangan dan di laboratorium.

4.2 ANALISIS HASIL PENCAMPURAN SAMPEL TANAH PASIR KARAWANG DENGAN CARA *BIOGROUTING*

Sampel tanah yang disiapkan dan telah lolos saringan no. 4 untuk proses pencampuran telah dibersihkan terlebih dahulu dengan air distilasi sehingga *tray* yang digunakan berbeda dari *tray* untuk tanah asli. Pada **Gambar 4.3** adalah dokumentasi sampel tanah sebelum dan setelah proses pencampuran pada hari ke - 3 dengan metode Harkes maupun metode De Jong. Pada metode Harkes hari pertama ketika penjenuhan tanah dengan air dilakukan pengukuran pH tanah sebelum proses injeksi. pH sampel tanah yang terukur adalah 7,5. Selanjutnya adalah proses injeksi larutan CaCl_2 . Hasil pengukuran pH sampel tanah setelah injeksi larutan CaCl_2 meningkat dari 7,5 menjadi 8,0. Peningkatan pH setelah injeksi larutan CaCl_2 dipengaruhi oleh sifat keasaman dari larutan CaCl_2 (pH CaCl_2 adalah 8,0). Setelah injeksi larutan CaCl_2 berikutnya adalah injeksi larutan bakteri *biogrouting* (pH medium bakteri *biogrouting* adalah 8,0). pH sampel tanah setelah injeksi bakteri *biogrouting* meningkat dari 8,0 menjadi 8,5. Peningkatan pH setelah injeksi bakteri *biogrouting* disebabkan adanya aktivitas sel bakteri sebagai katalis pada presipitasi kalsit. Sampel tanah yang dibiarkan selama 4 jam bertujuan untuk memberi kesempatan terjadinya reaksi presipitasi kalsium karbonat oleh bakteri *biogrouting*. Dari pengamatan terlihat cairan kuning kecoklatan seperti lendir yang lengket di sekitar sampel tanah.



a. Sebelum proses *biogrouting*.



b. Setelah proses *biogrouting* hari ke - 3.

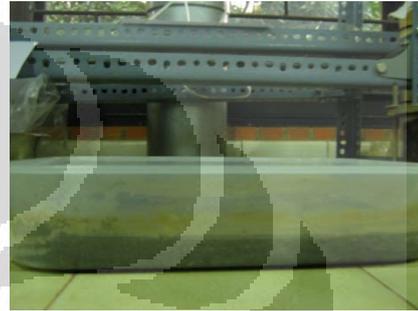
Gambar 4.3 Sampel tanah saat sebelum dan setelah proses *biogrouting*.

Pengukuran pH sampel tanah setelah injeksi larutan urea dan CaCl_2 diperoleh pH sampel tanah meningkat dari 8,5 menjadi 9,0. Peningkatan pH dapat disebabkan oleh aktivitas bakterial pada dekomposisi oleh enzim

urease. Sampel tanah hasil pencampuran akan tercium aroma yang menyengat khas ammonia (NH_3). Pada hari ke - 2 injeksi larutan campuran urea dan CaCl_2 bermanfaat untuk mempertahankan aktivitas bakterial untuk proses presipitasi kalsium karbonat. Sampel tanah hasil pencampuran pada hari ke - 2 terlihat jenuh (Lihat **Gambar 4.4**). Pada hari ke - 3 adalah pemeraman hari pertama sudah terlihat cairan kuning kecoklatan seperti lendir di sekitar sampel tanah mulai kering.



a. Tampak atas untuk sampel tanah hasil proses pencampuran.



b. Tampak samping untuk sampel tanah hasil proses pencampuran.

Gambar 4.4 Sampel tanah hasil proses pencampuran.

Pada hari ke - 4 (waktu peram 2 hari) dilakukan pengetesan pH tanah, hasilnya pH sampel tanah yang terukur adalah 9,0. Lingkungan pH yang tinggi disebabkan oleh aktivitas bakterial pada dekomposisi oleh enzim urease masih terjadi. Bentuk sampel tanah yang sudah kering dapat dilihat pada **Gambar 4.6**. pH tanah pada hari ke - 8 (waktu peram 6 hari) adalah 8,5. Penurunan pH tanah dari 9,0 pada hari ke - 4 (waktu peram 2 hari) menjadi 8,5 pada hari ke - 8 (waktu peram 6 hari) disebabkan oleh penurunan aktivitas presipitasi kalsit oleh bakteri, karena bakteri *biogrouting* sudah tidak diinjeksi makanan bakteri *biogrouting* (urea). Selanjutnya, setelah hari ke - 8 (waktu peram lebih dari 6 hari) secara bertahap terjadi penurunan pH tanah. pH sampel tanah pada hari ke - 16 (waktu peram 14 hari) adalah 8,5. Pada hari ke - 24 (waktu peram 22 hari) dan 28 (waktu peram 26 hari), pH sampel tanah turun menjadi 8,0. Penurunan pH pada sampel tanah disebabkan berkurangnya aktivitas bakteri karena sudah tidak diinjeksi makanan bakteri *biogrouting* (urea). Kesimpulan dari perubahan pH sampel tanah setelah proses pencampuran

dari pH = 9,0 pada hari pertama setelah proses injeksi hingga menjadi pH = 8,0 pada hari ke - 28 (waktu peram 26 hari) adalah berkurangnya aktivitas bakteri *biogrouting* karena sudah tidak diinjeksi makanan bakteri *biogrouting* (urea).

Pada proses pencampuran dengan metode De Jong terjadi proses aerasi dengan filter udara yang berguna untuk memperkaya udara/oksigen yang diperlukan oleh bakteri *biogrouting*. Pada hari pertama pada proses pencampuran dengan metode De Jong, proses aerasi bertujuan untuk mencapai pH larutan campuran bakteri dan media pertumbuhan bakteri adalah 8,0. pH sampel tanah sebelum proses injeksi adalah 7,5. Setelah injeksi larutan campuran bakteri dan media pertumbuhan bakteri ke dalam tanah adalah pengukuran pH sampel tanah. pH sampel tanah setelah injeksi larutan campuran bakteri dan media pertumbuhan bakteri meningkat dari 7,5 menjadi 8,5. Kenaikan pH lingkungan disebabkan aktivitas bakteri sebagai katalis untuk presipitasi kalsit. Sampel tanah hasil pencampuran akan tercium aroma yang menyengat khas ammonia (NH_3). Sampel tanah yang dibiarkan selama 4 jam bertujuan untuk memberi kesempatan terjadinya reaksi presipitasi kalsium karbonat oleh bakteri *biogrouting*. Proses aerasi pada proses pencampuran dengan metode De Jong dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5 Proses aerasi didalam media pertumbuhan bakteri dan bahan-bahan pencampur lainnya untuk proses pencampuran dengan metode De Jong.

Pengukuran pH setelah injeksi larutan campuran urea dan CaCl_2 diperoleh pH sampel tanah meningkat dari 8,5 menjadi 9,0. Peningkatan pH

sampel tanah setelah proses *biogrouting* menunjukkan terjadinya peningkatan aktivitas bakteri *biogrouting* yang berperan sebagai katalis pada presipitasi kalsit. Hasil pengamatan pada sampel tanah hasil proses pencampuran terlihat cairan kuning kecoklatan seperti lendir yang lengket di sekitar sampel tanah. Pada hari ke - 2 setelah injeksi urea dan CaCl_2 sampel tanah hasil proses pencampuran terlihat jenuh dan pH sampel tanah = 9,0. Peningkatan pH dapat disebabkan oleh aktivitas bakterial pada dekomposisi oleh enzim urease. Sampel tanah hasil pencampuran akan tercium aroma yang menyengat khas ammonia (NH_3). Pada hari ke - 2 injeksi larutan campuran urea dan CaCl_2 bermanfaat untuk mempertahankan aktivitas bakterial untuk proses presipitasi kalsium karbonat. Sampel tanah hasil pencampuran pada hari ke - 2 terlihat jenuh. Pada hari ke - 3 adalah pemeraman hari pertama sudah terlihat cairan kuning kecoklatan di sekitar sampel tanah mulai kering. Potongan bentuk sampel tanah yang sudah kering dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.



a.



b.

Gambar 4.6 Potongan bentuk sampel tanah setelah proses *biogrouting* hari ke - 4.

Pada hari ke - 4 (waktu peram 2 hari) dilakukan pengetesan pH tanah, hasilnya pH sampel tanah yang terukur adalah 9,0. Lingkungan pH yang tinggi disebabkan oleh aktivitas bakterial pada dekomposisi oleh urease masih terjadi. pH tanah pada hari ke - 8 (waktu peram 6 hari) adalah 8,5. Penurunan pH tanah dari 9,0 pada hari ke - 4 (waktu peram 2 hari) menjadi 8,5 pada hari ke - 8 (waktu peram 6 hari) disebabkan oleh penurunan aktivitas presipitasi kalsit oleh bakteri, karena bakteri *biogrouting* sudah tidak diinjeksi makanan bakteri *biogrouting* (urea). Selanjutnya, setelah hari ke - 8 (waktu peram lebih dari 6 hari) secara bertahap terjadi penurunan pH

tanah. pH sampel tanah pada hari ke - 16 (waktu peram 14 hari) adalah 8,5. Pada hari ke - 24 (waktu peram 22 hari) dan 28 (waktu peram 26 hari), pH sampel tanah turun menjadi 8,0. Penurunan pH pada sampel tanah disebabkan berkurangnya aktivitas bakteri karena sudah tidak mendapatkan injeksi makanan bakteri *biogrouting* (urea).

Kesimpulan dari kegiatan setelah proses pencampuran pada sampel tanah adalah terlihat cairan kuning kecoklatan di sekitar sampel tanah. Cairan kuning kecoklatan di sekitar sampel tanah terlihat kering setelah peram 1 hari (hari ke - 3 setelah proses pencampuran). Perbedaan wujud fisik yang terlihat pada sampel tanah karena cairan kuning kecoklatan di sekitar sampel tanah adalah ciri-ciri terjadi perubahan setelah proses pencampuran. Persamaan teknik pencampuran dengan metode Harkes dan metode De Jong adalah memanfaatkan bahan-bahan pencampur seperti bakteri *biogrouting*, urea dan CaCl_2 . Perbedaan pada proses pencampuran dengan metode Harkes dan metode De Jong adalah langkah-langkah teknik pencampurannya dan penambahan proses aerasi ke dalam bahan-bahan pencampuran (bakteri, media pertumbuhan bakteri, larutan urea, dan larutan CaCl_2).

4.3 ANALISIS HASIL UJI PERMEABILITAS DENGAN METODE CONSTANT HEAD DAN UJI GESER LANGSUNG UNTUK SAMPEL TANAH SETELAH PROSES PENCAMPURAN

Sampel tanah yang disiapkan dan telah lolos saringan no. 4 untuk proses pencampuran telah dibersihkan terlebih dahulu dengan air distilasi sehingga *tray* yang digunakan berbeda dari *tray* untuk tanah asli. Sampel tanah hasil proses *biogrouting* yang telah dipindahkan dengan sekop dari wadah plastik ke dalam tabung uji permeabilitas dapat dilihat pada **Gambar 4.7**. Sampel tanah hasil pencampuran saat dimasukkan ke dalam tabung permeabilitas tidak diamati tampilan homogenitasnya, sehingga sampel tanah yang dimasukkan hanya berdasarkan perkiraan pengamatan saja. Uji permeabilitas dengan metode *constant head* dilaksanakan secara bertahap dan berurutan dimulai dengan sampel tanah hasil proses pencampuran

dengan metode Harkes kemudian dilanjutkan dengan sampel tanah hasil proses pencampuran dengan metode De Jong. Uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk masing-masing hasil pencampuran dan terhadap waktu peram tertentu dilakukan sebanyak 5 seri pengujian.

Pada **Gambar 4.8a** adalah ring yang digunakan untuk mencetak sampel tanah hasil proses pencampuran dengan metode Harkes/metode De Jong. **Gambar 4.8b** adalah sampel tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes/metode De Jong yang sudah dicetak dan dipindahkan ke dalam *shear box* milik alat uji geser langsung. Cara mencetak sampel tanah hasil proses pencampuran dengan ring (diameter, $d = 6$ cm, tinggi, $h = 2$ cm) yang sudah disiapkan di laboratorium mekanika tanah. Uji geser langsung pada sampel tanah hasil proses pencampuran terhadap waktu peram tertentu dilakukan pengujian masing-masing sebanyak 2 seri.



(a.)



(b.)

Gambar 4.7 Sampel tanah hasil pencampuran (*biogrouting*) untuk diujikan tes permeabilitas dengan metode *constant head*.

Keterangan:

- Sampel tanah yang sudah dipindahkan dengan sekop dari wadah plastik ke dalam tabung dari alat uji permeabilitas.
- Pelaksanaan uji permeabilitas dengan metode *constant head*.

Sampel tanah hasil proses pencampuran dipilih sampel tanah setelah pemeraman 2 hari (hari ke – 4) karena secara pengamatan cairan kuning kecoklatan di sekitar sampel tanah terlihat kering dan sampel tanah hasil pencampuran dapat dipindahkan dari wadah plastik ke dalam tabung permeabilitas dari alat uji permeabilitas dan sampel tanah hasil pencampuran dicetak dan dipindahkan dari wadah plastik ke dalam *shear box* dari alat uji geser langsung. Pada alat uji permeabilitas yaitu ketika

pemindahan sampel dari wadah plastik ke dalam tabung permeabilitas menggunakan cara yang berbeda dengan pemindahan sampel dari wadah plastik ke dalam *shear box*, karena pemindahan dan pencetakan sampel tanah menggunakan sekop bukan dengan ring. Pengambilan sampel tanah hasil pencampuran terhadap waktu peram yang berbeda-beda sudah ditentukan pada **Bab 3** bertujuan untuk mendapatkan data-data yang dapat memperlihatkan perbedaan koefisien permeabilitas dan parameter kuat geser dari sampel tanah hasil proses *biogrouting* dan dibandingkan dengan sampel tanah asli sebelum proses pencampuran.



a. Ring saat mencetak sampel tanah hasil proses *biogrouting*.



b. Sampel tanah hasil proses *biogrouting* yang dimasukkan ke dalam *shear box*.

Gambar 4.8 Proses pemindahan sampel uji ke dalam *shear box*.

4.3.1 Analisis Hasil Uji Permeabilitas dengan Metode *Constant Head* untuk Tanah Asli Setelah Proses Pencampuran dengan Metode Harkes

Sampel tanah yang disiapkan dan telah lolos saringan no. 4 untuk proses pencampuran telah dibersihkan terlebih dahulu dengan air distilasi sehingga *tray* yang digunakan berbeda dari kondisi untuk tanah asli. Hasil analisis data uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode Harkes adalah diperolehnya nilai koefisien permeabilitas (k_T) saat $T = 28^\circ\text{C}$ dan koefisien permeabilitas terkoreksi terhadap suhu $T = 20^\circ\text{C}$ (k_{20}). Data ini tidak dapat digunakan sebagai kondisi benda uji sebenarnya atau data dari hasil pengujian ini belum tervalidasi dengan baik. Rincian data-data hasil uji permeabilitas tanah dengan metode *constant head* dapat dilihat pada **Lampiran 4**. Hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk

sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode Harkes akibat pemindahan sampel tanah dari *tray* ke dalam mold permeabilitas dengan sekop menurut **Tabel 4.6** menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai koefisien permeabilitas terhadap waktu peram. Nilai koefisien permeabilitas untuk waktu peram 2 hari, terjadi persentase penurunan koefisien permeabilitas sebesar 12,2% dari nilai koefisien permeabilitas untuk tanah asli. Demikian juga untuk nilai koefisien permeabilitas untuk waktu peram hari ke – 6, 14, 22, dan 26 secara bertahap terjadi persentase penurunan koefisien permeabilitas dari 20,9% hingga mencapai 68,2% dari nilai koefisien permeabilitas untuk sampel tanah sebelum proses pencampuran.

Tabel 4.6 Koefisien permeabilitas terhadap waktu peram dari hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode Harkes.

Hasil Uji Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i>					
Waktu Peram (hari)	k_T (cm/detik)	μ_T/μ_{20} ($T = 28^\circ\text{C}$)	$k_{20} = \frac{\mu_T}{\mu_{20}} k_T$ (cm/detik)	Persentase Penurunan (%)	pH tanah
2	$1,282 \cdot 10^{-3}$	0,829	$1,063 \cdot 10^{-3}$	12,2	9,0
6	$1,157 \cdot 10^{-3}$	0,829	$9,589 \cdot 10^{-4}$	20,9	8,5
14	$8,519 \cdot 10^{-4}$	0,829	$7,062 \cdot 10^{-4}$	41,7	8,5
22	$5,942 \cdot 10^{-4}$	0,829	$4,926 \cdot 10^{-4}$	59,3	8,0
26	$4,643 \cdot 10^{-4}$	0,829	$3,849 \cdot 10^{-4}$	68,2	8,0

Keterangan:

Koefisien permeabilitas untuk tanah asli, $k_T = 1,461 \times 10^{-3}$ cm/s.

Koefisien permeabilitas terkoreksi suhu $T = 20^\circ\text{C}$ untuk tanah asli, $k_{20} = 1,212 \times 10^{-3}$ cm/s.

Perubahan nilai koefisien permeabilitas sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode Harkes berkaitan dengan prosedur memasukkan benda uji dengan sekop sehingga data yang didapat tidak dapat digunakan sebagai kondisi benda uji sebenarnya atau data dari hasil pengujian ini belum tervalidasi dengan baik.

Selain analisis nilai koefisien permeabilitas dari hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* dari sampel tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes juga diperoleh analisis data berat isi basah tanah (γ) terhadap waktu peram selama 26 hari. Analisis berat isi basah tanah (γ) tidak bisa dipakai karena persiapan benda uji permeabilitas tidak sesuai dengan kondisi tanah di dalam *tray*, karena sampel tanah ini dipindahkan dari wadah plastik ke dalam mold permeabilitas dengan menggunakan sekop. Kesimpulannya, data berat isi basah tanah (γ) hasil proses pencampuran tidak dapat digunakan sebagai kondisi benda uji sebenarnya atau data dari hasil pengujian ini belum tervalidasi dengan baik.

Kesimpulan dari analisis data-data hasil uji permeabilitas tanah dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes untuk waktu peram selama 26 hari tidak bisa digunakan untuk data-data permeabilitas yang mewakili kondisi benda uji sebenarnya. Perubahan pada nilai koefisien permeabilitas dan berat isi basah tanah untuk sampel tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes berkaitan dengan prosedur memasukkan benda uji dengan sekop, sehingga data yang didapat tidak dapat digunakan sebagai kondisi benda uji sebenarnya atau data dari hasil pengujian ini belum tervalidasi dengan baik.

4.3.2 Analisis Hasil Uji Permeabilitas dengan Metode *Constant Head* untuk Tanah Asli Setelah Proses Pencampuran dengan Metode De Jong

Sampel tanah yang disiapkan dan telah lolos saringan no. 4 untuk proses pencampuran telah dibersihkan terlebih dahulu dengan air distilasi sehingga *tray* yang digunakan berbeda dari kondisi untuk tanah asli. Hasil analisis data uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode De Jong adalah diperolehnya nilai koefisien permeabilitas (k_T) saat $T = 28^\circ\text{C}$ dan koefisien permeabilitas terkoreksi terhadap suhu $T = 20^\circ\text{C}$ (k_{20}). Data ini tidak dapat digunakan sebagai kondisi benda uji sebenarnya atau data dari hasil pengujian ini belum tervalidasi dengan baik. Rincian data-data hasil uji permeabilitas tanah dengan metode *constant head* dapat dilihat pada

Lampiran 5. Hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode De Jong akibat pemindahan sampel tanah dari *tray* ke dalam mold permeabilitas dengan sekop menurut **Tabel 4.7** menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai koefisien permeabilitas (k_T) saat $T = 28^\circ\text{C}$ atau nilai koefisien permeabilitas terkoreksi suhu $T = 20^\circ\text{C}$ (k_{20}) terhadap waktu peram. Nilai koefisien permeabilitas menurut **Tabel 4.7** untuk waktu peram 2 hari, terjadi persentase penurunan nilai koefisien permeabilitas sebesar 15,6% dari nilai koefisien permeabilitas untuk tanah asli. Demikian juga untuk nilai koefisien permeabilitas untuk waktu peram pada hari ke – 6, 14, 22, dan 26 secara bertahap terjadi persentase penurunan nilai koefisien permeabilitas dari 24,2% sampai dengan 75,1% dari nilai koefisien permeabilitas untuk sampel tanah sebelum proses pencampuran.

Tabel 4.7 Koefisien permeabilitas terhadap waktu peram dari hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode De Jong.

Hasil Uji Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i>					
Waktu Peram (hari)	k_T (cm/detik)	μ_T/μ_{20} ($T = 28^\circ\text{C}$)	$k_{20} = \frac{\mu_T}{\mu_{20}} k_T$ (cm/detik)	Persentase Penurunan (%)	pH tanah
2	$1,233 \cdot 10^{-3}$	0,829	$1,022 \cdot 10^{-3}$	15,6	9,0
6	$1,108 \cdot 10^{-3}$	0,829	$9,182 \cdot 10^{-4}$	24,2	8,5
14	$7,711 \cdot 10^{-4}$	0,829	$6,392 \cdot 10^{-4}$	47,2	8,5
22	$5,175 \cdot 10^{-4}$	0,829	$4,290 \cdot 10^{-4}$	64,6	8,0
26	$3,641 \cdot 10^{-4}$	0,829	$3,018 \cdot 10^{-4}$	75,1	8,0

Keterangan:

Koefisien permeabilitas untuk tanah asli, $k_T = 1,461 \times 10^{-3}$ cm/s.

Koefisien permeabilitas terkoreksi suhu $T = 20^\circ\text{C}$ untuk tanah asli, $k_{20} = 1,212 \times 10^{-3}$ cm/s.

Perubahan nilai koefisien permeabilitas sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode De Jong berkaitan dengan prosedur memasukkan benda uji dengan sekop sehingga data yang didapat tidak dapat

digunakan sebagai kondisi benda uji sebenarnya atau data dari hasil pengujian ini belum tervalidasi dengan baik.

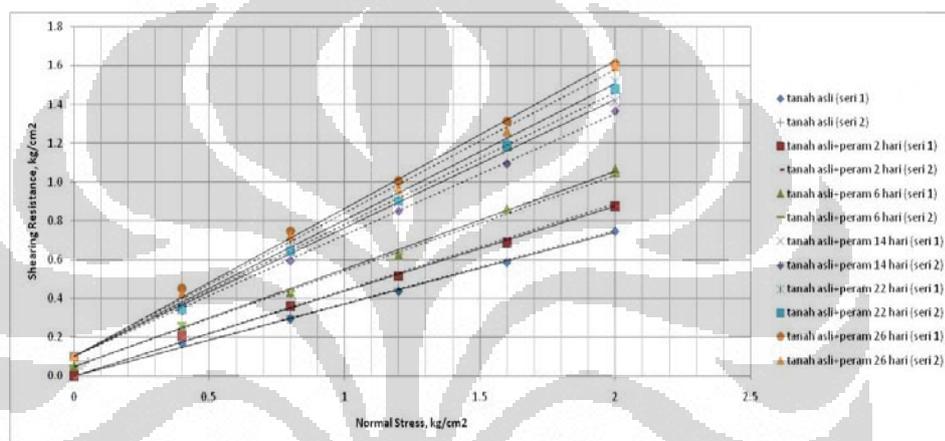
Selain nilai koefisien permeabilitas dari hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* dari sampel tanah hasil pencampuran dengan metode De Jong, juga diperoleh analisis data untuk berat isi basah tanah (γ) terhadap waktu peram selama 26 hari. Analisis berat isi basah tanah (γ) tidak bisa dipakai karena persiapan benda uji permeabilitas tidak sesuai dengan kondisi tanah di dalam *tray*, karena sampel tanah ini dipindahkan dari wadah plastik ke dalam mold permeabilitas dengan menggunakan sekop. Kesimpulannya, data berat isi basah tanah (γ) hasil proses pencampuran tidak dapat digunakan sebagai kondisi benda uji sebenarnya atau data dari hasil pengujian ini belum tervalidasi dengan baik.

Kesimpulan dari analisis data-data hasil uji permeabilitas tanah dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong untuk waktu peram selama 26 hari tidak bisa digunakan untuk data-data permeabilitas yang mewakili kondisi benda uji sebenarnya. Perubahan pada nilai koefisien permeabilitas dan berat isi basah tanah untuk sampel tanah hasil pencampuran dengan metode De Jong berkaitan dengan prosedur memasukkan benda uji dengan sekop, sehingga data yang didapat tidak dapat digunakan sebagai kondisi benda uji sebenarnya atau data dari hasil pengujian ini belum tervalidasi dengan baik.

4.3.3 Analisis Hasil Uji Geser Langsung untuk Tanah Asli Setelah Proses Pencampuran dengan Metode Harkes

Sampel tanah yang disiapkan dan telah lolos saringan no. 4 untuk proses pencampuran telah dibersihkan terlebih dahulu dengan air distilasi sehingga *tray* yang digunakan berbeda dari kondisi untuk tanah asli. Analisis hasil uji geser langsung (*direct shear test*) pada sampel tanah diperoleh data-data tanah, seperti nilai kohesi tanah (c), nilai sudut geser dalam efektif (ϕ'), dan data tambahan yaitu kadar air tanah (w). Dari tiga hal yang sudah disebutkan tadi yang berpengaruh pada parameter kuat geser tanah adalah nilai kohesi tanah (c), dan nilai sudut geser dalam efektif (ϕ').

Data-data hasil uji geser langsung (*direct shear test*) untuk sampel tanah pasir Karawang setelah proses pencampuran dengan metode Harkes dapat dilihat juga pada **Lampiran 7**. Grafik analisis hasil uji geser langsung untuk sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode Harkes dapat dilihat pada **Gambar 4.9**. Dari **Gambar 4.9** dapat dilihat bahwa terjadi perubahan kemiringan dan posisi garis selubung keruntuhan pada uji geser langsung untuk tanah asli dan tanah asli setelah proses pencampuran untuk beberapa perbedaan waktu peram.



Gambar 4.9 Grafik analisis hasil uji geser langsung hubungan antara tegangan geser, τ , terhadap tegangan normal, σ_n , pada sampel tanah pasir Kerawang hasil pencampuran dengan metode Harkes dengan waktu peram selama 26 hari.

Keterangan:

- Seri 1
- Seri 2

Pergeseran kemiringan dan posisi garis selubung keruntuhan menunjukkan perubahan pada parameter kuat geser masing-masing sampel tanah hasil proses pencampuran terhadap waktu peram selama 26 hari. Hal ini menunjukkan juga pada perubahan sifat mekanik tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes. Hasil uji geser langsung untuk sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode Harkes untuk data-data parameter kuat geser tanah terhadap waktu peram dapat dilihat pada **Tabel 4.8**.

Kohesi tanah (c) untuk pemeraman 2 hari tidak menunjukkan perubahan atau nilai kohesinya sangat kecil. Hal ini dapat disebabkan oleh

kristal-kristal kalsitnya belum sempurna melekatkan butiran-butiran tanahnya atau ada perubahan tetapi masih kecil. Akan tetapi, berdasarkan analisis hasil uji geser langsung untuk pemeraman 6 hari menunjukkan perubahan nilai kohesi tanah menjadi $c = 0,05 \text{ kg/cm}^2$. Nilai kohesi tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes setelah pemeraman 16 hari meningkat menjadi $c = 0,1 \text{ kg/cm}^2$. Perubahan dari analisis nilai kohesi tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes setelah waktu peram selama 16 hari menunjukkan bahwa sifat mekanik tanah menjadi sedikit kohesif. Nilai kohesi tanah setelah waktu peram 16 hari tidak menunjukkan perubahan yang berarti atau sangat kecil perubahannya hingga pemeraman 26 hari.

Tabel 4.8 Parameter kuat geser tanah terhadap waktu peram hasil uji geser langsung pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode Harkes.

Parameter Kuat Geser Tanah Hasil Uji Geser Langsung				
Waktu Peram (hari)	Kohesi, c (kg/cm^2)	Rata-rata Sudut Geser Dalam Efektif, ϕ' ($^\circ$)	Persentase Peningkatan Sudut Geser Dalam Efektif (%)	pH tanah
2	0	23,73	16,1	9,0
6	0,05	26,43	29,4	8,5
14	0,1	32,78	60,4	8,5
22	0,1	34,68	69,7	8,0
26	0,1	36,90	80,6	8,0

Keterangan:

Kohesi untuk tanah asli, $c \approx 0$.

Sudut geser dalam efektif untuk tanah asli, $\phi' = 20,43^\circ$.

Kesimpulan dari analisis nilai kohesi tanah setelah proses pencampuran dengan metode Harkes dengan pemeraman 26 hari hanya menjadikan sifat tanah sedikit kohesif dari sifat tanah asli yang tidak kohesif. Dari analisis hasil uji geser langsung pada sampel tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes menunjukkan bahwa pada nilai kohesi tanah (c) terhadap waktu peram selama 26 hari hanya meningkat 10% dari nilai kohesi tanah asli (≈ 0). Peningkatan nilai kohesi yang hanya 10%

(tidak signifikan) ini dapat disebabkan oleh proses kristalisasi yang belum mencapai pada proses sementasi.

Dari **Tabel 4.9** menurut hasil analisis parameter kuat geser tanah untuk rata-rata sudut geser dalam efektif (ϕ') pada sampel tanah setelah pemeraman 2 hari terjadi peningkatan nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') menjadi $23,73^\circ$ dibandingkan dengan nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') untuk tanah asli sebesar $20,43^\circ$. Peristiwa ini berkaitan dengan proses kristalisasi yang terjadi didalam sampel tanah setelah proses pencampuran. Perubahan nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') juga terjadi pada waktu peram hari ke - 6, 14, 22 dan 26. Peningkatan nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode Harkes disebabkan oleh ikatan-ikatan kalsit hasil proses kristalisasi. Peningkatan sudut geser dalam efektif mempengaruhi peningkatan parameter kuat geser tanah untuk sampel tanah hasil proses pencampuran dengan metode Harkes.

Tabel 4.9 Sudut geser dalam efektif (ϕ') terhadap waktu peram hasil uji geser langsung pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode Harkes.

Parameter Kuat Geser Tanah Hasil Uji Geser Langsung			
Waktu Peram (hari)	Sudut Geser Dalam Efektif, ϕ' Seri 1	Sudut Geser Dalam Efektif, ϕ' Seri 2	Rata-rata Sudut Geser Dalam Efektif, ϕ'
2	$23,58^\circ$	$23,88^\circ$	$23,73^\circ$
6	$26,64^\circ$	$26,22^\circ$	$26,43^\circ$
14	$33,53^\circ$	$32,04^\circ$	$32,78^\circ$
22	$35,11^\circ$	$34,25^\circ$	$34,68^\circ$
26	$37,29^\circ$	$36,52^\circ$	$36,90^\circ$

Keterangan:

Sudut geser dalam efektif untuk tanah asli, $\phi' = 20,43^\circ$.

Pada **Gambar 4.10** ditunjukkan grafik hubungan nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') terhadap waktu peram untuk analisis hasil uji geser langsung pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode Harkes, dimana persamaan linier yang dibentuk adalah hubungan

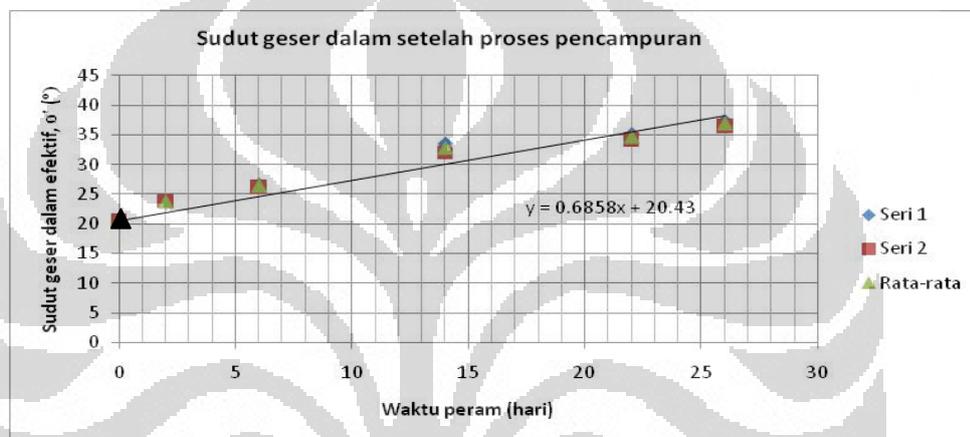
antara perubahan nilai sudut geser dalam efektif, ϕ' , terhadap waktu peram selama 26 hari. Persamaan ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$f_{\phi'}(x) = y = 6,858 * 10^{-1}x + 20,43 \quad (4.8)$$

dengan:

$f_{\phi'}(x)$ = fungsi sudut geser dalam efektif, ϕ' , untuk sampel tanah pasir Karawang hasil uji geser langsung dengan metode pencampuran Harkes.

x = waktu peram (dalam satuan hari).



Gambar 4.10 Grafik hubungan antara sudut geser dalam efektif, ϕ' , terhadap waktu peram dari analisis hasil uji geser langsung pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode Harkes.

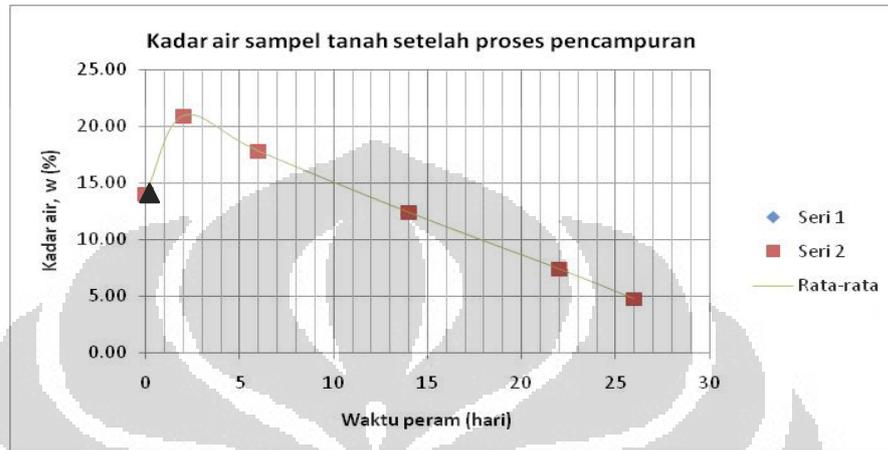
Keterangan:

▲ Sudut geser dalam efektif untuk tanah asli, $\phi' = 20,43^\circ$.

Persamaan 4.8 adalah persamaan empiris untuk nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode Harkes terhadap waktu peram selama 26 hari. Nilai rata-rata sudut geser dalam efektif, ϕ' , sampel tanah pasir Karawang setelah proses pencampuran dengan metode Harkes dari analisis hasil uji geser langsung dengan waktu peram selama 26 hari menurut **Tabel 2.6** mendekati nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') untuk jenis batuan pasir.

Tabel 4.10 adalah data tambahan dari analisis hasil uji geser langsung yang tidak berkaitan langsung dengan parameter kuat geser tanah. Data tambahan ini adalah data kadar air. Data kadar air tanah didapat dari analisis hasil analisis uji geser langsung untuk mengetahui perubahan kadar air

sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode Harkes selama waktu peram 26 hari. Kadar air yang diukur adalah rata-rata kadar air dari sampel tanah yang telah diperam selama 2, 6, 14, 22 dan 26 hari (Lihat **Gambar 4.11**).



Gambar 4.11 Grafik hubungan antara kadar air, w , terhadap waktu peram dari analisis hasil uji geser langsung pada sampel tanah Karawang hasil pencampuran dengan metode Harkes.

Keterangan:

▲ Kadar air untuk tanah asli, $w = 14\%$.

Dari **Tabel 4.10** diketahui bahwa kadar air pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode Harkes untuk pemeraman 2 hari meningkat menjadi 20,9% dibandingkan kadar air untuk tanah asli ($w = 14\%$). Peningkatan kadar air pada sampel tanah ini dikarenakan proses pencampuran material *biogrouting* (bakteri, urea dan CaCl_2) dan reaksi biokimia dari proses *biogrouting* itu sendiri. Kadar air pada sampel tanah berkurang pada hari ke – 6 pemeraman menjadi 17,8%, dan seterusnya hingga kadar air pada sampel tanah untuk pemeraman 26 hari menjadi 4,8%.

Penurunan kadar air pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode Harkes setelah pemeraman 2 hari dapat disebabkan oleh interaksi dengan udara dipermukaan sampel tanah dan berkurangnya aktivitas bakteri *biogrouting* secara bertahap hingga waktu peram selama 26 hari. Perubahan kadar air tanah pada sampel tanah pasir Karawang tidak berkaitan langsung dengan perubahan pH tanah. Perubahan pH tanah hasil proses *biogrouting* berkaitan dengan jangka waktu terjadinya

proses *biogrouting* hingga pada hari ke - 28 (pemeraman 26 hari) menurut studi yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya.

Tabel 4.10 Kadar air sampel tanah terhadap waktu peram dari analisis hasil uji geser langsung pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode Harkes.

Hasil Analisis Data Kadar Air Sampel Tanah				
Waktu Peram (hari)	Kadar Air, w (%) Seri 1	Kadar Air, w (%) Seri 2	Rata-rata Kadar Air, w (%)	pH tanah
2	20,93	20,92	20,93	9,0
6	17,84	17,79	17,82	8,5
14	12,40	12,40	12,40	8,5
22	7,40	7,40	7,40	8,0
26	4,76	4,76	4,76	8,0

Keterangan:
Kadar air untuk tanah asli, $w = 14\%$.

Kesimpulan analisisnya adalah perbedaan parameter kuat geser tanah antara sampel tanah sebelum dan setelah proses pencampuran dengan metode Harkes ditunjukkan dari peningkatan nilai kohesi tanah, c , walaupun tidak signifikan dan peningkatan nilai sudut geser dalam efektif, ϕ' , setelah proses pencampuran dengan metode Harkes yang disebabkan oleh hasil proses kristalisasi di sekitar sampel tanah. Perbedaan ini juga menunjukkan adanya perubahan pada sifat fisik dan mekanik tanah setelah proses pencampuran dengan metode Harkes yaitu sampel tanah menjadi sedikit kohesif dibandingkan sampel tanah sebelum proses pencampuran dan sudut geser dalam efektifnya meningkat 80,6% setelah waktu peram 26 hari dari sudut geser dalam efektif tanah aslinya.

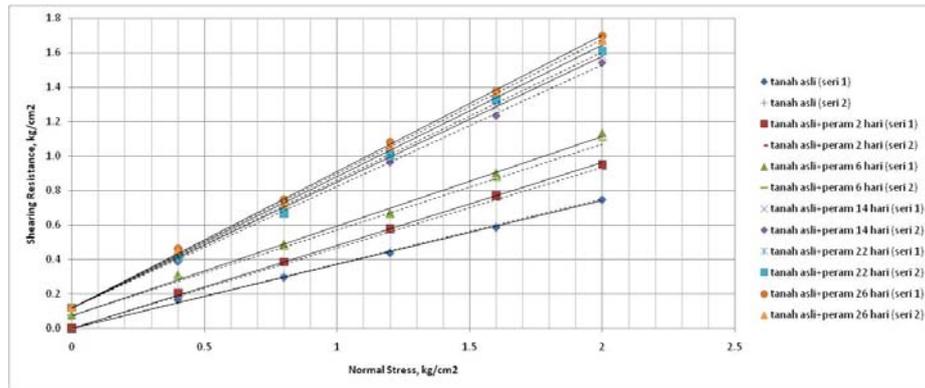
4.3.4 Analisis Hasil Uji Geser Langsung untuk Tanah Asli Setelah Proses Pencampuran dengan Metode De Jong

Sampel tanah yang disiapkan dan telah lolos saringan no. 4 untuk proses pencampuran telah dibersihkan terlebih dahulu dengan air distilasi sehingga *tray* yang digunakan berbeda dari kondisi untuk tanah asli. Analisis hasil uji geser langsung (*direct shear test*) pada sampel tanah yang

diujikan akan diperoleh data-data tanah, seperti nilai kohesi tanah (c), nilai sudut geser dalam efektif (ϕ'), dan nilai kadar air tanah (w). Dari tiga hal yang sudah disebutkan tadi yang berpengaruh pada parameter kuat geser tanah adalah nilai kohesi tanah (c), dan nilai sudut geser dalam efektif (ϕ'). Data-data hasil uji geser langsung (*direct shear test*) untuk sampel tanah pasir Karawang setelah proses pencampuran dengan metode De Jong dapat dilihat juga pada **Lampiran 8**.

Dari **Gambar 4.12** dapat dilihat bahwa terjadi perubahan kemiringan dan posisi garis selubung keruntuhan pada uji geser langsung untuk tanah asli dan tanah asli setelah proses pencampuran untuk beberapa perbedaan waktu peram. Pergeseran kemiringan dan posisi garis selubung keruntuhan menunjukkan perbedaan pada parameter kuat geser masing-masing sampel tanah hasil proses pencampuran terhadap waktu peram selama 26 hari. Hal ini menunjukkan juga pada perubahan sifat mekanik tanah hasil pencampuran dengan metode De Jong. Hasil uji geser langsung untuk sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode De Jong untuk data-data parameter kuat geser tanah terhadap waktu peram dapat dilihat pada **Tabel 4.11**.

Kohesi tanah (c) untuk waktu pemeraman 2 hari tidak menunjukkan perubahan atau nilai kohesinya sangat kecil. Hal ini dapat disebabkan oleh ikatan kalsitnya belum sempurna melekatkan butiran-butiran tanahnya atau ada perubahan tetapi masih kecil. Akan tetapi, berdasarkan analisis hasil uji geser langsung untuk waktu pemeraman 6 hari menunjukkan perubahan nilai kohesi tanah menjadi $c = 0,075 \text{ kg/cm}^2$. Nilai kohesi tanah hasil pencampuran dengan metode De Jong setelah pemeraman 16 hari meningkat menjadi $c = 0,12 \text{ kg/cm}^2$. Nilai kohesi tanah hasil pencampuran dengan metode De Jong setelah waktu peram selama 16 hari menunjukkan bahwa sifat mekanik tanah menjadi sedikit kohesif. Nilai kohesi tanah setelah waktu peram 16 hari tidak menunjukkan perubahan yang berarti atau sangat kecil perubahannya hingga waktu peram 26 hari.



Gambar 4.12 Grafik analisis hasil uji geser langsung hubungan antara tegangan geser, τ , terhadap tegangan normal, σ_n , pada sampel tanah pasir Kerawang hasil pencampuran dengan metode De Jong dengan waktu peram selama 26 hari.

Keterangan:

- Seri 1
- Seri 2

Tabel 4.11 Parameter kuat geser tanah terhadap waktu peram hasil uji geser langsung pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode De Jong.

Parameter Kuat Geser Tanah Hasil Uji Geser Langsung				
Waktu Peram (hari)	Kohesi, c (kg/cm ²)	Rata-rata Sudut Geser Dalam Efektif, ϕ' (°)	Persentase Peningkatan Sudut Geser Dalam Efektif (%)	pH tanah
2	0	25,33	24,0	9,0
6	0,075	26,97	32,0	8,5
14	0,12	35,61	74,3	8,5
22	0,12	36,93	80,8	8,0
26	0,12	38,13	86,6	8,0

Keterangan:

Kohesi untuk tanah asli, $c \approx 0$.

Sudut geser dalam efektif untuk tanah asli, $\phi' = 20,43^\circ$.

Kesimpulan dari analisis nilai kohesi tanah setelah proses pencampuran dengan metode De Jong dengan waktu peram selama 26 hari hanya menghasilkan sifat tanah sedikit kohesif. Dari analisis hasil uji geser langsung pada sampel tanah hasil pencampuran dengan metode De Jong menunjukkan bahwa pada nilai kohesi tanah (c) terhadap waktu peram selama 26 hari hanya meningkat 12% dari nilai kohesi tanah asli (0).

Peningkatan nilai kohesi yang hanya 12% (tidak signifikan) ini dapat

disebabkan oleh proses kristalisasi yang belum mencapai pada proses sementasi.

Dari **Tabel 4.12** menurut hasil analisis parameter kuat geser tanah untuk rata-rata sudut geser dalam efektif (ϕ') pada sampel tanah setelah waktu peram selama 2 hari terjadi peningkatan nilai sudut geser dalam efektif menjadi $25,33^\circ$ dibandingkan dengan nilai sudut geser dalam efektif pada tanah asli sebesar $20,43^\circ$. Peristiwa ini berkaitan dengan proses kristalisasi yang terjadi didalam sampel tanah setelah proses pencampuran. Perubahan nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') juga terjadi selama waktu peram untuk 6, 14, 22 dan 26 hari. Peningkatan nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode De Jong disebabkan oleh ikatan-ikatan kalsit hasil proses kristalisasi. Peningkatan nilai sudut geser dalam efektif mempengaruhi peningkatan parameter kuat geser tanah untuk sampel tanah hasil proses pencampuran dengan metode De Jong.

Tabel 4.12 Sudut geser dalam efektif (ϕ') terhadap waktu peram hasil uji geser langsung pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode De Jong.

Parameter Kuat Geser Tanah Hasil Uji Geser Langsung			
Waktu Peram (hari)	Sudut Geser Dalam Efektif, ϕ' Seri 1	Sudut Geser Dalam Efektif, ϕ' Seri 2	Rata-rata Sudut Geser Dalam Efektif, ϕ'
2	$25,66^\circ$	$25,00^\circ$	$25,33^\circ$
6	$27,47^\circ$	$26,46^\circ$	$26,97^\circ$
14	$36,08^\circ$	$35,15^\circ$	$35,61^\circ$
22	$37,31^\circ$	$36,56^\circ$	$36,93^\circ$
26	$38,35^\circ$	$37,92^\circ$	$38,13^\circ$

Keterangan:

Sudut geser dalam efektif untuk tanah asli, $\phi' = 20,43^\circ$.

Pada **Gambar 4.13** ditunjukkan grafik hubungan nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') terhadap waktu peram untuk analisis hasil uji geser langsung pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode De Jong, dimana persamaan linier yang dibentuk adalah hubungan

antara perubahan nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') terhadap waktu peram selama 26 hari. Persamaan ini dapat dituliskan sebagai berikut:

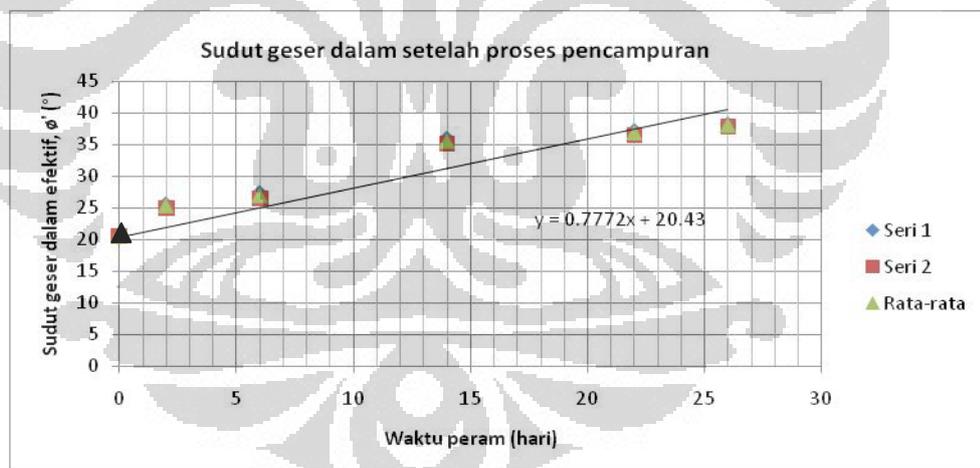
$$f_{\phi'}(x) = y = 7,772 * 10^{-1}x + 20,43 \quad (4.9)$$

dengan:

$f_{\phi'}(x)$ = fungsi sudut geser dalam efektif, ϕ' , untuk sampel tanah pasir Karawang hasil uji geser langsung dengan metode pencampuran De Jong.

x = waktu peram (dalam satuan hari).

Persamaan 4.9 adalah persamaan empiris untuk nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode De Jong terhadap waktu peram selama 26 hari. Nilai rata-rata sudut geser dalam efektif (ϕ') sampel tanah pasir Karawang setelah proses pencampuran dengan metode De Jong dari analisis hasil uji geser langsung dengan waktu peram selama 26 hari menurut **Tabel 2.6** mendekati nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') untuk jenis batuan pasir.



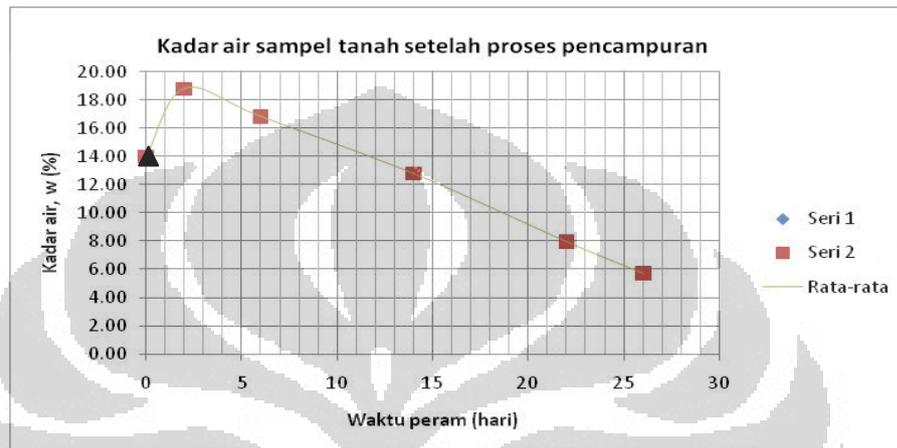
Gambar 4.13 Grafik hubungan antara sudut geser dalam efektif, ϕ' , terhadap waktu peram dari analisis hasil uji geser langsung pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode De Jong.

Keterangan:

▲ Sudut geser dalam efektif untuk tanah asli, $\phi' = 20,43^{\circ}$.

Tabel 4.13 adalah data tambahan dari analisis hasil uji geser langsung yang tidak berkaitan langsung dengan parameter kuat geser tanah. Data tambahan ini adalah data kadar air. Data kadar air tanah didapat dari analisis

hasil analisis uji geser langsung untuk mengetahui perubahan kadar air sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode De Jong selama waktu peram 26 hari. Kadar air yang diukur adalah rata-rata kadar air dari sampel tanah yang telah diperam selama 2, 6, 14, 22 dan 26 hari (Lihat **Gambar 4.14**).



Gambar 4.14 Grafik hubungan antara kadar air, w , terhadap waktu peram dari analisis hasil uji geser langsung pada sampel tanah Karawang hasil pencampuran dengan metode De Jong.

Keterangan:

▲ Kadar air untuk tanah asli, $w = 14\%$.

Tabel 4.13 Kadar air sampel tanah terhadap waktu peram dari analisis hasil uji geser langsung pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode De Jong.

Hasil Analisis Data Kadar Air Sampel Tanah				
Waktu Peram (hari)	Kadar Air, w (%)		Rata-rata Kadar Air, w (%)	pH tanah
	Seri 1	Seri 2		
2	18,81	18,80	18,81	9,0
6	16,84	16,81	16,83	8,5
14	12,79	12,79	12,79	8,5
22	7,99	7,96	7,98	8,0
26	5,79	5,70	5,75	8,0

Keterangan:

Kadar air untuk tanah asli, $w = 14\%$.

Dari **Tabel 4.13** diketahui bahwa kadar air pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode De Jong pada waktu peram

selama 2 hari meningkat menjadi 18,81% dibandingkan kadar air sampel tanah untuk tanah asli ($w = 14\%$). Peningkatan kadar air pada sampel tanah ini dikarenakan proses pencampuran material *biogrouting* (bakteri, urea dan CaCl_2) dan reaksi biokimia yang diakibatkan oleh bakteri *biogrouting* itu sendiri. Kadar air pada sampel tanah berkurang setelah pemeraman 6 hari menjadi 16,83%, dan seterusnya hingga kadar air pada sampel tanah untuk waktu peram 26 hari menjadi 5,75%.

Penurunan kadar air pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode De Jong setelah pemeraman 2 hari dapat disebabkan oleh interaksi dengan udara dipermukaan sampel tanah dan berkurangnya aktivitas bakteri *biogrouting* pembentuk kalsit secara bertahap hingga waktu peram selama 26 hari. Perubahan pH tanah hasil proses *biogrouting* berkaitan dengan jangka waktu terjadinya proses *biogrouting* selama 28 hari (pemeraman 26 hari) menurut studi yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya.

Kesimpulan analisisnya adalah perbedaan parameter kuat geser tanah antara sampel tanah sebelum dan setelah proses pencampuran dengan metode De Jong ditunjukkan dari peningkatan nilai kohesi tanah, c , walaupun tidak signifikan dan peningkatan nilai sudut geser dalam efektif, ϕ' , setelah proses pencampuran dengan metode De Jong yang disebabkan oleh hasil proses kristalisasi di sekitar sampel tanah. Perbedaan ini juga menunjukkan adanya perubahan pada sifat fisik dan mekanik tanah setelah proses pencampuran dengan metode De Jong yaitu sampel tanah menjadi sedikit kohesif dibandingkan sampel tanah sebelum proses pencampuran dan sudut geser dalam efektifnya meningkat 86,6% setelah waktu peram 26 hari dari sudut geser dalam efektif tanah aslinya.

4.4 RINGKASAN HASIL PENELITIAN BIOGROUTING PADA SAMPEL TANAH PASIR KARAWANG

4.4.1 Ringkasan Hasil Uji Permeabilitas Setelah Proses Pencampuran dengan Metode Harkes dan Metode De Jong

Sampel tanah yang disiapkan dan telah lolos saringan no. 4 untuk proses pencampuran telah dibersihkan terlebih dahulu dengan air distilasi sehingga *tray* yang digunakan berbeda dari kondisi untuk tanah asli. Hasil uji permeabilitas untuk sampel tanah pasir Karawang setelah proses pencampuran dengan metode Harkes dan metode De Jong adalah data-data nilai koefisien permeabilitas dan berat isi basah tanah setelah proses pencampuran. Data ini tidak dapat digunakan sebagai kondisi benda uji sebenarnya atau data dari hasil pengujian ini belum tervalidasi dengan baik. Analisis data koefisien permeabilitas untuk metode Harkes dan metode De Jong dari hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* dapat dilihat pada **Tabel 4.14**.

Tabel 4.14 Koefisien permeabilitas terhadap waktu peram dari hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran.

Hasil Uji Permeabilitas dengan Metode <i>Constant Head</i>							
Waktu Peram (hari)	Analisis Hasil Uji Permeabilitas pada Sampel Tanah Hasil Proses Pencampuran dengan Metode Harkes			Analisis Hasil Uji Permeabilitas pada Sampel Tanah Hasil Proses Pencampuran dengan Metode De Jong			pH tanah
	k_T (cm/detik)	k_{20} (cm/detik)	Persentase Penurunan (%)	k_T (cm/detik)	k_{20} (cm/detik)	Persentase Penurunan (%)	
2	$1,282 \cdot 10^{-3}$	$1,063 \cdot 10^{-3}$	12,2	$1,233 \cdot 10^{-3}$	$1,022 \cdot 10^{-3}$	15,6	9,0
6	$1,157 \cdot 10^{-3}$	$9,589 \cdot 10^{-4}$	20,9	$1,108 \cdot 10^{-3}$	$9,182 \cdot 10^{-4}$	24,2	8,5
14	$8,519 \cdot 10^{-4}$	$7,062 \cdot 10^{-4}$	41,7	$7,711 \cdot 10^{-4}$	$6,392 \cdot 10^{-4}$	47,2	8,5
22	$5,942 \cdot 10^{-4}$	$4,926 \cdot 10^{-4}$	59,3	$5,175 \cdot 10^{-4}$	$4,290 \cdot 10^{-4}$	64,6	8,0
26	$4,643 \cdot 10^{-4}$	$3,849 \cdot 10^{-4}$	68,2	$3,641 \cdot 10^{-4}$	$3,018 \cdot 10^{-4}$	75,1	8,0

Keterangan:

Koefisien permeabilitas untuk tanah asli, $k_T = 1,461 \times 10^{-3}$ cm/s.

Koefisien permeabilitas terkoreksi suhu $T = 20^\circ\text{C}$ untuk tanah asli, $k_{20} = 1,212 \times 10^{-3}$ cm/s.

Perbedaan yang tidak signifikan antara nilai koefisien permeabilitas antara sampel tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes dan sampel

tanah hasil pencampuran dengan metode De Jong dapat disebabkan oleh perbedaan hanya pada langkah-langkah teknik pencampuran dan ada tidaknya tambahan pada proses aerasi. Langkah-langkah proses pencampuran dengan metode Harkes dengan metode De Jong dapat dilihat kembali pada metode pelaksanaan di **Bab 3**. Proses aerasi pada metode pencampuran De Jong bertujuan untuk menambah kebutuhan oksigen/udara yang dibutuhkan oleh bakteri dalam proses respirasi (De Jong, 2006). Proses aerasi tidak terjadi pada metode pencampuran Harkes, sehingga lingkungan tempat hidup bakteri *biogrouting* tidak kaya oksigen dibandingkan dengan lingkungan tempat hidup bakteri *biogrouting* untuk hasil pencampuran dengan metode De Jong.

Sampel tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes ataupun sampel tanah hasil pencampuran dengan metode De Jong terlihat berbeda dari wujud fisik sampel tanah asli, karena di sekitar sampel tanah ada cairan kuning kecoklatan yang menjadi kering. Hal ini membuktikan telah terjadi proses kristalisasi setelah proses pencampuran dengan metode Harkes ataupun metode De Jong. Analisis berat isi basah tanah (γ) tidak bisa dipakai karena persiapan benda uji permeabilitas tidak sesuai dengan kondisi tanah di dalam *tray*, karena sampel tanah ini dipindahkan dari wadah plastik ke dalam mold permeabilitas dengan menggunakan sekop. Kesimpulannya, data berat isi basah tanah (γ) hasil proses pencampuran tidak dapat digunakan sebagai kondisi benda uji sebenarnya atau data dari hasil pengujian ini belum tervalidasi dengan baik.

Kesimpulan dari analisis data-data hasil uji permeabilitas tanah dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes/metode De Jong dengan waktu peram selama 26 hari tidak bisa digunakan untuk data-data permeabilitas yang mewakili kondisi benda uji sebenarnya. Perubahan pada nilai koefisien permeabilitas dan berat isi basah tanah untuk sampel tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes/De Jong berkaitan dengan prosedur pemasukkan benda uji dengan sekop sehingga data yang didapat tidak dapat digunakan sebagai kondisi

benda uji sebenarnya atau data dari hasil pengujian ini belum tervalidasi dengan baik.

4.4.2 Ringkasan Hasil Uji Geser Langsung Setelah Proses Pencampuran

Sampel tanah yang disiapkan dan telah lolos saringan no. 4 untuk proses pencampuran telah dibersihkan terlebih dahulu dengan air distilasi sehingga berbeda dari kondisi tanah asli. Hasil uji geser langsung (*direct shear test*) untuk sampel tanah pasir Karawang saat setelah proses pencampuran adalah parameter kuat geser tanahnya yaitu: kohesi tanah (c) dan sudut geser dalam efektif (ϕ'). Perbedaan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam efektif (ϕ') terhadap waktu peram selama 26 hari antara hasil proses pencampuran dengan metode De Jong dengan hasil proses pencampuran dengan metode Harkes dapat dilihat pada **Tabel 4.15**.

Dari **Tabel 4.15** dapat dilihat bahwa nilai kohesi tanah dari hasil uji geser langsung untuk sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode De Jong tidak signifikan berbeda dengan nilai kohesi tanah dari hasil uji geser langsung untuk sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode Harkes. Perbedaan nilai kohesi juga tidak signifikan terjadi antara sampel tanah asli dengan sampel tanah setelah proses pencampuran. Perbedaan yang tidak signifikan ini adalah sampel tanah hasil pencampuran yang bersifat tanah sedikit kohesif ($c \neq 0$) sedangkan sampel tanah asli (sebelum proses pencampuran) yang bersifat tanah tidak kohesif ($c \approx 0$).

Tabel 4.15 Parameter kuat geser tanah terhadap waktu peram hasil uji geser langsung pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode Harkes dan metode De Jong.

Parameter Kuat Geser Tanah Hasil Uji Geser Langsung						
Waktu Peram (hari)	Analisis Hasil Uji Geser Langsung pada Sampel Tanah Hasil Proses Pencampuran dengan Metode Harkes			Analisis Hasil Uji Geser Langsung pada Sampel Tanah Hasil Proses Pencampuran dengan Metode De Jong		
	Kohesi, c (kg/cm ²)	Rata-rata Sudut Geser Dalam Efektif, ϕ' (°)	Persentase Peningkatan Sudut Geser Dalam Efektif (%)	Kohesi, c (kg/cm ²)	Rata-rata Sudut Geser Dalam Efektif, ϕ' (°)	Persentase Peningkatan Sudut Geser Dalam Efektif (%)
2	0	23,73	16,1	0	25,33	24,0
6	0,05	26,43	29,4	0,075	26,97	32,0
14	0,1	32,78	60,4	0,12	35,61	74,3
22	0,1	34,68	69,7	0,12	36,93	80,8
26	0,1	36,90	80,6	0,12	38,13	86,6

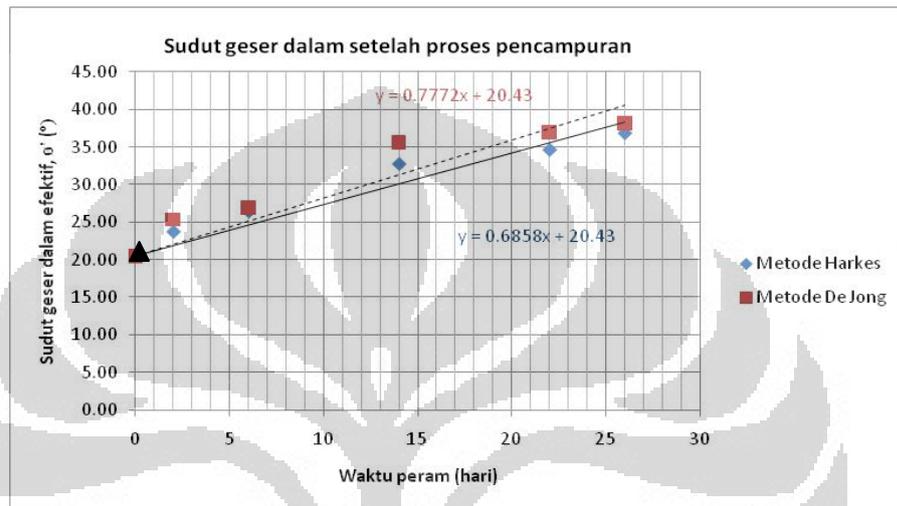
Keterangan:

Kohesi untuk tanah asli, $c \approx 0$.

Sudut geser dalam efektif untuk tanah asli, $\phi' = 20,43^\circ$.

Dari **Gambar 4.15** dapat dilihat bahwa nilai sudut geser dalam efektif dari hasil uji geser langsung untuk sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode De Jong tidak signifikan berbeda dengan nilai sudut geser dalam efektif dari hasil uji geser langsung untuk sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode Harkes. Sudut geser dalam efektif (ϕ') dari sampel tanah sebelum dan setelah proses pencampuran menurut **Tabel 2.6** meningkat dari sudut geser dalam efektif (ϕ') untuk kelompok tanah pasir tidak rapat menjadi sudut geser dalam efektif (ϕ') untuk kelompok batuan pasir. Perubahan dari nilai kohesi tanah (c) walaupun tidak signifikan dan nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') setelah proses pencampuran mempengaruhi besaran dari parameter kuat geser tanah setelah proses pencampuran. Perbedaan parameter kuat geser tanah hasil uji geser langsung untuk sampel tanah setelah proses pencampuran dengan

metode Harkes ataupun metode De Jong menunjukkan salah satu perubahan pada sifat fisik dan mekanik tanah untuk sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode Harkes ataupun metode De Jong. Peningkatan sudut geser dalam efektif (ϕ') dari sampel tanah setelah proses pencampuran disebabkan oleh proses kristalisasi di sekitar sampel tanah.



Gambar 4.15 Grafik hubungan antara sudut geser dalam efektif, ϕ' , terhadap waktu peram untuk hasil uji geser langsung pada sampel tanah pasir Karawang hasil pencampuran dengan metode Harkes dan metode De Jong.

Keterangan:

- Sudut geser dalam efektif, ϕ' , untuk sampel tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes.
- Sudut geser dalam efektif, ϕ' , untuk sampel tanah hasil pencampuran dengan metode De Jong.
- ▲ Sudut geser dalam efektif untuk tanah asli, $\phi' = 20,43^\circ$.

Kesimpulan keseluruhan dari analisis hasil uji geser langsung pada sampel tanah pasir Karawang setelah proses pencampuran dengan metode Harkes ataupun metode De Jong adalah perubahan yang tidak signifikan pada nilai kohesi tanahnya dari tanah non kohesif ($c \approx 0$) untuk sampel tanah sebelum proses pencampuran menjadi tanah sedikit kohesif ($c \neq 0$) untuk sampel tanah hasil pencampuran. Peningkatan pada sudut geser dalam efektif (ϕ') untuk sampel tanah setelah proses pencampuran yang dapat disebabkan oleh hasil proses kristalisasi (sampel tanah hasil proses pencampuran belum mencapai pada proses sementasi). Hasil uji geser langsung untuk parameter kuat geser tanah dari sampel tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes dan metode De Jong tidak signifikan

berbeda karena pelaksanaan pencampuran dari kedua metode ini tidak jauh berbeda.

4.4.3 Ringkasan Penyebab Hasil Pencampuran Tidak Mencapai Proses Sementasi

Pada penelitian ini perubahan wujud fisik pada sampel tanah hasil proses pencampuran yang tidak mencapai proses sementasi dan hanya mencapai pada proses kristalisasi dapat disebabkan oleh beberapa hal (Gusmawati, 2009), yaitu:

1. Laju hidrolisis urea yang berjalan lambat.

Laju hidrolisis urea dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu tipe bakteri (Hammes et al. 2003), jumlah bakteri, kondisi pertumbuhan dan penyimpanan sebelum penggunaan, kondisi selama presipitasi di dalam tanah seperti suhu dan pH, serta konsentrasi substrat dan produk (Whiffin 2004),

a. Tipe bakteri.

Tipe bakteri yang dapat mempresipitaskan CaCO_3 adalah bakteri yang dapat mengikat CO_3^{2-} yang berada di permukaan sel, sehingga tidak terjadi proses sementasi.

b. Konsentrasi bakteri.

Konsentrasi bakteri yang sesuai dapat meningkatkan produksi enzim urease yang digunakan untuk proses sementasi.

c. Kondisi pertumbuhan dan penyimpanan sebelum proses pencampuran.

Pertumbuhan yang cepat akan menghasilkan kelebihan jumlah bakteri *biogrouting* dan menyebabkan peningkatan yang tinggi pada aktivitas enzim urease. Media pertumbuhan yang kurang tepat komposisi nutrisi dan pH-nya akan menghambat pertumbuhan bakteri, sehingga aktivitas urease pada proses sementasinya tidak terjadi. Penyimpanan yang kurang baik dapat menyebabkan bakteri berkembangbiak dengan pesat dan menghabiskan nutrisi dalam media sehingga bakteri akan mati karena kekurangan nutrisi dalam

media dan kekurangan ruang untuk bergerak. Jika bakteri dalam kondisi seperti itu digunakan dalam proses *biogrouting*, bakteri tidak dapat menggunakan aktivitas urease dengan sempurna, sehingga tidak dapat mencapai proses sementasi.

d. Kondisi lingkungan.

Kondisi lingkungan untuk proses *biogrouting* yang tepat, misalnya pH dan suhu tanah yang optimum akan memberikan lingkungan yang optimum untuk pertumbuhan bakteri, sehingga bakteri *biogrouting* dapat tetap hidup dalam tanah dan aktivitas urease dari bakteri *biogrouting* mencapai kondisi optimum, yang dapat menyebabkan proses sementasi terjadi di sekitar sampel tanah.

2. Permukaan butiran tanah.

Pada penelitian ini sampel tanah pasirnya adalah jenis tanah pasir berbutiran lepas (*loose*), sehingga dapat digolongkan sebagai tanah pasir yang tidak rapat dan menyebabkan butiran pasir juga tidak mudah berikatan satu sama lain.

3. Rendahnya afinitas untuk perlekatan bakteri *biogrouting*.

Supaya mencapai proses sementasi dibutuhkan bakteri *biogrouting* yang mampu bergerak di antara butiran tanah dan kemudian melekat pada butiran tanah. Bakteri *biogrouting* yang diperlukan adalah bakteri dengan afinitas yang tinggi antara permukaan sel bakteri dengan permukaan butiran tanah. Afinitas yang tinggi tersebut akan tercapai jika permukaan sel bakteri dan permukaan butiran tanah saling menempel. Pada penelitian ini terbentuknya proses kristalisasi dapat disebabkan oleh afinitas yang rendah dari sel bakteri untuk menempel pada permukaan butiran tanah.

BAB 5 KESIMPULAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sampel tanah pasir pantai Karawang menurut analisis hasil uji analisis ukuran butiran terdiri dari 92,5% adalah butiran-butiran pasir dan 7,5% adalah butiran lanau (nonplastis) dan lempung. Tanah asli dikelompokkan sebagai tanah bergradasi seragam (*uniformly graded soil*), dan berdasarkan sistem klasifikasi Unified sampel tanah asli termasuk dalam kriteria bergradasi buruk yang dikelompokkan dalam kelompok tanah *SP – SM*, yang artinya tanah pasir kelanauan yang bergradasi buruk,
2. Sampel tanah pasir Karawang hasil proses pencampuran dengan metode Harkes menurut hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* diperoleh data-data sebagai berikut:
 - Sampel tanah yang dipakai adalah sampel tanah yang lolos saringan no. 4 untuk disiapkan dalam proses pencampuran telah dibilas dengan air distilasi sehingga berbeda dari kondisi tanah asli.
 - Pemindehan sampel tanah hasil pencampuran dari wadah plastik ke dalam mold permeabilitas dilakukan dengan sekop secara manual.
 - Proses yang terlihat masih sebatas hasil proses kristalisasi belum mencapai proses sementasi. Proses kristalisasi dibuktikan dengan terbentuknya cairan kuning kecoklatan seperti lendir di sekitar sampel tanah yang menjadi kering.
 - Nilai koefisien permeabilitas untuk tanah asli, $k_T = 1,461 \times 10^{-3}$ cm/s dan nilai koefisien permeabilitas terkoreksi suhu untuk tanah asli, $k_{20} = 1,212 \times 10^{-3}$ cm/s. Nilai koefisien permeabilitas untuk sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode Harkes tidak bisa digunakan untuk data-data permeabilitas yang mewakili kondisi benda uji sebenarnya.

- Perubahan pada nilai koefisien permeabilitas dan berat isi basah tanah untuk sampel tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes berkaitan dengan prosedur memasukkan benda uji dengan sekop, sehingga data yang didapat tidak dapat digunakan sebagai kondisi benda uji sebenarnya atau data dari hasil pengujian ini belum tervalidasi dengan baik.
3. Sampel tanah pasir Karawang hasil proses pencampuran dengan metode De Jong menurut hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head*, diperoleh data-data sebagai berikut:
- Sampel tanah yang dipakai adalah sampel tanah yang lolos saringan no. 4 untuk disiapkan dalam proses pencampuran telah dibilas dengan air distilasi sehingga berbeda dari kondisi tanah asli.
 - Pemindahan sampel tanah hasil pencampuran dari wadah plastik ke dalam mold permeabilitas dilakukan dengan sekop secara manual.
 - Proses yang terlihat masih sebatas hasil proses kristalisasi belum mencapai proses sementasi. Proses kristalisasi dibuktikan dengan terbentuknya cairan kuning kecoklatan seperti lendir di sekitar sampel tanah yang menjadi kering.
 - Nilai koefisien permeabilitas untuk sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode De Jong tidak bisa digunakan untuk data-data permeabilitas yang mewakili kondisi benda uji sebenarnya.
 - Perubahan pada nilai koefisien permeabilitas dan berat isi basah tanah untuk sampel tanah hasil pencampuran dengan metode De Jong berkaitan dengan prosedur memasukkan benda uji dengan sekop, sehingga data yang didapat tidak dapat digunakan sebagai kondisi benda uji sebenarnya atau data dari hasil pengujian ini belum tervalidasi dengan baik.
4. Sampel tanah pasir Karawang hasil proses pencampuran dengan metode Harkes dari hasil uji geser langsung diperoleh data-data parameter kuat geser tanah sebagai berikut:

- Sampel tanah yang dipakai adalah sampel tanah yang lolos saringan no. 4 untuk disiapkan dalam proses pencampuran telah dibilas dengan air distilasi sehingga berbeda dari kondisi tanah asli.
 - Pemindahan sampel tanah hasil pencampuran dari wadah plastik ke dalam *shear box* dengan ring.
 - Kohesi tanah asli sangat kecil, $c \approx 0$ sehingga dapat dikategorikan tanah non-kohesif. Kohesi tanah untuk sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode Harkes untuk waktu peram 26 hari adalah $0,1 \text{ kg/cm}^2$. Perubahan nilai kohesi tanah pada sampel tanah hasil proses pencampuran dengan metode Harkes hanya meningkat 10% (tidak signifikan) setelah waktu peram 26 hari dari nilai kohesi untuk tanah aslinya. Penelitian ini hanya mencapai pada proses kristalisasi belum pada proses sementasi, sehingga nilai kohesi untuk sampel tanah hasil pencampuran tidak signifikan jika dibandingkan dengan nilai kohesi untuk kondisi tanah aslinya.
 - Sudut geser dalam efektif tanah asli adalah $20,43^\circ$. Sudut geser dalam efektif untuk sampel tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes setelah pemeraman 26 hari adalah $36,90^\circ$. Sudut geser dalam efektif sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode Harkes setelah pemeraman 26 hari meningkat 80,6% dari sudut geser dalam efektif tanah aslinya.
5. Sampel tanah pasir Karawang hasil proses pencampuran dengan metode De Jong dari hasil uji geser langsung diperoleh data-data parameter kuat geser tanah sebagai berikut:
- Sampel tanah yang dipakai adalah sampel tanah yang lolos saringan no. 4 untuk disiapkan dalam proses pencampuran telah dibilas dengan air distilasi sehingga berbeda dari kondisi tanah asli.
 - Pemindahan sampel tanah hasil pencampuran dari wadah plastik ke dalam *shear box* dengan ring.
 - Kohesi tanah untuk sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode De Jong untuk waktu peram 26 hari adalah $0,12 \text{ kg/cm}^2$. Perubahan nilai kohesi tanah pada sampel tanah hasil proses

pencampuran dengan metode De Jong hanya meningkat 12% (tidak signifikan) setelah waktu peram 26 hari dari nilai kohesi untuk tanah aslinya. Penelitian ini hanya mencapai pada proses kristalisasi belum pada proses sementasi, sehingga nilai kohesi untuk sampel tanah hasil pencampuran tidak signifikan jika dibandingkan dengan nilai kohesi untuk kondisi tanah aslinya.

- Sudut geser dalam efektif tanah asli adalah $20,43^\circ$. Sudut geser dalam efektif untuk sampel tanah hasil pencampuran dengan metode De Jong setelah pemeraman 26 hari adalah $38,13^\circ$. Sudut geser dalam efektif sampel tanah setelah proses pencampuran dengan metode De Jong setelah pemeraman 26 hari meningkat 86,6% dari sudut geser dalam efektif tanah aslinya.
6. Pada penelitian hanya mencapai proses kristalisasi. Proses sementasi belum tercapai pada penelitian ini, sehingga perlu disempurnakan lagi untuk penelitian-penelitian berikutnya.
 7. Sifat kohesif untuk sampel tanah hasil pencampuran dapat disebabkan oleh proses kristalisasi yang terjadi di sekitar sampel tanah. Peningkatan nilai kohesi yang sangat kecil setelah proses pencampuran disebabkan oleh belum terjadinya proses sementasi di sekitar sampel tanah. Sampel tanah hasil proses pencampuran untuk sudut geser dalam efektifnya (ϕ') meningkat dibandingkan dengan sudut geser dalam efektif (ϕ') sampel tanah aslinya. Peningkatan nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') dapat disebabkan oleh hasil proses kristalisasi di sekitar sampel tanah.
 8. Nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') hasil pencampuran dengan metode De Jong tidak signifikan berbeda dengan nilai sudut geser dalam efektif (ϕ') hasil pencampuran dengan metode Harkes. Hal ini dikarenakan pada metode pencampurannya tidak jauh berbeda.
 9. Perubahan sifat fisik dan mekanik dari analisis hasil uji geser langsung pada sampel tanah setelah proses pencampuran dapat disebabkan proses kristalisasi dari cairan kuning kecoklatan yang menjadi kering hasil presipitasi kalsit oleh bakteri *biogrouting*. Proses sementasi belum tercapai pada penelitian ini yang disebabkan oleh laju hidrolisis urea yang berjalan

lambat, permukaan butiran tanah dan rendahnya afinitas untuk perlekatan bakteri *biogrouting* (Gusmawati, 2009).

5.2 SARAN

1. Penelitian-penelitian berikutnya untuk sampel tanah yang disiapkan dalam proses pencampuran dengan metode Harkes/metode De Jong tidak dibilas dengan air distilasi sehingga sampel tanah tetap seperti kondisi tanah aslinya.
2. Penelitian-penelitian berikutnya perlu dicarikan solusi untuk mencapai proses sementasi pada penelitian ini atau perlu perbaikan pada komposisi konsentrasi media pencampuran yang tepat.
3. Sampel tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes/De Jong untuk pengujian permeabilitas dengan metode *constant head*, sebaiknya tidak dipindahkan dengan sekop. Cara pemindahan sampel tanah dengan dibuatkan ring baja dengan diameter yang sama dengan diameter mold permeabilitas untuk mencetak dan memindahkan sampel tanah dari *tray* ke dalam mold permeabilitas. Cara lain adalah sampel tanah untuk proses pencampuran dimasukkan ke dalam *tray* berbahan akrilik transparan dengan ukuran yang sama dengan mold permeabilitas, sehingga pengamatan pada proses pencampuran hingga pada pengujian permeabilitas kondisi sampel tanah di dalam *tray* tetap pada kondisi sebenarnya.

DAFTAR REFERENSI

- American Society for Testing and Material, Annual book of ASTM D 854 – 83, *Test Method for Specific Gravity of Soils*. Philadelphia, 1989.
- American Society for Testing and Material, Annual book of ASTM D 2434 – 68, *Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)*. Philadelphia, 1989.
- American Society for Testing and Material, Annual book of ASTM D 2487 – 93, *Test Method for Classification of Soil for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. Philadelphia, 1997.
- American Society for Testing and Material, Annual book of ASTM D 3080 - 72, *Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*. Philadelphia, 1989.
- Bang, S.S. and Ramakrishnan, V. 2001. *Microbiologically-Enhanced Crack Remediation (MECR)*. Proceedings Of The International Symposium On Industrial Application Of Microbial Genomes, Daegu, Korea, p. 3-13.
- Bang, S.S., Johnna K. Galinat, dan Ramakrishnan, V. 2001. Calcite Precipitation induced by Polyurethane-Immobilized *Bacillus pasteurii*. *Enzyme and Microbial Technology*, 28:404 – 409.
- Baskar, S., R. Baskar, L. Mauclaire, and J. A. McKenzie. 2006. *Microbially Induced Calcite Precipitation in Culture Experiments: Possible Origin for Stalactites in Sahastradhara Caves, Dehradun, India*, *Current Science*, 90(1):58-64.

- Boquet, E., Boronat, A., dan Ramos-Cormenzana, A. 1973. *Production of Calcite (Calcium Carbonate) Crystals by Soil Bacteria is a General Phenomenon*. Nature, 246:527 – 529.
- Bowles, Joseph E., *Sifat – sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Edisi Kedua. Trans. Johan K. Hainim. Jakarta: Erlangga. 1986.
- Budhu, M. 2007. *Soil Mechanics and Foundations*. 2nd Ed. John Wiley and Sons. USA.
- Canaveras, J.C., Sanchez-Moral, S., Soler, V., Saiz-Jimenez, C. 2001. *Microorganisms and Microbially Induced Fabrics in Cave Walls*. Geomicrobiol. J., 18:223-240.
- Castanier, S., Maurin, A., Perthuisot, J.P. 1989. *Production Bacterienne Expérimentale de Corpuscules Carbonatés, Sphéroïdaux à Structure Fibro-Radiarie. Réflexions sur la définition des ooïdes*. Bull. Soc. Géol., 5:589-595.
- Castanier, S., G. Le Metayer-Levrel, and J. P. Perthuisot. 1999. *Ca-Carbonates precipitation and limestone genesis - The microbiogeologist point of view*, Sedimentary Geology 126(1-4):9-23.
- Castanier, S., G. Le Métayer-Levrel, G. Oriol, J.F. Loubiere, and. J.P. Perthuisot. 2000. *Bacterial Carbonatogenesis and Applications to Preservation and Restoration of Historic Property*, p. 201-216. In O. Ciferri, P. Tiano and G. Mastromei (ed.), of *Microbes and Art: The Role of Microbial Communities in The Degradation and Protection of Cultural Heritage*. Plenum, New York, NY.
- Chakraborty, D., V. K. Agarwal, S. K. Bhatia, and J. Bellare. 1994. *Steady-state Transitions and Polymorph Transformations in Continuous Precipitation*

of Calcium Carbonate. Industrial & Engineering Chemistry Research 33(9):2187-2197.

Craig, R.F., *Mekanika Tanah*. Edisi Keempat. Trans. Budi Susilo S. Jakarta: Erlangga. 1994.

Das, B.M., *Mekanika Tanah*. Jilid 1. Trans. Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Surabaya. 1988.

Das, B.M., *Mekanika Tanah, Prinsip – prinsip Rekayasa Geoteknis*. Jilid 2. Trans. Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Surabaya. 1995.

Day, J.L., Ramakrishnan, V. and Bang, S.S. 2003. *Microbiologically Induced Sealant For Concrete Crack Remediation*. Proc. 16th ASCE Engineering Mechanics Conference, July 16-18, 2003, University Of Washington, Seattle.

De Jong J.T., Ritzges MB., Nüsslein K. 2006. *Microbially Induced Cementation to Control Sand Response to Undrained Shear*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 132(11):1381-1392.

De Jong, J.T., Brina M. Mortensen, Brian C. Martinez, Douglas C. Nelson. 2009. *Bio-Mediated Soil Improvement*. Ecol. Eng. doi:10.1016/j.ecoleng.2008.12.029.

Deo, K.S., 1997. *Remediation of Cracks and Fissures in Cement Mortar and Concrete using Bacteria*, M.S Thesis, South Dakota School of Mines and Technology, Rapid City, SD.

Drew, G.H. 1910. *The Action of some Denitrifying Bacteria in Tropical and Temperate Seas, and The Bacterial Precipitation of Calcium Carbonate in the Sea*. Journal of The Marine Biological Association 9:142-155.

- Falk, M.W. & Wuertz, S., 2007. In: Benckiser, G., Schnell, S. (Eds.), *Diversity of Biofilms and Their Formation Processes Biodiversity in Agricultural Systems*. Taylor & Francis, pp. 131–148.
- Ferris, F.G. and L.G. Setehmeier. 1992. *Bacteriogenic Mineral Plugging*. Unites States Patent 664769.
- Ferris, F. G., Stehmeier, L. G., Kantzas, A., and Mourits, F. M. 1996. “Bacteriogenic Mineral Plugging.” *J. Can. Pet. Technol.*, 35(8), 56–61.
- Friedrich, B. dan B. Magasanik. 1997. *Urease of Klebsiella aerogenes: Control of its Synthesis by Glutamine Synthetase*. *Journal of Bacteriology* 28:313-322.
- Fujita, Y., F.G. Ferris, R.D. Lawson, F.S. Colwell dan R.W. Smith. 2000. *Calcium Carbonate Precipitation by Ureolytic Subsurface Bacteria*. *Geomicrobiology Journal* 17:305-318.
- Greenfield, L. J. 1963. *Metabolism and Concentration of Calcium and Magnesium and Precipitation of Calcium Carbonate by A Marine Bacterium*, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 109(1):23-27.
- Gollapudi, U.K., Knutson, C.L., Bang S. S., and Islam, M.R. 1995. *A New Method for Controlling Leaching Through Permeable Channels*. *Chemosphere*. 30:695-705.
- Gusmawati, N.F., Indriasari, V.Y., Kusuma, L.P.A. Savitri Chitra, Athirah, A., Jatmiko, I, dan Setyawidati, N.A.R. 2009. *Kajian Pemanfaatan Teknologi Biogrouting untuk Mengatasi Masalah Erosi Pantai*. BRKP – Departemen Kelautan dan Perikanan. Jakarta.

- Hammes, F., and W. Verstraete. 2002. *Key Roles of pH and Calcium Metabolism in Microbial Carbonate Precipitation*. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 1:3-7.
- Hammes, F. et al. 2003. *Strain-Specific Ureolytic Microbial Calcium Carbonate Precipitation*. *App. Environ. Microbiol.*, 69(8):4901-4909.
- Hall-Stoodley, L., Costerton, J.W., Stoodley, P., 2004. *Bacterial Biofilms: From The Natural Environment to Infectious Diseases*. *Nature* 2, 95–108.
- Hardiyatmo, H.C. 2006. *Mekanika Tanah I*. Ed. 4th. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Harkes, M.P. et al. 2008. *Microbial Induced Carbonate Precipitation as Ground Improvement Method – Bacterial Fixation and Empirical Correlation CaCO₃ vs Strength*. *Proceeding of The 1st International Conference BioGeoCivil Engineering*. 23 – 25 June 2008, The Netherlands.
- Holt, John G. (1977). *The Shorter Bergeys Manual of Determinative Bacteriology*. 8th Ed. The Williams and Wilkins Company. Baltimore, USA.
- Kaltwasser, H., J. Kamer and W.R. Conger. 1972. *Control of Urease Formation in certain Aerobic Bacteria*. *Archiv fur Mikrobiologie* 81:178-196.
- Karol, R.H. 2003. *Chemical Grouting and Soil Stabilization*. New York: Dekker p. 558.
- Kile, D. E., D. D. Eberl, A. R. Hoch, and M. M. Reddy. 2000. *An Assessment of Calcite Crystal Growth Mechanisms Based on Crystal Size Distributions*, *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 64(17):2937-2950.
- Komar, P. 1998. *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice Hall, New York.

- Krumbein, W.E. 1972. *Rôle des microorganismes dans la g n se, la diag n se et la d gradation des roches en place*. Rev. Ecol. Biol. Sol., 3:283-319.
- Lappin-Scott, H.M., Cusack, F., and Costerton, J.W. 1998. *Nutrient Resuscitation and Growth of Starved Cells in Sandstone Cores: A Novel Approach to Enhanced Oil Recovery*, Applied Environmental Microbiology, 6(54):1373.
- Lisdiyanti, P., H. Kawasaki, T. Seki, Y. Yamada, T. Uchimura, and K. Komagata. 2000. *Systematic Study of The Genus Acetobacter with Descriptions of Acetobacter indonesiensis sp. nov., Acetobacter tropicalis sp. nov., Acetobacter orleanensis (Henneberg 1906) comb. nov., Acetobacter lovaniensis (Frateur 1950) comb. nov. and Acetobacter estunensis (Carr 1963) comb. nov.* Journal of General and Applied Microbiology, 46: 147-165.
- Lisdiyanti, P., Yopi, Ratnakomala, S., Murniasih, T., Fahrurrozi, Gusmawati, N.F. 2010. *Biogrouting: Pemanfaatan Bakteri Laut Pengendap Karbonat dalam Penanganan Erosi Pantai*. Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI. Cibinong.
- Lee, Young Nam. 2003. Calcite Production by *Bacillus amyloliquefaciens* CMB01. *The Journal of Microbiology*, 41(4):345-348.
- Mobley, H.L.T., M.D. Island and R.P. Hausinger. 1995. Molecular Biology of Microbial Urease. *Microbiological Reviews*,59:451-480.
- Mohamed, Bourada. 2008. *Korelasi Antara CBR Dengan Parameter Fisis Tanah Timbunan Reklamasi*. Master Tesis Teknik Sipil ITS. Surabaya.
- Murthy, V.N.S. 2003. *Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Handbook of Geotechnical Engineering*, Marcel Dekker, Inc.

- Nemati, M., and Voordouw, G. 2003. Modification of porous media permeability, using calcium carbonate produced enzymatically in situ. *Enzyme Microb. Technol.*, 33, 635–642.
- Nemati M, Voordouw G. 2005. *Permeability Profile Modification Using Bacterially Formed Calcium Carbonate: Comparison with Enzymic Option*. *Proc. Biochem* 40:925–933.
- Pikuta, E.V., Hoover, R.B., Tang, J., 2007. Microbial Extremophiles at The Limits of Life. *Crit. Rev. Microbiol.* 33, 183–209.
- Ramachandran, S.K., Ramakrishnan, V., and Bang, S.S. 2001. Remediation of Concrete using Microorganisms. *American Concrete Institute Materials Journal*, 98:3-9.
- Ramakrishnan, V., Deo K.S., Duke EF, Bang SS. 1999. *SEM Investigation of Microbial Calcite Precipitation in Cement*, Proceedings of the 21st International Conference on Cement Microscopy, Las Vegas, NV. p. 406 – 414.
- Ramakrishnan, V., Santosh, K.R., Duke, E.F., and Bang, S.S., 2000. *SEM Investigation of Microbial Calcite Precipitation in Cement*. Proceedings of the 22nd International Conference on Cement Microscopy, April, Montreal, Quebec, Canada.
- Rivadeneira, M.A., R. Delgado, E. Quesada, and A. Ramos-Cormenzana. 1991. Precipitation of Calcium Carbonate by *Deleya halophila* in Media Containing NaCl as Sole Salt. *Curr. Microbiol.* 22:185-190.

- Rivadeneira, M.A., A. Ramos-Cormenzana, G. Delgado, and R. Delgado. 1996. Process of Carbonate Precipitation by *Deleya halophila*. *Curr. Microbiol.*, 32:308-313.
- Rivadeneira, M.A., G. Delgado, A. Ramos-Cormenzana, and R. Delgado. 1998. Biomineralization of Carbonates by *Halomonas eurihalina* in Solid and Liquid Media with Different Salinities: Crystal Formation Sequence. *Res. Microbiol.*, 149:277-287.
- Rodriguez-Navarro, C., M. Rodriguez-Gallego, K.B. Chekroun, and M.T. Gonzalez-Muñoz. 2003. Conservation of Ornamental Stone by *Myxococcus xanthus*-Induced Carbonate Biomineralization. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69:2182-2193.
- Sanchez-Moral, S., V. Soler, J. C. Canaveras, E. Sanz-Rubio, R. Van Grieken, and K. Gysels. 1999. Inorganic Deterioration Affecting The Altamira Cave: Quantitative Approach to Wall-Corrosion (Solutional Etching) Processes Induced by Visitors. *Science of the Total Environment*, 244:67-84.
- Stocks-Fischer, S., Galinat, J.K., Bang, S.S. 1999. Microbiological Precipitation of CaCO₃. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(11):1563-1571.
- Terzaghi, K. Peck, R.B., *Soil Mechanics in Engineering Practice*. University of Illinois, John Willey and Sons, Inc. New York. 1993.
- Tiano, P. 1995. *Stone Reinforcement by Calcite Crystal Precipitation Induced by Organic Matrix Macromolecules*. *Studies in Conservation* 40:171-176.
- Tiano, P. L. Biagiotti, and G. Mastromei. 1999. Bacterial Bio-Mediated Calcite Precipitation for Monumental Stones Conservation: Methods of Evaluation. *Journal Microbiology Method*, 36:139-145.

- Todar, Kenneth. 2008. *Todar's online textbook of bacteriology*. http://www.textbookofbacteriology.net/growth_3.html (diunduh pada November 2009)
- van Paassen, L. 2008. *Microbes Build Underground Constructions*. Natural Resources. Jaargang 11 – Nummer 2. TU Delft. p. 10 – 14.
- Warren, L. A., P. A. Maurice, N. Parmar, and F. G. Ferris. 2001. Microbially Mediated Calcium Carbonate Precipitation: Implications for Interpreting Calcite Precipitation and for Solid-Phase Capture of Inorganic Contaminants, *Geomicrobiology Journal* 18(1):93-115.
- Whiffin, V.S. 2004. *Microbial CaCO₃ Precipitation for the Production of Biocement*. Ph.D Thesis. Murdoch University, Western Australia.
- Whiffin, V.S., van Paassen, L. and Marien P. Harkes. 2007. Microbial Carbonate Precipitation as a Soil Improvement Technique. *Geomicrobiology Journal*, 24:1-7.
- Xanthakos, P.P., Abramson, L.W., Bruce, D.A. 1994. *Ground Control and Improvement*. John Wiley and Sons, New York, NY. pp. 910.
- Zavarzin, G. A. (2002), Microbial Geochemical Calcium Cycle, *Microbiology Journal*, 71(1):1-17.
- Zhong, L. and Islam, M.R. 1995. *A New Microbial Plugging Process and its Impact on Fracture Remediation* (SPE 30519). Proceeding of the 70th Annual technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers, Dallas, Texas, 703-715.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar dan tabel hasil uji analisa ukuran butiran untuk tanah asli



Gambar Grafik analisa ukuran butiran untuk tanah asli.

Tabel Data analisa ukuran butiran untuk tanah asli.

No. Saringan	Diam. (mm)	Berat Tertahan (gram)	Jumlah Berat Tertahan (gram)	Persen	
				Tertahan	Lewat
4	4,750	0	0	0	100
10	2,0	0	0	0	100
20	0,850	76,32	76,32	15,28	84,72
40	0,425	286,92	363,24	72,72	27,28
100	0,15	70	433,24	86,73	13,27
200	0,075	28,8	462,04	92,5	7,5
Pan		37,46	499,5	100	0
Jumlah		499,5			

Lampiran 2. Tabel hasil pengujian *specific gravity* untuk tanah asli

	Soil Samples			
	A	B	C	D
Bor No.	-	-		
Sample	PSR KRWNG	PSR KRWNG		
Depth of Sample (m)	0	0		
Vol. of flask at 20°C (ml)	500	500		
Wt. flask + water + soil = W_{bus} (gram)	730,42	732,67		
Temperatur (°C)	28	28		
Wt. flask + water = W_{bu} (gram)	667,37	669,60		
Evap. Dish No.	A	B		
Wt. evap. Dish + dry soil (gram)	455,95	455,96		
Wt. of evap. Dish (gram)	355,95	355,95		
Wt. of dry soil = W_s (gram)	100,0	100,01		
$W_u = W_s + W_{bu} - W_{bus}$ (gram)	36,95	36,94		
α	0,99627	0,99627		
$G_s = \alpha W_s / W_u$	2,696	2,697		
Avg. specific gravity of soil solids (G_s)	2,697			

Lampiran 3. Data hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli

Tinggi (L) = 10 cm

Beda Tinggi (h) = 83 cm

Dimensi Mold: Diam. 10 cm; Ht. 10 cm; Area 78,54 cm²; Vol. 785,4 cm³

Berat mold + gasket + base = 4154,6 gram

Berat mold + gasket + base + tanah = 5372 gram

Berat tanah = 1217,4 gram

Berat isi = 1,550 gram/cm³

Hasil pengujian debit air terhadap waktu:

Tabel Data uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli.

Debit (q) cc	Waktu (t) detik	pH tanah
285	300	7.5
285	300	7.5
287	300	7.5
285	300	7.5
287	300	7.5

$$k_T = QL/Aht = \frac{285,8 \times 10}{78,54 \times 83 \times 300} = 1,461 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

$$\mu_T/\mu_{20} = 0,829 \text{ (T = 28 }^\circ\text{C)}$$

$$k_{20} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{20}} = 1,212 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

Lampiran 4. Data hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes

- a. Hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes untuk pemeraman 2 hari.

Tinggi (L) = 10 cm

Beda Tinggi (h) = 83 cm

Dimensi Mold: Diam. 10 cm; Ht. 10 cm; Area 78,54 cm²; Vol. 785,4 cm³

Berat mold + gasket + base = 4154,6 gram

Berat mold + gasket + base + tanah = 5418,4 gram

Berat tanah = 1263,8 gram

Berat isi = 1,609 gram/cm³ (*data berat isi tanah ini tidak valid)

Hasil pengujian debit air terhadap waktu:

Tabel a. Data uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes untuk pemeraman 2 hari (*data ini tidak valid).

Debit (q) cc	Waktu (t) detik	pH tanah
250	300	9
252	300	9
250	300	9
250	300	9
252	300	9

$$k_T = QL/Aht = \frac{250,8 \times 10}{78,54 \times 83 \times 300} = 1,282 \times 10^{-3} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

$$\mu_T/\mu_{20} = 0,829 \text{ (T = 28 } ^\circ\text{C)}$$

$$k_{20} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{20}} = 1,063 \times 10^{-3} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

* Keterangan:

nilai koefisien permeabilitas dan berat isi basah tanah untuk sampel tanah hasil pencampuran dengan metode Harkes berkaitan dengan prosedur pemasukkan benda uji dengan sekop, sehingga data yang didapat tidak dapat digunakan sebagai kondisi benda uji sebenarnya atau data dari hasil pengujian ini belum tervalidasi dengan baik.

(lanjutan)

- b. Hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes untuk pemeraman 6 hari.

Tinggi (L) = 10 cm

Beda Tinggi (h) = 83 cm

Dimensi Mold: Diam. 10 cm; Ht. 10 cm; Area 78,54 cm²; Vol. 785,4 cm³

Berat mold + gasket + base = 4154,6 gram

Berat mold + gasket + base + tanah = 5431 gram

Berat tanah = 1276,4 gram

Berat isi = 1,625 gram/cm³ (*data berat isi tanah ini tidak valid)

Hasil pengujian debit air terhadap waktu:

Tabel b. Data uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes untuk pemeraman 6 hari (*data ini tidak valid).

Debit (q) cc	Waktu (t) detik	pH tanah
225	300	8.5
227	300	8.5
227	300	8.5
227	300	8.5
225	300	8.5

$$k_T = QL/Aht = \frac{226,2 \times 10}{78,54 \times 83 \times 300} = 1,157 \times 10^{-3} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

$$\mu_T/\mu_{20} = 0,829 \text{ (T = 28 }^\circ\text{C)}$$

$$k_{20} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{20}} = 9,589 \times 10^{-4} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

(lanjutan)

- c. Hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes untuk pemeraman 14 hari.

Tinggi (L) = 10 cm

Beda Tinggi (h) = 83 cm

Dimensi Mold: Diam. 10 cm; Ht. 10 cm; Area 78,54 cm²; Vol. 785,4 cm³

Berat mold + gasket + base = 4154,6 gram

Berat mold + gasket + base + tanah = 5489,9 gram

Berat tanah = 1335,3 gram

Berat isi = 1,7 gram/cm³ (*data berat isi tanah ini tidak valid)

Hasil pengujian debit air terhadap waktu:

Tabel c. Data uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes untuk pemeraman 14 hari (*data ini tidak valid).

Debit (q) cc	Waktu (t) detik	pH tanah
167	300	8.5
167	300	8.5
167	300	8.5
167	300	8.5
165	300	8.5

$$k_T = QL/Aht = \frac{166,6 \times 10}{78,54 \times 83 \times 300} = 8,519 \times 10^{-4} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

$$\mu_T/\mu_{20} = 0,829 \text{ (T = 28 }^\circ\text{C)}$$

$$k_{20} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{20}} = 7,062 \times 10^{-4} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

(lanjutan)

- d. Hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes untuk pemeraman 22 hari.

Tinggi (L) = 10 cm

Beda Tinggi (h) = 83 cm

Dimensi Mold: Diam. 10 cm; Ht. 10 cm; Area 78,54 cm²; Vol. 785,4 cm³

Berat mold + gasket + base = 4154,6 gram

Berat mold + gasket + base + tanah = 5543,5 gram

Berat tanah = 1388,9 gram

Berat isi = 1,768 gram/cm³ (*data berat isi tanah ini tidak valid)

Hasil pengujian debit air terhadap waktu:

Tabel d. Data uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes untuk pemeraman 22 hari (*data ini tidak valid).

Debit (q) cc	Waktu (t) detik	pH tanah
115	300	8
117	300	8
117	300	8
117	300	8
115	300	8

$$k_T = QL/Aht = \frac{116,2 \times 10}{78,54 \times 83 \times 300} = 5,942 \times 10^{-4} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

$$\mu_T/\mu_{20} = 0,829 \text{ (T = 28 } ^\circ\text{C)}$$

$$k_{20} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{20}} = 4,926 \times 10^{-4} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

(lanjutan)

- e. Hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes untuk pemeraman 26 hari.

Tinggi (L) = 10 cm

Beda Tinggi (h) = 83 cm

Dimensi Mold: Diam. 10 cm; Ht. 10 cm; Area 78,54 cm²; Vol. 785,4 cm³

Berat mold + gasket + base = 4154,6 gram

Berat mold + gasket + base + tanah = 5572,7 gram

Berat tanah = 1418,1 gram

Berat isi = 1,806 gram/cm³ (*data berat isi tanah ini tidak valid)

Hasil pengujian debit air terhadap waktu:

Tabel e. Data uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes untuk pemeraman 26 hari (*data ini tidak valid).

Debit (q) cc	Waktu (t) detik	pH tanah
90	300	8
90	300	8
90	300	8
92	300	8
92	300	8

$$k_T = QL/Aht = \frac{90,8 \times 10}{78,54 \times 83 \times 300} = 4,643 \times 10^{-4} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

$$\mu_T/\mu_{20} = 0,829 \text{ (T = 28 }^\circ\text{C)}$$

$$k_{20} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{20}} = 3,849 \times 10^{-4} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

Lampiran 5. Data hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong

- a Hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong untuk pemeraman 2 hari.

Tinggi (L) = 10 cm

Beda Tinggi (h) = 83 cm

Dimensi Mold: Diam. 10 cm; Ht. 10 cm; Area 78,54 cm²; Vol. 785,4 cm³

Berat mold + gasket + base = 4154,6 gram

Berat mold + gasket + base + tanah = 5419,3 gram

Berat tanah = 1264,7 gram

Berat isi = 1,610 gram/cm³ (*data berat isi tanah ini tidak valid)

Hasil pengujian debit air terhadap waktu:

Tabel a. Data uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong untuk pemeraman 2 hari (*data ini tidak valid).

Debit (q) cc	Waktu (t) detik	pH tanah
240	300	9
242	300	9
240	300	9
242	300	9
242	300	9

$$k_T = QL/Aht = \frac{241,2 \times 10}{78,54 \times 83 \times 300} = 1,233 \times 10^{-3} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

$$\mu_T/\mu_{20} = 0,829 \text{ (T = 28 } ^\circ\text{C)}$$

$$k_{20} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{20}} = 1,022 \times 10^{-3} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

* Keterangan:

nilai koefisien permeabilitas dan berat isi basah tanah untuk sampel tanah hasil pencampuran dengan metode De Jong berkaitan dengan prosedur pemasukkan benda uji dengan sekop, sehingga data yang didapat tidak dapat digunakan sebagai kondisi benda uji sebenarnya atau data dari hasil pengujian ini belum tervalidasi dengan baik.

(lanjutan)

- b. Hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong untuk pemeraman 6 hari.

Tinggi (L) = 10 cm

Beda Tinggi (h) = 83 cm

Dimensi Mold: Diam. 10 cm; Ht. 10 cm; Area 78,54 cm²; Vol. 785,4 cm³

Berat mold + gasket + base = 4154,6 gram

Berat mold + gasket + base + tanah = 5437,1 gram

Berat tanah = 1282,5 gram

Berat isi = 1,633 gram/cm³ (*data berat isi tanah ini tidak valid)

Hasil pengujian debit air terhadap waktu:

Tabel b. Data uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong untuk pemeraman 6 hari (*data ini tidak valid).

Debit (q) cc	Waktu (t) detik	pH tanah
217	300	8.5
217	300	8.5
215	300	8.5
217	300	8.5
217	300	8.5

$$k_T = QL/Aht = \frac{216,6 \times 10}{78,54 \times 83 \times 300} = 1,108 \times 10^{-3} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

$$\mu_T/\mu_{20} = 0,829 \text{ (T = 28 } ^\circ\text{C)}$$

$$k_{20} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{20}} = 9,182 \times 10^{-4} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

(lanjutan)

- c. Hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong untuk pemeraman 14 hari.

Tinggi (L) = 10 cm

Beda Tinggi (h) = 83 cm

Dimensi Mold: Diam. 10 cm; Ht. 10 cm; Area 78,54 cm²; Vol. 785,4 cm³

Berat mold + gasket + base = 4154,6 gram

Berat mold + gasket + base + tanah = 5498,5 gram

Berat tanah = 1343,9 gram

Berat isi = 1,711 gram/cm³ (*data berat isi tanah ini tidak valid)

Hasil pengujian debit air terhadap waktu:

Tabel c. Data uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong untuk pemeraman 14 hari (*data ini tidak valid).

Debit (q) cc	Waktu (t) detik	pH tanah
150	300	8.5
150	300	8.5
152	300	8.5
152	300	8.5
150	300	8.5

$$k_T = QL/Aht = \frac{150,8 \times 10}{78,54 \times 83 \times 300} = 7,711 \times 10^{-4} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

$$\mu_T/\mu_{20} = 0,829 \text{ (T = 28 }^\circ\text{C)}$$

$$k_{20} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{20}} = 6,392 \times 10^{-4} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

(lanjutan)

- d. Hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong untuk pemeraman 22 hari.

Tinggi (L) = 10 cm

Beda Tinggi (h) = 83 cm

Dimensi Mold: Diam. 10 cm; Ht. 10 cm; Area 78,54 cm²; Vol. 785,4 cm³

Berat mold + gasket + base = 4154,6 gram

Berat mold + gasket + base + tanah = 5552,7 gram

Berat tanah = 1398,1 gram

Berat isi = 1,780 gram/cm³ (*data berat isi tanah ini tidak valid)

Hasil pengujian debit air terhadap waktu:

Tabel d. Data uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong untuk pemeraman 22 hari (*data ini tidak valid).

Debit (q) cc	Waktu (t) detik	pH tanah
100	300	8
100	300	8
102	300	8
102	300	8
102	300	8

$$k_T = QL/Aht = \frac{101,2 \times 10}{78,54 \times 83 \times 300} = 5,175 \times 10^{-4} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

$$\mu_T/\mu_{20} = 0,829 \text{ (T = 28 }^\circ\text{C)}$$

$$k_{20} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{20}} = 4,290 \times 10^{-4} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

(lanjutan)

- e. Hasil uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong untuk pemeraman 26 hari.

Tinggi (L) = 10 cm

Beda Tinggi (h) = 83 cm

Dimensi Mold: Diam. 10 cm; Ht. 10 cm; Area 78,54 cm²; Vol. 785,4 cm³

Berat mold + gasket + base = 4154,6 gram

Berat mold + gasket + base + tanah = 5582,5 gram

Berat tanah = 1427,9 gram

Berat isi = 1,818 gram/cm³ (*data berat isi tanah ini tidak valid)

Hasil pengujian debit air terhadap waktu:

Tabel e. Data uji permeabilitas dengan metode *constant head* untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong untuk pemeraman 26 hari (*data ini tidak valid).

Debit (q) cc	Waktu (t) detik	pH tanah
70	300	8
70	300	8
72	300	8
72	300	8
72	300	8

$$k_T = QL/Aht = \frac{71,2 \times 10}{78,54 \times 83 \times 300} = 3,641 \times 10^{-4} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

$$\mu_T/\mu_{20} = 0,829 \text{ (T = 28 }^\circ\text{C)}$$

$$k_{20} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{20}} = 3,018 \times 10^{-4} \text{ cm/s (*analisis data ini tidak valid)}$$

Lampiran 6. Data hasil uji geser langsung untuk tanah asli

No. Seri: 1

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli (pasir kelanauan)

Pelaksana: Alam Tronics

Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

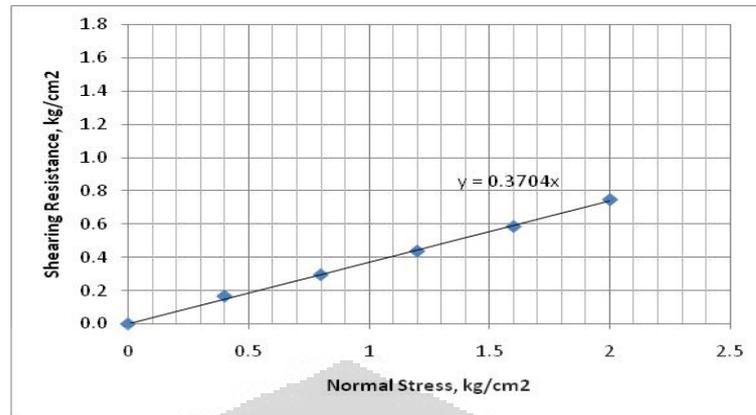
Keterangan					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	13	23	34	45.5	58
Horiz. Shear Force, (kg)	4.732	8.372	12.376	16.562	21.112
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.167	0.296	0.438	0.586	0.747

Kadar air:

Can No.	
Wt. of wet soil + can, (gr)	692.7
Wt. of dry soil + can, (gr)	610.5
Wt. of can, (gr)	23.15
Wt. of water, (gr)	82.2
Wt. of dry soil, (gr)	587.35
Water content, w (%)	14.00%

$$\text{Kadar air, } w (\%) = \frac{\text{Wt. of water}}{\text{Wt. of dry soil}} = \frac{82.2 \text{ gr}}{587.35 \text{ gr}} = 14 \%$$

(lanjutan)



Gambar a. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli untuk seri 1.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,3704x + c$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0$; Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 20,32^\circ$.

Tabel a. Data hasil uji geser langsung tanah asli untuk seri 1.

Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	8	12	16	32	44
30	9	13	18	34	46
45	10	14	20	35	47
60	10.5	15	22	36	48
75	11	16	24	37	49
90	11	18	26	38	50
105	11.5	18.5	27	39	51
120	12	19	28	40	52
135	12	20	29	41	53
150	12.5	20.5	30	42	54
165	13	21	31	43	55
180	13	21.5	32	44	56
195	13	22	33	45	57
210	12	23	34	45.5	58
225	11	22	33	44	57
240	10	21	32	43	56
255		20	31	42	55
270					

(lanjutan)

No. Seri: 2

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli (pasir kelanauan)

Pelaksana: Alam Tronics

Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

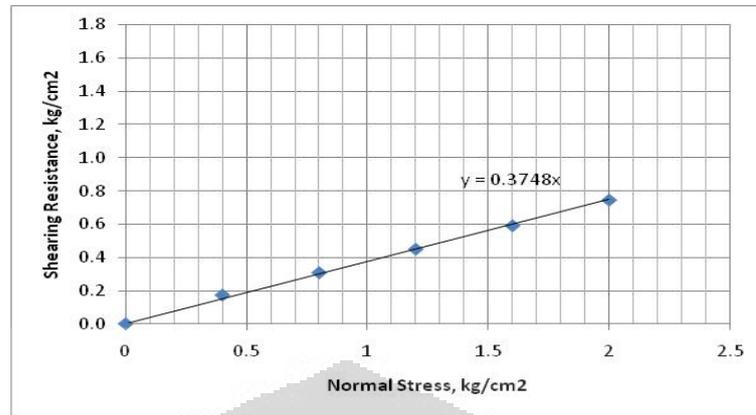
Keterangan					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	13.5	24	35	46	58
Horiz. Shear Force, (kg)	4.914	8.736	12.74	16.744	21.112
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.174	0.309	0.451	0.592	0.747

Kadar air:

Can No.	
Wt. of wet soil + can, (gr)	692.5
Wt. of dry soil + can, (gr)	610.3
Wt. of can, (gr)	23.15
Wt. of water, (gr)	82.2
Wt. of dry soil, (gr)	587.15
Water content, w (%)	14.00%

$$\text{Kadar air, } w (\%) = \frac{\text{Wt. of water}}{\text{Wt. of dry soil}} = \frac{82.2 \text{ gr}}{587.15 \text{ gr}} = 14 \%$$

(lanjutan)



Gambar b. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli untuk seri 2.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,3748x + c$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0$; Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 20,55^\circ$.

Tabel b. Data hasil uji geser langsung tanah asli untuk seri 2.

Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	8	12	16	32	44
30	9	13	18	34	46
45	10	14	20	35	47
60	10.5	15	22	36	48
75	11	16	24	37	49
90	11	18	26	38	50
105	11.5	18.5	27	39	51
120	12	19	28	40	52
135	12	20	29	41	53
150	12.5	20.5	30	42	54
165	13.5	21	32	43	55
180	13.5	22	33	44	56
195	13.5	23	34	45	57
210	13	24	35	46	58
225	12	23	34	45	58
240	11	22	33	44	57
255		21	32	43	56
270					

Lampiran 7. Data hasil uji geser langsung untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes

No. Seri: 1

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 2 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

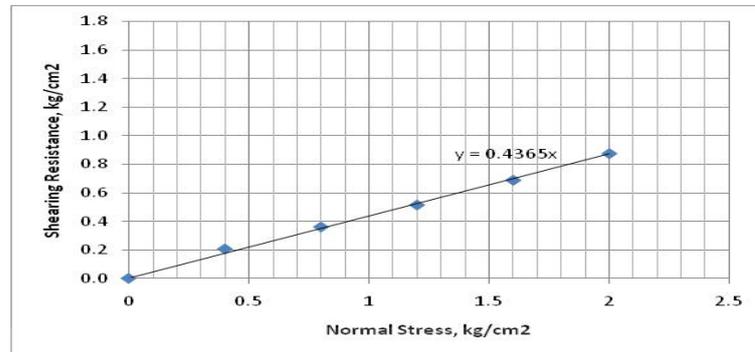
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	16	28	40	53.5	68
Horiz. Shear Force, (kg)	5.824	10.192	14.56	19.474	24.752
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.206	0.360	0.515	0.689	0.875

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	186.48	186.48	186.48	186.47	186.47
Wt. of dry soil + can, (gr)	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7
Wt. of can, (gr)	72.2	72.2	72.2	72.22	72.2
Wt. of water, (gr)	19.78	19.78	19.78	19.77	19.77
Wt. of dry soil, (gr)	94.5	94.5	94.5	94.48	94.5
Water content, w_i (%)	20.93%	20.93%	20.93%	20.93%	20.92%
Average water content, w (%)	20.93%				

(lanjutan)



Gambar a. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 2 hari) untuk seri 1.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,4365x + c$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c \approx 0$; Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 23,58^\circ$.

Tabel a. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 2 hari) untuk seri 1.

Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	10	16	20	38	55
30	11	18	22	40	56
45	12	19	24	41	57
60	12.5	20	28	42	58
75	13	21	32	43	59
90	13.5	22	34	44	60
105	14	23	36	45	61
120	14.5	24	37	46	62
135	14.5	25	37.5	47	63
150	15	26	38	48	64
165	15.5	27	38.5	50	65
180	16	28	39	51	66
195	16	28	40	52	67
210	16	28	40	53.5	68
225	15.5	27	39	52	68
240	14	26	38	51	66
255	13.5	25	37	50	65
270					64

(lanjutan)

No. Seri: 2

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 2 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

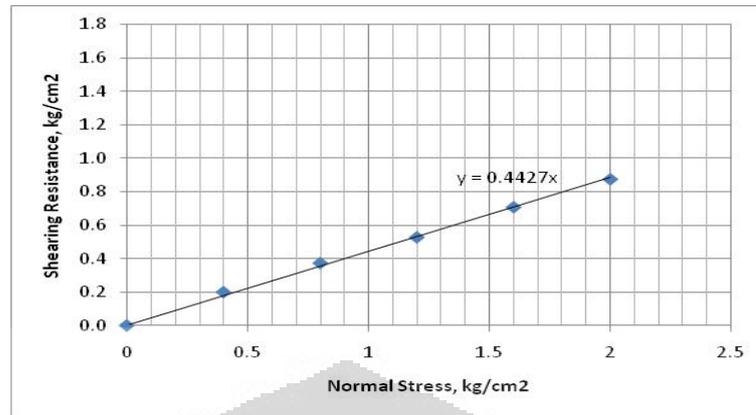
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	15.5	29	41	55	68
Horiz. Shear Force, (kg)	5.642	10.556	14.924	20.02	24.752
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.200	0.373	0.528	0.708	0.875

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	186.48	186.48	186.48	186.46	186.46
Wt. of dry soil + can, (gr)	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7
Wt. of can, (gr)	72.2	72.2	72.2	72.22	72.2
Wt. of water, (gr)	19.78	19.78	19.78	19.76	19.76
Wt. of dry soil, (gr)	94.5	94.5	94.5	94.48	94.5
Water content, w_i (%)	20.93%	20.93%	20.93%	20.91%	20.91%
Average water content, w (%)	20.92%				

(lanjutan)



Gambar b. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 2 hari) untuk seri 2.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,4427x + c$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c \approx 0$; Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 23,88^\circ$.

Tabel b. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 2 hari) untuk seri 2.

Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	10	16	20	38	55
30	11	18	22	40	56
45	12	19	24	41	57
60	12.5	20	28	42	58
75	13	21	32	43	59
90	13.5	22	34	44	60
105	14	23	36	45	61
120	14	24	37	46	62
135	14.5	25	38	47	63
150	14.5	26	38	48	64
165	15	27	38.5	50	65
180	15	28	38.5	51	66
195	15.5	29	39	52	67
210	15.5	29	40	53	68
225	15.5	28	41	54	68
240	14	27	41	55	66
255	13	26	40	54	65

(lanjutan)

No. Seri: 1

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 6 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

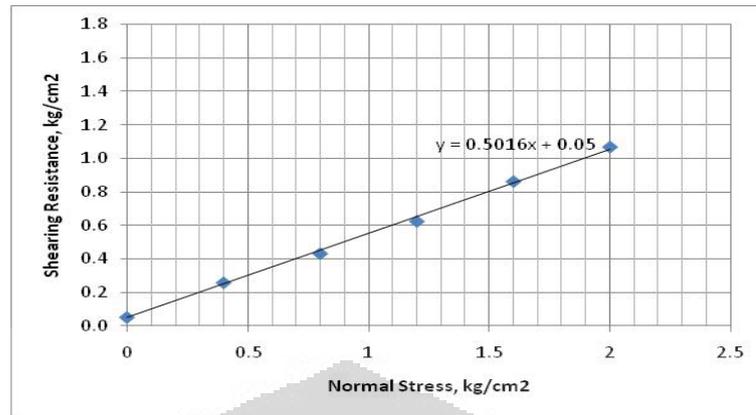
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	20	33.5	48.5	67	83
Horiz. Shear Force, (kg)	7.28	12.194	17.654	24.388	30.212
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.257	0.431	0.624	0.863	1.069

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	187.22	187.22	187.22	187.23	187.22
Wt. of dry soil + can, (gr)	169.81	169.81	169.81	169.81	169.8
Wt. of can, (gr)	72.2	72.2	72.2	72.22	72.2
Wt. of water, (gr)	17.41	17.41	17.41	17.42	17.42
Wt. of dry soil, (gr)	97.61	97.61	97.61	97.59	97.6
Water content, w_i (%)	17.84%	17.84%	17.84%	17.85%	17.85%
Average water content, w (%)	17.84%				

(lanjutan)



Gambar c. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 6 hari) untuk seri 1.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,5016x + 0,05$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0,05 \text{ kg/cm}^2$;

Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 26,64^\circ$.

Tabel c. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 6 hari) untuk seri 1.

Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	10	16	20	38	55
30	11	18	22	40	56
45	12	19	24	41	57
60	12.5	20	28	42	58
75	13	21	32	43	59
90	13.5	22	34	44	60
105	14	23	36	45	61
120	14	24	37	46	62
135	14.5	25	38	47	63
150	14.5	26	38	48	64
165	15	27	38.5	50	65
180	15	28	38.5	51	66
195	15.5	29	39	52	67
210	15.5	29	40	53	68
225	15.5	28	41	54	68
240	14	27	41	55	66
255	13	26	40	54	65

(lanjutan)

No. Seri: 2

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 6 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

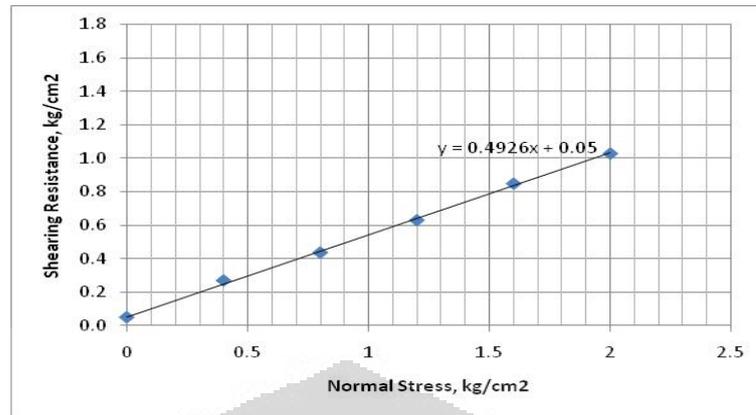
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	21	34	49	66	80
Horiz. Shear Force, (kg)	7.644	12.376	17.836	24.024	29.12
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.270	0.438	0.631	0.850	1.030

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	187.2	187.2	187.2	187.23	187.23
Wt. of dry soil + can, (gr)	169.83	169.84	169.84	169.84	169.85
Wt. of can, (gr)	72.2	72.2	72.2	72.22	72.2
Wt. of water, (gr)	17.37	17.36	17.36	17.39	17.38
Wt. of dry soil, (gr)	97.63	97.64	97.64	97.62	97.65
Water content, w_i (%)	17.79%	17.78%	17.78%	17.81%	17.80%
Average water content, w (%)	17.79%				

(lanjutan)



Gambar d. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 6 hari) untuk seri 2.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,4926x + 0,05$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0,05 \text{ kg/cm}^2$;

Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 26,22^\circ$.

Tabel d. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 6 hari) untuk seri 2.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	13	18	28	46	60	270	20	32	49	65	77
30	13.5	19	30	48	61	285	18	31	48	64	76
45	14	20	32	50	62						
60	14.5	21	33	52	63						
75	15	22	34	54	64						
90	15.5	23	35	55	65						
105	15.5	24	36	56	66						
120	16	25	37	57	67						
135	16	26	38	58	68						
150	16.5	27	39	59	70						
165	17	28	40	60	72						
180	18	29	41	62	74						
195	18	30	42	62	76						
210	19	32	43	64	78						
225	19	33	44	65	80						
240	20	34	46	66	79						
255	21	33	48	66	78						

(lanjutan)

No. Seri: 1

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 14 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

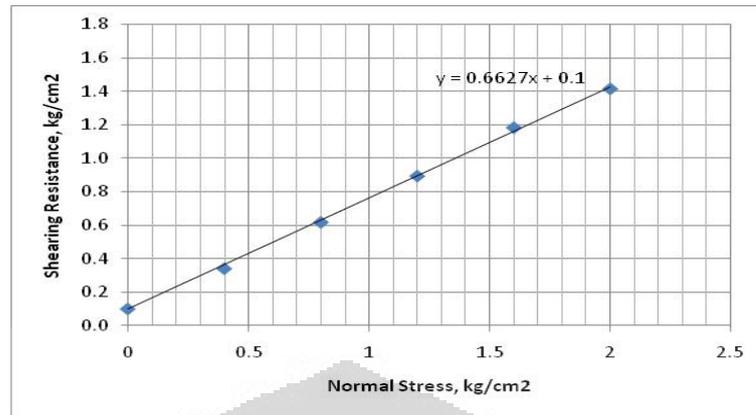
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	26.5	48	69.5	92	110
Horiz. Shear Force, (kg)	9.646	17.472	25.298	33.488	40.04
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.341	0.618	0.895	1.184	1.416

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	191.88	191.88	191.88	191.88	191.88
Wt. of dry soil + can, (gr)	178.68	178.68	178.67	178.68	178.68
Wt. of can, (gr)	72.19	72.2	72.19	72.2	72.2
Wt. of water, (gr)	13.2	13.2	13.21	13.2	13.2
Wt. of dry soil, (gr)	106.49	106.48	106.48	106.48	106.48
Water content, w_i (%)	12.40%	12.40%	12.41%	12.40%	12.40%
Average water content, w (%)	12.40%				

(lanjutan)



Gambar e. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 14 hari) untuk seri 1.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,6627x + 0,1$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0,1 \text{ kg/cm}^2$;

Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 33,53^\circ$.

Tabel e. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 14 hari) untuk seri 1.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	13	25	38	60	70	270	26.5	47	69	90	102
30	14	28	40	62	72	285	25	48	69.5	91	106
45	15	30	42	65	75	300	24	47	68	92	110
60	16	32	45	68	77	315	23	46	67	91	109
75	16	33	48	70	78						
90	16.5	34	49	72	80						
105	17	35	50	75	82						
120	18	36	52	78	84						
135	19	37	54	80	86						
150	20	38	55	82	88						
165	21	40	56	83	89						
180	22	41	58	84	90						
195	23	42	60	85	92						
210	24	44	62	86	94						
225	25	45	64	87	96						
240	25.5	46	66	88	98						
255	26	46.5	68	89	100						

(lanjutan)

No. Seri: 2

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 14 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

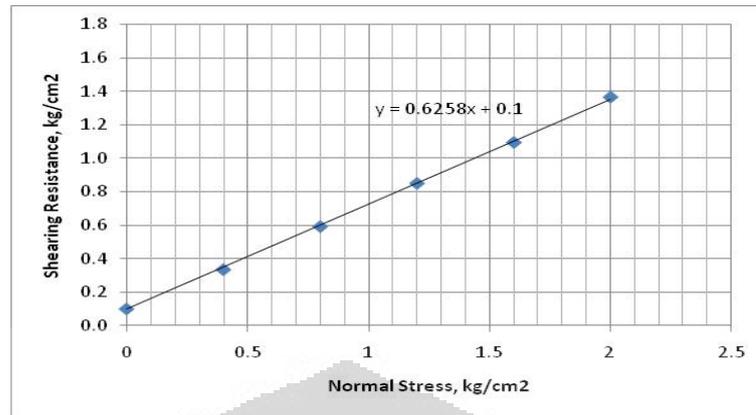
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	26	46	66	85	106
Horiz. Shear Force, (kg)	9.464	16.744	24.024	30.94	38.584
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.335	0.592	0.850	1.094	1.365

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	191.86	191.86	191.88	191.88	191.88
Wt. of dry soil + can, (gr)	178.67	178.67	178.67	178.68	178.68
Wt. of can, (gr)	72.19	72.2	72.19	72.2	72.2
Wt. of water, (gr)	13.19	13.19	13.21	13.2	13.2
Wt. of dry soil, (gr)	106.48	106.47	106.48	106.48	106.48
Water content, w_i (%)	12.39%	12.39%	12.41%	12.40%	12.40%
Average water content, w (%)	12.40%				

(lanjutan)



Gambar f. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 14 hari) untuk seri 2.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,6258x + 0,1$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0,1 \text{ kg/cm}^2$;

Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 32,04^\circ$.

Tabel f. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 14 hari) untuk seri 2.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	13	25	38	60	70	270	26	45	66	85	104
30	14	28	40	62	72	285	25	44	65	84	106
45	15	30	42	65	75	300	24	43	64	83	105
60	16	32	45	68	77	315	23		63	82	104
75	16	33	48	70	78						
90	16.5	34	49	72	80						
105	17	35	50	74	82						
120	18	36	52	75	84						
135	19	37	54	76	86						
150	20	38	55	77	88						
165	21	40	56	78	89						
180	22	41	58	79	90						
195	23	42	60	80	92						
210	24	43	62	82	94						
225	25	44	64	83	96						
240	25.5	45	65	84	100						
255	26	46	66	85	102						

(lanjutan)

No. Seri: 1

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 22 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

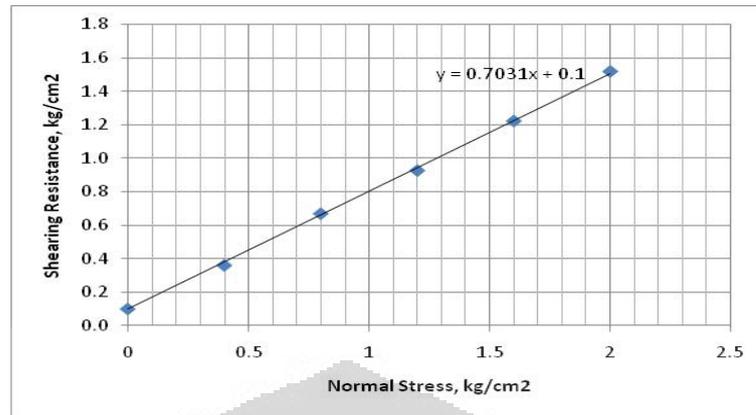
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	28	52	72	95	118
Horiz. Shear Force, (kg)	10.192	18.928	26.208	34.58	42.952
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.360	0.669	0.927	1.223	1.519

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	198.3	198.29	198.3	198.29	198.3
Wt. of dry soil + can, (gr)	189.62	189.61	189.61	189.6	189.61
Wt. of can, (gr)	72.19	72.2	72.19	72.19	72.19
Wt. of water, (gr)	8.68	8.68	8.69	8.69	8.69
Wt. of dry soil, (gr)	117.43	117.41	117.42	117.41	117.42
Water content, w_i (%)	7.39%	7.39%	7.40%	7.40%	7.40%
Average water content, w (%)	7.40%				

(lanjutan)



Gambar g. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 22 hari) untuk seri 1.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,7031x + 0,1$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0,1 \text{ kg/cm}^2$;

Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 35,11^\circ$.

Tabel g. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 22 hari) untuk seri 1.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	15	30	46	67	81	270	28	52	71	93	116
30	16	31	50	70	84	285	27	51	72	95	118
45	17	32	52	72	85	300	26	50	71	94	117
60	18	33	56	73	88	315	25	49	70	93	116
75	19	34	58	75	89						
90	20	35	59	77	90						
105	21	38	60	79	93						
120	22	40	61	81	95						
135	23	42	62	82	98						
150	23.5	44	63	83	100						
165	24	45	64	84	102						
180	25	46	65	86	105						
195	26	47	66	88	108						
210	26.5	48	67	89	110						
225	27	50	68	90	111						
240	28	51	69	91	112						
255	28	51.5	70	92	114						

(lanjutan)

No. Seri: 2

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 22 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

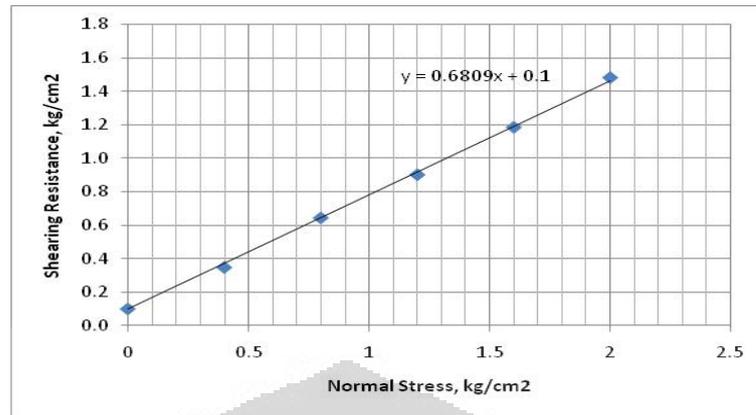
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	27	50	70	92	115
Horiz. Shear Force, (kg)	9.828	18.2	25.48	33.488	41.86
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.348	0.644	0.901	1.184	1.481

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	198.3	198.29	198.3	198.29	198.3
Wt. of dry soil + can, (gr)	189.62	189.61	189.61	189.6	189.61
Wt. of can, (gr)	72.19	72.2	72.19	72.19	72.19
Wt. of water, (gr)	8.68	8.68	8.69	8.69	8.69
Wt. of dry soil, (gr)	117.43	117.41	117.42	117.41	117.42
Water content, w_i (%)	7.39%	7.39%	7.40%	7.40%	7.40%
Average water content, w (%)	7.40%				

(lanjutan)



Gambar h. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 22 hari) untuk seri 2.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,6809x + 0,1$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0,1 \text{ kg/cm}^2$;

Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 34,25^\circ$.

Tabel h. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 22 hari) untuk seri 2.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	15	30	46	67	81	270	25	49	70	92	115
30	16	31	50	70	84	285	24	48	68	90	114
45	17	32	52	72	85	300	47	67	89	112	
60	18	33	56	73	88	315			66	88	110
75	19	34	58	75	89						
90	20	35	59	77	90						
105	21	38	60	79	93						
120	22	40	61	81	95						
135	23	42	62	82	98						
150	23.5	44	63	83	100						
165	24	45	64	84	102						
180	25	46	65	86	104						
195	26	47	66	88	106						
210	27	48	67	89	108						
225	27	49	68	90	110						
240	27	50	69	91	112						
255	26	50	70	92	114						

(lanjutan)

No. Seri: 1

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 26 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

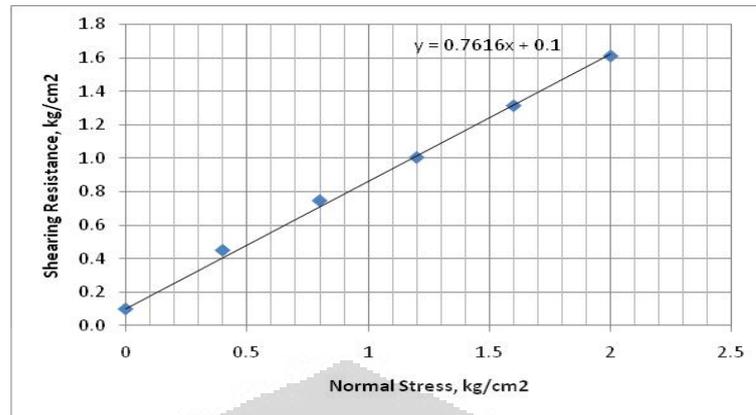
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:	Seri 1				
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	35	58	78	102	125
Horiz. Shear Force, (kg)	12.74	21.112	28.392	37.128	45.5
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.451	0.747	1.004	1.313	1.609

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	200.11	200.12	200.12	200.11	200.12
Wt. of dry soil + can, (gr)	194.3	194.31	194.31	194.31	194.31
Wt. of can, (gr)	72.2	72.2	72.19	72.2	72.19
Wt. of water, (gr)	5.81	5.81	5.81	5.8	5.81
Wt. of dry soil, (gr)	122.1	122.11	122.12	122.11	122.12
Water content, w_i (%)	4.76%	4.76%	4.76%	4.75%	4.76%
Average water content, w (%)	4.76%				

(lanjutan)



Gambar i. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 26 hari) untuk seri 1.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,7616x + 0,1$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0,1 \text{ kg/cm}^2$;

Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 37,29^\circ$.

Tabel i. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 26 hari) untuk seri 1.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	17	35	50	75	100	255	33	57.5	74	98	122
30	18	36	52	77	102	270	34	58	76	100	123
45	19	37	56	79	104	285	35	58	78	102	124
60	20	38	58	81	106	300	34	57	77	101	125
75	21	40	59	82	108	315	33	56	76	100	124
90	22	42	60	84	110	330	32	55	75	99	123
105	23	43	61	86	112						
120	24	44	62	87	113						
135	25	46	63	88	114						
150	26	50	64	89	115						
165	27	52	65	90	116						
180	28	54	66	91	117						
195	29	55	67	92	118						
210	30	56	68	93	119						
225	31	56.5	70	95	120						
240	32	57	72	96	121						

(lanjutan)

No. Seri: 2

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 26 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

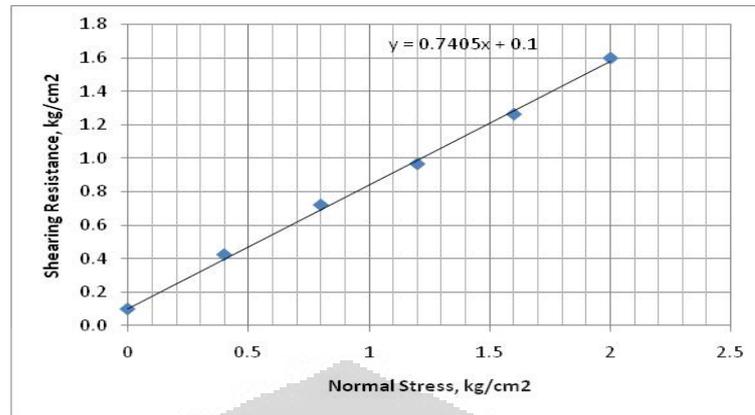
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	33	56	75	98	124
Horiz. Shear Force, (kg)	12.012	20.384	27.3	35.672	45.136
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.425	0.721	0.966	1.262	1.596

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	200.11	200.12	200.12	200.11	200.12
Wt. of dry soil + can, (gr)	194.3	194.31	194.31	194.31	194.31
Wt. of can, (gr)	72.2	72.2	72.19	72.2	72.19
Wt. of water, (gr)	5.81	5.81	5.81	5.8	5.81
Wt. of dry soil, (gr)	122.1	122.11	122.12	122.11	122.12
Water content, w_i (%)	4.76%	4.76%	4.76%	4.75%	4.76%
Average water content, w (%)	4.76%				

(lanjutan)



Gambar j. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 26 hari) untuk seri 2.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,7405x + 0,1$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0,1 \text{ kg/cm}^2$;

Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 36,52^\circ$.

Tabel j. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode Harkes (peram 26 hari) untuk seri 2.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	17	35	50	75	100	240	32	57	72	96	121
30	18	36	52	77	102	255	33	57.5	74	98	122
45	19	37	56	79	104	270	34	58	76	100	123
60	20	38	58	81	106	285	35	58	78	102	124
75	21	40	59	82	108	300	34	57	77	101	125
90	22	42	60	84	110	315	33	56	76	100	124
105	23	43	61	86	112	330	32	55	75	99	123
120	24	44	62	87	113						
135	25	46	63	88	114						
150	26	50	64	89	115						
165	27	52	65	90	116						
180	28	54	66	91	117						
195	29	55	67	92	118						
210	30	56	68	93	119						
225	31	56.5	70	95	120						

Lampiran 8. Data hasil uji geser langsung untuk tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong

No. Seri: 1

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 2 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

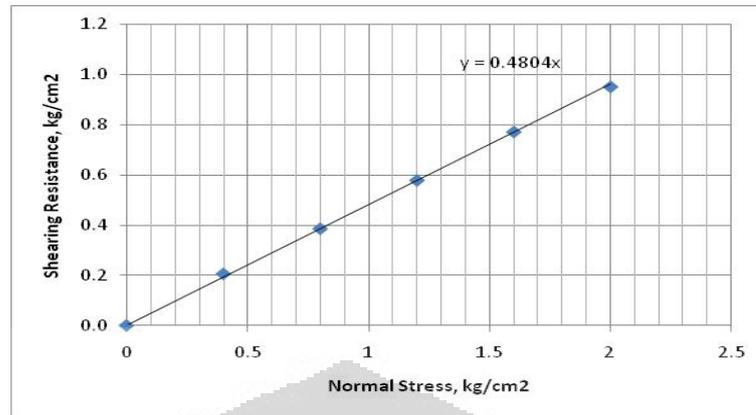
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	16	30	45	60	74
Horiz. Shear Force, (kg)	5.824	10.92	16.38	21.84	26.936
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.206	0.386	0.579	0.772	0.953

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	182.52	182.5	182.51	182.51	182.51
Wt. of dry soil + can, (gr)	165.05	165.04	165.04	165.04	165.04
Wt. of can, (gr)	72.2	72.2	72.19	72.2	72.19
Wt. of water, (gr)	17.47	17.46	17.47	17.47	17.47
Wt. of dry soil, (gr)	92.85	92.84	92.85	92.84	92.85
Water content, w_i (%)	18.82%	18.81%	18.82%	18.82%	18.82%
Average water content, w (%)	18.81%				

(lanjutan)



Gambar a. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 2 hari) untuk seri 1.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,4804x$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0$; Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 25,66^\circ$.

Tabel a. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 2 hari) untuk seri 1.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	8	17	20	38	56	240	16	30	45	60	74
30	9	18	22	40	57	255	15	29	44	59	73
45	9.5	19	24	42	58	270	14	28	43	58	72
60	10	20	28	44	59	285	13	27	42	57	71
75	10.5	21	30	46	60	300					
90	11	22	32	48	62	315					
105	11.5	23	34	50	63	330					
120	12	24	36	52	64						
135	12.5	25	38	53	65						
150	13	26	39	54	66						
165	13.5	27	40	55	67						
180	14	28	41	56	68						
195	14.5	29	42	57	70						
210	15	29.5	43	58	71						
225	15.5	30	44	59	72						

(lanjutan)

No. Seri: 2

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 2 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

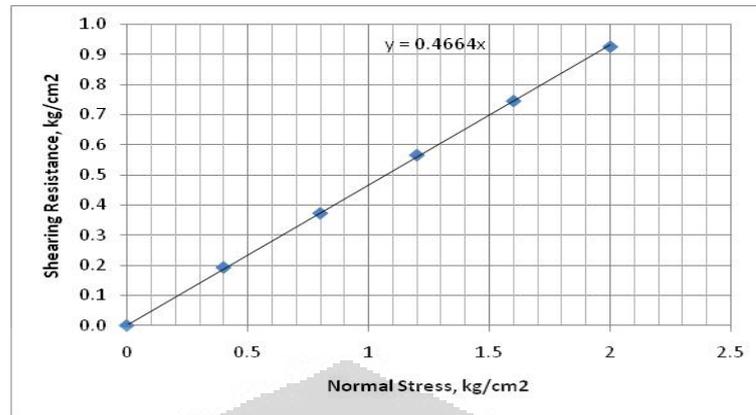
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	15	29	44	58	72
Horiz. Shear Force, (kg)	5.46	10.556	16.016	21.112	26.208
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.193	0.373	0.566	0.747	0.927

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	182.52	182.51	182.52	182.5	182.5
Wt. of dry soil + can, (gr)	165.06	165.05	165.06	165.04	165.04
Wt. of can, (gr)	72.2	72.2	72.19	72.2	72.19
Wt. of water, (gr)	17.46	17.46	17.46	17.46	17.46
Wt. of dry soil, (gr)	92.86	92.85	92.87	92.84	92.85
Water content, w_i (%)	18.80%	18.80%	18.80%	18.81%	18.80%
Average water content, w (%)	18.80%				

(lanjutan)



Gambar b. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 2 hari) untuk seri 2.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,4664x$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0$; Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 25,0^\circ$.

Tabel b. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 2 hari) untuk seri 2.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	8	17	20	38	56	240	15	28	44	58	72
30	9	18	22	40	57	255	14	27	44	57	71
45	9.5	19	24	42	58	270	13	26	43	56	70
60	10	20	28	44	59	285	12		42	55	68
75	10.5	21	30	46	60	300					
90	11	22	32	48	62	315					
105	11.5	23	34	50	63	330					
120	12	24	36	52	64						
135	12.5	25	38	53	65						
150	13	26	39	54	66						
165	13.5	27	40	55	67						
180	14	28	41	56	68						
195	14.5	29	42	57	70						
210	15	29	42	58	71						
225	15	29	43	58	72						

(lanjutan)

No. Seri: 1

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 6 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

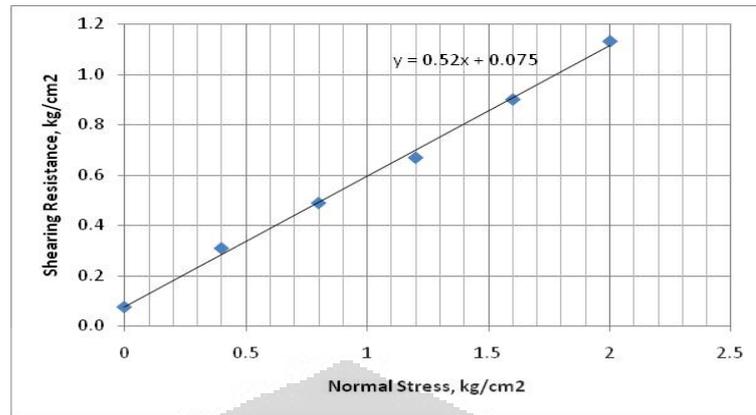
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	24	38	52	70	88
Horiz. Shear Force, (kg)	8.736	13.832	18.928	25.48	32.032
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.309	0.489	0.669	0.901	1.133

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	185.12	185.13	185.12	185.12	185.12
Wt. of dry soil + can, (gr)	168.85	168.85	168.84	168.85	168.84
Wt. of can, (gr)	72.2	72.2	72.19	72.2	72.19
Wt. of water, (gr)	16.27	16.28	16.28	16.27	16.28
Wt. of dry soil, (gr)	96.65	96.65	96.65	96.65	96.65
Water content, w_i (%)	16.83%	16.84%	16.84%	16.83%	16.84%
Average water content, w (%)	16.84%				

(lanjutan)



Gambar c. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 6 hari) untuk seri 1.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,52x + 0,075$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0,075 \text{ kg/cm}^2$;

Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 27,47^\circ$.

Tabel c. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 6 hari) untuk seri 1.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	9	22	28	42	68	240	24	38	46	66	87
30	9.5	23	29	44	69	255	23	37	48	67	88
45	10	24	30	46	70	270	22	36	50	68	88
60	11	25	31	48	72	285	21	35	52	70	87
75	12	26	32	50	74	300			51	69	86
90	13	27	33	52	76	315					
105	14	28	34	53	78	330					
120	15	29	35	54	80						
135	16	30	36	55	81						
150	17	31	37	56	82						
165	18	32	38	57	83						
180	19	33	39	58	84						
195	20	34	40	60	85						
210	22	35.5	42	62	86						
225	23	37	44	64	87						

(lanjutan)

No. Seri: 2

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 6 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

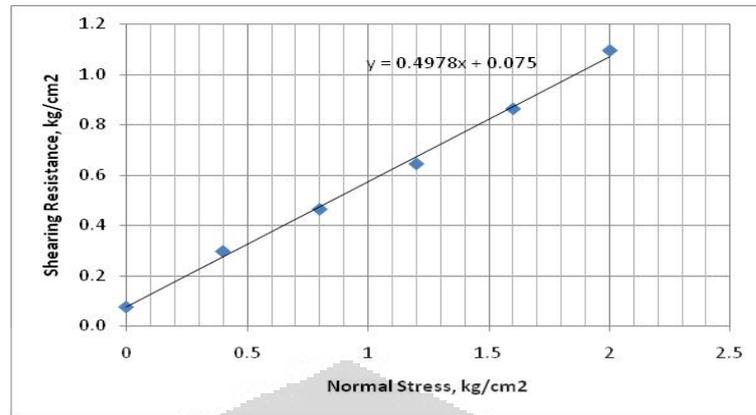
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	23	36	50	67	85
Horiz. Shear Force, (kg)	8.372	13.104	18.2	24.388	30.94
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.296	0.463	0.644	0.863	1.094

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	185.11	185.11	185.12	185.12	185.11
Wt. of dry soil + can, (gr)	168.86	168.86	168.86	168.86	168.86
Wt. of can, (gr)	72.2	72.2	72.19	72.2	72.19
Wt. of water, (gr)	16.25	16.25	16.26	16.26	16.25
Wt. of dry soil, (gr)	96.66	96.66	96.67	96.66	96.67
Water content, w_i (%)	16.81%	16.81%	16.82%	16.82%	16.81%
Average water content, w (%)	16.81%				

(lanjutan)



Gambar d. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 6 hari) untuk seri 2.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,4978x + 0,075$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0,075 \text{ kg/cm}^2$;

Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 26,46^\circ$.

Tabel d. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 6 hari) untuk seri 2.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	9	22	28	42	68	240	23	36	46	65	85
30	9.5	23	29	44	69	255	23	35	48	66	85
45	10	24	30	46	70	270	22	34	50	67	84
60	11	25	31	48	72	285	21	33	50	67	83
75	12	26	32	50	74	300			48	66	82
90	13	27	33	52	75	315					
105	14	28	34	53	76	330					
120	15	29	35	54	77						
135	16	30	36	55	78						
150	17	31	37	56	79						
165	18	32	38	57	80						
180	19	33	39	58	81						
195	20	34	40	60	82						
210	22	35	42	62	83						
225	23	36	44	64	84						

(lanjutan)

No. Seri: 1

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 14 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

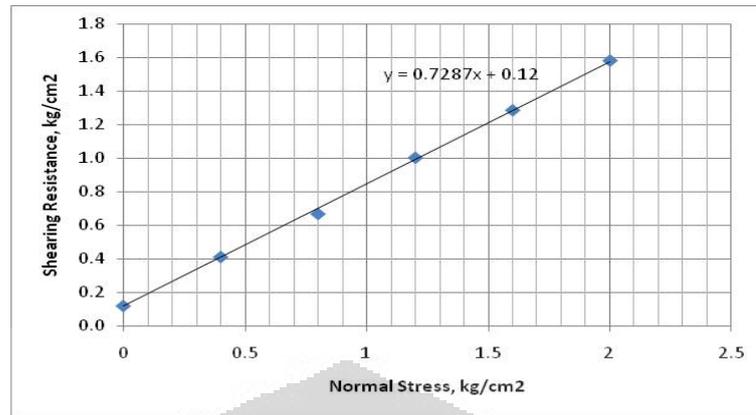
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	32	52	78	100	123
Horiz. Shear Force, (kg)	11.648	18.928	28.392	36.4	44.772
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.412	0.669	1.004	1.287	1.584

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	187.47	187.46	187.46	187.47	187.46
Wt. of dry soil + can, (gr)	174.39	174.39	174.39	174.4	174.39
Wt. of can, (gr)	72.2	72.2	72.19	72.2	72.19
Wt. of water, (gr)	13.08	13.07	13.07	13.07	13.07
Wt. of dry soil, (gr)	102.19	102.19	102.2	102.2	102.2
Water content, w_i (%)	12.80%	12.79%	12.79%	12.79%	12.79%
Average water content, w (%)	12.79%				

(lanjutan)



Gambar e. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 14 hari) untuk seri 1.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,7287x + 0,12$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0,12 \text{ kg/cm}^2$;

Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 36,08^\circ$.

Tabel e. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 14 hari) untuk seri 1.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	13	30	56	80	100	240	30	50	77.5	99	122.5
30	14	32	58	82	102	255	31	51	78	100	123
45	15	34	60	84	104	270	32	52	78	100	123
60	16	36	62	86	106	285	31	51	77	100	122
75	17	38	64	88	108	300	30	50	76	99	121
90	18	40	66	89	110	315	29	49	75	98	120
105	20	41	68	90	112	330					
120	21	42	70	91	114						
135	22	43	71	92	116						
150	23	44	72	93	117						
165	24	45	73	94	118						
180	25	46	74	95	119						
195	26	47	75	96	120						
210	27	48	76	97	121						
225	28	49	77	98	122						

(lanjutan)

No. Seri: 2

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 14 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

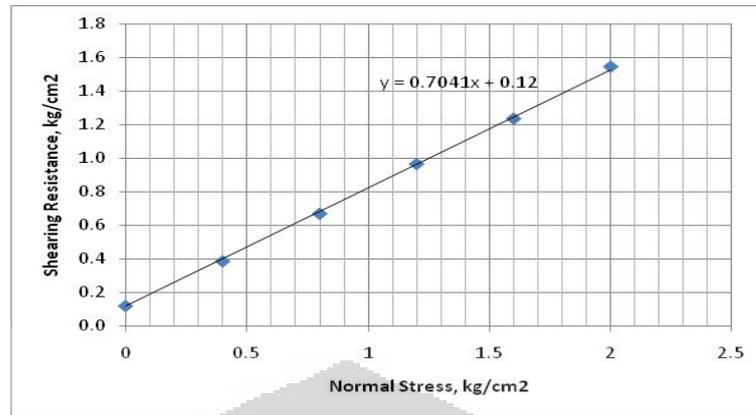
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	30	52	75	96	120
Horiz. Shear Force, (kg)	10.92	18.928	27.3	34.944	43.68
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.386	0.669	0.966	1.236	1.545

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	187.45	187.46	187.46	187.47	187.46
Wt. of dry soil + can, (gr)	174.38	174.39	174.39	174.4	174.39
Wt. of can, (gr)	72.2	72.2	72.19	72.2	72.19
Wt. of water, (gr)	13.07	13.07	13.07	13.07	13.07
Wt. of dry soil, (gr)	102.18	102.19	102.2	102.2	102.2
Water content, w_i (%)	12.79%	12.79%	12.79%	12.79%	12.79%
Average water content, w (%)	12.79%				

(lanjutan)



Gambar f. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 14 hari) untuk seri 2.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,7041x + 0,12$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0,12 \text{ kg/cm}^2$;

Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 35,15^\circ$.

Tabel f. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 14 hari) untuk seri 2.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	13	30	56	80	100	240	29	50	75	95	120
30	14	32	58	82	102	255	30	51	75	96	120
45	15	34	60	83	104	270	30	52	74	96	120
60	16	36	62	84	106	285	29	51	73	95	118
75	17	38	63	85	108	300	28	50	72	94	117
90	18	40	64	86	110	315	27	49		92	116
105	20	41	65	87	111	330					
120	21	42	66	88	112						
135	22	43	67	89	113						
150	23	44	68	90	114						
165	24	45	69	91	115						
180	25	46	70	91	116						
195	26	47	72	92	117						
210	27	48	73	93	118						
225	28	49	74	94	119						

(lanjutan)

No. Seri: 1

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 22 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

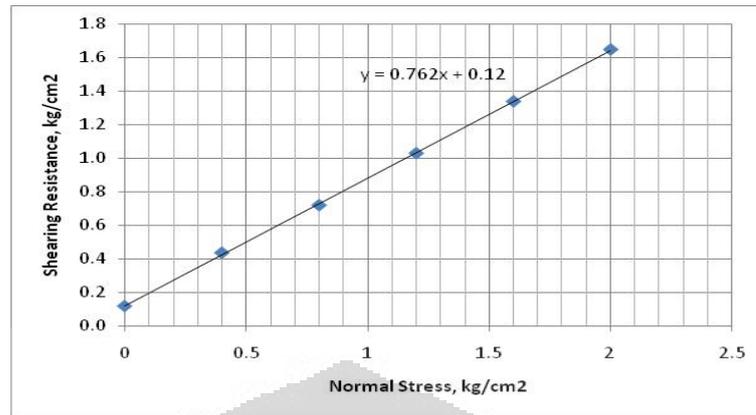
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	34	56	80	104	128
Horiz. Shear Force, (kg)	12.376	20.384	29.12	37.856	46.592
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.438	0.721	1.030	1.339	1.648

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	195.61	195.6	195.61	195.61	195.6
Wt. of dry soil + can, (gr)	186.48	186.48	186.48	186.48	186.48
Wt. of can, (gr)	72.2	72.2	72.19	72.2	72.19
Wt. of water, (gr)	9.13	9.12	9.13	9.13	9.12
Wt. of dry soil, (gr)	114.28	114.28	114.29	114.28	114.29
Water content, w_i (%)	7.99%	7.98%	7.99%	7.99%	7.98%
Average water content, w (%)	7.99%				

(lanjutan)



Gambar g. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 22 hari) untuk seri 1.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,762x + 0,12$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0,12 \text{ kg/cm}^2$;

Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 37,31^\circ$.

Tabel g. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 22 hari) untuk seri 1.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	14	34	58	84	103	240	34	52	77.5	101	125
30	15	35	60	86	104	255	34	54	78	102	126
45	16	36	62	88	105	270	34	56	80	104	127
60	17	37	64	89	107	285	33	55	79	103	128
75	18	38	66	90	108	300	32	54	78	102	127
90	19	39	67	91	110	315	31	52.5	77	100	126
105	20	40	68	92	112	330					
120	22	41	69.5	93	114						
135	24	42	70	94	116						
150	26	43	71	95	118						
165	28	44	72	96	120						
180	30	46	73	97	121						
195	31	48	74	98	122						
210	32	50	75	99	123						
225	33	51	76	100	124						

(lanjutan)

No. Seri: 2

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 22 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

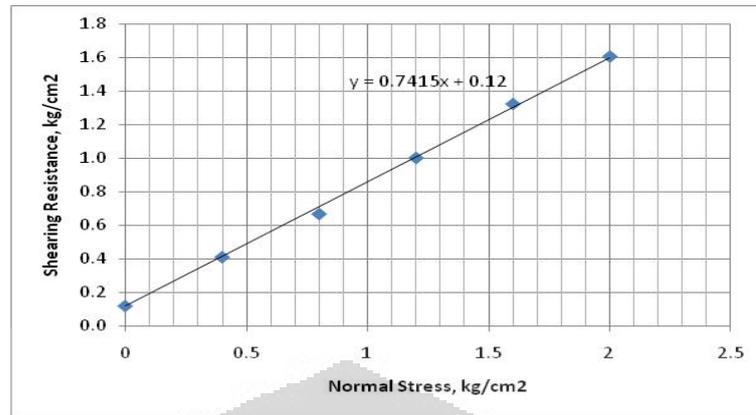
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	32	52	78	103	125
Horiz. Shear Force, (kg)	11.648	18.928	28.392	37.492	45.5
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.412	0.669	1.004	1.326	1.609

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	195.61	195.6	195.61	195.61	195.61
Wt. of dry soil + can, (gr)	186.5	186.5	186.5	186.51	186.51
Wt. of can, (gr)	72.2	72.2	72.19	72.2	72.19
Wt. of water, (gr)	9.11	9.1	9.11	9.1	9.1
Wt. of dry soil, (gr)	114.3	114.3	114.31	114.31	114.32
Water content, w_i (%)	7.97%	7.96%	7.97%	7.96%	7.96%
Average water content, w (%)	7.96%				

(lanjutan)



Gambar h. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 22 hari) untuk seri 2.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,7415x + 0,12$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0,12 \text{ kg/cm}^2$;

Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 36,56^\circ$.

Tabel h. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 22 hari) untuk seri 2.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	14	34	58	84	103	240	30	50	77	101	125
30	15	35	60	86	104	255	31	52	77	102	125
45	16	36	62	88	105	270	32	52	78	103	125
60	17	37	64	89	107	285	32	52	77	103	124
75	18	38	66	90	108	300	31	50	76	102	122
90	19	39	67	91	110	315	30	48	75	100	120
105	20	40	68	92	112	330					
120	21	41	69.5	93	114						
135	22	42	70	94	116						
150	23	43	71	95	118						
165	24	44	72	96	120						
180	25	45	73	97	121						
195	26	46	74	98	122						
210	28	47	75	99	123						
225	29	48	76	100	124						

(lanjutan)

No. Seri: 1

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 26 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

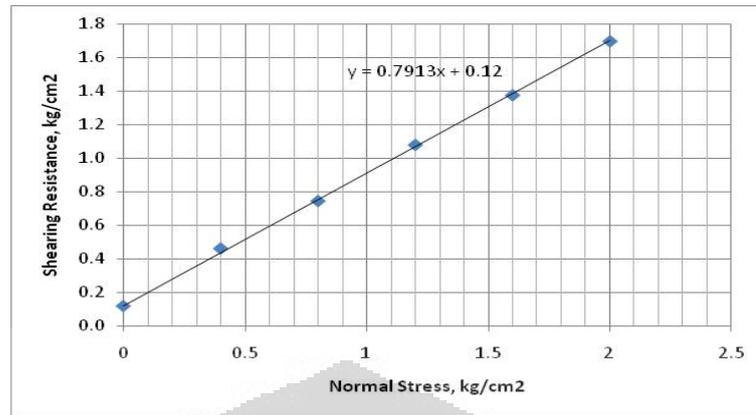
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:					
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	36	58	84	107	132
Horiz. Shear Force, (kg)	13.104	21.112	30.576	38.948	48.048
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.463	0.747	1.081	1.378	1.699

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	197.4	197.39	197.4	197.4	197.39
Wt. of dry soil + can, (gr)	190.54	190.54	190.54	190.54	190.54
Wt. of can, (gr)	72.2	72.2	72.19	72.2	72.19
Wt. of water, (gr)	6.86	6.85	6.86	6.86	6.85
Wt. of dry soil, (gr)	118.34	118.34	118.35	118.34	118.35
Water content, w_i (%)	5.80%	5.79%	5.80%	5.80%	5.79%
Average water content, w (%)	5.79%				

(lanjutan)



Gambar i. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 26 hari) untuk seri 1.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,7913x + 0,12$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0,12 \text{ kg/cm}^2$;

Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 38,35^\circ$.

Tabel i. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 26 hari) untuk seri 1.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	16	36	62	86	105	240	34	54	83	105	128
30	18	37	64	88	106	255	35	56	84	106	130
45	19	38	65	90	107	270	36	58	84	107	132
60	20	40	66	92	108	285	35	58	83	106	131
75	22	41	68	93	109	300	34	57	82	105	130
90	23	42	70	94	110	315	33	56	81	104	128
105	24	43	72	96	112	330					
120	25	44	74	97	114						
135	26	45	76	98	116						
150	27	46	77	99	118						
165	28	47	78	100	119						
180	29	48	79	101	120						
195	30	49	80	102	122						
210	31	50	81	103	124						
225	32	52	82	104	126						

(lanjutan)

No. Seri: 2

Lokasi: Karawang, Jawa Barat

Deskripsi tanah: Tanah asli + *biogrouting* (peram 26 hari)

Pelaksana: Alam Tronics

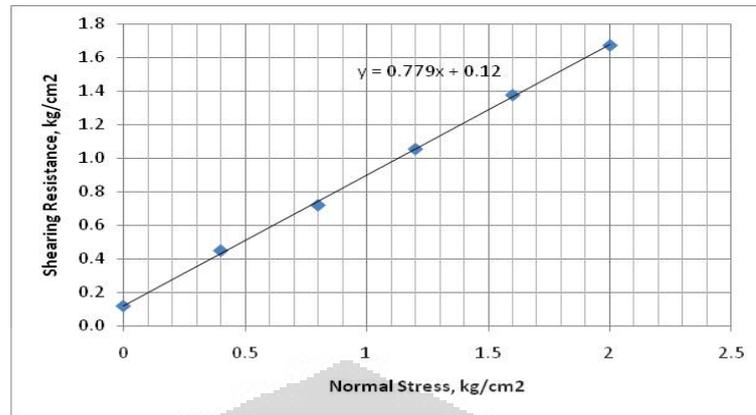
Data Alat Uji Geser Langsung	
Diameter	6 cm
Tinggi	2 cm
Loading rate	1 mm/min
LRC	0.364 kg/div
Sample area	28.274 cm ²

Keterangan:	Seri 2				
Total Load, (kg)	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
Normal Stress, σ_n (kg/cm ²)	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Max. Horiz. Dial reading	35	56	82	107	130
Horiz. Shear Force, (kg)	12.74	20.384	29.848	38.948	47.32
Horiz. Shear Stress, τ (kg/cm ²)	0.451	0.721	1.056	1.378	1.674

Kadar air:

Can No.	1	2	3	4	5
Wt. of wet soil + can, (gr)	197.3	197.3	197.3	197.31	197.31
Wt. of dry soil + can, (gr)	190.56	190.56	190.55	190.55	190.55
Wt. of can, (gr)	72.2	72.2	72.19	72.2	72.19
Wt. of water, (gr)	6.74	6.74	6.75	6.76	6.76
Wt. of dry soil, (gr)	118.36	118.36	118.36	118.35	118.36
Water content, w_i (%)	5.69%	5.69%	5.70%	5.71%	5.71%
Average water content, w (%)	5.70%				

(lanjutan)



Gambar j. Analisis hasil uji geser langsung tanah asli setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 26 hari) untuk seri 2.

Rangkuman hasil analisis persamaan regresi:

$$y = 0,779x + 0,12$$

Dari hasil analisis persamaan regresi diperoleh nilai: Kohesi, $c = 0,12 \text{ kg/cm}^2$;

Sudut geser dalam efektif, $\phi' = 37,92^\circ$.

Tabel j. Data hasil uji geser langsung tanah asli yang setelah proses pencampuran dengan metode De Jong (peram 26 hari) untuk seri 2.

Waktu (detik)	Total Load (kg)					Waktu (detik)	Total Load (kg)				
	11.31	22.62	33.93	45.24	56.55		11.31	22.62	33.93	45.24	56.55
15	16	36	62	86	105	240	33	54	81	105	128
30	18	37	64	88	106	255	34	55	82	106	130
45	19	38	65	90	107	270	35	56	82	107	130
60	20	40	66	92	108	285	35	56	80	106	129
75	22	41	68	93	109	300	34	55	78	105	128
90	23	42	70	94	110	315	33	54	77	104	126
105	24	43	72	96	112	330					
120	25	44	73	97	114						
135	26	45	74	98	116						
150	27	46	75	99	118						
165	28	47	76	100	119						
180	29	48	77	101	120						
195	30	49	78	102	122						
210	31	50	79	103	124						
225	32	52	80	104	126						

Lampiran 9. Buku log penelitian

Pelaksanaan proses pencampuran telah dikerjakan secara bertahap dengan metode Harkes dan metode De Jong. Waktu yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah ± 28 hari (untuk waktu peram 26 hari) yang dikerjakan secara bersamaan dan bertahap sesuai metode yang telah dituliskan sebelumnya. Rangkaian kegiatan yang sudah dilakukan selama penelitian *biogrouting* untuk sampel tanah pasir Karawang dapat dilihat pada **Tabel** di bawah ini.

Tabel Rangkaian kegiatan yang sudah dilakukan selama penelitian *biogrouting*.

Tanggal Pelaksanaan	Kegiatan	Jenis Metode	
		Harkes	De Jong
20/1/2010 s.d. 2/2/2010	Pengajuan usulan seminar tesis ke jurusan dan pembimbing akademik.	Pra pengajuan judul seminar tesis.	Pra pengajuan judul seminar tesis.
8/2/2010 s.d. 10/5/2010	<ul style="list-style-type: none"> • Konsultasi dengan pembimbing tesis 1 dan 2. • Perancangan kerangka seminar tesis, pencarian referensi tentang proses <i>biogrouting</i>. • Perancangan desain model tabung akrilik untuk penelitian <i>biogrouting</i> dengan metode Harkes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pencarian referensi tentang metode Harkes untuk teknik <i>biogrouting</i>. • Pra perancangan kerangka seminar tesis. • Pengumpulan informasi dan data-data awal. • Desain tabung akrilik untuk percobaan <i>biogrouting</i> awal (kurang lebih proses fabrikasi $\pm 2,5$ bulan dari pra perancangan, pembuatan, perbaikan tabung dan <i>finishing</i> model tabung percobaan). 	<ul style="list-style-type: none"> • Pencarian referensi tentang metode Harkes untuk teknik <i>biogrouting</i>. • Pra perancangan kerangka seminar tesis. • Pengumpulan informasi dan data-data awal.
11/5/2010 s.d. 27/9/2010	<ul style="list-style-type: none"> • Pengajuan judul seminar tesis dan bimbingan seminar tesis dengan 	<ul style="list-style-type: none"> • Penelitian awal untuk percobaan proses <i>biogrouting</i> dalam 	

	<p>pembimbing tesis 1 dan 2.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Penelitian untuk percobaan awal, pengumpulan data awal dari penelitian sebelumnya. • Pengamatan visual untuk hasil penelitian awal. • Penulisan isi seminar tesis untuk bab 1-2 dengan bimbingan pembimbing tesis. 	<p>wadah dengan ukuran tabung seperti tabung triaksial berbahan dasar akrilik.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bahan-bahan yang disiapkan adalah material tanah asli yang lolos saringan no.4, bakteri <i>biogrouting</i>, larutan urea dan larutan CaCl_2. <p>Data-data percobaan awal:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Data uji analisa ukuran butiran untuk tanah asli. 2. Data uji spesifik gravitasi untuk tanah asli 3. Data uji permeabilitas tanah asli 4. Data uji geser langsung tanah asli. 	
<p>1/9/2010 s.d. 26/11/2010</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bahan seminar tesis untuk bab 1-3 dalam proses bimbingan oleh pembimbing tesis. • Konsultasi penulisan tentang proses <i>biogrouting</i> yang berkaitan dengan bidang geoteknik. • Penulisan seminar tesis bab 1-3. 	<p>Penulisan bahan-bahan untuk seminar tesis yang berkaitan dengan penelitian proses <i>biogrouting</i> dengan metode Harkes.</p>	<p>Penulisan bahan-bahan untuk seminar tesis yang berkaitan dengan penelitian proses <i>biogrouting</i> dengan metode De Jong.</p>

(lanjutan)

15/12/2010	Sidang seminar tesis		
16/12/2010	Persiapan wadah plastik untuk sampel tanah, persiapan sampel tanah lolos saringan no.4, persiapan bahan-bahan proses <i>biogrouting</i> .	Persiapan wadah plastik untuk sampel tanah (ukuran: 60 x 30 x 4 cm ³) dengan tinggi sampel tanah, $h = 2$ cm. Jumlah wadah plastik yang digunakan 2 set.	Persiapan wadah plastik untuk sampel tanah (ukuran: 60 x 30 x 4 cm ³) dengan tinggi sampel tanah, $h = 2$ cm. Jumlah wadah plastik yang digunakan 2 set.
17/12/2010	Persiapan alat dan bahan untuk metode Harkes dan De Jong	<ul style="list-style-type: none">• Alat: alat suntik untuk injeksi, wadah plastik, botol <i>spry</i>, kertas pH universal.• Bahan: material tanah lolos saring no.4, air leding, larutan bakteri <i>biogrouting</i>, larutan urea, dan larutan CaCl₂.	<ul style="list-style-type: none">• Alat: alat suntik untuk injeksi, filter udara, selang akuarium, mesin aerator sederhana yang biasa dipakai di akuarium, kertas pH universal.• Bahan: material tanah lolos saring no.4, larutan bakteri <i>biogrouting</i>, larutan urea, dan larutan CaCl₂.
20/12/2010	Injeksi material campuran	Injeksi larutan CaCl ₂ , injeksi bakteri <i>biogrouting</i> dan larutan urea secara bertahap.	Injeksi bakteri, injeksi larutan CaCl ₂ dan larutan urea yang telah diaerasi dan dilaksanakan secara bertahap.
21/12/2010	Injeksi material campuran	Injeksi larutan urea dan CaCl ₂ .	Injeksi larutan urea dan CaCl ₂ .
22/12/2010	Pengamatan Visual	Terlihat mekanisme perubahan pada sampel tanah yang disertai dengan terbentuknya	Terlihat mekanisme perubahan pada sampel tanah yang disertai dengan terbentuknya

(lanjutan)

		cairan kuning kecoklatan.	cairan kuning kecoklatan.
23/12/2010	Pengujian sifat mekanik tanah	1. Uji geser langsung dan uji permeabilitas dengan metode <i>constant head</i> . 2. Pembacaan pH tanah.	1. Uji geser langsung dan uji permeabilitas dengan metode <i>constant head</i> . 2. Pembacaan pH tanah.
27/12/2010	Pengujian sifat mekanik tanah	1. Uji geser langsung dan uji permeabilitas dengan metode <i>constant head</i> . 2. Pembacaan pH tanah.	1. Uji geser langsung dan uji permeabilitas dengan metode <i>constant head</i> . 2. Pembacaan pH tanah.
4/1/2011	Pengujian sifat mekanik tanah	1. Uji geser langsung dan uji permeabilitas dengan metode <i>constant head</i> . 2. Pembacaan pH tanah.	1. Uji geser langsung dan uji permeabilitas dengan metode <i>constant head</i> . 2. Pembacaan pH tanah.
12/1/2011	Pengujian sifat mekanik tanah	1. Uji geser langsung dan uji permeabilitas dengan metode <i>constant head</i> . 2. Pembacaan pH tanah.	1. Uji geser langsung dan uji permeabilitas dengan metode <i>constant head</i> . 2. Pembacaan pH tanah.
17/1/2011	Pengujian sifat mekanik tanah	1. Uji geser langsung dan uji permeabilitas dengan metode <i>constant head</i> . 2. Pembacaan pH tanah.	1. Uji geser langsung dan uji permeabilitas dengan metode <i>constant head</i> . 2. Pembacaan pH tanah.
18/1/2011	Penyusunan laporan hasil penelitian dan penulisan analisis hasil penelitian	Penyusunan laporan hasil penelitian dan penulisan analisis hasil penelitian	Penyusunan laporan hasil penelitian dan penulisan analisis hasil penelitian
21/1/2011	Bimbingan laporan hasil penelitian dan penulisan analisis bab 4 dengan pembimbing tesis	Bimbingan laporan hasil penelitian dan penulisan analisis bab 4 dengan pembimbing tesis	Bimbingan laporan hasil penelitian dan penulisan analisis bab 4 dengan pembimbing tesis

(lanjutan)

22/1/2011 s.d. 11/3/2011	Bimbingan penulisan analisis untuk bab 4 dan kesimpulan untuk bab 5 dengan pembimbing tesis	Bimbingan penulisan analisis untuk bab 4 dan kesimpulan untuk bab 5 dengan pembimbing tesis	Bimbingan penulisan analisis untuk bab 4 dan kesimpulan untuk bab 5 dengan pembimbing tesis
--------------------------------	---	---	---

