# TUGAS AKHIR

# "PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN BAKTERI BACILLUS SUBTILIS UNTUK MENINGKATKAN PARAMETER TANAH LEMPUNG BERPASIR *(SANDY LOAM)* TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH."

*Disusun dan Ditunjukkan Untuk Memenuhi Persyaratan*
*Sarjana Teknik S1 Institut Teknologi Nasional Malang*




**Disusun Oleh:**

**ELGA VYOLINZA**
**19.21.155**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1**
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**
**2026**

# TUGAS AKHIR

# "PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN BAKTERI BACILLUS SUBTILIS UNTUK MENINGKATKAN PARAMETER TANAH LEMPUNG BERPASIR *(SANDY LOAM)* TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH."

***Disusun dan Ditunjukkan Untuk Memenuhi Persyaratan***

***Sarjana Teknik S-1 Institut Teknologi Nasional Malang***




**Disusun Oleh:**

**ELGA VYOLINZA**

**19.21.155**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1**

**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**2026**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**TUGAS AKHIR**

# "PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN BAKTERI BACILLUS SUBTILIS UNTUK MENINGKATKAN PARAMETER TANAH LEMPUNG BERPASIR *(SANDY LOAM)* TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH."

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

Disusun Oleh :

**Elga Vyolinza**

**NIM 19.21.155**

Telah disetujui oleh Dosen Pembimbing Untuk Diujikan

Pada Tanggal Agustus 2026

Disetujui oleh :

| Dosen Pembimbing I | Dosen Pembimbing II |
|---|---|
| **Ir. Eding Iskak Imananto, MT** | **Eri Andrian Yudianto, ST.,MT** |
| NIP. 19660506 199303 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

# LEMBAR PENGESAHAN

# TUGAS AKHIR

## "PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN BAKTERI BACILLUS SUBTILIS UNTUK MENINGKATKAN PARAMETER TANAH LEMPUNG BERPASIR *(SANDY LOAM)* TERHADAP NILAI 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 :

**Elga Vyolinza**

**NIM 19.21.155**

Dosen Penguji

| Dosen Penguji I | Dosen Penguji II |
|---|---|
| **Dr. Vega Aditama** | **Dr. Yosimson P. Manaha, ST.,MT** |
| NIP. 1031900559 | NIP. P 103 03 00383 |

Disahkan Oleh :

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

# PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Elga Vyolinza

NIM 1921155

Program Studi : Teknik Sipil S-1

Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul:

PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN BAKTERI BACILLUS SUBTILIS UNTUK MENINGKATKAN PARAMETER TANAH LEMPUNG BERPASIR (SANDY LOAM) 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 untuk memperoleh gelar akademiknya 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 ternyata dalam naskah TUGAS AKHIR ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia skripsi 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




Elga Vyolinza

NIM 1921155

# ABSTRAK

**"PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN BAKTERI BACILLUS SUBTILIS UNTUK MENINGKATKAN PARAMETER TANAH LEMPUNG BERPASIR *(SANDY LOAM)* TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH"**

Oleh Elga Vyolinza (19.21.155). 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.

---

Penelitian ini menganalisis pengaruh penambahan abu sekam padi (ASP) dan bakteri Bacillus subtilis melalui proses Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) terhadap perbaikan sifat tanah lempung dari Desa Gading Kembar, Kecamatan Jabung, Kabupaten Malang. Tanah lempung dikenal berdaya dukung rendah dan memiliki sifat kembang susut besar, sehingga kurang ideal sebagai dasar konstruksi. Eksperimen dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah ITN Malang dengan variasi ASP 5%, 10%, 15%, dan 20%, bakteri MICP 6%, serta masa pemeraman 3, 7, 14, dan 28 hari. Pengujian meliputi batas Atterberg, Direct Shear Test, dan Unconfined Compression Strength (UCS). Hasilnya, penambahan ASP menurunkan batas cair dan indeks plastisitas hingga 43,10% pada variasi 20% dengan pemeraman 28 hari, serta meningkatkan berat jenis, batas plastis, dan batas susut. Bakteri Bacillus subtilis menghasilkan kristal kalsium karbonat ($CaCO_3$) yang menyemen butiran tanah, sehingga kekuatan geser meningkat seiring lamanya pemeraman. Kombinasi ASP dan MICP memberikan peningkatan jauh lebih besar dibanding penggunaan salah satunya, dengan tegangan geser maksimum 1,189 kg/cm² (naik 223,10% dari kontrol) pada MICP 6% + ASP 10% dengan pemeraman 14 hari. Kondisi optimum dicapai pada ASP 10%, MICP 6%, dan pemeraman 14–28 hari. Dengan demikian, kombinasi ini efektif dan ramah lingkungan sebagai metode stabilisasi tanah lempung untuk konstruksi.

Kata Kunci: tanah lempung, abu sekam padi, Bacillus subtilis, MICP, kuat geser, stabilisasi tanah

# ABSTRACT

**"THE EFFECT OF RICE HUSK ASH AND BACILLUS SUBTILIS BACTERIA ADDITION ON IMPROVING CLAY SOIL PARAMETERS TOWARD SOIL SHEAR STRENGTH VALUE"**

By Elga Vyolinza (19.21.155). 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.

---

This study analyzes the effect of adding rice husk ash (RHA) and Bacillus subtilis bacteria through the Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) process on improving the properties of clay soil from Gading Kembar Village, Jabung District, Malang Regency. Clay soil is known for its low bearing capacity and high swell-shrink behavior, making it unsuitable as a construction foundation. The experiments were conducted at the Soil Mechanics Laboratory of ITN Malang, using RHA variations of 5%, 10%, 15%, and 20%, 6% MICP bacteria, and curing periods of 3, 7, 14, and 28 days. Tests included Atterberg limits, Direct Shear Test, and Unconfined Compression Strength (UCS). The results show that adding RHA reduced the liquid limit and plasticity index by up to 43.10% at the 20% variation with 28 days of curing, while also increasing specific gravity, plastic limit, and shrinkage limit. Bacillus subtilis produced calcium carbonate ($CaCO_3$) crystals that cement soil particles together, so shear strength increased with longer curing time. The combination of RHA and MICP yielded far greater improvement than either material alone, with a maximum shear stress of 1.189 kg/cm² (a 223.10% increase over the control) at 6% MICP + 10% RHA with 14 days of curing. Optimum conditions were achieved at 10% RHA, 6% MICP, and 14–28 days of curing. Therefore, this combination is an effective and environmentally friendly method for stabilizing clay soil in construction applications.

Keywords: clay soil, rice husk ash, Bacillus subtilis, MICP, shear strength, soil stabilization

# KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan kepada Allah SWT. Karena atas penyertaan-Nya yang telah memberikan kelancaran meneyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **"PENGARUH PENAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN BAKTERI BACILLUS SUBTILIS UNTUK MENINGKATKAN PARAMETER TANAH LEMPUNG BERPASIR *(SANDY LOAM)* 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 Ir. Eding Iskak Imananto, MT. Selaku Dosen Pembimbing I, atas bimbingan dan arahan yang telah diberikan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Eri Andrian Yudianto, ST., MT. Selaku Dosen Pembimbing II, atas saran dan masukan yang sangat berharga.
3. Bapak Dr. Yosimson P. Manaha, ST., MT. selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil ITN Malang, atas dukungan dan fasilitas yang telah diberikan.
4. Ibu Dr. Lila Ayu Ratna Winanda, ST., MT. Dosen Wali, atas dukungan dan bimbingan selama masa studi.
5. Kedua orang tua yang senantiasa memberikan doa dan dukungan baik moril maupun materi.
6. Rekan rekan di program studi Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang yang selalu memberikan dukungan selama menyusun 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 2026

ELGA VYOLINZA

19.21.155

# DAFTAR ISI


**LEMBAR PERSETUJUAN** ..... *i*

**KATA PENGANTAR** ..... iii

**DAFTAR ISI** ..... iv

**DAFTAR GAMBAR** ..... vii

**DAFTAR TABEL** ..... xiv

**DAFTAR LAMPIRAN** ..... xvi

**BAB I PENDAHULUAN** ..... 1

1.1 Latar Belakang ..... 1

1.2 Identifikasi Masalah ..... 3

1.3 Rumusan Masalah ..... 3

1.4 Batasan Masalah ..... 3

1.5 Tujuan Penelitian ..... 4

1.6 Manfaat Penelitian ..... 4

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA** ..... 6

2.1 Penelitian Terdahulu ..... 6

2.2 Landasan Teori ..... 12

2.2.1 Tanah ..... 12

2.2.2 Tanah Lempung Berpasir (Sandy Loam) ..... 13

2.2.4 Abu Sekam Padi ..... 14

2.3 Sifat Fisik dan Mekanik Tanah ..... 15

2.3.1 Klasifikasi Tanah ..... 15

2.3.2 Kuat Geser Tanah (Direct Shear) ..... 18

2.4 Microbially Induce Calcite Precipitation (MICP) ..... 20

2.5 Uji Laboratorium ..... 22

2.5.1 Kadar Air ..... 22

2.5.2 Spesific Gravity (Berat Jenis Tanah ) ..... 23

2.5.3 Batas Cair ..... 25

2.5.4 Batas Plastis ..... 25

2.5.5 Analisis Partikel Tanah (Hydrometer) ..... 26

2.5.6 Unconfined Compressive Strenght ..... 27

2.5.7 Direct Shear Test ..... 28

2.5.8 Triaxial Compression Test ..... 29
2.5.9 Pemadatan Standar ..... 30
2.6 Proses Pemcampuran Tanah Lempung dan Abu Sekam Padi dengan bakteri *Bacillus Subtilis* ..... 31
2.7 Uji Hipotesis ..... 31
**BAB III METODOLOGI PENELITIAN ..... 35**
3.1 Tujuan Penelitian Secara Operasional ..... 35
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian ..... 35
3.2.1 Tempat Penelitian ..... 35
3.2.2 Waktu Penelitian ..... 35
3.3 Metode Pengujian ..... 36
3.2 Populasi dan Sampel ..... 37
3.3 Alat dan Bahan ..... 37
3.4 Perlakuan Benda Uji ..... 38
3.5 Metode Pengumpulan Data ..... 39
3.5.1 Pengujian Fisik Tanah ..... 39
3.5.2 Pengujian Mekanik Tanah ..... 44
3.5.3 Pembuatan Larutan Sementasi ..... 47
3.5.4 Pencampuran Dan Pembuatan Benda Uji ..... 48
3.6 Metode Uji – F *(Two-Way ANOVA)* ..... 49
3.7 Bagan Alir ..... 52
**BAB IV ..... 54**
4.1 Penelitian Pendahuluan ..... 54
4.1.1 Uji Sifat Fisik Tanah ..... 54
4.1.2 Pengujian Sifat Fisik dan Mekaanika Tanah ..... 61
4.2 Pencampuran Sampel Tanah, Bakteri dan Abu Sekam Padi ..... 74
4.2.1 Uji Standard Proctor Test ..... 74
4.2.2 Pembuatan Larutan Sementasi ..... 76
4.2.3 Abu Sekam Padi ..... 77
4.2.4 Masa Pemeraman dengan Variasi Waktu Rencana ..... 78
4.3 Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Pada Masa Pemeraman 3 Hari ..... 79
4.3.1 Variasi Campuran Abu 0% dan Bakteri MICP 6% ..... 79
4.3.2 Variasi Campuran Abu 5% dan Bakteri MICP 6% ..... 85

4.3.3 Variasi Campuran Abu 10% dan MICP 6%..... 91
4.3.4 Variasi Campuran Abu 15% dan MICP 6%..... 96
4.3.5 Variasi Campuran Abu 20% dan MICP 6%..... 102
4.4 Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 7 Hari..... 111
4.4.1 Variasi Campuran 0% Abu dan MICP 6%..... 111
4.4.2 Variasi Campuran 5% Abu dan MICP 6%..... 116
4.4.3 Variasi Campuran 10% Abu dan MICP 6%..... 121
4.4.4 Variasi Campuran 15% Abu dan MICP 6%..... 126
4.4.5 Variasi Campuran 20% Abu dan MICP 6%..... 132
4.4.6 Kurva 7 Hari..... 137
4.5 Uji Fisik dan Mekanik Tanah Pada Masa Pemeraman 14 Hari..... 141
4.5.1 Variasi Campuran Abu 0% dan MICP 6%..... 141
4.5.2 Variasi Campuran Abu 5% dan MICP 6%..... 146
4.5.3 Variasi Campuran Abu 10% dan MICP 6%..... 151
4.5.4 Variasi Campuran Abu 15% dan MICP 6%..... 157
4.5.5 Variasi Campuran Abu 20% dan MICP 6% Masa Pemeraman 14 Hari..... 163
4.5.6 Kurva Pemeraman 14 Hari..... 169
4.6 Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 28 Hari..... 173
4.6.1 Variasi Campuran 0% dan MICP 6%..... 173
4.6.2 Variasi Campuran 5% Abu dan MICP 6%..... 178
4.6.3 Variasi Campuran Abu 10% dan MICP 6%..... 183
4.6.4 Variasi Campuran Abu 15% dan MICP 6%..... 188
4.6.5 Variasi Campuran Abu 20% dan MICP 6%..... 194
4.6.6 Kurva Pemeraman 28 Hari..... 199
4.7 Kurva Pengaruh Hasil Pengujian Lablatorium..... 203
4.8 Hipotesis Penelitian (Two-Way ANOVA)..... 208
4.9 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Studi Penelitian Lain..... 214
**BAB V**..... **216**
5.1 Kesimpulan..... 216
5.2 Saran..... 218
**DAFTAR PUSTAKA**..... **219**
**Lampiran**..... **221**

# DAFTAR GAMBAR


*Gambar 2. 1 Tanah Lempung* ..... 14
*Gambar 2. 2 Abu sekam padi*..... 15
*Gambar 2. 3 Garis Keruntuhan Menurut Teori Mohr-Coulomb.*..... 19
*Gambar 2. 4 Bacillus Subtillis bakteri* ..... 21
*Gambar 2. 5 Grafik Keterkaitan antara Indeks Plastisitas dan batas cair*..... 26
*Gambar 2. 6 Kurva Tegangan-Regangan Kuat Tekan Bebas Tanah*..... 28
*Gambar 2. 7 Kurva Hubungan Tegangan Geser* ..... 29
Gambar 3. 1 Oven ..... 39
Gambar 3. 2 Hidrometer Jar..... 40
Gambar 3. 3 Piknometer Kapasitas 50ml..... 41
Gambar 3. 4 Casagrande dan Grooving Tools..... 42
Gambar 3. 5 Jangka Sorong atau Vernier Calipers..... 43
Gambar 3. 6 Alat Direct Shear..... 44
Gambar 3. 7 Alat Triaxial Compression ..... 45
Gambar 3. 8 Alat Unconfined Compressive Strength..... 46
Gambar 3. 9 Diagram Alir Penelitian ..... 53
Gambar 4. 1 Pengujian Kadar Air Asli ..... 54
Gambar 4. 2 Pengujian Berat Jenis Tanah Halus..... 55
Gambar 4. 3 Pengujian Analisa Hidrometer ..... 56
Gambar 4. 4 Grafik Analisa Ukuran Butiran (Hidrometer)..... 58
Gambar 4. 5 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 58
Gambar 4. 6 Pengujin Batas Cair..... 59
Gambar 4. 7 Pengujin Batas Plastis Tanah ..... 60
Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Nilai LL dan PI ..... 61
Gambar 4. 9 Pengujian Uji Direct Shear..... 62
Gambar 4. 10 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal ..... 63
Gambar 4. 11 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam..... 66
Gambar 4. 12 Pengujian Triaxial Compression..... 66
Gambar 4. 13 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU ..... 70
Gambar 4. 14 Pengujian Unconfined Compressive Strength ..... 71
Gambar 4. 15 Grafik Nilai qu Uji UCS ..... 73
Gambar 4. 16 Pengujian Standard Proctor..... 74
Gambar 4. 17 Grafik hubungan berat isi kering dan kadar air optimum ..... 76
Gambar 4. 18 Bakteri Bacillus Subtilis, $CaCl_2$ dan urea..... 77
Gambar 4. 19 Masa pemeraman sampel stelah pencampuran ..... 79
Gambar 4. 20 Grafik uji ukuran butiran..... 80
Gambar 4. 21 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 80
Gambar 4. 22 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah..... 81
Gambar 4. 23 Grafik Hubungan Nilai PI & LL ..... 81
Gambar 4. 24 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal ..... 82

Gambar 4. 25 Grafik Kohesi dan Sudut Dalam ..... 83
Gambar 4. 26 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxia UU ..... 84
Gambar 4. 27 Grafik Nilai qu Uji UCS ..... 84
Gambar 4. 28 Grafik uji ukuran butiran..... 85
Gambar 4. 29 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 86
Gambar 4. 30 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL ..... 87
Gambar 4. 31 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal ..... 88
Gambar 4. 32 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam ..... 89
Gambar 4. 33 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU ..... 90
Gambar 4. 34 Grafik Nilai qu Uji UCS ..... 90
Gambar 4. 35 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer) ..... 91
Gambar 4. 36 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 92
Gambar 4. 37 Hasil pengujian Batas Cair Tanah..... 92
Gambar 4. 38 Grafik Hubungan Nilai PI & LL ..... 93
Gambar 4. 39 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal ..... 93
Gambar 4. 40 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam ..... 94
Gambar 4. 41 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU ..... 95
Gambar 4. 42 Grafik Nilai qu Uji UCS ..... 95
Gambar 4. 43 Grafik uji ukuran butiran (Hidrometer) ..... 96
Gambar 4. 44 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 97
Gambar 4. 45 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah..... 97
Gambar 4. 46 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL ..... 98
Gambar 4. 47 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal ..... 99
Gambar 4. 48 Grafik Kohesi dan Sudut Dalam ..... 100
Gambar 4. 49 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU ..... 101
Gambar 4. 50 Grafik Nilai qu Uji UCS ..... 101
Gambar 4. 51 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer) ..... 102
Gambar 4. 52 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 103
Gambar 4. 53 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah..... 103
Gambar 4. 54 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL ..... 104
Gambar 4. 55 Hubungn Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal ..... 105
Gambar 4. 56 Grafik Kohesi Sudut Dalam ..... 105
Gambar 4. 57 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU ..... 107
Gambar 4. 58 Grafik Nilai qu Uji UCS ..... 107
Gambar 4. 59 Grafik Pengaruh Pada Uji LL-PL ..... 108
Gambar 4. 60 Grafik Pengaruh Pada Uji Direct Shear ..... 108
Gambar 4. 61 Grafik Pengaruh Pada Uji Triaxial Compression..... 109
Gambar 4. 62 Grafik Pengaruh Pada Uji Unconfined Compressive Strength... 110
Gambar 4. 63 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer) ..... 111
Gambar 4. 64 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 112
Gambar 4. 65 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah..... 112

*Gambar 4. 1 uji Kadar Air Asli* ..... 54
*Gambar 4. 2 Pengujian* ..... 55
*Gambar 4. 3 Pengujian Analisa Hidrometer* ..... 56
*Gambar 4. 4 Grafik Analisa Ukuran Butiran (Hidrometer)* ..... 58
*Gambar 4. 5 Klasifikasi Tanah dengan USDA* ..... 58
*Gambar 4. 6 Pengujian Batas Cair* ..... 59
*Gambar 4. 7 Pengujin Batas Plastis Tanah* ..... 60
*Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Nilai LL dan PI* ..... 61
Gambar 4. 9 Pengujian Uji *Direct Shear* ..... 62
*Gambar 4. 10 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal* ..... 63
*Gambar 4. 11 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam* ..... 66
*Gambar 4. 12 Pengujian Triaxial Compression* ..... 66
*Gambar 4. 13 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU* ..... 70
*Gambar 4. 14 Pengujian Unconfined Compressive Strength* ..... 71
*Gambar 4. 15 Grafik Nilai qu Uji UCS* ..... 73
Gambar 4. 16 Pengujian *Standard Proctor* ..... 74
*Gambar 4. 17 Grafik hubungan berat isi kering dan kadar air optimum* ..... 76
*Gambar 4. 18 Bakteri Bacillus Subtilis, $CaCl_2$ dan urea* ..... 77
*Gambar 4. 19 Masa pemeraman sampel stelah pencampuran* ..... 79
*Gambar 4. 20 Grafik uji ukuran butiran* ..... 80
*Gambar 4. 21 Klasifikasi Tanah dengan USDA* ..... 80
*Gambar 4. 22 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah* ..... 81
*Gambar 4. 23 kurva Hubungan Nilai PI & LL* ..... 81
*Gambar 4. 24 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal* ..... 82
*Gambar 4. 25 Grafik Kohesi dan Sudut Dalam* ..... 83
*Gambar 4. 26 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxia UU* ..... 84
*Gambar 4. 27 Grafik Nilai qu Uji UCS* ..... 84
*Gambar 4. 28 Grafik uji ukuran butiran* ..... 85
*Gambar 4. 29 Klasifikasi Tanah dengan USDA* ..... 86
*Gambar 4. 30 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL* ..... 87
*Gambar 4. 31 Keterkaitan antara tegangan normal dan perpindahan horizontal* ..... 88
*Gambar 4. 32 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam* ..... 89
*Gambar 4. 33 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU* ..... 90
*Gambar 4. 34 Grafik Nilai qu Uji UCS* ..... 90
*Gambar 4. 35 Grafik uji ukuran butiran (hidrometer)* ..... 91
*Gambar 4. 36 Klasifikasi Tanah dengan USDA* ..... 92
*Gambar 4. 37 Hasil pengujian Batas Cair Tanah* ..... 92
*Gambar 4. 38 Grafik Hubungan Nilai PI & LL* ..... 93
*Gambar 4. 39 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal* ..... 93
*Gambar 4. 40 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam* ..... 94
*Gambar 4. 41 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU* ..... 95
*Gambar 4. 42 Grafik Nilai qu Uji UCS* ..... 95
*Gambar 4. 43 Grafik uji ukuran butiran (Hidrometer)* ..... 96

*Gambar 4. 44 Klasifikasi Tanah dengan USDA* ..... 97
*Gambar 4. 45 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah* ..... 97
*Gambar 4. 46 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL* ..... 98
*Gambar 4. 47 Grafik Tegangan Normal terhadap Deformasi Horizontal* ..... 99
*Gambar 4. 48 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam* ..... 100
*Gambar 4. 49 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU* ..... 101
*Gambar 4. 50 Grafik Nilai qu Uji UCS*..... 101
*Gambar 4. 51 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)*..... 102
*Gambar 4. 52 Klasifikasi Tanah dengan USDA* ..... 103
*Gambar 4. 53 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah* ..... 103
*Gambar 4. 54 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL* ..... 104
*Gambar 4. 55 Kurva Tegangan Normal terhadap Pergeseran HorizontalTabel 4. 21 Hasil* ..... 105
*Gambar 4. 56 Grafik Kohesi Sudut Dalam* ..... 105
*Gambar 4. 57 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU* ..... 107
*Gambar 4. 58 Uji UCS*..... 107
*Gambar 4. 59 Pengaruh Pada Uji LL-PL* ..... 108
*Gambar 4. 60 kuva Pada Uji Direct Shear*..... 108
*Gambar 4. 61 Grafik Pengaruh Pada Uji Triaxial Compression* ..... 109
*Gambar 4. 62 Grafik Pengaruh Pada Uji Unconfined Compressive Strength* ..... 110
*Gambar 4. 63 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)*..... 111
*Gambar 4. 64 Klasifikasi Tanah dengan USDA* ..... 112
*Gambar 4. 65 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah* ..... 112
*Gambar 4. 66 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL* ..... 113
*Gambar 4. 67 Hubungan Tegangan Normal dn Deformasi Horizontal* ..... 113
*Gambar 4. 68 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam* ..... 114
*Gambar 4. 69 Grafik Lingkaran Mohr dengan triaxial UU*..... 115
*Gambar 4. 70 Grafik Nilai qu Uji UCS*..... 115
*Gambar 4. 71 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hirometer)*..... 116
*Gambar 4. 72 Klasifikasi Tanah dengan USDA* ..... 117
*Gambar 4. 73 Grafik Hasil Pengujian Batas Cair Tanah* ..... 117
*Gambar 4. 74 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL* ..... 118
*Gambar 4. 75 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal* ..... 118
Gambar 4. 76 Kurva Kohesi dan Sudut Dalam ..... 119
*Gambar 4. 77 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU* ..... 120
*Gambar 4. 78 Grafik Nilai qu Uji UCS*..... 120
*Gambar 4. 79 kurva Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)*..... 121
*Gambar 4. 80 Klasifikasi Tanah dengan USDA* ..... 122
*Gambar 4. 81 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah* ..... 122
*Gambar 4. 82 Nilai PI dan LL*..... 123
*Gambar 4. 83 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal* ..... 123
*Gambar 4. 84 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam* ..... 124
*Gambar 4. 85 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU* ..... 125

*Gambar 4. 86 Grafik Nilai qu Uji UCS* ..... 126
*Gambar 4. 87 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)* ..... 127
*Gambar 4. 88 Grafik Klasifikasi Tanah dengan USDA* ..... 127
*Gambar 4. 89 Data uji Batas Cair Tanah* ..... 128
*Gambar 4. 90 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL* ..... 128
*Gambar 4. 91 Hubunga Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal* ..... 129
*Gambar 4. 92 Grafik Kohesi dan Sudut Dalam* ..... 130
*Gambar 4. 93 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU* ..... 131
*Gambar 4. 94 Grafik Nilai qu Uji UCS* ..... 131
*Gambar 4. 95 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer)* ..... 132
*Gambar 4. 96 kurva USDA* ..... 133
*Gambar 4. 97 Grafik data Batas Cair Tanah* ..... 133
*Gambar 4. 98 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL* ..... 134
*Gambar 4. 99 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal* ..... 135
*Gambar 4. 100 Grafik Kohesi dan Sudut Dalam* ..... 135
*Gambar 4. 101 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU* ..... 136
*Gambar 4. 102 Grafik Nilai qu Uji UCS* ..... 136
*Gambar 4. 103 Kurva Uji LL-PL* ..... 137
*Gambar 4. 104 Kurva Uji Direct Shear* ..... 138
Gambar 4. 105 Kurva Uji *Triaxial Compression* ..... 139
Gambar 4. 106 Kurva Uji UCS ..... 139
Gambar 4. 107 Kurva Uji Hidrometer ..... 141
Gambar 4. 108 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 142
Gambar 4. 109 Data Batas Cair ..... 142
Gambar 4. 110 Kurva Hubungan Nilai PI dan LL ..... 143
Gambar 4. 111 Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal ..... 143
Gambar 4. 112 Kurva Kohesi dan Sudut Geser Dalam ..... 144
Gambar 4. 113 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU ..... 145
Gambar 4. 114 Grafik Klasifikasi qu Uji UCS ..... 145
Gambar 4. 115 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer) ..... 146
Gambar 4. 116 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 147
Gambar 4. 117 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah ..... 147
Gambar 4. 118 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL ..... 148
Gambar 4. 119 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal ..... 148
Gambar 4. 120 Kurva Kohesi dan Sudut Geser Dalam ..... 149
Gambar 4. 121 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU ..... 150
Gambar 4. 122 Grafik Nilai qu Uji UCS ..... 151
Gambar 4. 123 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer) ..... 152
Gambar 4. 124 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 152
Gambar 4. 125 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah ..... 153
Gambar 4. 126 Kurva Hubungan Nilai PI dan LL ..... 153
Gambar 4. 127 Grafik Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal ..... 154
Gambar 4. 128 Kurva Kohesi dan Sudut Dalam ..... 155

Gambar 4. 129 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU ..... 156
Gambar 4. 130 Kurva Nilai qu Uji UCS ..... 156
Gambar 4. 131 Kurva Ukuran Butiran (Hidromeer) ..... 157
Gambar 4. 132 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 158
Gambar 4. 133 Kurva Pengujian Batas Cair Tanah ..... 158
Gambar 4. 134 Kurva Hubungan Nilai PI dan LL ..... 159
Gambar 4. 135 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal ..... 160
Gambar 4. 136 Kurva Kohesi dan Sudut Dalam ..... 161
Gambar 4. 137 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU ..... 162
Gambar 4. 138 Grafik Nilai qu Uji UCS ..... 162
Gambar 4. 139 Grafik Uji Ukuran Butiran (Hidrometer) ..... 163
Gambar 4. 140 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 164
Gambar 4. 141 Grafik Pengujian Batas Cair ..... 164
Gambar 4. 142 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL ..... 165
Gambar 4. 143 Hubungan Normal dan Deformasi Horizontal ..... 166
Gambar 4. 144 Kurva Kohesi Sudut Dalam ..... 167
Gambar 4. 145 Kurva Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU ..... 168
Gambar 4. 146 Kurva Nilai qu Uji UCS ..... 168
Gambar 4. 147 Kurva Pengaruh Pada Uji LL – PL ..... 169
Gambar 4. 148 Kurva Pengaruh Pada Uji Direct Shear ..... 170
Gambar 4. 149 Kurva Pengaruh Pada *Uji Triaxial Compression* ..... 171
Gambar 4. 150 KurvaPengaruh Pada Uji *Unconfined Compressive Strength* ..... 172
Gambar 4. 151 Grafik Ukuran Butiran ..... 173
Gambar 4. 152 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 174
Gambar 4. 153 hasil Pengujian Batas Cair Tanah ..... 174
Gambar 4. 154 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL ..... 175
Gambar 4. 155 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal ..... 175
Gambar 4. 156 Kurva Kohesi dan Sudu Geser Dalam ..... 176
Gambar 4. 157 Grafik Lingkaran Mohr dengan *Triaxial UU* ..... 177
Gambar 4. 158 Grafik Nilai qu Uji UCS ..... 177
Gambar 4. 159 Grafik Uji Ukuran Butiran ..... 178
Gambar 4. 160 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 179
Gambar 4. 161 Kurva Pengujian Batas Cair Tanah ..... 179
Gambar 4. 162 KurvaHubungan Nilai PI dan LL ..... 180
Gambar 4. 163 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal ..... 180
Gambar 4. 164 Grafik Kohesi dan Sudut Dalam ..... 181
Gambar 4. 165 Kurva Lingkaran Mohr Triaxial UU ..... 182
Gambar 4. 166 Grafik Nilai qu Uji UCS ..... 182
Gambar 4. 167 Grafik Uji Ukuran Butiran ..... 183
Gambar 4. 168 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 184
Gambar 4. 169 Grafik Pengujian Batas Cair ..... 184
Gambar 4. 170 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL ..... 185
Gambar 4. 171 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal ..... 185

Gambar 4. 172 Kurva Kohesi dan Sudut Dalam ..... 186
Gambar 4. 173 Kurva Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU ..... 187
Gambar 4. 174 Kurva Nilai qu Uji UCS ..... 187
Gambar 4. 175 Kurva Uji Ukuran Butiran ..... 188
Gambar 4. 176 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 189
Gambar 4. 177 Kurva Hasil Pengujian Batas Cair ..... 189
Gambar 4. 178 Grafik Hubungn Nilai PI dan LL ..... 190
Gambar 4. 179 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal ..... 191
Gambar 4. 180 Kurva Kohesi dan Sudut Dalam ..... 192
Gambar 4. 181 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU ..... 193
Gambar 4. 182 Grafik Nilai qu Uji UCS ..... 193
Gambar 4. 183 Grafik Uji Ukuran Butiran ..... 194
Gambar 4. 184 Klasifikasi Tanah dengan USDA ..... 195
.Gambar 4. 185 Kurva Hasil Pengujian Batas Cair ..... 195
Gambar 4. 186 Grafik Hubungn Nilai PI dan LL ..... 196
Gambar 4. 187 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal ..... 196
Gambar 4. 188 Grafik Kohesi dan Sudut Dalam ..... 197
Gambar 4. 189 Kurva Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU ..... 198
Gambar 4. 190 Kurva Nilai qu Uji UCS ..... 198
Gambar 4. 191 Kurva Pengaruh Pada Uji LL – PL ..... 199
Gambar 4. 192 Kurva Pengaruh Pada Uji Direct Shear ..... 200
Gambar 4. 193 Kurva Pengaruh Pada *Uji Triaxial Compression* ..... 201
Gambar 4. 194 Kurva Pengaruh Pada Uji *Unconfined Compressive Strength* ..... 202
Gambar 4. 195 Kurva Pengaruh Pada Nilai PI ..... 203
Gambar 4. 196 Grafik Pengaruh Pada Tegangan Geser *(Direct Shear)* ..... 204
Gambar 4. 197 Grafik Pengaruh Kohesi Undrained *(Triaxial UU)* ..... 205
Gambar 4. 198 Grafik Pengaruh Kuat Geser Tanah (UCS) ..... 207

# DAFTAR TABEL


Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu ..... 11
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Abu Sekam Padi Pada Temperatur Yang Berbeda. 15
Tabel 2. 3 Sistem Klasifikasi Tanah USCS ..... 16
Tabel 2. 4 Hubungan Nilai Indeks Plastisitas Dengan Jenis Tanah ..... 18
Tabel 2. 5 Berat Jenis (Gs) Macam Jenis Tanah ..... 24
Tabel 2. 6 Distribusi nilai F dengan signifikasi a = 0,05 ..... 34
Tabel 3. 1 Rencana populasi dan sampel ..... 37
Tabel 3. 2 Larutan Bakteri ..... 47
Tabel 3. 3 Komponen Variabe Penelitian ..... 49
Tabel 3. 4 Hitung Rata-Rata Variabel Dependen Untuk Setiap Faktor A Dan Faktor B ..... 50
Tabel 4. 1 Data Uji Kadar Air Tanah Asli ..... 54
Tabel 4. 2 Data Uji Berat Jenis Tanah Halus ..... 56
Tabel 4. 3 Data Pengujian Distribusi dengan Analisa Hidrometer ..... 57
Tabel 4. 4 Hasil Saringan ..... 57
Tabel 4. 5 Data Uji Batas Cair Tanah ..... 59
Tabel 4. 6 Data Uji Batas Plastis Tanah ..... 60
Tabel 4. 7 Pembacaan Uji Direct Shear ..... 62
Tabel 4. 8 Pembacaan Uji Triaxial Compression ..... 67
Tabel 4. 9 Pembacaan UCS ..... 71
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Sifat Mekanik Tanah ..... 73
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Proctor Standard ..... 75
Tabel 4. 12 berat Abu Per Pencampuran ..... 78
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 82
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 83
**Tabel 4.15** Hasil Pengujian Direct Shear ..... 88
Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 89
Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 94
Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 94
Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 99
Tabel 4. 20 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 100
Tabel 4. 21 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 105
Tabel 4. 22 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 105
Tabel 4. 23 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 114
Tabel 4. 24 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 114
Tabel 4. 25 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 119
Tabel 4. 26 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 119
Tabel 4. 27 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 124
Tabel 4. 28 Hasil Pengujian Trixial Compression ..... 125
Tabel 4. 29 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 129

Tabel 4. 30 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 130
Tabel 4. 31 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 135
Tabel 4. 32 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 135
Tabel 4. 33 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 144
Tabel 4. 34 Hasil Pengujian Triaxial Compressive ..... 144
Tabel 4. 35 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 149
Tabel 4. 36 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 150
Tabel 4. 37 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 154
Tabel 4. 38 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 155
Tabel 4. 39 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 160
Tabel 4. 40 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 161
Tabel 4. 41 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 166
Tabel 4. 42 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 167
Tabel 4. 43 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 176
Tabel 4. 44 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 176
Tabel 4. 45 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 181
Tabel 4. 46 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 181
Tabel 4. 47 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 186
Tabel 4. 48 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 186
Tabel 4. 49 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 191
Tabel 4. 50 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 192
Tabel 4. 51 Hasil Pengujian Direct Shear ..... 197
Tabel 4. 52 Hasil Pengujian Triaxial Compression ..... 197
Tabel 4. 53 Presentase Penurunan Nilai PI ..... 204
Tabel 4. 54 Presentase Peningkatan Tegangan Geser ..... 205
Tabel 4. 55 Presentase Peningkatan Kohesi undrained ..... 206
Tabel 4. 56 Presentase Peningkatan UCS ..... 208
Tabel 4. 57 Komponen Variabel Uji Two-Way ANOVA ..... 208
Tabel 4. 58 Data Hasil Triaxial UU ..... 209
Tabel 4. 59 Hasil Two-Way ANOVA pada Kohesi Undrained (Triaxial UU)... 213
Tabel 4. 60 Hasil Two-Way ANOVA pada Tegangan Geser Tanah (Direct Shear) ..... 213
Tabel 4. 61 Hasil Two-Way ANOVA pada Kuat Geser Tanah (UCS) ..... 214
Tabel 4. 62 Perbandingan Metode Penelitian: ..... 214