TUGAS AKHIR

ANALISIS EFEKTIVITAS PENAMBAHAN ABU BATU DAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* PADA TANAH LEMPUNG BERPASIR (*SANDY LOAM*) UNTUK MENINGKATKAN KUAT GESER TANAH

Disusun Dan Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang

Disusun Oleh:

SULISWATI

1921059

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

MALANG

2026

Dipindai dengan CamScanner

TUGAS AKHIR

ANALISIS EFEKTIVITAS PENAMBAHAN ABU BATU DAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* PADA TANAH LEMPUNG BERPASIR (*SANDY LOAM*) UNTUK MENINGKATKAN KUAT GESER TANAH

Disusun Dan Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang

Disusun Oleh:

SULISWATI

1921059

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

MALANG

2026

Dipindai dengan CamScanner

LEMBAR PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

"ANALISIS EFEKTIVITAS PENAMBAHAN ABU BATU DAN BAKTERI BACILLUS SUBTILIS PADA TANAH LEMPUNG BERPASIR (SANDY LOAM) UNTUK MENINGKATKAN KUAT GESER TANAH."

Disusun dan Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S-1) Institut Teknologi Nasional Malang

Disusun Oleh :

Suliswati

NIM 19.21.059

Telah disetujui oleh Dosen Pembimbing Untuk Diujikan Pada Tanggal

Pada Tanggal 14 Agustus 2026

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Ir. Eding Iskak Imananto, MT	**Eri Andrian Yudianto, ST., MT**
NIP. 19660506199303 1 004	NIP. P. 1030300380

Mengetahui

Kepala Program Studi Teknik Sipil S-1
Institut Teknologi Nasional Malang

Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT
NIP. P 103 03 00383

Dipindai dengan CamScanner

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

"ANALISIS EFEKTIVITAS PENAMBAHAN ABU BATU DAN BAKTERI BACILLUS SUBTILIS PADA TANAH LEMPUNG BERPASIR (SANDY LOAM) UNTUK MENINGKATKAN KUAT GESER TANAH."

Tugas Akhir Ini Telah Dipertahankan di Depan Dosen Penguji Tugas Akhir Jenjang Strata S-1
Pada Tanggal 14 Agustus 2026 dan Diterima Untuk Memenuhi
Salah Satu Syarat Memperloeh Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1

Disusun Oleh :

Suliswati

NIM 19.21.059

Dosen Penguji

Dosen Penguji I	Dosen Penguji II
Ir. Ester Priskasari, MT.	**Dr. Vega Aditama, ST., MT**
NIP. Y. 1039400265	NIP. 1031900559

Disahkan Oleh :

Kepala Program Studi Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang	Sekretaris Program Studi Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang
Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT	**Nenny Roostrianawaty, ST., MT**
NIP. P 103 03 00383	NIP. P 103 17 00533

Dipindai dengan CamScanner

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Suliswati

Nim : 1921059

Program Studi : Teknik Sipil S-1

Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP)

Menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul :

"ANALISIS EFEKTIVITAS PENAMBAHAN ABU BATU DAN BAKTERI BACILLUS SUBTILIS PADA TANAH LEMPUNG BERPASIR (SANDY LOAM) UNTUK MENINGKATKAN KUAT GESER TANAH"

Adalah sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam Naskah TUGAS AKHIR ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila termyata di dalam naskah TUGAS AKHIR ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia TUGAS AKHIR ini digugurkan dan gelar akademik yang saya peroleh (SARJANA) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 Ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, Agustus 2026

Yang membuat pernyataan

Suliswati

NIM. 1921059

Dipindai dengan CamScanner

ABSTRAK

"ANALISIS EFEKTIVITAS PENAMBAHAN ABU BATU DAN BAKTERI BACILLUS SUBTILIS PADA TANAH LEMPUNG UNTUK MENINGKATKAN KUAT GESER TANAH"

Oleh Suliswati (19.21.059). Pembimbing 1: Ir. Eding Iskak Imananto, MT. Pembimbing 2: Eri Andrian Yudianto, S.T., M.T. Program Studi Teknik Sipil S1. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.

Tanah lempung berpasir (sandy loam) memiliki karakteristik fisik dan mekanis yang dapat memengaruhi kestabilan konstruksi, sehingga diperlukan upaya stabilisasi untuk meningkatkan kuat geser tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik tanah asli, menganalisis pengaruh penambahan abu batu dan bakteri *Bacillus subtilis* menggunakan metode *Microbially Induced Calcite Precipitation* (MICP), serta menentukan variasi campuran yang paling efektif dalam meningkatkan kuat geser tanah.

Penelitian dilakukan melalui pengujian laboratorium menggunakan sampel tanah yang berasal dari Desa Gading Kembar, Kecamatan Jabung, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Variasi campuran terdiri atas penambahan abu batu sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30%, dengan konsentrasi bakteri MICP sebesar 6% serta masa pemeraman selama 3, 7, 14, dan 28 hari. Pengujian meliputi karakteristik fisik tanah, Direct Shear Test, Triaxial Compression Test metode Unconsolidated Undrained (UU), dan Unconfined Compressive Strength (UCS). Analisis data dilakukan menggunakan metode Two-Way Analysis of Variance (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh variasi campuran dan masa pemeraman.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah asli memiliki kadar air rata-rata 42,51%, batas cair 54,77%, batas plastis 35,57%, dan indeks plastisitas 19,21%. Penambahan abu batu dan bakteri Bacillus subtilis secara umum meningkatkan parameter kuat geser tanah seiring bertambahnya masa pemeraman. Hasil terbaik diperoleh pada campuran abu batu 30% dengan pemeraman 28 hari, dengan tegangan geser sebesar 1,161 kgf/cm² atau meningkat 215,49%, kohesi undrained sebesar 1,439 kgf/cm² atau meningkat 255,31%, serta nilai UCS sebesar 1,430 kgf/cm² atau meningkat 532,74% dibandingkan tanah kontrol. Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa variasi campuran dan masa pemeraman berpengaruh signifikan terhadap parameter kuat tekan bebas tanah. Dengan demikian, kombinasi abu batu dan bakteri *Bacillus subtilis* berpotensi digunakan sebagai alternatif stabilisasi tanah lempung berpasir untuk meningkatkan kuat geser tanah.

Kata kunci: Abu Batu, Bacillus Subtilis, MICP, Tanah Lempung Berpasir, Kuat Geser Tanah.

Dipindai dengan CamScanner

ABSTRACT

"ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF STONE DUST AND BACILLUS SUBTILIS ADDITION TO CLAY SOIL FOR IMPROVING SOIL SHEAR STRENGTH"

By Suliswati (19.21.059). Supervisor I: Ir. Eding Iskak Imananto, M.T. Supervisor II: Eri Andrian Yudianto, S.T., M.T. Undergraduate Civil Engineering Study Program. Faculty of Civil Engineering and Planning. National Institute of Technology Malang.

Sandy loam soil has physical and mechanical characteristics that may affect construction stability; therefore, soil stabilization is necessary to improve its shear strength. This study aims to identify the characteristics of the natural soil, analyze the effects of adding stone dust and Bacillus subtilis bacteria using the Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) method, and determine the most effective mixture for improving soil shear strength.

Data Laboratory tests were conducted using soil samples obtained from Gading Kembar Village, Jabung District, Malang Regency, East Java, Indonesia. The mixture variations consisted of stone dust additions of 0%, 10%, 20%, and 30%, with an MICP bacterial concentration of 6% and curing periods of 3, 7, 14, and 28 days. The tests included soil physical characterization, the Direct Shear Test, the Unconsolidated Undrained (UU) Triaxial Compression Test, and the Unconfined Compressive Strength (UCS) testwere analyzed using Two-Way Analysis of Variance (ANOVA) to evaluate the effects of mixture variations and curing periods.

The test results showed that the natural soil had an average water content of 42.51%, a liquid limit of 54.77%, a plastic limit of 35.57%, and a plasticity index of 19.21%. The addition of stone dust and Bacillus subtilis generally improved the soil shear strength parameters as the curing period increased. The best results were obtained from the mixture containing 30% stone dust after 28 days of curing, with a shear stress of 1.161 kgf/cm², representing an increase of 215.49%; an undrained cohesion value of 1.439 kgf/cm², representing an increase of 255.31%; and a UCS value of 1.430 kgf/cm², representing an increase of 532.74% compared with the control soil. The ANOVA results indicated that mixture variations and curing periods significantly affected the unconfined compressive strength parameter. Therefore, the combination of stone dust and Bacillus subtilis has the potential to serve as an alternative stabilization method for sandy loam soil to improve its shear strength.

Keywords: Stone Dust, Bacillus Subtilis, MICP, Sandy Loam Soil, Soil Shear Strength.

Dipindai dengan CamScanner

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. yang penuh kasih, atas anugerah kesehatan, serta kekuatan yang begitu besar sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Analisis Efektivitas Penambahan Abu Batu Dan Bakteri *Bacillus Subtilis* Pada Tanah Lempung Berpasir (*Sandy Loam*) Untuk Meningkatkan Kuat Geser Tanah" dengan sebaik-baiknya.

Ucapan syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala dukungan yang telah diberikan selama penyusunan Laporan Tugas Akhir ini pada:

1. Orang Tua yang selalu mendukung, mendoakan, dan mengusahakan segala sesuatunya yang terbaik.
2. Bapak Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Institut Nasional Malang.
3. Bapak Dr. Vega Aditama, ST.,MT selaku dosen wali penulis.
4. Bapak Dr. Vega Aditama, ST.,MT selaku Kepala Studio Skripsi.
5. Bapak Ir. Eding Iskak Imananto, MT., selaku Dosen Pembimbing I.
6. Bapak Eri Andrian Yudianto, ST. selaku Dosen Pembimbing II.
7. Teman-teman dan seluruh pihak internal maupun eksternal yang terlibat.

Penyusun menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam Tugas Akhir ini, Untuk itu kritik dan saran yang sangat membantu diharapkan dari pembaca. akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 4 Juli 2026

Penulis

Suliswati

1921059

Dipindai dengan CamScanner

DAFTAR ISI i
DAFTAR TABEL v
DAFTAR GAMBAR vii
KATA PENGANTAR xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Identifikasi Masalah 2
1.3 Rumusan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 4
1.6 Batasan Masalah 4
BAB II TINJAU PUSTAKA 5
2.1 Penelitian Terdahulu 5
2.2 Landasan Teori 7
2.2.1 Tanah 7
2.3 Sifat Fisik dan Mekanika Tanah 8
2.3.1 Klasifikasi Tanah 8
2.3.2 Kuat Geser Tanah 9
2.4 Abu Batu 11
2.5 Microbially Induce Calcite Precipitation (MICP) 11
2.5.1 *Bakteri Bacillus Subtilis* 12
2.6 Pengujian Laboraturium 14
2.6.1 Kadar Air 14
2.6.2 Berat Jenis Tanah 15
2.6.3 Batas Air (Liquid Limit) 16
2.6.4 Batas Plastik (*Plastic Limit*) 17
2.6.5 Analisa Butiran Tanah (Hidrometer) 18
2.6.6 *Unconfined Compressive Strength* 19

Dipindai dengan CamScanner

2.6.7 *Direct Shear Test* 20
2.6.8 *Triaxial Compression Test* 22
2.6.9 Pemadatan Standar *(Standard Proctor Test)* 23
2.7 Proses Pencampuran Abu Batu dan Bakteri Bacillus Subtilis Pada Tanah Lempung Berpasir (*Sandy Loam*) 23
2.8 Uji Hipotesis Penelitian 24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 28
3.1 Tujuan Penelitian Secara Operasional 28
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian 28
3.2.1 Lokasi Penelitian 28
3.2.2 Waktu Penelitian 28
3.3 Metode Penelitian 29
3.4 Populasi dan Sampel 30
3.5 Alat dan Bahan 30
3.6 Perlakuan Benda Uji 31
3.7 Metode Pengumpulan Data 31
3.8 Waktu Penelitian 32
3.9 Pengujian Mekanika Tanah 35
3.10 Abu Batu 37
3.11 Pembuatan Larutan Sementasi 38
3.12 Pencampuran dan Pembuatan Sampel Tanah 39
3.13 Metode Uji – F (*Two-Way ANOVA*) 41
3.14 Bagan Alir Penelitian 43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 45
4.1 Penelitian Pendahuluan 45
4.2.1 Pemeriksaan Karakteristik Fisik Tanah 45
4.2.2 Pengujian Karakteristik Fisik dan Mekanik Tanah 53
4.2 Pencampuran Sampel Tanah, Bakteri, dan Abu Batu 65
4.2.3 Uji Standart Proctor Test 66

Dipindai dengan CamScanner

4.2.4 Pembuatan Larutan Sementasi 68
4.2.5 Abu Batu 70
4.2.6 Masa Pemeraman Dengan Variasi Waktu Rencana 72
4.3 Sifat Fisik Dan Mekanik Tanah Pada Proses Pemeraman 3 Hari 72
4.3.1 Variasi Jenis Campuran Abu 0% dan Bakteri MICP 6% 72
4.3.2 Variasi Campuran Abu 10% dan Bakteri MICP 6% 78
4.3.3 Variasi Campuran Abu Batu 20% dan Bakteri MICP 6% 82
4.3.4 Variasi Campuran Abu Batu 30% dan Bakteri MICP 6% 88
4.3.5 Grafik Pengaruh 3 Hari 93
4.4 Pengujian Fisik Dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 7 Hari 96
4.4.1 Variasi Campuran 0% Abu dan Bakteri MICP 6% 96
4.4.2 Variasi Campuran 10% Abu dan Bakteri MICP 6% 102
4.4.3 Variasi Campuran 20% Abu dan Bakteri MICP 6% 107
4.4.4 Variasi Campuran 30% Abu dan Bakteri MICP 6% 112
4.4.5 Grafik Pengaruh 7 Hari 117
4.5 Pengujian Fisik Dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 14 Hari 120
4.5.1 Variasi Campuran 0% Abu dan Bakteri MICP 6% 120
4.5.2 Variasi Campuran 10% Abu Batu dan Bakteri MICP 6% 126
4.5.3 Variasi Campuran 20% Abu Batu dan Bakteri MICP 6% 131
4.5.4 Variasi Campuran 30% Abu Batu dan Bakteri MICP 6% 136
4.5.5 Grafik Pengaruh 14 Hari 141
4.6 Pengujian Fisik Dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 28 Hari 144
4.6.1 Variasi Campuran 0% Abu dan Bakteri MICP 6% 144
4.6.2 Variasi Campuran 10% Abu Batu dan Bakteri MICP 6% 150
4.6.3 Variasi Campuran 20% Abu dan Bakteri MICP 6% 155
4.6.4 Variasi Campuran 30% Abu dan Bakteri MICP 6% 161
4.6.5 Grafik Pengaruh 28 Hari 166
4.7 Grafik Pengaruh Hasil Pengujian Laboratorium 170
4.7.1 Hipotesis Penelitian (*Two-Way ANOVA*) 176
4.7.2 Perbandingan Hasil Penelitian Dengan Studi Penelitian Lain 182

Dipindai dengan CamScanner

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN **187**

5.1 Kesimpulan 187

5.2 Saran 189

DAFTAR PUSTAKA **190**

LAMPIRAN **192**

Dipindai dengan CamScanner

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu 5
Tabel 2.2 sistem klasifikasi tanah USCS 8
Tabel 2.3 Hubungan Nilai Index Plastisistas dengan jenis Tanah 9
Tabel 2.4 Korelasi berat jenis tanah dengan macam jenis tanah 16
Tabel 2.5 Distribusi nilai F dengan signifikasi a = 0,05 27
Tabel 3.1 Presentase campuran untuk larutan sementasi 39
Tabel 3.2 Komponen Variabel 41
Tabel 3.3 Rata-rata variable dependen 42
Tabel 4.1 Data Uji Kadar Air Tanah Asli 46
Tabel 4.2 Data Uji Berat Jenis Tanah Halus 47
Tabel 4.3 Data Pengujian Distribusi dengan Analisa Hidrometer 48
Tabel 4.4 Hasil Saringan 49
Tabel 4.5 Data Uji Batas Cair Tanah 51
Tabel 4.6 Data Uji Batas Plastis Tanah 52
Tabel 4.7 Pembacaan Uji *Direct Shear* 54
Tabel 4.8 Pembacaan Uji *Triaxial Compression* 59
Tabel 4.9 Pembacaan UCS 63
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Sifat Mekanik Tanah 65
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Proctor Standar 67
Tabel 4.12 Berat Abu Per Pencampuran 72
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Direct Shear 76
Tabel 4.14 Hasil Pengujian *Triaxial Compression* 76
Tabel 4.15 Hasil Pengujian *Direct Shear* 81
Tabel 4.16 Hasil Pengujian *Triaxial Compression* 81
Tabel 4.17 Hasil Pengujian *Direct Shear* 86
Tabel 4.18 Hasil Pengujian *Triaxial Compression* 86
Tabel 4.19 Hasil Pengujian *Direct Shear* 91
Tabel 4.20 Hasil Pengujian *Triaxial Compression* 91
Tabel 4.21 Hasil Pengujian Direct Shear 99
Tabel 4.22 Hasil Pengujian *Triaxial Compression* 100
Tabel 4.23 Hasil Pengujian Direct Shear 105

Dipindai dengan CamScanner

Tabel 4 .24 Hasil Pengujian Triaxial Compression 105
Tabel 4.25 Hasil Pengujian Direct Shear 110
Tabel 4.26 Hasil Pengujian *Triaxial Compression* 110
Tabel 4.27 Hasil Pengujian Direct Shear 115
Tabel 4.28 Hasil Pengujian *Triaxial Compression* 115
Tabel 4.29 Hasil Pengujian *Direct Shear* 123
Tabel 4.30 Hasil Pengujian *Triaxial Compression* 124
Tabel 4.31 Hasil Pengujian *Direct Shear* 129
Tabel 4.32 Hasil Pengujian *Triaxial Compression* 129
Tabel 4.33 Hasil Pengujian *Direct Shear* 134
Tabel 4.34 Hasil Pengujian *Triaxial Compression* 134
Tabel 4.35 Hasil Pengujian *Direct Shear* 139
Tabel 4.36 Hasil Pengujian *Triaxial Compression* 139
Tabel 4.37 Hasil Pengujian *Direct Shear* 147
Tabel 4.38 Hasil Pengujian *Triaxial Compression* 148
Tabel 4.39 Hasil Pengujian *Direct Shear* 153
Tabel 4.40 Hasil Pengujian *Triaxial Compression* 154
Tabel 4.41 Hasil Pengujian *Direct Shear* 158
Tabel 4.42 Hasil Pengujian *Triaxial Compression* 159
Tabel 4.43 Hasil Pengujian *Direct Shear* 164
Tabel 4.44 Hasil Pengujian *Triaxial Compression* 165
Tabel 4.45 Persentase penurunan nilai PI 171
Tabel 4.46 Persentase peningkatan tegangan geser 172
Tabel 4.47 Persentase peningkatan kohesi *undrained* 174
Tabel 4.48 Persentase peningkatan UCS 175
Tabel 4.49 Komponen Variabel Uji *Two-Way ANOVA* 176
Tabel 4.50 Data hasil pengujian Triaxial UU 177
Tabel 4.51 Hasil *Two-Way ANOVA* Pada Kohesi *Undrained* (*Triaxial UU*) .. 181
Tabel 4.52 Hasil *Two-Way ANOVA* Pada Tegangan Geser (*Direct Shear*) 181
Tabel 4.53 Hasil *Two-Way ANOVA* Pada Kuat Geser tanah (UCS) 182

Dipindai dengan CamScanner

Gambar 2.1 Bakteri Bacillus subtilis 13
Gambar 2.2 indeks plastisitas (Plasticity Index, PI) 18
Gambar 2.3 Grafik tegangan-regangan kuat tekan tanah bebas. 20
Gambar 2.4Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Tegangan Normal 21
Gambar 4.1 Pengujian Kadar Air Asli 45
Gambar 4.2 Pengujian Berat Jenis Tanah Halus 47
Gambar 4.3 Pengujian Analisa Hidrometer 48
Gambar 4.4 Grafik Analisa Ukuruan Butiran (Hidrometer) 49
Gambar 4.5 Klasifikasi Tanah dengan USDA 50
Gambar 4.6 Pengujian Batas Cair 50
Gambar 4.7 Pengujian Batas Plastis Tanah 52
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Nilai LL dan PI 53
Gambar 4.9 Pengujian *Direct Shear* 54
Gambar 4.10 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 55
Gambar 4.11 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 57
Gambar 4.12 Pengujian Triaxial Compression 58
Gambar 4.13 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU 62
Gambar 4.14 Pengujian Unconfined Compressive Strength 63
Gambar 4.15 Grafik Nilai qu Uji UCS 64
Gambar 4.16 Pengujian *Standart Proctor* 66
Gambar 4.17 Grafik hubungan berat isi kering dan kadar air optimum 68
Gambar 4.18 Bakteri Bacillus subtillis, $CaCl_2$, Urea 68
Gambar 4.19 Larutan sementasi 70
Gambar 4.20 Abu Batu yang Sudah Lolos Saringan 200 71
Gambar 4.21 Masa Pemeraman Sampel Setelah Pencampuran Bakteri dan Abu Batu 72
Gambar 4.22 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 73
Gambar 4.23 Klasifikasi Tanah dengan USDA 74
Gambar 4.24 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah 74
Gambar 4.25 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL 75
Gambar 4.26 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 75

Dipindai dengan CamScanner

Gambar 4.27 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 76
Gambar 4.28 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU 77
Gambar 4.29 Grafik Nilai qu Uji UCS 77
Gambar 4.30 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 78
Gambar 4.31 Klasifikasi Tanah dengan USDA 79
Gambar 4.32 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah 79
Gambar 4.33 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL 80
Gambar 4.34 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 80
Gambar 4.35 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 81
Gambar 4.36 Grafik Lingkaran Mohr dengan *Triaxial UU* 82
Gambar 4.37 Grafik Nilai qu Uji UCS 82
Gambar 4.38 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 83
Gambar 4.39 Klasifikasi Tanah dengan USDA 84
Gambar 4.40 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah 84
Gambar 4.41 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL 85
Gambar 4.42 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 86
Gambar 4.43 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 86
Gambar 4.44 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU 87
Gambar 4.45 Grafik Nilai qu Uji UCS 87
Gambar 4.46 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 88
Gambar 4.47 Klasifikasi Tanah dengan USDA 89
Gambar 4.48 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah 89
Gambar 4.49 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL 90
Gambar 4.50 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 90
Gambar 4.51 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 91
Gambar 4.52 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU 92
Gambar 4.53 Grafik Nilai qu Uji UCS 92
Gambar 4.54 Grafik Pengaruh Pada Uji LL – PL 93
Gambar 4.55 Grafik Pengaruh Pada Uji *Direct Shear* 94
Gambar 4.56 Grafik Pengaruh Pada Uji *Triaxial Compression* 95
Gambar 4.57 Grafik Pengaruh Pada Uji *Unconfined Compressive Strength* ... 96
Gambar 4.58 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 97

Dipindai dengan CamScanner

Gambar 4.59 Klasifikasi Tanah dengan USDA 97
Gambar 4.60 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah 98
Gambar 4.61 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL 98
Gambar 4.62 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 99
Gambar 4.63 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 100
Gambar 4.64 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU 101
Gambar 4.65 Grafik Nilai qu Uji UCS 101
Gambar 4.66 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 102
Gambar 4.67 Klasifikasi Tanah Dengan USDA 103
Gambar 4.68 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah 103
Gambar 4.69 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL 104
Gambar 4.70 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 104
Gambar 4.71 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 105
Gambar 4.72 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU 106
Gambar 4.73 Grafik Nilai qu Uji UCS 106
Gambar 4.74 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 107
Gambar 4.75 Klasifikasi Tanah dengan USDA 108
Gambar 4.76 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah 108
Gambar 4.77 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL 109
Gambar 4.78 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 110
Gambar 4.79 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 110
Gambar 4.80 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU 111
Gambar 4.81 Grafik Nilai qu Uji UCS 111
Gambar 4.82 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 112
Gambar 4.83 Klasifikasi Tanah dengan USDA 113
Gambar 4.84 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah 113
Gambar 4.85 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL 114
Gambar 4.86 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 115
Gambar 4.87 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 115
Gambar 4.88 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU 116
Gambar 4.89 Grafik Nilai qu Uji UCS 116
Gambar 4.90 Grafik Pengaruh Pada Uji LL – PL 117

Dipindai dengan CamScanner

Gambar 4.91 Grafik Pengaruh Pada Uji Direct Shear 118
Gambar 4.92 Grafik Pengaruh Pada Uji *Triaxial Compression* 119
Gambar 4.93 Grafik Pengaruh Pada Uji *Unconfined Compressive Strength* ... 120
Gambar 4.94 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 121
Gambar 4.95 Klasifikasi Tanah dengan USDA 121
Gambar 4.96 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah 122
Gambar 4.97 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL 122
Gambar 4.98 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 123
Gambar 4.99 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 124
Gambar 4.100 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU 125
Gambar 4.101 Grafik Nilai qu Uji UCS 125
Gambar 4.102 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 126
Gambar 4.103 Klasifikasi Tanah dengan USDA 127
Gambar 4.104 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah 127
Gambar 4.105 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL 128
Gambar 4.106 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 128
Gambar 4.107 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 129
Gambar 4.108 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU 130
Gambar 4.109 Grafik Nilai qu Uji UCS 130
Gambar 4.110 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 131
Gambar 4.111 Klasifikasi Tanah dengan USDA 132
Gambar 4.112 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah 132
Gambar 4.113 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL 133
Gambar 4.114 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 133
Gambar 4.115 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 134
Gambar 4.116 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU 135
Gambar 4.117 Grafik Nilai qu Uji UCS 135
Gambar 4.118 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 136
Gambar 4.119 Klasifikasi Tanah dengan USDA 137
Gambar 4.120 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah 137
Gambar 4.121 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL 138
Gambar 4.122 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 138

Dipindai dengan CamScanner

Gambar 4.123 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 139
Gambar 4.124 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU 140
Gambar 4.125 Grafik Nilai qu Uji UCS 140
Gambar 4.126 Grafik Pengaruh Pada Uji LL – PL 141
Gambar 4.127 Grafik Pengaruh Pada Uji *Direct Shear* 142
Gambar 4.128 Grafik Pengaruh Pada Uji *Triaxial Compression* 143
Gambar 4.129 Grafik Pengaruh Pada Uji *Unconfined Compressive Strength* . 144
Gambar 4.130 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 145
Gambar 4.131 Klasifikasi Tanah dengan USDA 145
Gambar 4.132 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah 146
Gambar 4.133 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL 146
Gambar 4.134 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 147
Gambar 4.135 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 148
Gambar 4.136 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU 149
Gambar 4.137 Grafik Nilai qu Uji UCS 149
Gambar 4.138 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 150
Gambar 4.139 Klasifikasi Tanah dengan USDA 151
Gambar 4.140 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah 151
Gambar 4.141 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL 152
Gambar 4.142 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 153
Gambar 4.143 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 153
Gambar 4.144 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU 154
Gambar 4.145 Grafik Nilai qu Uji UCS 155
Gambar 4.146 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 156
Gambar 4.147 Klasifikasi Tanah dengan USDA 156
Gambar 4.148 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah 157
Gambar 4.149 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL 157
Gambar 4.150 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 158
Gambar 4.151 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 159
Gambar 4.152 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU 160
Gambar 4.153 Grafik Nilai qu Uji UCS 160
Gambar 4.154 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 161

Dipindai dengan CamScanner

Gambar 4.155 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) 162
Gambar 4.156 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah 162
Gambar 4.157 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL 163
Gambar 4.158 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal 164
Gambar 4.159 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam 164
Gambar 4.160 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU 165
Gambar 4.161 Grafik Nilai qu Uji UCS 166
Gambar 4.162 Grafik Pengaruh Pada Uji LL – PL 166
Gambar 4.163 Grafik Pengaruh Pada Uji *Direct Shear* 167
Gambar 4.164 Grafik Pengaruh Pada Uji *Triaxial Compression* 168
Gambar 4.165 Grafik Pengaruh Pada Uji *Unconfined Compressive Strength* . 169
Gambar 4.166 Grafik Pengaruh Pada Nilai PI 170
Gambar 4.167 Grafik Pengaruh Pada Tegangan Geser (*Direct Shear*) 171
Gambar 4.168 Grafik Pengaruh Kohesi Undrained (*Triaxial UU*) 173
Gambar 4.169 Grafik Pengaruh Kuat Geser Tanah (UCS) 174

Dipindai dengan CamScanner