

TUGAS AKHIR
“PENERAPAN MICROBially INDUCE CALCITE PRECIPITATION
PADA TANAH EKSPANSIF SERTA PENGARUHNya TERHADAP
NILAI KUAT GESER TANAH.”

*Disusun dan Ditunjukkan Untuk Memenuhi Persyaratan
Sarjana Teknik S-1 Institut Teknologi Nasional Malang*



Disusun Oleh :

ADITIYA AFFANDI

21.21.054

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2025

TUGAS AKHIR

**"PENERAPAN MICROBIALY INDUCE CALCITE PRECIPITATION
PADA TANAH EKSPANSIF SERTA PENGARUHNYA TERHADAP
NILAI KUAT GESER TANAH."**

*Disusun dan Ditunjukkan Untuk Memenuhi Persyaratan
Sarjana Teknik S-1 Institut Teknologi Nasional Malang*



Disusun Oleh :

ADITIYA AFFANDI

21.21.054

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2025

LEMBAR PERSETUJUAN

**“PENERAPAN MICROBIALY INDUCE CALCITE PRECIPITATION
PADA TANAH EKSPANSIF SERTA PENGARUHNYA TERHADAP
NILAI KUAT GESER TANAH.”**

Disusun Oleh:

ADITIYA AFFANDI

21.21.054

**Telah disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk diujikan
Pada Tanggal 12 Agustus 2025**

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Ir. Eding Iskak Imananto, MT.
NIP. 196605061993031004


Eri Andrian Yudianto, ST., MT
NIP.Y. 1030300380

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1




Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT.
NIP. P. 1030300383

LEMBAR PENGESAHAN

“PENERAPAN MICROBIALY INDUCE CALCITE PRECIPITATION PADA TANAH EKSPANSIF SERTA PENGARUHNYA TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH.”

Tugas Akhir Ini Telah Dipertahankan Di Depan Dosen Penguji Tugas Akhir
Jenjang Strata (S-1) Pada Tanggal 12 Agustus 2025 dan Diterima Untuk
Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1

Disusun Oleh:

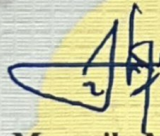
ADITIYA AFFANDI

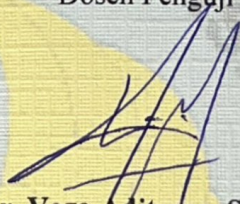
21.21.054

Dosen Penguji:

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II


Ir. Munasih, MT.
NIP. Y. 1028800187

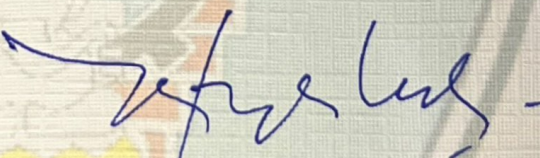

Dr. Vega Aditama, ST., MT.
NIP. P. 1031900559

Disahkan Oleh:

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1

Sekretaris Program Studi Teknik Sipil S-1


Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT.
NIP. P. 1030300383


Nenny Roostrianawaty, ST., MT.
NIP. P. 1031700533

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan kepada Allah SWT. Karena atas penyertaannya yang telah memberikan kelancaran menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“PENERAPAN MICROBIALLY INDUCE CALCITE PRECIPITATION PADA TANAH EKSPANSIF SERTA PENGARUHNYA TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH.”**. Penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan serta bantuan beberapa pihak.

Pada kesempatan ini penyusun menyampaikan rasa hormat serta terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak **Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT.** Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang
2. Ibu **Nenny Roostrianawaty, ST., MT.** Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang
3. Bapak **Ir. Eding Iskak Imananto, MT.** Selaku Dosen Pembimbing I
4. Bapak **Eri Andrian Yudianto, ST, MT.** Selaku Dosen Pembimbing II
5. Bapak atau Ibu Dosen ITN Malang khususnya Prodi Teknik Sipil S-1 yang telah memberikan ilmu pengetahuan guna menunjang penyusunan Tugas Akhir.
6. Semua pihak yang terlibat dalam proses penyusunan Tugas Akhir.

Penyusun menyadari bahwa dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Untuk itu penyusun mengharapkan masukan dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penyusun dan pembaca pada umumnya.

Kota Malang, Agustus 2025

Aditiya Affandi

21.21.054

LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Nasional Malang, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aditiya Affandi

Nim : 21.21.054

Program Studi : Teknik Sipil S-1

Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir saya dengan judul:

“PENERAPAN MICROBIALLY INDUCED CALCITE PRECIPITATION PADA TANAH EKSPANSIF SERTA PENGARUHNYA TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH”

Adalah sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, didalam naskah TUGAS AKHIR ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademiknya disuatu 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 ternyata dalam naskah TUGAS AKHIR ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut serta diproses sesuai dengan peraturan perundang undangan yang berlaku (UU. No.20 tahun 2003, Pasal 25 ayat 2). Demikian surat pernyataan ini saya buat tulus dengan sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Malang, Agustus 2024

Penulis Surat Pernyataan



Aditiya Affandi

Nim. 21.21.054

PERSEMBAHAN DAN MOTTO

Atas kesadaran penuh saya persembahkan susunan doa dan perjuangan ini kepada yang abadi dalam hidup saya hari ini, lampau dan iringan doa baik dimasa depan. Sangat amat haram bagi saya bila semua ini saya sombongkan atas nama seorang diri, oleh karena itu Tuhan menitipkan saya kepada Bapak Abdul Hadi dan Ibu Sutiwati yang tertakdir untuk memberi saya jalan sejauh ini, jalan itu senantiasa saya abadikan dalam memori sebagai pengingat bahwa saya tidak lupa kemana saya harus pulang. Maka selanjutnya semua doa ibu adalah yang menembus 7 langit dan semua usaha bapak adalah yang menghancurkan dinding kemustahilan, saya hanya menyelesaikan apa yang harusnya diselesaikan, saya tidak menyebutnya cita-cita, tapi sebuah kepercayaan, dimana letak tersebut adalah yang tertinggi bagi kedua orang tua saya, bukti bahwa Yang Maha Esa mempercayakan saya kepada keduanya adalah suatu keharusan bagi saya menjaga kepercayaan mereka. Kakak Alviatul Khufah adalah kakak terbaik yang semesta berikan sebagai sepasang saudara dimana letak kata “semangat” darinya bukan lagi sebuah kosa kata melainkan nyawa tambahan bagi saya. Maka selanjutnya Kakak saya adalah seorang peracik obat terhebat yang memulihkan beberapa luka saya lewat dukungannya. Lalu saya, Aditiya Affandi dalam menyusun lembaran kertas ini juga dihujani badai, beberapa reda, beberapa lainnya saya biarkan mengamuk, sebagai suatu kesadaran bilamana semua yang tertulis adalah nyata apapun keadaannya. Saya, Aditiya Affandi dalam menyusun lembaran kertas ini juga diterangi lentera harapan, semua yang memberi saya harapan adalah alasan saya masih dengan tegak berdiri untuk itu.

Badai yang menghancurkan harapan.

Harapan yang lahir dari badai.

*“... But it's been no bed of roses,
No pleasure cruise,
I consider it a challenge before the whole human race
And I ain't gonna lose...”*

Freedie Mercury - 1977

ABSTRAK

“PENERAPAN MICROBIALLY INDUCED CALCITE PRECIPITATION PADA TANAH EKSPANSIF SERTA PENGARUHNYA TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH”

Oleh : Aditiya Affandi (21.21.054). Pembimbing I : Ir. Eding Iskak Imananto, MT. Pembimbing II : Eri Andrian Yudianto, ST., MT. Program Studi Teknik Sipil S1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.

Tanah lempung ekspansif memiliki sifat mengembang dan menyusut yang tinggi akibat perubahan kadar air, sehingga berpotensi menurunkan stabilitas konstruksi. Salah satu upaya perbaikan tanah yang sedang dikembangkan adalah *Microbially Induced Calcite Precipitation* (MICP) dengan memanfaatkan bakteri *Bacillus subtilis*. Metode ini mampu menghasilkan endapan kalsit melalui proses biologis sehingga dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanis tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi kadar campuran bakteri serta lama pemeraman terhadap sifat fisik dan kuat geser tanah lempung ekspansif.

Pengujian dilakukan di laboratorium dengan variasi campuran bakteri sebesar 3%, 6%, 9%, dan 12% dari berat tanah kering, serta masa pemeraman 3, 7, 14, dan 28 hari. Pengujian sifat fisik meliputi berat jenis, analisis hidrometer, batas cair (LL), batas plastis (PL), dan indeks plastisitas (PI). Sementara itu, sifat mekanis dianalisis melalui uji *Direct Shear*, *Triaxial Compression* (UU), dan *Unconfined Compressive Strength* (UCS). Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menentukan hubungan antara kandungan bakteri, masa pemeraman, dan perubahan sifat tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *Bacillus subtilis* melalui metode MICP mampu menurunkan nilai indeks plastisitas tanah, serta meningkatkan parameter kuat geser seperti kohesi dan sudut geser dalam. Peningkatan tertinggi dicapai pada kadar bakteri 9% dengan masa pemeraman 28 hari. Hal ini membuktikan bahwa MICP efektif sebagai metode perbaikan tanah lempung ekspansif, khususnya dalam meningkatkan kekuatan geser dan mengurangi potensi kembang-susut tanah, sehingga berpotensi diaplikasikan pada konstruksi di wilayah dengan permasalahan tanah serupa.

Kata Kunci : *Bacillus subtilis*, *Microbially Induced Calcite Precipitation*, Tanah lempung ekspansif

ABSTRACT

"APPLICATION OF MICROBIALLY INDUCED CALCITE PRECIPITATION ON EXPANSIVE SOIL AND ITS EFFECT ON SHEAR STRENGTH"

By: Aditiya Affandi (21.21.054). Advisor I : Ir. Eding Iskak Imananto, MT. Advisor II : Eri Andrian Yudianto, ST., MT. Undergraduate Program in Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Planning, Institut Teknologi Nasional Malang.

Expansive clay soil exhibits significant swelling and shrinkage behavior due to water content variations, which may reduce construction stability. One of the soil improvement methods currently being developed is Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) utilizing *Bacillus subtilis*. This method promotes calcite precipitation through biological processes, thereby enhancing the physical and mechanical properties of soil. This research aims to evaluate the effect of bacterial content variation and curing time on the physical and shear strength properties of expansive clay soil.

Laboratory testing was conducted using bacterial content variations of 3%, 6%, 9%, and 12% of the dry soil weight, with curing periods of 3, 7, 14, and 28 days. Physical property tests included specific gravity, hydrometer analysis, liquid limit (LL), plastic limit (PL), and plasticity index (PI). Meanwhile, mechanical properties were analyzed through Direct Shear, Unconsolidated Undrained (UU) Triaxial Compression, and Unconfined Compressive Strength (UCS) tests. The obtained data were analyzed to determine the relationship between bacterial content, curing duration, and changes in soil properties.

The results showed that the addition of *Bacillus subtilis* through the MICP method reduced the plasticity index and improved shear strength parameters such as cohesion and internal friction angle. The highest improvement was achieved at 9% bacterial content with a 28-day curing period. These findings demonstrate that MICP is effective as a soil improvement method for expansive clay, particularly in enhancing shear strength and reducing swell-shrink potential, making it promising for application in construction projects on problematic soils.

Keywords : *Bacillus subtilis*, Expansive Clay Soil, *Microbially Induced Calcite Precipitation*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iv
PERSEMBAHAN DAN MOTTO.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Landasan Teori.....	14
2.2.1 Tanah.....	14
2.2.2 Tanah Ekspansif	14
2.3 Sifat Fisik dan Mekanik Tanah	15
2.3.1 Klasifikasi Tanah	15

2.3.2	Kuat Geser Tanah.....	17
2.4	<i>Microbially Induce Calcite Precipitation (MICP)</i>	19
2.4.1.	<i>Bio-Grouting</i>	20
2.4.2.	Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	21
2.5	Pengujian Laboratorium.....	23
2.5.1.	Kadar Air.....	23
2.5.2.	Berat Jenis Tanah	24
2.5.3.	Batas Cair	25
2.5.4.	Batas Plastis	26
2.5.5.	Analisa Butiran Tanah (Hidrometer)	27
2.5.6.	<i>Unconfined Compressive Strength</i>	28
2.5.7.	<i>Direct Shear Test</i>	29
2.5.8.	<i>Triaxial Compression Test</i>	30
2.5.9.	Pemadatan Standar	32
2.6	Proses Pencampuran Tanah Ekspansif dengan Bakteri	32
2.7	Uji Hipotesis Penelitian	33
BAB III METEDOLOGI PENELITIAN.....		37
3.1	Tujuan Penelitian Secara Operasional	37
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	37
3.2.1	Tempat Penelitian.....	37
3.2.2	Waktu Penelitian	37
3.3	Metode Penelitian.....	38
3.4	Populasi dan Sampel	39
3.5	Alat dan Bahan.....	39
3.6	Perlakuan Benda Uji	40

3.7	Metode Pengumpulan Data	41
3.7.1	Pengujian Fisik Tanah.....	41
3.7.2	Pengujian Mekanik Tanah.....	46
3.7.3	Pembuatan Larutan Sementasi	49
3.7.4	Pencampuran dan pembuatan Sampel Tanah.....	50
3.8	Metode Uji - F (<i>Two-Way ANOVA</i>).....	52
3.9	Bagan Alir Penelitian	54
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	56
4.1	Penelitian Pendahuluan	56
4.1.1	Pengujian Sifat Fisik Tanah	56
4.1.2	Pengujian Sifat Mekanik Tanah	64
4.2	Pencampuran Sampel Tanah dengan Bakteri.....	77
4.2.1	Pembuatan Larutan Sementasi	77
4.2.2	Uji <i>Standart Proctor</i>	78
4.2.3	Pencampuran dengan Variasi Rencana	81
4.2.4	Masa Pemeraman dengan Variasi Waktu Rencana.....	82
4.3	Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 3 Hari	83
4.3.1	Variasi Campuran 3%	83
4.3.2	Variasi Campuran 6%	89
4.3.3	Variasi Campuran 9%	94
4.3.4	Variasi Campuran 12%.	99
4.3.5	Grafik Pengaruh 3 Hari	104
4.4	Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 7 Hari	105
4.4.1	Variasi Campuran 3%	105
4.4.2	Variasi Campuran 6%	111

4.4.3	Variasi Campuran 9%	116
4.4.4	Variasi Campuran 12%	121
4.4.5	Grafik Pengaruh 7 Hari	126
4.5	Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 14 Hari	127
4.5.1	Variasi Campuran 3%	127
4.5.2	Variasi Campuran 6%	133
4.5.3	Variasi Campuran 9%	138
4.5.4	Variasi Campuran 12%	143
4.5.5	Grafik Pengaruh 14 Hari	148
4.6	Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 28 Hari	149
4.6.1	Variasi Campuran 3%	149
4.6.2	Variasi Campuran 6%	155
4.6.3	Variasi Campuran 9%	160
4.6.4	Variasi Campuran 12%	165
4.6.5	Grafik Pengaruh 28 Hari	170
4.7	Grafik Pengaruh Hasil Pengujian Laboratorium.....	172
4.8	Hipotesis Penelitian (<i>Two-Way ANOVA</i>).....	176
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		183
5.1	Kesimpulan	183
5.2	Saran.....	184
DAFTAR PUSTAKA.....		185
LAMPIRAN.....		187

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Garis keruntuhan dan hukum keruntuhan dari Mohr-Coulmb.	18
Gambar 2.2 Bakteri <i>Bacillus Subtillis</i>	22
Gambar 2.3 Grafik Hubungan antara <i>Index Plastic</i> dengan batas.....	27
Gambar 2.4 Grafik tegangan-regangan kuat tekan tanah bebas.	29
Gambar 2.5 Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Tegangan Normal	30
Gambar 2.6 Grafik Tegangan Geser dan Normal pada lingkaran mohr.....	31
Gambar 2.7 Bagan Proses Pencampuran Tanah dan bakteri	33
Gambar 3.1 Oven dengan kalibrasi suhu 200°C.....	41
Gambar 3.3 Hidrometer Jar	42
Gambar 3.4 Piknometer Kapasitas 50ml	43
Gambar 3.5 <i>Casagrande</i> dan <i>Grooving Tools</i>	45
Gambar 3.6 Jangka Sorong atau <i>Vernier Calipers</i>	46
Gambar 3.7 Alat <i>Direct Shear</i>	47
Gambar 3.8 Alat <i>Triaxial Compression</i>	48
Gambar 3.9 Alat <i>Unconfined Compressive Strength</i>	49
Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian.....	55
Gambar 4.1 Pengambilan sampel di Kabupaten Tuban.	56
Gambar 4.2 Pengujian Kadar Air Asli.....	57
Gambar 4.3 Pengujian Berat Jenis Tanah Halus	58
Gambar 4.4 Pengujian Analisa Hidrometer.....	59
Gambar 4.5 Grafik Analisa ukuran butiran (Hidrometer)	60
Gambar 4.6 Klasifikasi Tanah dengan USDA.....	61
Gambar 4.7 Pengujian Batas Cair Tanah.....	61
Gambar 4.8 Pengujian Batas Plastis Tanah	62
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Nilai LL dan PI.....	63
Gambar 4.10 Pengujian <i>Direct Shear</i>	65
Gambar 4.11 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	66
Gambar 4.12 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	69
Gambar 4.13 Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	69
Gambar 4.14 Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	73

Gambar 4.15 Pengujian <i>Unconfined Compressive Strength</i>	74
Gambar 4.16 Grafik Nilai q_u Uji UCS	76
Gambar 4.17 Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> , CaCl_2 , Urea	77
Gambar 4.18 Larutan sementasi	78
Gambar 4.19 Uji <i>Standart Proctor</i>	79
Gambar 4.20 Grafik hubungan berat isi kering dan kadar air optimum.....	81
Gambar 4.21 Masa Pemeraman Sampel Setelah Perlakuan Bakteri	83
Gambar 4.22 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)	84
Gambar 4.23 Klasifikasi Tanah dengan USDA.....	84
Gambar 4.24 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	85
Gambar 4.25 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	85
Gambar 4.26 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	86
Gambar 4.27 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	87
Gambar 4.28 Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	88
Gambar 4.29 Grafik Nilai q_u Uji UCS	88
Gambar 4.30 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)	89
Gambar 4.31 Klasifikasi Tanah dengan USDA.....	90
Gambar 4.32 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	90
Gambar 4.33 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	91
Gambar 4.34 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	91
Gambar 4.35 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	92
Gambar 4.36 Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	93
Gambar 4.37 Grafik Nilai q_u Uji UCS	93
Gambar 4.38 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)	94
Gambar 4.39 Klasifikasi Tanah dengan USDA.....	95
Gambar 4.40 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	95
Gambar 4.41 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	96
Gambar 4.42 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	96
Gambar 4.43 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	97
Gambar 4.44 Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	98
Gambar 4.45 Grafik Nilai q_u Uji UCS	98

Gambar 4.45 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)	99
Gambar 4.47 Klasifikasi Tanah dengan USDA.....	100
Gambar 4.48 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	100
Gambar 4.49 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	101
Gambar 4.50 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	101
Gambar 4.51 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	102
Gambar 4.52 Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	103
Gambar 4.53 Grafik Nilai q_u Uji UCS	103
Gambar 4.54 Grafik Pengaruh Pada Uji LL – PL	104
Gambar 4.55 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Direct Shear</i>	104
Gambar 4.56 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Triaxial Compression</i>	105
Gambar 4.57 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Unconfined Compressive Strength</i>	105
Gambar 4.58 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)	106
Gambar 4.59 Klasifikasi Tanah dengan USDA.....	107
Gambar 4.60 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	107
Gambar 4.58 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	108
Gambar 4.62 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	108
Gambar 4.63 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	109
Gambar 4.61 Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	110
Gambar 4.65 Grafik Nilai q_u Uji UCS	110
Gambar 4.66 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)	111
Gambar 4.67 Klasifikasi Tanah dengan USDA.....	112
Gambar 4.68 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	112
Gambar 4.69 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	113
Gambar 4.70 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	113
Gambar 4.71 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	114
Gambar 4.72 Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	115
Gambar 4.73 Grafik Nilai q_u Uji UCS	115
Gambar 4.74 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)	116
Gambar 4.75 Klasifikasi Tanah dengan USDA.....	117
Gambar 4.76 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	117

Gambar 4.77 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	118
Gambar 4.78 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal.....	118
Gambar 4.79 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	119
Gambar 4.80 Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	120
Gambar 4.81 Grafik Nilai q_u Uji UCS	120
Gambar 4.82 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)	121
Gambar 4.83 Klasifikasi Tanah dengan USDA.....	122
Gambar 4.84 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	122
Gambar 4.85 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	123
Gambar 4.86 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal.....	123
Gambar 4.81 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	124
Gambar 4.88 Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	125
Gambar 4.89 Grafik Nilai q_u Uji UCS	125
Gambar 4.90 Grafik Pengaruh Pada Uji LL - PL	126
Gambar 4.91 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Direct Shear</i>	126
Gambar 4.92 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Triaxial Compression</i>	127
Gambar 4.93 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Unconfined Compressive Strength</i>	127
Gambar 4.94 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)	128
Gambar 4.95 Klasifikasi Tanah dengan USDA.....	128
Gambar 4.96 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	129
Gambar 4.90 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	129
Gambar 4.98 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal.....	130
Gambar 4.99 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	131
Gambar 4.100 Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	132
Gambar 4.101 Grafik Nilai q_u Uji UCS	132
Gambar 4.102 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)	133
Gambar 4.103 Klasifikasi Tanah dengan USDA	134
Gambar 4.104 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	134
Gambar 4.105 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	135
Gambar 4.106 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal.....	135
Gambar 4.107 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	136

Gambar 4.108	Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	137
Gambar 4.109	Grafik Nilai q_u Uji UCS	137
Gambar 4.110	Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)	138
Gambar 4.111	Klasifikasi Tanah dengan USDA	139
Gambar 4.112	Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	139
Gambar 4.113	Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	140
Gambar 4.114	Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	140
Gambar 4.115	Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	141
Gambar 4.116	Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	142
Gambar 4.117	Grafik Nilai q_u Uji UCS	142
Gambar 4.118	Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)	143
Gambar 4.119	Klasifikasi Tanah dengan USDA	144
Gambar 4.120	Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	144
Gambar 4.121	Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	145
Gambar 4.122	Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	145
Gambar 4.123	Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	146
Gambar 4.124	Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	147
Gambar 4.125	Grafik Nilai q_u Uji UCS	147
Gambar 4.126	Grafik Pengaruh Pada Uji LL - PL	148
Gambar 4.127	Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Direct Shear</i>	148
Gambar 4.128	Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Triaxial Compression</i>	149
Gambar 4.129	Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Unconfined Compressive Strength</i> ..	149
Gambar 4.130	Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)	150
Gambar 4.131	Klasifikasi Tanah dengan USDA	151
Gambar 4.132	Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	151
Gambar 4.133	Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	152
Gambar 4.134	Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	152
Gambar 4.135	Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	153
Gambar 4.136	Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	154
Gambar 4.137	Grafik Nilai q_u Uji UCS	154
Gambar 4.138	Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)	155

Gambar 4.139 Klasifikasi Tanah dengan USDA	156
Gambar 4.140 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	156
Gambar 4.141 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	157
Gambar 4.142 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	157
Gambar 4.143 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	158
Gambar 4.144 Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	159
Gambar 4.145 Grafik Nilai q_u Uji UCS	159
Gambar 4.146 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)	160
Gambar 4.147 Klasifikasi Tanah dengan USDA	161
Gambar 4.148 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	161
Gambar 4.149 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	162
Gambar 4.150 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	162
Gambar 4.151 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	163
Gambar 4.152 Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	164
Gambar 4.153 Grafik Nilai q_u Uji UCS	164
Gambar 4.154 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)	165
Gambar 4.155 Klasifikasi Tanah dengan USDA	166
Gambar 4.156 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	166
Gambar 4.157 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	167
Gambar 4.158 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	167
Gambar 4.159 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	168
Gambar 4.160 Grafik Lingkaran Mohr dengan <i>Triaxial UU</i>	169
Gambar 4.161 Grafik Nilai q_u Uji UCS	169
Gambar 4.162 Grafik Pengaruh Pada Uji LL - PL	170
Gambar 4.163 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Direct Shear</i>	170
Gambar 4.164 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Triaxial Compression</i>	171
Gambar 4.165 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Unconfined Compressive Strength</i> ..	171
Gambar 4.166 Grafik Pengaruh Pada Nilai PI	172
Gambar 4.167 Grafik Pengaruh Pada Tegangan Geser (<i>Direct Shear</i>)	173
Gambar 4.168 Grafik Pengaruh Pada Sudut Geser Dalam (<i>Direct Shear</i>)	173
Gambar 4.169 Grafik Pengaruh Pada Kohesi (<i>Direct Shear</i>)	173

Gambar 4.168 Grafik Pengaruh Kohesi Undrained (<i>Triaxial UU</i>)	174
Gambar 4.169 Grafik Pengaruh Kuat Geser Tanah (UCS)	175
Gambar 4.170 Hasil <i>Two-Way ANOVA</i> Pada Kohesi Undrained (<i>Triaxial UU</i>)	181
Gambar 4.171 Hasil <i>Two-Way ANOVA</i> Pada Tegangan Geser (<i>Direct Shear</i>). 182	
Gambar 4.172 Hasil <i>Two-Way ANOVA</i> Pada Kuat Geser tanah (UCS).....	182

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.....	10
Tabel 2.2 Klasifikasi Potensi ekspansi tanah berdasar nilai PI	15
Tabel 2.3 sistem klasifikasi tanah USCS.....	16
Tabel 2. 4 Hubungan Nilai Indeks Plastisitas dengan jenis Tanah	17
Tabel 2.5 Korelasi berat jenis tanah dengan macam jenis tanah.	25
Tabel 2.6 Distribusi nilai F dengan signifikansi $\alpha = 0,05$	36
Tabel 3.1 Rencana populasi dan sampel	39
Tabel 3.2 Presentase campuran untuk larutan sementasi.	50
Tabel 3.3 Komponen variabel	52
Tabel 3.4 Rata-rata variabel dependen	53
Tabel 4.1 Data Uji kadar air tanah asli	57
Tabel 4.2 Data Uji berat jenis tanah halus.....	58
Tabel 4.3 Data Pengujian distribusi dengan analisa hidrometer	59
Tabel 4.4 Pengujian gradasi dengan analisa hidrometer	60
Tabel 4.5 Data Uji batas cair tanah	62
Tabel 4.6 Data Uji Batas Plastis Tanah.....	63
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah.....	64
Tabel 4.8 Pembacaan uji <i>Direct Shear</i>	65
Tabel 4.9 Pembacaan Uji <i>Triaxial Compression</i>	70
Tabel 4.10 Pembacaan Uji <i>Unconfined Compressive Strength</i>	74
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Sifat Mekanik Tanah.....	76
Tabel 4.12 Hasil Pengujian <i>Proctor Standart</i>	80
Tabel 4.13 Hasil Variasi Campuran Larutan Sementasi	82
Tabel 4.14 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	86
Tabel 4.15 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	87
Tabel 4.16 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	92
Tabel 4.17 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	92
Tabel 4.18 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	97
Tabel 4.19 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	97
Tabel 4.20 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	102

Tabel 4.21 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	102
Tabel 4.22 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	109
Tabel 4.23 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	109
Tabel 4.24 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	114
Tabel 4.25 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	114
Tabel 4.26 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	119
Tabel 4.27 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	119
Tabel 4.28 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	124
Tabel 4.29 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	124
Tabel 4.30 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	130
Tabel 4.31 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	131
Tabel 4.32 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	136
Tabel 4.33 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	136
Tabel 4.34 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	141
Tabel 4.35 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	141
Tabel 4.36 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	146
Tabel 4.37 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	146
Tabel 4.38 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	153
Tabel 4.39 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	153
Tabel 4.40 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	158
Tabel 4.41 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	158
Tabel 4.42 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	163
Tabel 4.43 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	163
Tabel 4.44 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	168
Tabel 4.45 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	168
Tabel 4.46 Persentase penurunan nilai <i>PI</i>	172
Tabel 4.47 Persentase peningkatan tegangan geser.....	174
Tabel 4.48 Persentase peningkatan kohesi <i>undrained</i>	175
Tabel 4.49 Persentase peningkatan kuat geser tanah.....	176
Tabel 4.50 Komponen Variabel Uji <i>Two-Way ANOVA</i>	176
Tabel 4. 51 Data hasil pengujian <i>Triaxial UU</i>	178