

TUGAS AKHIR
KAJIAN STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN PENAMBAHAN
ABU DAUN BAMBU DAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* SEBAGAI
UPAYA PENINGKATAN KARAKTERISTIK TANAH

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



Disusun Oleh :

WILONA DEVA KAULIKA PUTRI SYAHRANIE
2021010

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

LEMBAR PERSETUJUAN

**KAJIAN STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN PENAMBAHAN
ABU DAUN BAMBU DAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* SEBAGAI
UPAYA PENINGKATAN KARAKTERISTIK TANAH**

Disusun Oleh:

WILONA DEVA KAULIKA PUTRI SYAHRANIE

20.21.010

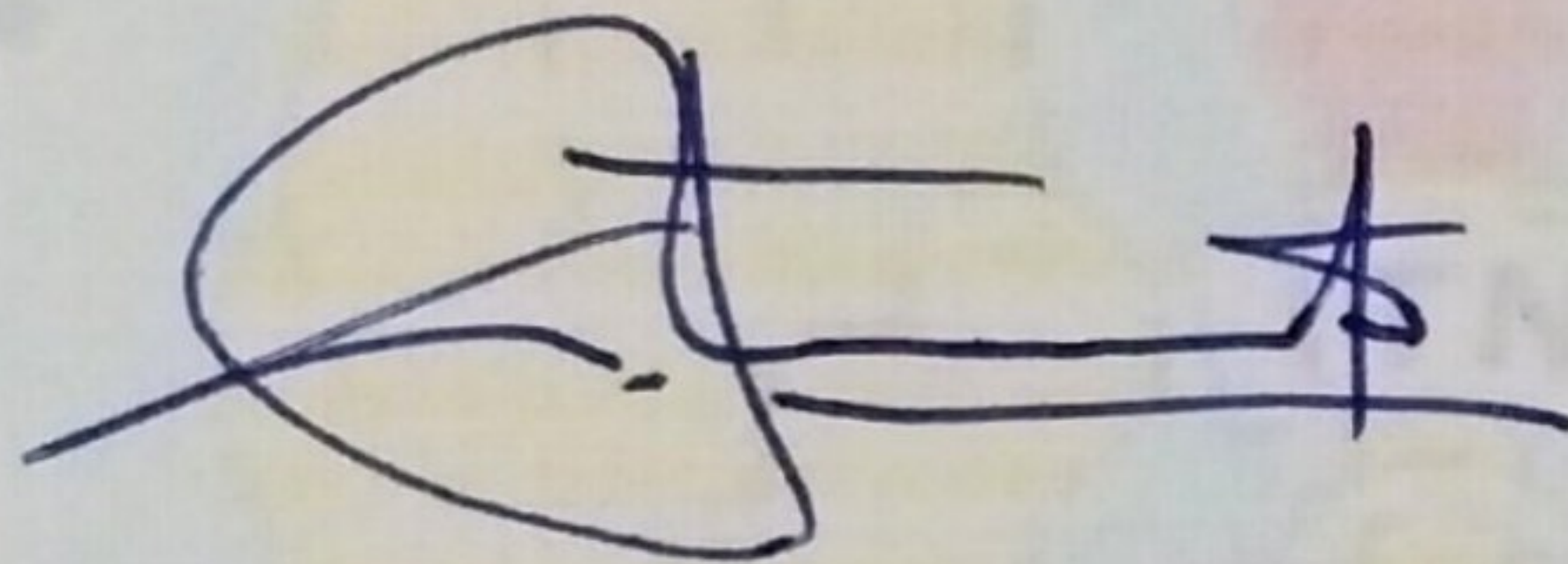
Telah disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk diujikan

Pada Tanggal 6 Februari 2026

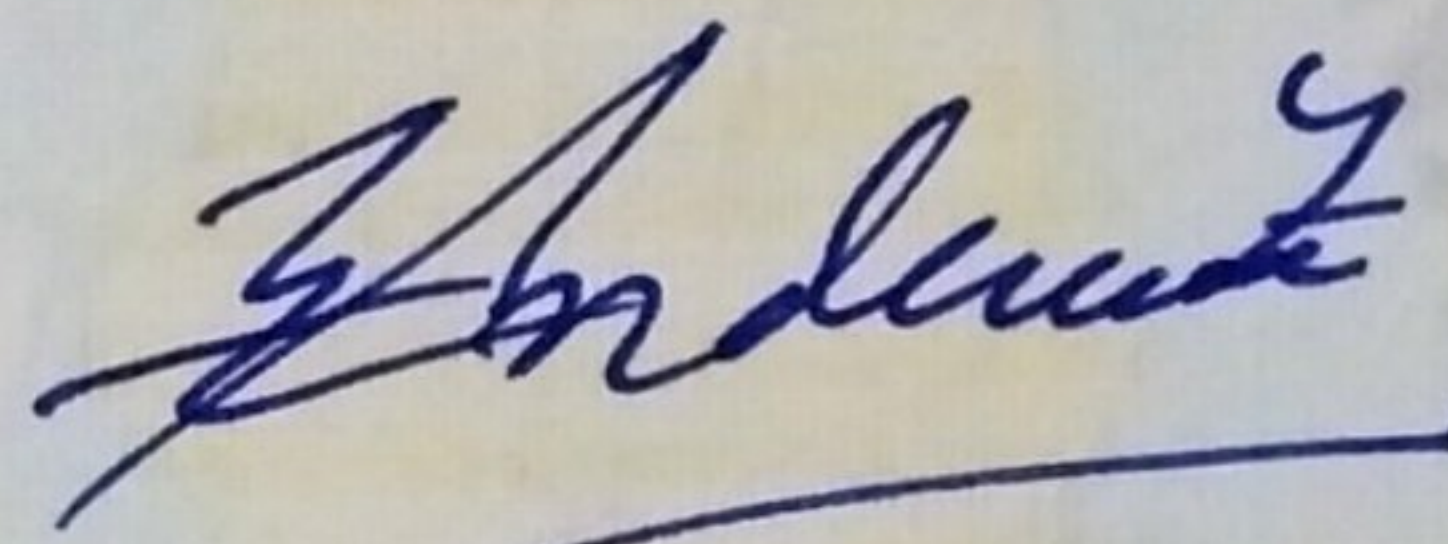
Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



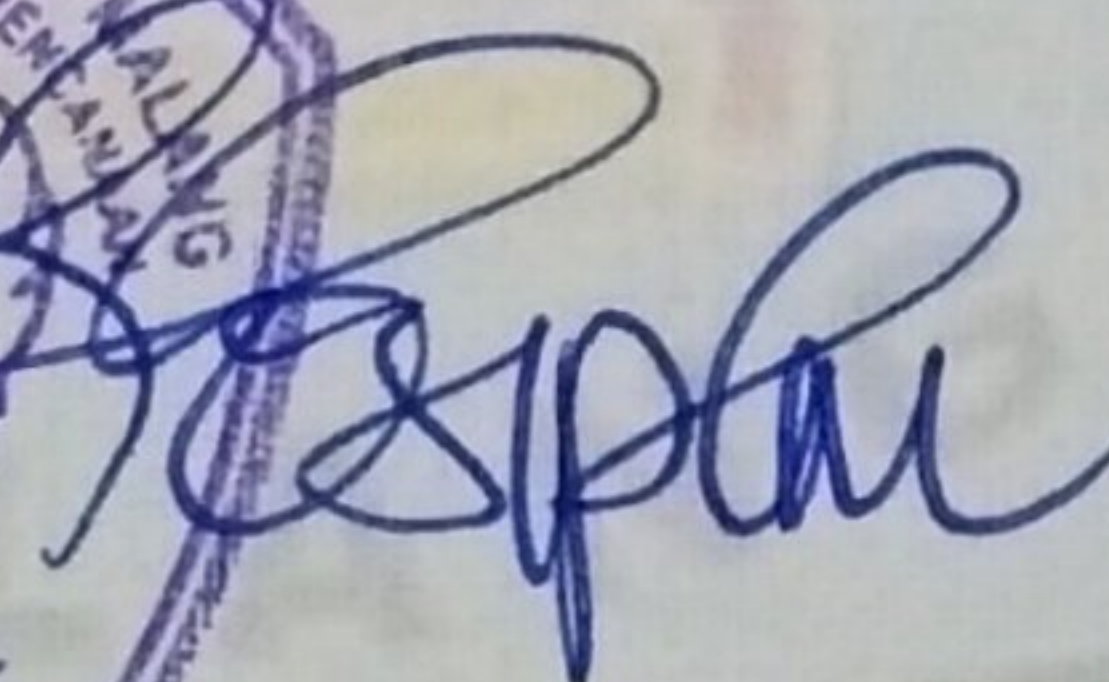
Ir. Eding Iskak Imananto, MT.
NIP. 196605061993031004



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

**KAJIAN STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN PENAMBAHAN
ABU DAUN BAMBU DAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* SEBAGAI
UPAYA PENINGKATAN KARAKTERISTIK TANAH**

Tugas Akhir Ini Telah Dipertahankan Di Depan Dosen Penguji Tugas Akhir
Jenjang Strata (S-1) Pada Tanggal 6 Februari 2026 dan Diterima Untuk
Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1

Disusun Oleh:

WILONA DEVA KAULIKA PUTRI SYAHRANIE

20.21.010

Dosen Penguji:

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Ir. Ester Priskasari, MT.

NIP. Y. 1039400265

Hadi Surya Wibawanto Sunarwadi

NIP. Y. 1018300054

Disahkan Oleh:

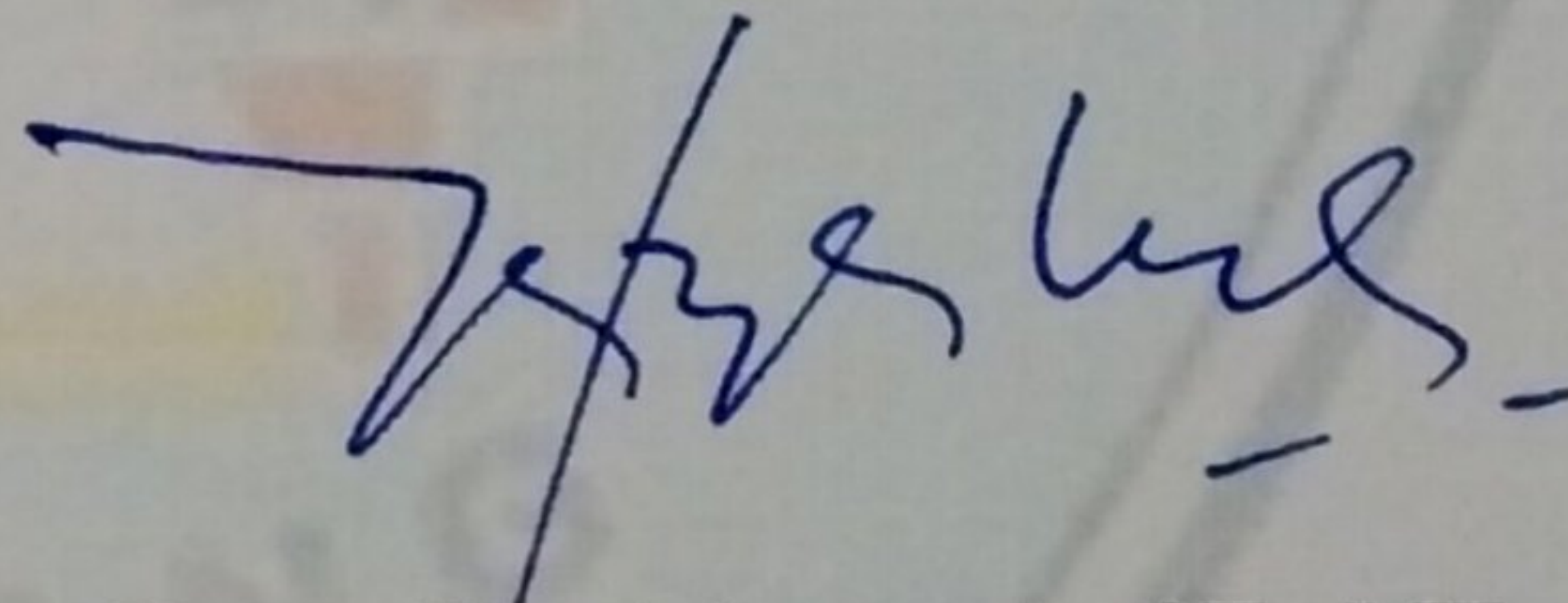
Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1

Sekretaris Program Studi Teknik Sipil S-1



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

NIP. P. 1030300383



Nenny Roostrianawaty, ST., MT.

NIP. P. 1031700533

LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR

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

Nama : Wilona Deva Kaulika Putri Syahranie

Nim : 2021010

Program Studi : Teknik Sipil S-1

Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir saya dengan judul:

**KAJIAN STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN PENAMBAHAN
ABU DAUN BAMBU DAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* SEBAGAI
UPAYA PENINGKATAN KARAKTERISTIK 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, 20 Februari 2026

Penulis Surat Pernyataan



Wilona Deva K.P.S.

Nim. 20.21.010

ABSTRAK

Kajian Stabilisasi Tanah Lempung dengan Penambahan Abu Daun Bambu dan Bakteri *Bacillus subtilis* Sebagai Upaya Peningkatan Karakteristik Tanah

Oleh : Wilona Deva K.P.S. (20.21.010). 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 memiliki karakteristik plastisitas tinggi, daya dukung rendah, serta sifat kembang-susut yang dipengaruhi oleh perubahan kadar air, sehingga sering menimbulkan permasalahan pada konstruksi sipil. Upaya stabilisasi tanah umumnya menggunakan bahan kimia konvensional yang berdampak kurang ramah lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji alternatif stabilisasi tanah lempung berbasis material alami dan biologis melalui kombinasi abu daun bambu dan bakteri *Bacillus subtilis* dengan metode *Microbially Induced Calcite Precipitation* (MICP) sebagai upaya peningkatan karakteristik fisik dan mekanik tanah.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan variasi penambahan abu daun bambu sebesar 0%, 6%, dan 9% dari berat tanah kering, serta penambahan bakteri *Bacillus subtilis* sebesar 6%. Seluruh sampel dilakukan pemeraman selama 3, 7, 14, dan 28 hari. Pengujian sifat fisik meliputi kadar air, berat jenis, batas cair (LL), batas plastis (PL), dan indeks plastisitas (PI). Sementara itu, sifat mekanik tanah dianalisis melalui uji *Direct Shear*, *Triaxial Compression* (UU), dan *Unconfined Compressive Strength* (UCS). Data hasil pengujian dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh variasi campuran dan waktu pemeraman terhadap perubahan karakteristik tanah lempung.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi abu daun bambu dan bakteri *Bacillus subtilis* mampu menurunkan nilai indeks plastisitas serta meningkatkan parameter kuat geser tanah lempung secara signifikan. Peningkatan karakteristik tanah paling optimal diperoleh pada penambahan abu daun bambu sebesar 9% dengan masa pemeraman 14 hari, khususnya pada nilai tegangan geser dan kohesi. Temuan ini menunjukkan bahwa metode stabilisasi kombinasi kimia-biologis berbasis abu daun bambu dan *Bacillus subtilis* berpotensi menjadi alternatif perbaikan tanah lempung yang efektif, ramah lingkungan, dan aplikatif pada konstruksi di wilayah dengan permasalahan tanah lempung.

Kata Kunci: Tanah lempung, abu daun bambu, *Bacillus subtilis*, MICP, stabilisasi tanah

ABSTRACT

A Study on Clay Soil Stabilization with the Addition of Bamboo Leaf Ash and *Bacillus subtilis* Bacteria to Enhance Soil Characteristics

By: Wilona Deva K.P.S. (20.21.010). 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.

Clay soil is characterized by high plasticity, low bearing capacity, and significant swell–shrink behavior caused by changes in moisture content, which often leads to problems in civil engineering structures. Conventional soil stabilization methods generally rely on chemical additives that are less environmentally friendly. Therefore, this study investigates an alternative soil stabilization approach using a combination of bamboo leaf ash and *Bacillus subtilis* bacteria through the *Microbially Induced Calcite Precipitation* (MICP) method to improve the physical and mechanical properties of clay soil.

This experimental research was conducted in a laboratory with bamboo leaf ash contents of 0%, 6%, and 9% by dry soil weight, combined with a fixed *Bacillus subtilis* content of 6%. All samples were cured for 3, 7, 14, and 28 days. Physical properties were evaluated through water content, specific gravity, liquid limit (LL), plastic limit (PL), and plasticity index (PI) tests. Mechanical properties were analyzed using *Direct Shear*, Unconsolidated Undrained (UU) Triaxial Compression, and *Unconfined Compressive Strength* (UCS) tests. The test results were analyzed to determine the effects of mixture variations and curing periods on clay soil characteristics.

The results indicate that the combination of bamboo leaf ash and *Bacillus subtilis* significantly reduced the plasticity index and enhanced the shear strength parameters of the clay soil. The most optimal improvement was achieved with a bamboo leaf ash content of 9% and a curing period of 14 days, particularly in terms of shear stress and cohesion values. These findings demonstrate that the chemical–biological stabilization method using bamboo leaf ash and *Bacillus subtilis* has strong potential as an effective, environmentally friendly, and practical solution for improving problematic clay soils in construction applications.

Keywords : Clay soil, bamboo leaf ash, *Bacillus subtilis*, MICP, soil stabilization

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 “Kajian Stabilisasi Tanah Lempung dengan Penambahan Abu Daun Bambu dan Bakteri *Bacillus subtilis* Sebagai Upaya Peningkatan Karakteristik 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. Ibu Ir. Munasih, MT selaku dosen wali penulis.
4. Bapak Vega Aditama 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, 30 Januari 2026

Penulis

Wilona Deva Kaulika Putri Syahranie

2021010

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	4
1.3 Rumusan Masalah.....	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Landasan Teori.....	15
2.2.1 Tanah.....	15
2.3 Sifat Fisik dan Mekanik Tanah	17
2.3.1 Klasifikasi Tanah.....	17
2.3.2 Kuat Geser Tanah	19
2.4 Abu Daun Bambu	22
2.5 <i>Microbially Induce Calcite Precipitation</i> (MICP).....	23
2.5.1 Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	24
2.6 Pengujian Laboratorium	27
2.6.1 Kadar Air	27
2.6.2 Berat Jenis Tanah.....	28
2.6.3 Batas Cair (<i>Liquid Limit</i>).....	29
2.6.4 Batas Platis (<i>Plastic Limit</i>)	30

2.6.5	Analisa Butiran Tanah (Hidrometer)	31
2.6.6	<i>Unconfined Compressive Strength</i>	32
2.6.7	<i>Direct Shear Test</i>	33
2.6.8	<i>Triaxial Compression Test</i>	35
2.6.9	Pemadatan Standar (<i>Standard Proctor Test</i>)	35
2.7	Proses Pencampuran.....	36
2.8	Uji Hipotesis Penelitian.....	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		42
3.1	Tujuan Penelitian Secara Operasional	42
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	42
3.2.1	Lokasi Penelitian	42
3.2.2	Waktu Penelitian	42
3.3	Metode Penelitian	43
3.4	Populasi dan Sampel	44
3.5	Alat dan Bahan.....	44
3.6	Perlakuan Benda Uji	46
3.7	Metode Pengumpulan Data.....	47
3.7.1	Pengujian Fisik Tanah	47
3.7.2	Abu Daun Bambu.....	55
3.8	Pembuatan Larutan Sementasi	56
3.8.1	Larutan Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)	56
3.8.2	Kalsium Klorida (CaCl_2)	56
3.8.3	Larutan Bakteri.....	56
3.8.4	Pencampuran dan Pembuatan Sampel Tanah.....	57
3.9	Metode Uji – F (<i>Two-Way ANOVA</i>)	58
3.10	Bagan Alir Penelitian	61
3.11	Time Schedule Penelitian.....	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		64
4.1	Penelitian Pendahuluan.....	64
4.1.1	Pengujian Sifat Fisik Tanah	64
4.1.2	Pengujian Sifat Mekanik Tanah	70
4.2	Uji Standart Proctor	83
4.2.1	Pencampuran dengan Variasi Rencana	84
4.2.2	Masa Pemeraman dengan Variasi Waktu Rencana.....	84

4.3	Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 3 Hari	85
4.3.1	Variasi Campuran 0%	85
4.3.2	Variasi Campuran 6%	89
4.3.3	Variasi Campuran 9%	93
4.3.4	Grafik Pengaruh 3 Hari	97
4.4	Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 7 Hari	99
4.4.1	Variasi Campuran 0%	99
4.4.2	Variasi Campuran 6%	103
4.4.3	Variasi Campuran 9%	107
4.4.4	Grafik Pengaruh 7 Hari	112
4.5	Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 14 Hari	113
4.5.1	Variasi Campuran 0%	113
4.5.2	Variasi Campuran 6%	117
4.5.3	Variasi Campuran 9%	121
4.5.4	Grafik Pengaruh 14 Hari	126
4.6	Pengujian Fisik dan Mekanik Pada Masa Pemeraman 28 Hari	127
4.6.1	Variasi Campuran 0%	127
4.6.2	Variasi Campuran 6%	131
4.6.3	Variasi Campuran 9%	135
4.6.4	Grafik Pengaruh 28 Hari	140
4.7	Grafik Pengaruh Hasil Pengujian Laboratorium	141
4.8	Hipotesis Penelitian (<i>Two-Way ANOVA</i>)	144
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		150
5.1	Kesimpulan	150
5.2	Saran	151
DAFTAR PUSTAKA		xix
LAMPIRAN		xx
Lampiran 1. Pengambilan Tanah Lempung		xxi
Lampiran 2. Pengayakan Abu Daun Bambu		xxi
Lampiran 3. Pengovenan Tanah		xxii
Lampiran 4. Pembakaran Daun Bambu Kering		xxii
Lampiran 5. Pencampuran Tanah dan Abu		xxii
Lampiran 6. Pencampuran Tanah, Abu, dan Larutan Bakteri		xxiii
Lampiran 7. Pemasakan Tanah		xxiii

Lampiran 8. Pengujian LL PL.....	xxix
Lampiran 9. Pengujian <i>Moisture Content</i>	xxix
Lampiran 10. Pengujian <i>Triaxial</i>	159
Lampiran 10. Pengujian <i>UCS</i>	160
Lampiran 11. Pengujian <i>UCS Remolded</i>	160

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	11
Tabel 2.2 Sistem klasifikasi tanah USCS	18
Tabel 2.3 Hubungan nilai index plastisitas dengan jenis tanah	19
Tabel 2.4 unsur kandungan abu daun bambu	23
Tabel 2.5 Korelasi berat jenis tanah dengan macam jenis tanah	29
Tabel 2.6 Distribusi nilai F dengan signifikansi $\alpha = 0,05$	42
Tabel 3.1 Presentase campuran untuk larutan sementasi.	59
Tabel 3.2 Komponen variabel	60
Tabel 3.3 Rata-rata variabel dependen	61
Tabel 3.4 Time Schedule Penelitian	65
Tabel 4.1 Data Uji Kadar Air Tanah Asli	67
Tabel 4.2 Data Uji berat jenis tanah halus	68
Tabel 4.3 Data Pengujian Distribusi dengan Analisa Hidrometer	69
Tabel 4.4 Pengujian Gradasi dengan Analisa Hidrometer	69
Tabel 4.5 Data Uji Batas Cair Tanah	71
Tabel 4.6 Data Uji Batas Plastis Tanah	72
Tabel 4.7 Pembacaan uji <i>Direct Shear</i>	73
Tabel 4.8 Pembacaan Uji <i>Triaxial Compression</i>	78
Tabel 4.9 Pembacaan Uji Unconfined Compressive Strength	82
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Proctor Standar	85
Tabel 4.11 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	89
Tabel 4.12 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	90
Tabel 4.13 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	94
Tabel 4.14 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	95
Tabel 4.15 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	99
Tabel 4.16 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	100
Tabel 4.17 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	105
Tabel 4.18 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	106
Tabel 4.19 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	110
Tabel 4.20 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	111
Tabel 4.21 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	114
Tabel 4.22 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	114

Tabel 4.23 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	120
Tabel 4.24 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	121
Tabel 4.25 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	125
Tabel 4.26 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	126
Tabel 4.27 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	129
Tabel 4.28 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	130
Tabel 4.29 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	135
Tabel 4.30 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	136
Tabel 4.31 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	139
Tabel 4.32 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	140
Tabel 4.33 Hasil Pengujian <i>Direct Shear</i>	144
Tabel 4.34 Hasil Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	145
Tabel 4.35 Komponen Variabel Uji Two-Way ANOVA	149
Tabel 4.36 Data hasil pengujian Triaxial UU	150

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Garis keruntuhan dan hukum keruntuhan dari Mohr-Coulmb	21
Gambar 2.2	Bakteri bacillus subtilis	25
Gambar 2.3	Grafik Hubungan antara Index Plastis dengan batas	31
Gambar 2.4	Grafik tegangan-regangan kuat tekan tanah bebas	33
Gambar 2.5	Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Tegangan Normal	34
Gambar 2.6	Bagan Proses Pencampuran Abu Daun Bambu dan Bakteri Bacillus Subtilis Pada Tanah Lempung	37
Gambar 3.1	Tanah lempung	47
Gambar 3.2	Daun bambu yang akan dijadikan abu	48
Gambar 3.3	Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	48
Gambar 3.4	Oven dengan kalibrasi suhu 200oC	49
Gambar 3.5	Spatula	50
Gambar 3.6	((Hidrometer)) Jar	51
Gambar 3.7	Piknometer	52
Gambar 3.8	Casagrande dan Grooving Tools	53
Gambar 3.9	Timbangan Digital	54
Gambar 3.10	Jangka Sorong	54
Gambar 3.11	Alat <i>Direct Shear</i>	55
Gambar 3.12	Alat <i>Triaxial Compression</i>	56
Gambar 3.13	Alat <i>Unconfined Compressive Strength</i>	57
Gambar 3.14	Diagram Alir Penelitian	64
Gambar 4.1	Pengujian Kadar Air Tanah Asli	66
Gambar 4.2	Pengujian Berat Jenis Tanah Halus	67
Gambar 4.3	Pengujian Analisa ((Hidrometer))	69
Gambar 4.4	Grafik Analisa Ukuran Butiran ((Hidrometer))	70
Gambar 4.5	Klasifikasi Tanah dengan USDA	70
Gambar 4.6	Pengujian Batas Cair Tanah	71
Gambar 4.7	Pengujian Batas Plastis Tanah	72
Gambar 4.8	Grafik Hubungan Nilai LL dan PI	72
Gambar 4.9	Pengujian <i>Direct Shear</i>	73
Gambar 4.10	Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	74
Gambar 4.11	Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	77
Gambar 4.12	Pengujian <i>Triaxial Compression</i>	77
Gambar 4.13	Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	81

Gambar 4.14 Pengujian <i>Unconfined Compressive Strength</i>	82
Gambar 4.15 Grafik Nilai q_u Uji UCS	83
Gambar 4.16 Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> , $CaCl_2$, Urea	84
Gambar 4.17 Larutan sementasi	85
Gambar 4.18 Grafik hubungan berat isi kering dan kadar air optimum	86
Gambar 4.19 Masa pemeraman sampel setelah perlakuan bakteri	87
Gambar 4.20 Grafik uji ukuran butiran ((Hidrometer))	87
Gambar 4.21 Klasifikasi Tanah dengan USDA	88
Gambar 4.22 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	88
Gambar 4.23 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	89
Gambar 4.24 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	89
Gambar 4.25 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	90
Gambar 4.26 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	91
Gambar 4.27 Grafik nilai q_u uji UCS	91
Gambar 4.28 Grafik uji ukuran butiran ((Hidrometer))	92
Gambar 4.29 Klasifikasi Tanah dengan USDA	93
Gambar 4.30 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	93
Gambar 4.31 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	94
Gambar 4.32 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	94
Gambar 4.33 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	95
Gambar 4.34 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	96
Gambar 4.35 Grafik nilai q_u uji UCS	96
Gambar 4.36 Grafik uji ukuran butiran ((Hidrometer))	97
Gambar 4.37 Klasifikasi Tanah dengan USDA	98
Gambar 4.38 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	98
Gambar 4.39 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	99
Gambar 4.40 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	99
Gambar 4.41 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	100
Gambar 4.42 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	101
Gambar 4.43 Grafik Nilai q_u Uji UCS	101
Gambar 4.44 Grafik Pengaruh Pada Uji LL – PL	102
Gambar 4.45 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Direct Shear</i>	102
Gambar 4.46 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Triaxial Compression</i>	102
Gambar 4.47 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Unconfined Compressive Strength</i>	103
Gambar 4.48 Grafik uji ukuran butiran ((Hidrometer))	103
Gambar 4.49 Klasifikasi Tanah dengan USDA	104

Gambar 4.50 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	104
Gambar 4.51 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	105
Gambar 4.52 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	105
Gambar 4.53 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	106
Gambar 4.54 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	106
Gambar 4.55 Grafik Nilai q_u Uji UCS	107
Gambar 4.56 Grafik uji ukuran butiran ((Hidrometer))	108
Gambar 4.57 Klasifikasi Tanah dengan USDA	108
Gambar 4.58 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	109
Gambar 4.59 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	109
Gambar 4.60 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	110
Gambar 4.61 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	110
Gambar 4.62 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	111
Gambar 4.43 Grafik Nilai q_u Uji UCS	111
Gambar 4.44 Grafik uji ukuran butiran ((Hidrometer))	112
Gambar 4.45 Klasifikasi Tanah dengan USDA	113
Gambar 4.46 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	113
Gambar 4.47 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	114
Gambar 4.48 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	114
Gambar 4.49 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	115
Gambar 4.50 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	116
Gambar 4.51 Grafik Nilai q_u Uji UCS	116
Gambar 4.52 Grafik Pengaruh Pada Uji LL – PL	117
Gambar 4.53 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Direct Shear</i>	117
Gambar 4.54 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Triaxial Compression</i>	117
Gambar 4.55 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Unconfined Compressive Strength</i>	118
Gambar 4.56 Grafik uji ukuran butiran ((Hidrometer))	118
Gambar 4.57 Klasifikasi Tanah dengan USDA	119
Gambar 4.58 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	119
Gambar 4.59 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	120
Gambar 4.60 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	120
Gambar 4.61 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	121
Gambar 4.62 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	121
Gambar 4.63 Grafik Nilai q_u Uji UCS	122
Gambar 4.64 Grafik uji ukuran butiran ((Hidrometer))	123
Gambar 4.65 Klasifikasi Tanah dengan USDA	123

Gambar 4.66 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	124
Gambar 4.67 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	124
Gambar 4.68 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	125
Gambar 4.69 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	125
Gambar 4.70 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	126
Gambar 4.71 Grafik Nilai q_u Uji UCS	126
Gambar 4.72 Grafik uji ukuran butiran ((Hidrometer))	127
Gambar 4.73 Klasifikasi Tanah dengan USDA	128
Gambar 4.74 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	128
Gambar 4.75 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	129
Gambar 4.76 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	129
Gambar 4.77 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	130
Gambar 4.78 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	131
Gambar 4.79 Grafik Nilai q_u Uji UCS	131
Gambar 4.80 Grafik Pengaruh Pada Uji LL – PL	132
Gambar 4.81 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Direct Shear</i>	132
Gambar 4.82 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Triaxial Compression</i>	132
Gambar 4.83 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Unconfined Compressive Strength</i>	132
Gambar 4.84 Grafik uji ukuran butiran ((Hidrometer))	133
Gambar 4.85 Klasifikasi Tanah dengan USDA	134
Gambar 4.86 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	134
Gambar 4.87 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	135
Gambar 4.88 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	135
Gambar 4.89 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	136
Gambar 4.90 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	136
Gambar 4.91 Grafik Nilai q_u Uji UCS	137
Gambar 4.92 Grafik uji ukuran butiran ((Hidrometer))	137
Gambar 4.93 Klasifikasi Tanah dengan USDA	138
Gambar 4.94 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	138
Gambar 4.95 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	139
Gambar 4.96 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	139
Gambar 4.97 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	140
Gambar 4.98 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	140
Gambar 4.98 Grafik Nilai q_u Uji UCS	141
Gambar 4.99 Grafik uji ukuran butiran ((Hidrometer))	142
Gambar 4.100 Klasifikasi Tanah dengan USDA	142

Gambar 4.101 Hasil Pengujian Batas Cair Tanah	143
Gambar 4.102 Grafik Hubungan Nilai PI dan LL	143
Gambar 4.103 Hubungan Tegangan Normal dan Deformasi Horizontal	144
Gambar 4.104 Grafik Kohesi dan Sudut Geser Dalam	144
Gambar 4.105 Grafik Lingkaran Mohr dengan Triaxial UU	145
Gambar 4.106 Grafik Nilai q_u Uji UCS	145
Gambar 4.107 Grafik Pengaruh Pada Uji LL – PL	146
Gambar 4.108 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Direct Shear</i>	146
Gambar 4.109 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Triaxial Compression</i>	146
Gambar 4.110 Grafik Pengaruh Pada Uji <i>Unconfined Compressive Strength</i>	146
Gambar 4.111 Grafik Pengaruh Pada Nilai PI	146
Gambar 4.112 Grafik Pengaruh pada Tegangan Geser <i>Direct Shear</i>	147
Gambar 4.113 Grafik Pengaruh Kohesi Undrained Triaxial UU	147
Gambar 4.114 Grafik Pengaruh Kuat Geser Tanah UCS	148
Gambar 4.115 Hasil Two-Way ANOVA Pada Kohesi Undrained Triaxial UU .	153
Gambar 4.116 Hasil Two-Way ANOVA Pada Tegangan Geser <i>Direct Shear</i> ...	153
Gambar 4.117 Hasil Two-Way ANOVA Pada Kuat Geser tanah UCS	153