

TUGAS AKHIR
STUDI PENELITIAN MICROBIALY INDUCE CALCITE
PRECIPITATION PADA TANAH LEMPUNG BERLANAU SERTA
PENGARUHNYA TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH

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



Disusun Oleh:

WILDAN BAYU SAPUTRA

21.21.017

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

2025

LEMBAR PERSETUJUAN
TUGAS AKHIR
STUDI PENELITIAN *MICROBIALLY INDUCE CALCITE*
PRECIPITATION PADA TANAH LEMPUNG BERLANAU SERTA
PENGARUHNYA TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH

Disusun Oleh:

WILDAN BAYU SAPUTRA

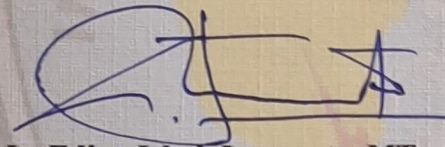
21.21.017

Telah disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk diujikan
pada tanggal 11 Agustus 2025

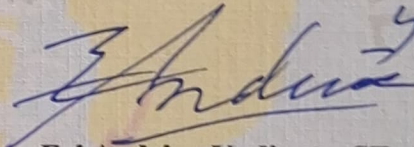
Menyetujui,
Dosen Pembimbing,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. Eding Iskak Imananto, MT.
NIP. 196605061993031004



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

Disahkan Oleh:

Ketua Program Studi
Teknik Sipil S-1



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

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
STUDI PENELITIAN *MICROBially INDUCE CALCITE*
***PRECIPITATION* PADA TANAH LEMPUNG BERLANAU SERTA**
PENGARUHNYA TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH

Tugas Akhir ini telah dipertahankan di depan Dosen Penguji Tugas Akhir Jenjang Strata (S-1) Pada Tanggal 11 Agustus 2025 dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1

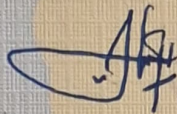
Disusun Oleh:

WILDAN BAYU SAPUTRA

21.21.017

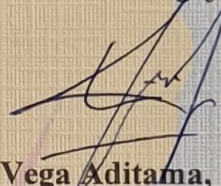
Dosen Penguji:

Dosen Penguji I



Ir. Munasih, MT.
NIP. Y. 1028800187

Dosen Penguji II



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

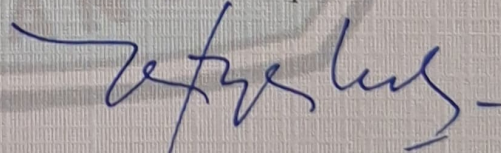
Disahkan Oleh:

Ketua Program Studi
Teknik Sipil S-1



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

Sekretaris Program Studi
Teknik Sipil S-1



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

LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR

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

Nama : Wildan Bayu Saputra

Nim : 21.21.017

Program Studi : Teknik Sipil S-1

Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir saya dengan judul:

**“STUDI PENELITIAN *MICROBially INDUCE CALCITE*
PRECIPITATION PADA TANAH LEMPUNG BERLANAU SERTA
PENGARUHNYA TERHADAP NILAI 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 tertulis dikutip dalam naskah ini disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata 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 5 dan pasal 70).

Malang, 12 Agustus 2025

Yang Membuat Pernyataan



Wildan Bayu Saputra

Nim. 21.21.017

MOTTO DAN PERSEMBAHAN



Dengan mengucapkan segala puji syukur kepada Allah SWT serta sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, serta atas dukungan dari orang-orang baik yang saya sayangi akhirnya tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan tepat waktu. Dengan rasa bahagia dan bangga saya ucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT, karena dengan karunia dan kekuasaanNya skripsi ini dapat berjalan dengan baik dan juga selesai pada waktunya. Segala Puji bagimu Tuhan penguasa alam yang telah mengabulkan doa-doa dan meridhoi segala urusan duniawi.
2. Kedua Orang tua tercinta Zaenal Arifin dan Lilik Koesmawati. Terima kasih atas perjuangan dan pengorbanan kalian yang tiada henti demi kehidupan saya. Engkau telah berhasil membimbing dan memberikan dorongan semangat yang luar biasa, sehingga saya mampu menyelesaikan tugas akhir ini hingga selesai. Semua ini tidak akan terwujud tanpa restu dan kekuatan doa dari kalian.
3. Hormat dan rasa terima kasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya kecil ini kepada kakek nenek yang telah memberikan dukungan, ridho, dan motivasi pentingnya Pendidikan dalam kehidupan.
4. Terimakasih kepada Kakak saya , Arif Rizki Andika P. yang sudah mendukung dalam penyusunan Tugas Akhir.
5. Diri saya sendiri, Wildan Bayu Saputra karena telah mampu berusaha dan berjuang sejauh ini. Mampu mengendalikan diri disaat banyak tekanan dari luar keadaan dan tidak pernah memutuskan untuk menyerah sesulit apapun proses penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman tercinta dan tersayang, Pondok Darul Nyeni, serta teman-teman Laboratorium mekanika tanah, dan Parlemen Kemalasan. Mohon maaf apabila ada kata-kata yang mungkin saya kelewatan pada waktu meminta tolong pada saat itu. Terimakasih sudah membantu penulis disaat kesulitan dan terimakasih sudah mendengarkan keluh kesah dari penulis.

7. Dosen pembimbing Tugas Akhir selaku dosen pembimbing saya, terimakasih banyak sudah membantu selama ini, sudah menasihati, memberikan semangat, serta mengarahkan saya sampai Tugas Akhir ini selesai.
8. Terakhir kepada seseorang yang tidak penulis sebutkan namanya. Terimakasih telah mendukung dan memberikan arahan pada saat saya kesulitan dan merasa hampa pada saat proses pekerjaan skripsi. Terimakasih telah menjadi bagian menyenangkan dalam dinamika kehidupan penulis.

ABSTRAK

STUDI PENELITIAN *MICROBially INDUCE CALCITE PRECIPITATION* PADA TANAH LEMPUNG BERLANAU SERTA PENGARUHNYA TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH

Wildan Bayu Saputra

Dosen Pembimbing
Ir. Eding Iskak Imananto, MT.
Eri Andrian Yudianto, ST., MT.

Penelitian ini didasari oleh masalah rendahnya kekuatan geser tanah lempung berlanau yang memengaruhi kestabilan konstruksi. Rumusan masalah yang diangkat adalah bagaimana penerapan *Microbially Induced Calcite Precipitation* (MICP) dengan variasi campuran tertentu dapat memengaruhi sifat fisik dan mekanik tanah tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis dampak variasi persentase campuran dan lama pemeraman terhadap peningkatan nilai kuat geser, kohesi, dan indeks plastisitas tanah.

Metode penelitian mencakup pengambilan sampel tanah, pencampuran dengan variasi dosis MICP sebesar 4%, 6%, 8%, dan 10%, serta waktu pemeraman selama 3, 7, 14, dan 28 hari. Pengujian yang dilakukan meliputi *Plasticity Index* (PI), *Direct Shear Test*, *Triaxial Compression Test*, dan *Unconfined Compressive Strength* (UCS). Analisis data dilakukan dengan *ANOVA Two-Way with Replications*, dan dasar teori mengacu pada mekanika tanah serta konsep biokonsolidasi melalui presipitasi kalsit oleh bakteri.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa MICP dapat secara signifikan meningkatkan sifat mekanik tanah, dengan nilai optimal pada variasi campuran 6%-8% dan waktu pemeraman 28 hari. Nilai UCS meningkat hingga 0,720 kgf/cm², sementara nilai *Direct Shear* mencapai 0,946 kgf/cm², dan kohesi pada *Triaxial Compression* mencapai 0,860 kgf/cm². Penurunan kekuatan terjadi pada dosis 10% akibat kejenuhan bahan atau distribusi yang tidak merata. Kesimpulannya, penerapan MICP efektif dalam meningkatkan stabilitas tanah lempung berlanau, namun diperlukan pengaturan yang tepat untuk komposisi dan waktu pemeraman.

Kata Kunci: *Microbially Induced Calcite Precipitation*, Tanah Lempung Berlanau, Kuat Geser, Kohesi, dan *Unconfined Compressive Strength*.

ABSTRACT

STUDI PENELITIAN *MICROBIALLY INDUCE CALCITE* *PRECIPITATION* PADA TANAH LEMPUNG BERLANAU SERTA PENGARUHNYA TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH

Wildan Bayu Saputra

Dosen Pembimbing

Ir. Eding Iskak Imananto, MT.

Eri Andrian Yudianto, ST., MT.

This research is based on the problem of low shear strength of silty clay soil, which affects construction stability. The research problem addressed is how the application of Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) with certain mixture variations can influence the physical and mechanical properties of the soil. The objective of this study is to analyze the effect of different mixture percentages and curing periods on the improvement of shear strength, cohesion, and plasticity index of the soil.

The research method includes soil sampling, mixing with varying MICP doses of 4%, 6%, 8%, and 10%, as well as curing times of 3, 7, 14, and 28 days. The tests conducted include Plasticity Index (PI), Direct Shear Test, Triaxial Compression Test, and Unconfined Compressive Strength (UCS). Data analysis was performed using Two-Way ANOVA with Replications, and the theoretical foundation refers to soil mechanics as well as the concept of bioconsolidation through calcite precipitation by bacteria.

The results indicate that MICP can significantly improve the mechanical properties of the soil, with optimal values found at mixture variations of 6%–8% and a curing period of 28 days. UCS values increased up to 0.720 kgf/cm², Direct Shear values reached 0.946 kgf/cm², and cohesion in the Triaxial Compression test reached 0.860 kgf/cm². A decrease in strength occurred at the 10% dose due to material saturation or uneven distribution. In conclusion, the application of MICP is effective in enhancing the stability of silty clay soil, though proper adjustment of mixture composition and curing time is required.

Keywords: Microbially Induced Calcite Precipitation, Silty Clay Soil, Shear Strength, Cohesion, and Unconfined Compressive Strength.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa. Karena atas penyertaan-Nya yang telah memberikan kelancaran menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**STUDI PENELITIAN *MICROBIALLY INDUCE CALCITE PRECIPITATION* PADA TANAH LEMPUNG BERLANAU SERTA PENGARUHNYA TERHADAP KUAT GESER TANAH.**” Penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bimbingan bantuan beberapa pihak.

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

1. Bapak **Dr. Yosimson P. Manaba, ST., MT.** selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil 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 **Dr. Vega Aditama ST., MT** sebagai kepala studio skripsi yang telah membantu dalam menyiapkan seminar
6. Bapak atau Ibu Dosen ITN Malang khususnya Program Studi Teknik Sipil S-1 yang telah memberikan ilmu pengetahuan guna menunjang penyusunan tugas akhir.
7. 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.

Malang, 4 Agustus 2025

Wildan Bayu Saputra

2121017

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKAN.....	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Landasan Teori.....	10
2.2.1 Tanah.....	10
2.2.2 Tanah Lempung berlanau.....	11
2.3 Sifat Fisik dan Mekanik Tanah	12
2.3.1 Klasifikasi Tanah	13
2.3.2 Kuat Geser Tanah.....	17
2.4 Microbially Induce Calcite Precipitation (MICP).....	19
2.4.1. Bio-Grouting	20
2.4.2. Bakteri Bacillus Subtilis.....	20

2.5	Pengujian Laboratorium.....	22
2.5.1.	Kadar Air.....	23
2.5.2.	Berat Jenis Tanah	23
2.5.3.	Batas Cair	25
2.5.4.	Batas Plastis	26
2.5.5.	Analisa Hidrometer	27
2.5.6.	Unconfined Compressive Strength	29
2.5.7.	Direct Shear Test.....	30
2.5.8.	Triaxial Compression Test	32
2.6	Proses Pencampuran Bakteri Dengan Larutan Sementasi	34
2.7	Uji Hipotesis Penelitian.....	35
BAB III	METODOLOGI STUDI	38
3.1	Tujuan Penelitian Secara Operasional	38
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	38
3.2.1	Tempat Penelitian.....	38
3.2.2	Waktu Penelitian	39
3.3	Metode Penelitian.....	39
3.4	Populasi dan Sampel	40
3.5	Alat dan Bahan.....	41
3.6	Perlakuan Benda Uji	42
3.7	Metode Pengumpulan Data	43
3.7.1	Pengujian Fisik Tanah.....	43
3.7.2	Pengujian Mekanik Tanah.....	48
3.7.3	Pembuatan Larutan Sementasi	51
3.7.4	Pencampuran dan pembuatan Sampel Tanah.....	52
3.8	Metode Uji - F (Two-Way ANOVA).....	54
3.9	Bagan Alir Penelitian	57
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	59
4.1	Penelitian Pendahuluan	59

4.1.1	Pengujian Sifat Fisik Tanah	59
4.1.2	Pengujian Sifat Mekanik Tanah	68
4.2	Pencampuran Sampel Tanah dengan Bakteri.....	80
4.2.1	Pembuatan Larutan Sementasi	80
4.2.2	Uji Standart Proctor.....	82
4.2.3	Pencampuran dengan Variasi Rencana	84
4.2.4	Masa Pemeraman dengan Variasi Waktu Rencana.....	86
4.3	Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 3 Hari	87
4.3.1	Variasi Campuran 4%	87
4.3.2	Variasi Campuran 6%	94
4.3.3	Variasi Campuran 8%	100
4.3.4	Variasi Campuran 10%.	106
4.3.5	Grafik Pengaruh 3 Hari	112
4.4	Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 7 Hari	115
4.4.1	Variasi Campuran 4%	115
4.4.2	Variasi Campuran 6%	121
4.4.3	Variasi Campuran 8%	127
4.4.4	Variasi Campuran 10%	133
4.4.5	Grafik Pengaruh 7 Hari	139
4.5	Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 14 Hari	143
4.5.1	Variasi Campuran 4%	143
5.4.2	Variasi Campuran 6%	149
4.5.3	Variasi Campuran 8%	155
4.5.4	Variasi Campuran 10%	161
4.5.5	Grafik Pengaruh 14 Hari	167
4.6	Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 28 Hari	171
4.6.1	Variasi Campuran 4%	171
4.6.2	Variasi Campuran 6%	177
4.6.3	Variasi Campuran 8%	182
4.6.4	Variasi Campuran 10%	188
4.6.5	Grafik Pengaruh 28 Hari	194

4.7 Grafik Pengaruh Hari	198
4.7.1 Plasticity Index.....	198
4.7.2 Unconfined Compression Strength	199
4.7.3 Triaxial Compression.....	200
4.7.4 Direct Shear.....	201
4.8 Hipotesis Penelitian (<i>Two-Way</i> ANOVA)	202
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	210
5.1 Kesimpulan	210
5.2 Saran.....	211
DAFTAR PUSTAKA.....	213

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mineral-Mineral Lempung	12
Gambar 2.2 Sistem Klasifikasi Tanah USDA.....	14
Gambar 2.3 Garis Keruntuhan dan Hukum Keruntuhan dari Mohr-Coulomb	18
Gambar 2.4 Bakteri Bacillus Subtilis.....	21
Gambar 2.5 Grafik Hubungan antara Index Plastis dengan Batas Cair	27
Gambar 2.6 Grafik Tegangan-Regangan Kuat Tekan Tanah Bebas.....	30
Gambar 2.7 Grafik Hubungan Antara Tegangan Geser dan Tegangan Normal ...	32
Gambar 2.8 Grafik Tegangan Geser dan Normal pada Lingkaran Mohr	33
Gambar 3.1 Oven dengan Kalibrasi suhu 200° C.....	43
Gambar 3.2 Hidrometer Jar.....	44
Gambar 3.3 Piknometer Kapasitas 50ml.....	46
Gambar 3.4 Casagrande dan Grooving Tools	47
Gambar 3.5 Jangka Sorong atau Vernier Calipers	48
Gambar 3.6 Alat Direct Shear	49
Gambar 3.7 Alat Triaxial Compression	50
Gambar 3.8 Alat Unconfined Compressive Strength.....	51
Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 4.1 Pengujian Kadar Air Asli	59
Gambar 4.2 Pengujian Berat Jenis Tanah Halus.....	60
Gambar 4.3 Pengujian Analisa Hidrometer	62
Gambar 4.4 Grafik Analisa Ukuran Butiran (Hidrometer)	63
Gambar 4.5 Klasifikasi Tanah dengan USDA	64
Gambar 4.6 Pengujian Batas Cair Tanah	65
Gambar 4.7 Pengujian Batas Plastis Tanah.....	66
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Nilai LL dan PI.....	67
Gambar 4.9 Pengujian Direct Shear	68
Gambar 4.10 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	69
Gambar 4.11 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	72
Gambar 4.12 Pengujian Triaxial Compression	73

Gambar 4.13 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	77
Gambar 4.14 Pengujian Unconfined Compressive Strenght.....	77
Gambar 4.15 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	79
Gambar 4.16 Bakteri Bacillus Subtilis, CaCl ₂ , Urea.....	81
Gambar 4.17 Larutan Sementasi	82
Gambar 4.18 Masa Pemeraman Sampel Setelah Perlakuan Bakteri.....	87
Gambar 4.19 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)	88
Gambar 4.20 Klasifikasi Tanah dengan USDA	89
Gambar 4.21 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah.....	89
Gambar 4.22 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL.....	90
Gambar 4.23 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	91
Gambar 4.24 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	92
Gambar 4.25 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	93
Gambar 4.26 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	94
Gambar 4.27 Grafik Uji Ukuran Butrian (Hidrometer)	95
Gambar 4.28 Klasifikasi Tanah dengan USDA	96
Gambar 4.29 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah.....	96
Gambar 4.30 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL.....	97
Gambar 4.31 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	97
Gambar 4.32 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	98
Gambar 4.33 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	99
Gambar 4.34 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	100
Gambar 4.35 Grafik Uji Ukuran Butrian (Hidrometer)	101
Gambar 4.36 Klasifikasi Tanah dengan USDA	102
Gambar 4.37 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah.....	102
Gambar 4.38 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL.....	103
Gambar 4.39 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	103
Gambar 4.40 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	104
Gambar 4.41 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	105
Gambar 4.42 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	105
Gambar 4.43 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)	107

Gambar 4.44 Klasifikasi Tanah dengan USDA	107
Gambar 4.45 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah.....	108
Gambar 4.46 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL.....	109
Gambar 4.47 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	109
Gambar 4.48 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	110
Gambar 4.49 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	111
Gambar 4.50 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	111
Gambar 4.51 Grafik Pengaruh pada Uji LL-PL.....	112
Gambar 4.52 Grafik Pengaruh pada Uji Direct Shear.....	113
Gambar 4.53 Grafik Pengaruh pada Uji Triaxial Compression	114
Gambar 4.54 Grafik Pengaruh pada Uji Unconfined Compressive Strenght	115
Gambar 4.55 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)	116
Gambar 4.56 Klasifikasi Tanah dengan USDA	117
Gambar 4.57 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah.....	117
Gambar 4.58 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL.....	118
Gambar 4.59 Hubungan Tegangan Normal dan Defromasi Horizontal	119
Gambar 4.60 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	119
Gambar 4.61 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	120
Gambar 4.62 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	121
Gambar 4.63 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)	122
Gambar 4.64 Klasifikasi Tanah dengan USDA	123
Gambar 4.65 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah.....	123
Gambar 4.66 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL.....	124
Gambar 4.67 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	124
Gambar 4.68 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	125
Gambar 4.69 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	126
Gambar 4.70 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	126
Gambar 4.71 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)	128
Gambar 4.72 Klasifikasi Tanah dengan USDA	128
Gambar 4.73 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah.....	129
Gambar 4.74 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL.....	130

Gambar 4.75 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	130
Gambar 4.76 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	131
Gambar 4.77 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	132
Gambar 4.78 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	132
Gambar 4.79 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)	134
Gambar 4.80 Klasifikasi Tanah dengan USDA	134
Gambar 4.81 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah.....	135
Gambar 4.82 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL.....	136
Gambar 4.83 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	136
Gambar 4.84 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	137
Gambar 4.85 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	138
Gambar 4.86 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	138
Gambar 4.87 Grafik Pengaruh pada Uji LL-PL.....	139
Gambar 4.88 Grafik Pengaruh pada Uji Direct Shear.....	140
Gambar 4.89 Grafik Pengaruh pada Uji Triaxial Compression	141
Gambar 4.90 Grafik Pengaruh pada Uji Unconfined Compressive Strength	142
Gambar 4.91 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)	143
Gambar 4.92 Klasifikasi Tanah dengan USDA	144
Gambar 4.93 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah.....	145
Gambar 4.94 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL.....	146
Gambar 4.95 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	146
Gambar 4.96 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	147
Gambar 4.97 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	148
Gambar 4.98 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	148
Gambar 4.99 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)	150
Gambar 4.100 Klasifikasi Tanah dengan USDA	150
Gambar 4.101 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah.....	151
Gambar 4.102 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL.....	152
Gambar 4.103 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	152
Gambar 4.104 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	153
Gambar 4.105 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	154

Gambar 4.106 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	154
Gambar 4.107 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)	156
Gambar 4.108 Klasifikasi Tanah dengan USDA	156
Gambar 4.109 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah.....	157
Gambar 4.110 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL.....	158
Gambar 4.111 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	158
Gambar 4.112 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	159
Gambar 4.113 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	160
Gambar 4.114 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	160
Gambar 4.115 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)	162
Gambar 4.116 Klasifikasi Tanah dengan USDA	162
Gambar 4.117 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah.....	163
Gambar 4.118 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL.....	164
Gambar 4.119 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	164
Gambar 4.120 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	165
Gambar 4.121 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	166
Gambar 4.122 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	166
Gambar 4.123 Grafik Pengaruh pada Uji LL-PL.....	167
Gambar 4.124 Grafik Pengaruh pada Uji Direct Shear.....	168
Gambar 4.125 Grafik Pengaruh pada Uji Triaxial Compression.....	169
Gambar 4.126 Grafik Pengaruh pada Uji Unconfined Compressive Strength ...	170
Gambar 4.127 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)	171
Gambar 4.128 Klasifikasi Tanah dengan USDA	172
Gambar 4.129 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah.....	173
Gambar 4.130 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL.....	173
Gambar 4.131 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	174
Gambar 4.132 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	175
Gambar 4.133 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	176
Gambar 4.134 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	176
Gambar 4.135 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)	178
Gambar 4.136 Klasifikasi Tanah dengan USDA	178

Gambar 4.137 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah.....	179
Gambar 4.138 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL.....	179
Gambar 4.139 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	180
Gambar 4.140 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	180
Gambar 4.141 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	181
Gambar 4.142 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	182
Gambar 4.143 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)	183
Gambar 4.144 Klasifikasi Tanah dengan USDA	184
Gambar 4.145 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah.....	184
Gambar 4.146 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL.....	185
Gambar 4.147 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	185
Gambar 4.148 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	186
Gambar 4.149 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	187
Gambar 4.150 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	187
Gambar 4.151 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)	189
Gambar 4.152 Klasifikasi Tanah dengan USDA	189
Gambar 4.153 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah.....	190
Gambar 4.154 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL.....	190
Gambar 4.155 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	191
Gambar 4.156 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	192
Gambar 4.157 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	193
Gambar 4.158 Grafik Nilai q_u Uji UCS.....	193
Gambar 4.159 Grafik Pengaruh pada Uji LL-PL.....	194
Gambar 4.160 Grafik Pengaruh pada Uji Direct Shear.....	195
Gambar 4.161 Grafik Pengaruh pada Uji Triaxial Compression.....	196
Gambar 4.162 Grafik Pengaruh pada Uji Unconfined Compressive Strength ...	197
Gambar 4.163 Grafik Pengaruh pada Nilai PI	198
Gambar 4.164 Grafik Pengaruh Kuat Geser Tanah (UCS).....	199
Gambar 4.165 Grafik Pengaruh Kohesi Undrained (Triaxial UU)	200
Gambar 4.166 Grafik Pengaruh pada Tegangan Geser (Direct Shear).....	201

Gambar 4.167 Hasil Two-Way ANOVA pada Kohesi Undrained (Triaxial UU)	207
Gambar 4.168 Hasil Two-Way ANOVA pada Tegangan Geser (Direct Shear)	208
Gambar 4.169 Hasil Two-Way ANOVA pada Kuat Geser Tanah (UCS).....	209

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	8
Tabel 2.2 Sistem Klasifikasi Tanah USCS	15
Tabel 2.3 Hubungan Nilai Index Plastisitas dengan Jenis Tanah	16
Tabel 2.4 Korelasi Berat Jenis Tanah dengan Macam Jenis Tanah.....	25
Tabel 3.1 Rencana Populasi dan Sampel	41
Tabel 3.2 Persentase Campuran untuk Larutan Sementasi	52
Tabel 3.3 Komponen Variabel	54
Tabel 3.4 Rata-Rata Variabel Dependen.....	55
Tabel 4.1 Data Uji Kadar Air Tanah Asli	60
Tabel 4.2 Data Uji Berat Jenis Tanah Halus	61
Tabel 4.3 Data Pengujian Distribusi dengan Analisa Hidrometer	62
Tabel 4.4 Pengujian Gradasi dengan Analisa Hidrometer	62
Tabel 4.5 Data Uji Batas Cair Tanah	65
Tabel 4.6 Data Uji Batas Plastis Tanah.....	66
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Sifat Fisik Tanah.....	67
Tabel 4.8 Pembacaan Uji Direct Shear	68
Tabel 4.9 Pembacaan Uji Triaxial Compression.....	73
Tabel 4.10 Pembacaan Uji Unconfined Compressive Strenght.....	78
Tabel 4.11 Pengujian Sifat Mekanik Tanah	80
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Proctor Standar	84
Tabel 4.13 Hasil Variasi Campuran Larutan Sementasi	86
Tabel 4.14 Klasifikasi Tanah dengan Berat Jenis Tanah	88
Tabel 4.15 Hasil Pengujian Direct Shear	91
Tabel 4.16 Hasil Pengujian Triaxial Compression	92
Tabel 4.17 Macam Klasifikasi Jenis Tanah	95
Tabel 4.18 Hasil Pengujian Direct Shear	98
Tabel 4.19 Hasil Pengujian Triaxial Compression	98

Tabel 4.20 Macam Klasifikasi Jenis Tanah	101
Tabel 4.21 Hasil Pengujian Direct Shear	104
Tabel 4.22 Hasil Pengujian Triaxial Compression	104
Tabel 4.23 Macam Klasifikasi Jenis Tanah	106
Tabel 4.24 Hasil Pengujian Direct Shear	110
Tabel 4.25 Hasil Pengujian Triaxial Compression	110
Tabel 4.26 Macam Klasifikasi Jenis Tanah	116
Tabel 4.27 Hasil Pengujian Direct Shear	119
Tabel 4.28 Hasil Pengujian Triaxial Compression	120
Tabel 4.29 Macam Klasifikasi Jenis Tanah	122
Tabel 4.30 Hasil Pengujian Direct Shear	125
Tabel 4.31 Hasil Pengujian Triaxial Compression	125
Tabel 4.32 Macam Klasifikasi Jenis Tanah	127
Tabel 4.33 Hasil Pengujian Direct Shear	131
Tabel 4.34 Hasil Pengujian Triaxial Compression	131
Tabel 4.35 Macam Klasifikasi Jenis Tanah	133
Tabel 4.36 Hasil Pengujian Direct Shear	136
Tabel 4.37 Hasil Pengujian Triaxial Compression	137
Tabel 4.38 Macam Klasifikasi Jenis Tanah	143
Tabel 4.39 Hasil Pengujian Direct Shear	146
Tabel 4.40 Hasil Pengujian Triaxial Compression	147
Tabel 4.41 Macam Klasifikasi Jenis Tanah	149
Tabel 4.42 Hasil Pengujian Direct Shear	153
Tabel 4.43 Hasil Pengujian Triaxial Compression	153
Tabel 4.44 Macam Klasifikasi Jenis Tanah	155
Tabel 4.45 Hasil Pengujian Direct Shear	158
Tabel 4.46 Hasil Pengujian Triaxial Compression	159
Tabel 4.47 Macam Klasifikasi Jenis Tanah	161
Tabel 4.48 Hasil Pengujian Direct Shear	164
Tabel 4.49 Hasil Pengujian Triaxial Compression	165

Tabel 4.50 Macam Klasifikasi Jenis Tanah	171
Tabel 4.51 Hasil Pengujian Direct Shear	174
Tabel 4.52 Hasil Pengujian Triaxial Compression	175
Tabel 4.53 Macam Klasifikasi Jenis Tanah	177
Tabel 4.54 Hasil Pengujian Direct Shear	180
Tabel 4.55 Hasil Pengujian Triaxial Compression	181
Tabel 4.56 Macam Klasifikasi Jenis Tanah	183
Tabel 4.57 Hasil Pengujian Direct Shear	186
Tabel 4.58 Hasil Pengujian Triaxial Compression	186
Tabel 4.59 Macam Klasifikasi Jenis Tanah	188
Tabel 4.60 Hasil Pengujian Direct Shear	191
Tabel 4.61 Hasil Pengujian Triaxial Compression	192
Tabel 4.62 Komponen Variabel Uji Two-Way ANOVA	202
Tabel 4.63 Data Hasil Pengujian Triaxial UU	203