

25 Juni 2026 Going Koordinator T__sc_mqv471xr_fabf

By Turnitin LLC

TUGAS AKHIR

19

**STUDI EKSPERIMENTAL PERBAIKAN SIFAT FISIS DAN
MEKANIS TANAH LEMPUNG LUNAK MENGGUNAKAN
SERBUK CANGKANG BEKICOT DAN BAKTERI
*BACILLUS SUBTILIS***

**(Lokasi Studi : Desa Ploso Kecamatan Wonoayu Kabupaten
Sidoarjo)**



Disusun Oleh :

DIVIA RAHMA PUTRI

1432200113

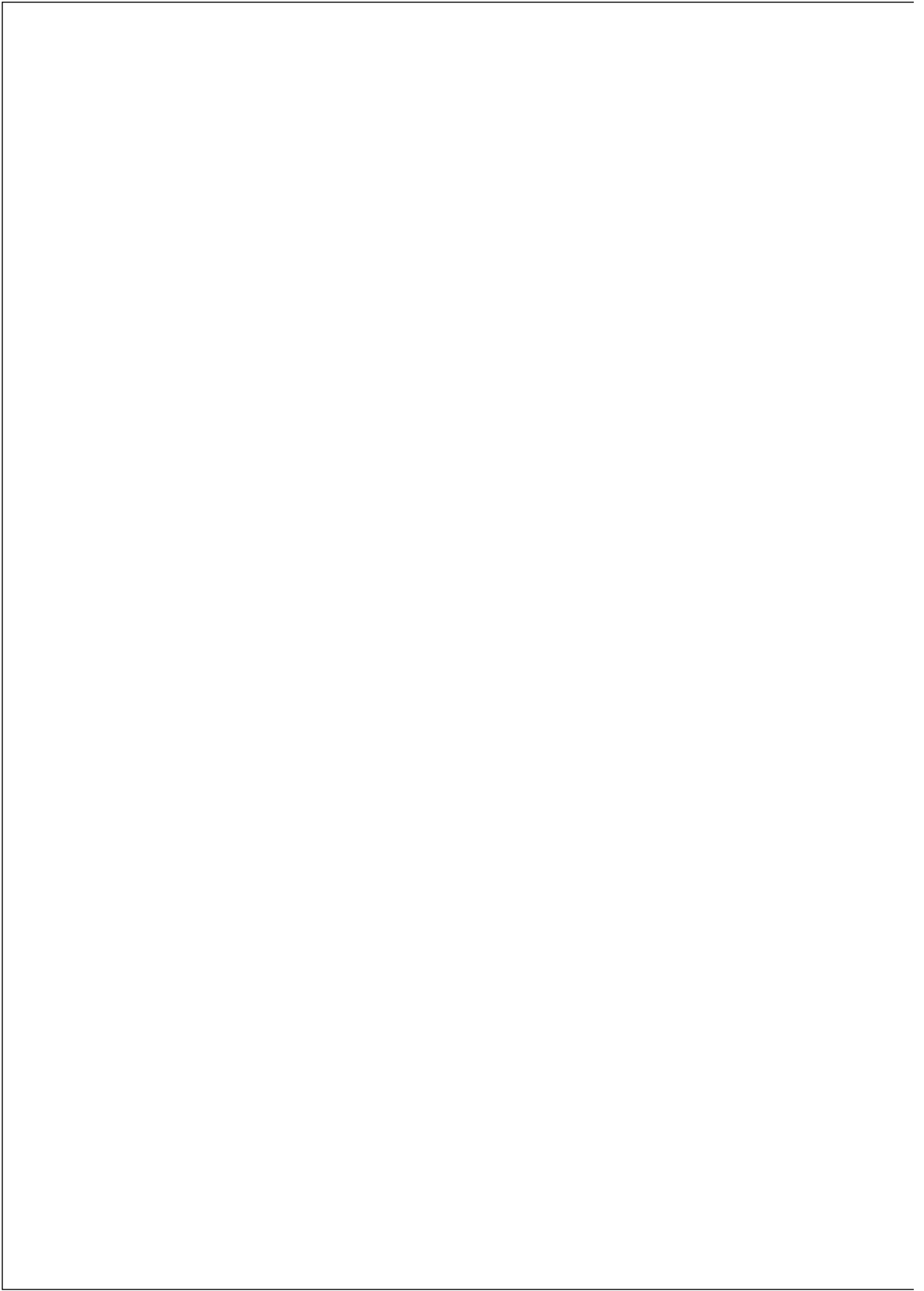
3

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

2026



TUGAS AKHIR

19

**STUDI EKSPERIMENTAL PERBAIKAN SIFAT FISIS DAN
MEKANIS TANAH LEMPUNG LUNAK MENGGUNAKAN
SERBUK CANGKANG BEKICOT DAN BAKTERI
*BACILLUS SUBTILIS***

**(Lokasi Studi : Desa Ploso Kecamatan Wonoayu Kabupaten
Sidoarjo)**

3

Disusun sebagai Syarat Meraih Gelar Sarjana Teknik (S.T.)
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya



Disusun Oleh:

DIVIA RAHMA PUTRI

1432200113

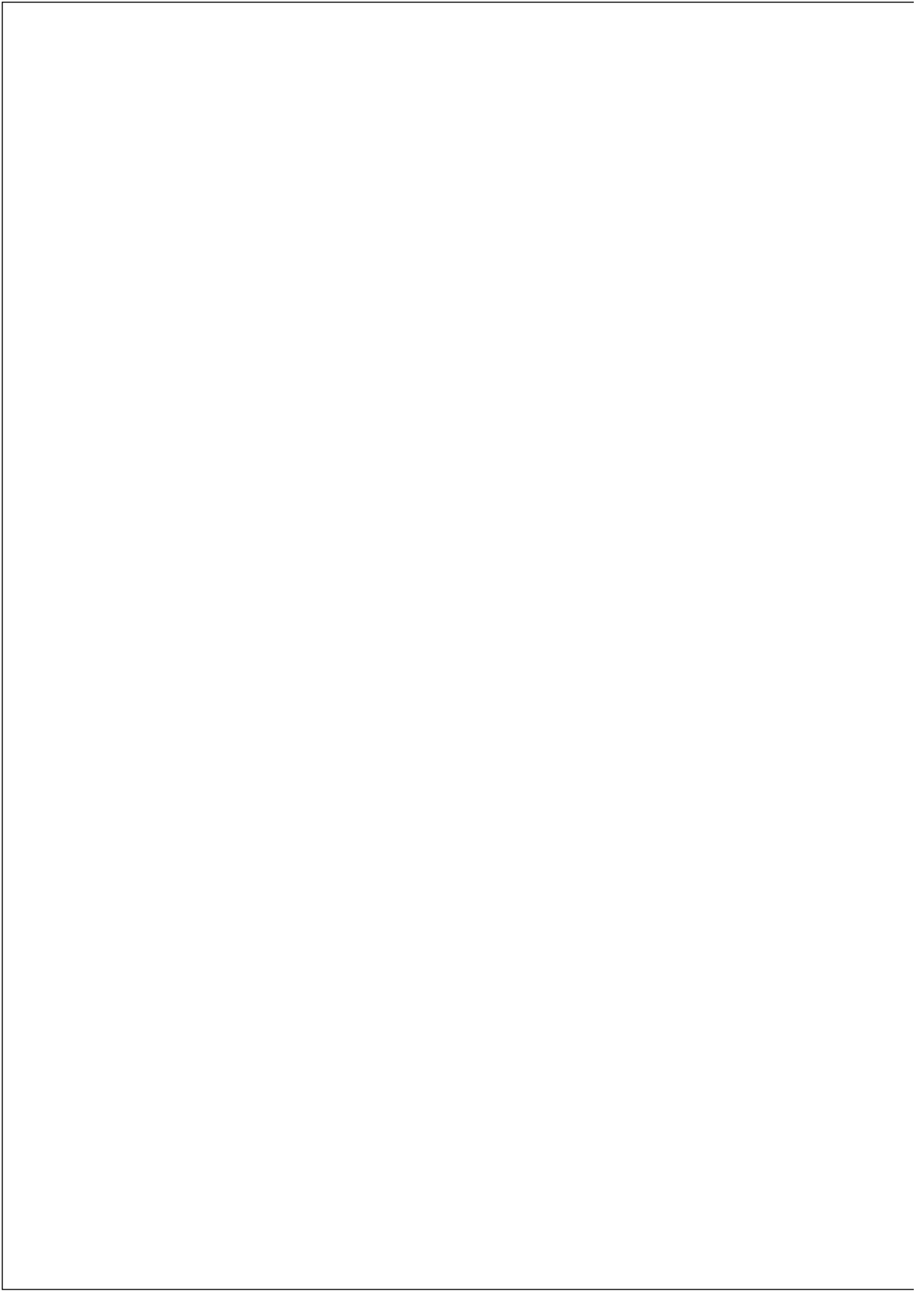
3

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

2026



FINAL PROJECT

19

**EXPERIMENTAL STUDY ON IMPROVING PHYSICAL AND
MECHANICAL PROPERTIES OF SOFT CLAY SOIL USING
SNAIL SHELL POWDER AND BACILLUS SUBTILIS
BACTERIA**

**(Study Location: Ploso Village, Wonoayu District, Sidoarjo
Regency)**

3

Prepared as a Requirement to Obtain a Bachelor of Engineering Degree (S.T.)
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya



by:

DIVIA RAHMA PUTRI

1432200113

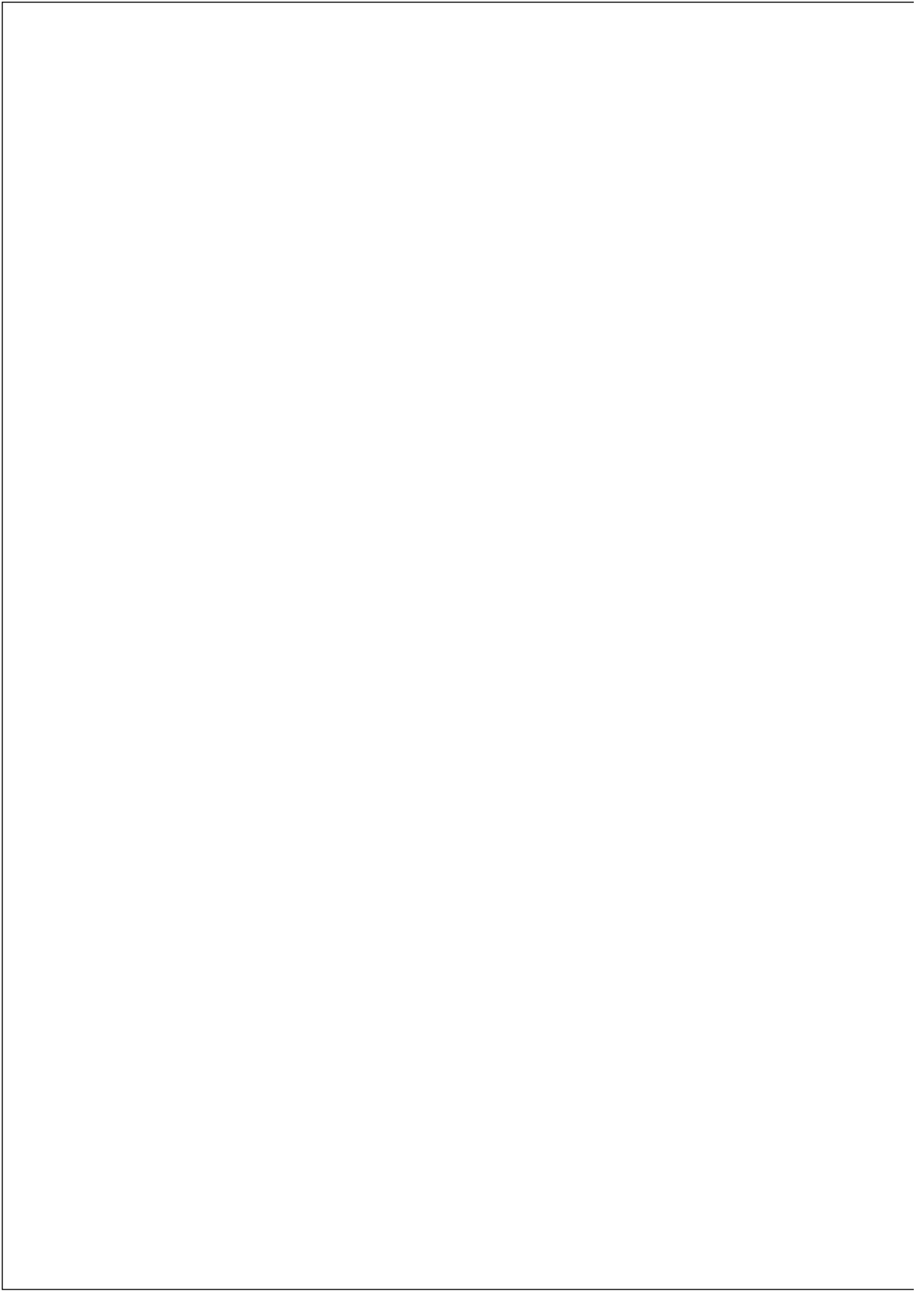
CIVIL ENGINEERING PROGRAM

3

FACULTY OF ENGINEERING

UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

2026



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
TAHUN AKADEMIK GENAP 2026/2027

Nama : Divia Rahma Putri
NBI : 1432200113
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Judul : STUDI EKSPERIMENTAL PERBAIKAN SIFAT
FISIS DAN MEKANIS TANAH LEMPUNG LUNAK
MENGUNAKAN SERBUK CANGKANG
BEKICOT DAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*
(Lokasi Studi : Desa Ploso Kecamatan Wonoayu
Kabupaten Sidoarjo)

Surabaya, 23 Juni 2026

Disetujui Oleh,

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

⁹
Ir. Laily Endah Fatmawati, S.T., M.T.
NPP.20430.17.0762

³
Dr. Andi Patriadi, S.T., M.T.
NPP. 20430.17.0751

Mengetahui

Dekan

Fakultas Teknik

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

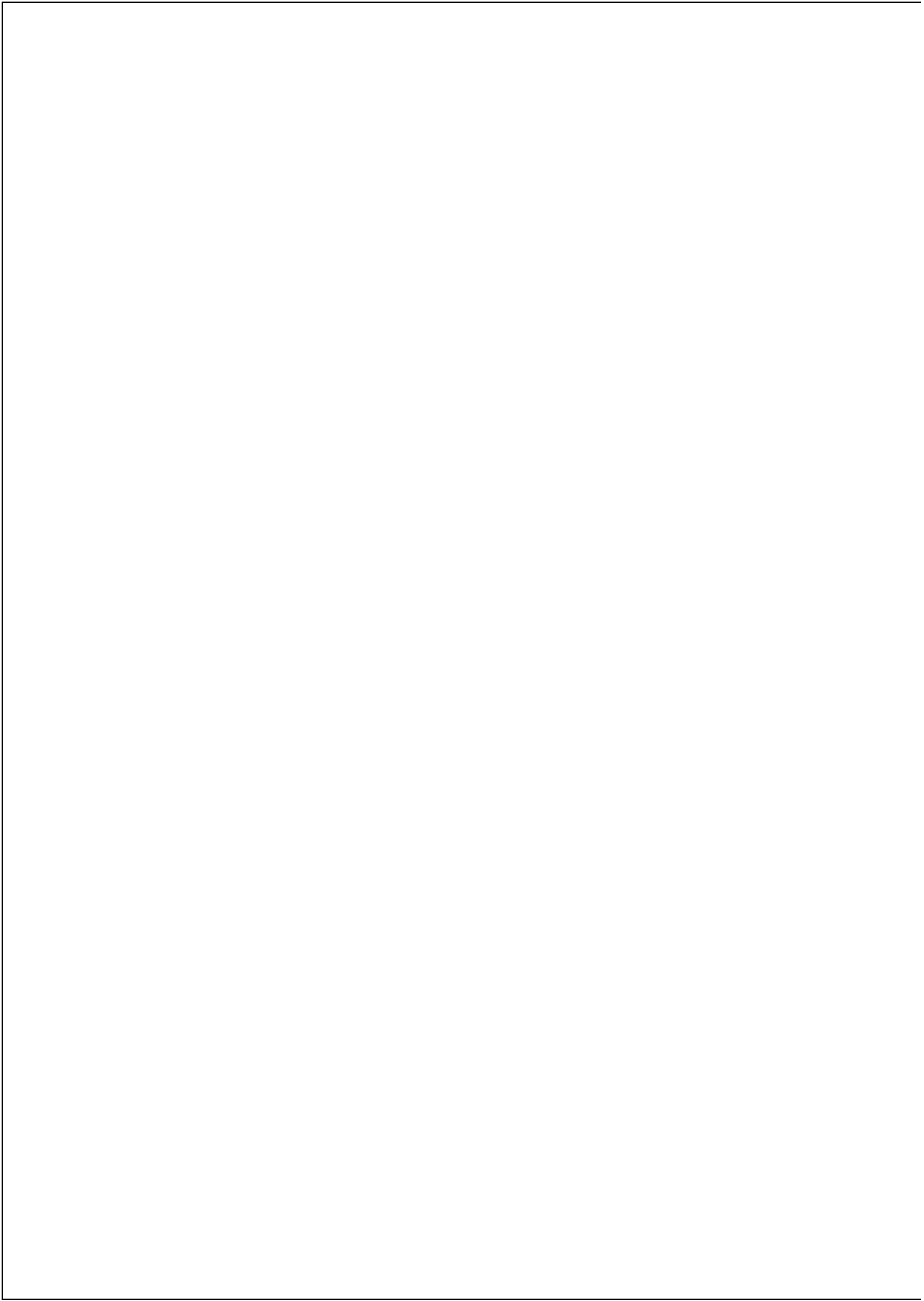
Ketua

Program Studi Teknik Sipil

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

¹⁰⁷
Dr. Ir. Ar. R. A. Retno Hastijanti, M.T.,
IPU., IAL., APEC Eng
NPP. 20440.91.0218

Ir. Michella Beatrix, S.T., M.T.
NPP. 2043F.15.0660



SURAT PERNYATAAN

KEASLIAN DAN KESETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Divia Rahma Putri
NBI : 1432200113
Alamat : Dsn. Suko Mrambil Ds. Bedali Kec. Ngancar Kab. Kediri
Telepon/HP : 085749948807

³ Menyatakan bahwa “**TUGAS AKHIR**” yang telah saya buat untuk memenuhi persyaratan kelulusan Strata (S1) Teknik Sipil– Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya dengan judul:

**“STUDI EKSPERIMENTAL PERBAIKAN SIFAT FISIS DAN MEKANIS
TANAH LEMPUNG LUNAK MENGGUNAKAN SERBUK CANGKANG
BEKICOT DAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS***

(Lokasi Studi : Desa Ploso Kecamatan Wonoayu Kabupaten Sidoarjo)”

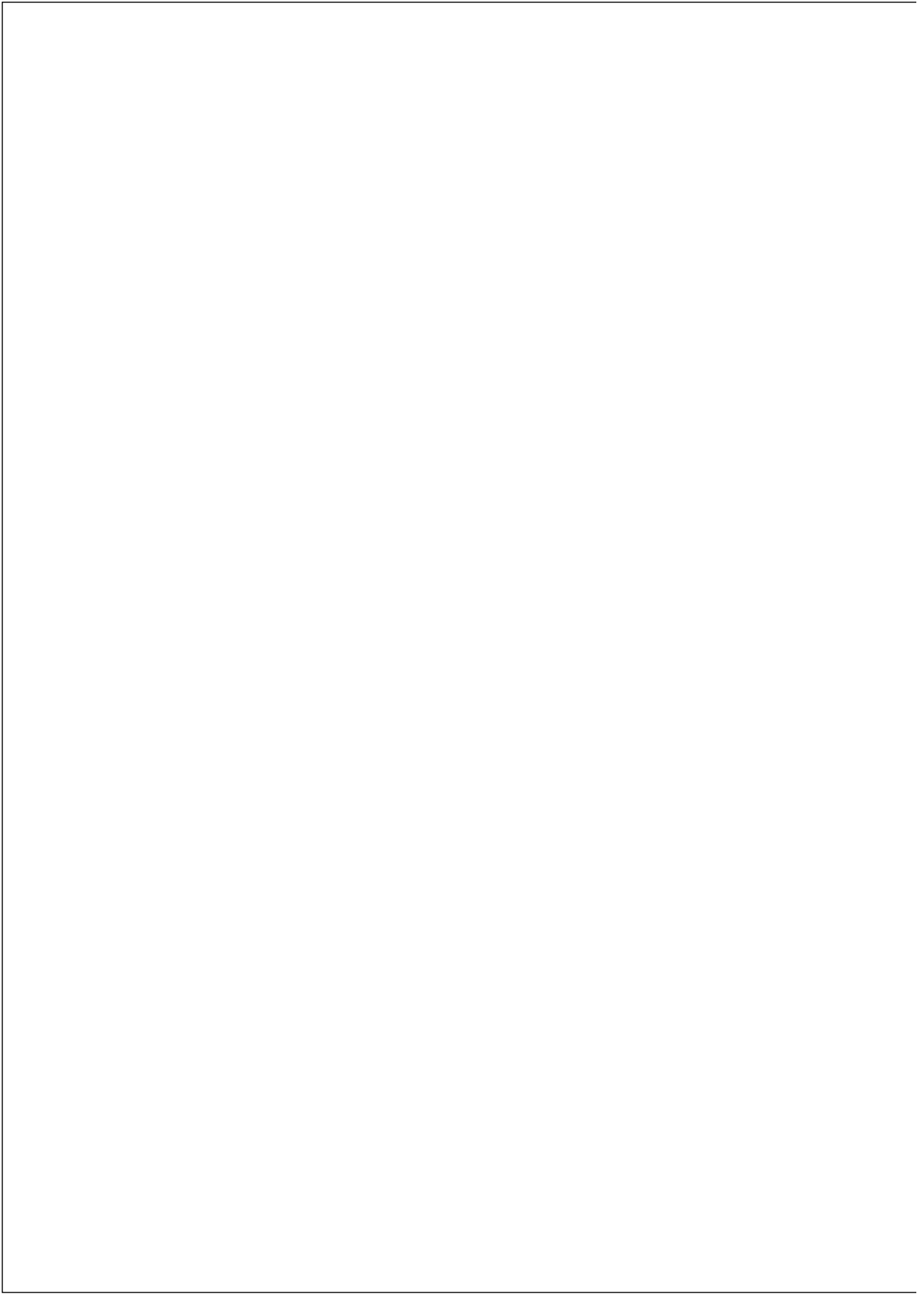
³ Adalah karya saya sendiri, dan bukan duplikasi dari karya orang lain. Selanjutnya apabila di kemudian hari terdapat klaim dari pihak lain bukan tanggung jawab pembimbing dan atau pengelola program, tetapi menjadi tanggung jawab saya sendiri.

Atas hal tersebut saya bersedia menerima sanksi, sesuai dengan hukum atau aturan yang berlaku di Indonesia. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun.

Surabaya, 23 Juni 2026

Yang menyatakan,

Divia Rahma Putri
NBI. 1432200113





**UNIVERSITAS
17 AGUSTUS 1945
SURABAYA**

BADAN PERPUSTAKAAN

JL. SEMOLOWARU 45 SURABAYA

TELP. 031 593 1800 (Ext. 311)

Email : perpus@untag-sby.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai Civitas Akademik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Divia Rahma Putri
NBI : 31432200113
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Jenis Karya : Skripsi/Tesis/Disertasi/Laporan Penelitian/Praktek*

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Badan Perpustakaan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya **Hak Bebas Royalti Nonekslusif (Nonexclusive)** karya ilmiah saya yang berjudul:

**“STUDI EKSPERIMENTAL PERBAIKAN SIFAT FISIS DAN MEKANIS
TANAH LEMPUNG LUNAK MENGGUNAKAN SERBUK CANGKANG
BEKICOT DAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*
(Lokasi Studi : Desa Ploso Kecamatan Wonoayu Kabupaten Sidoarjo)”**

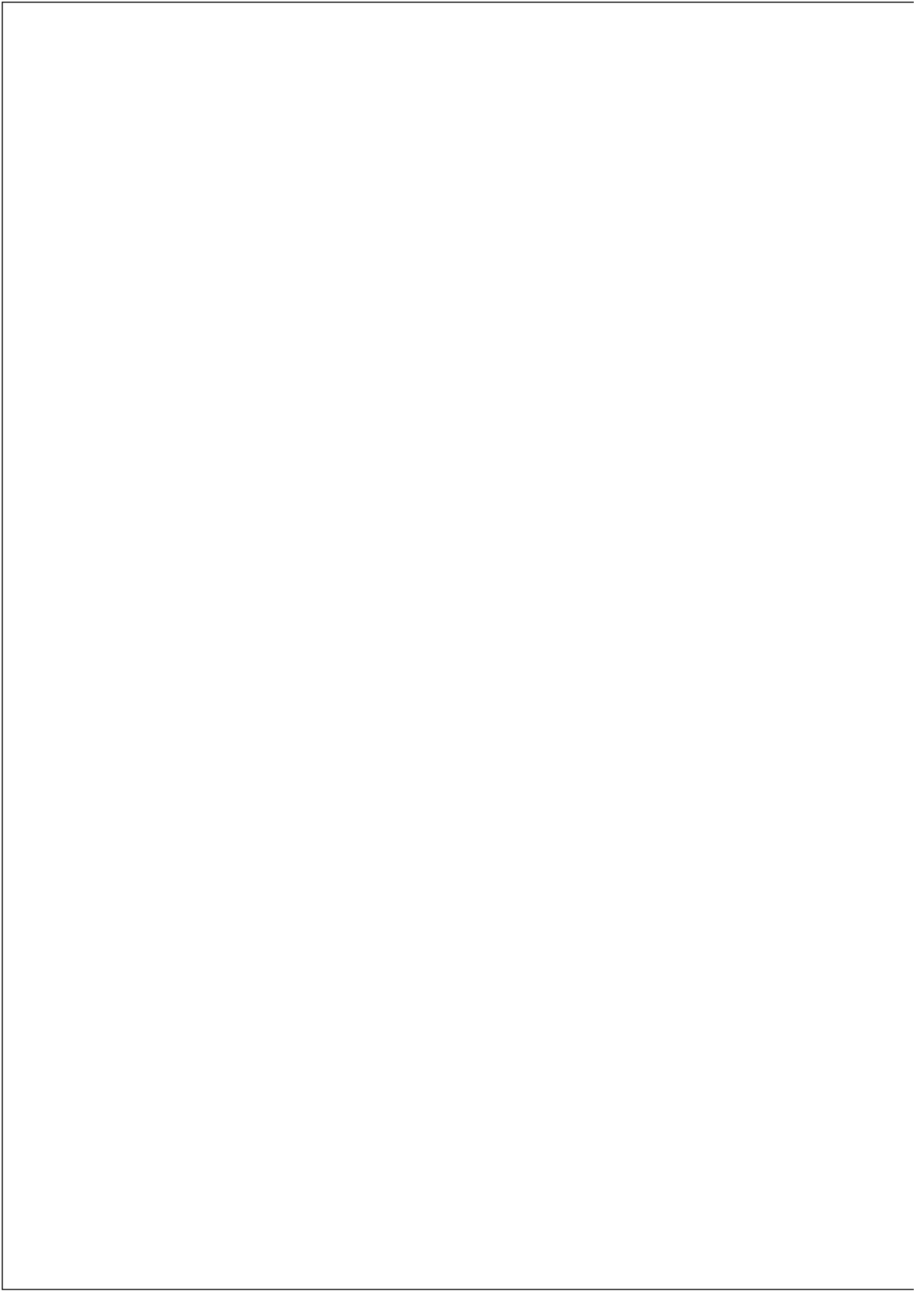
³ Dengan **Hak Bebas Royalti Nonekslusif (Nonexclusive Royalty-Free Right)**, Badan Perpustakaan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya berhak menyimpan mengalihkan media atau memformatkan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, mempublikasikan karya ilmiah saya selama tetap tercantum.

Dibuat : Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Pada Tanggal : 23 Juni 2026

Surabaya, 23 Juni 2026

Yang menyatakan,

Divia Rahma Putri
NBI. 1432200113



KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya yang senantiasa dilimpahkan. Shalawat dan salam peneliti haturkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga dan para sahabatnya. Berkat dukungan dan dorongan dari berbagai pihak, peneliti akhirnya dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini. Tugas akhir yang telah diselesaikan berjudul “Studi Eksperimental Perbaikan Sifat Fisis Dan Mekanis Tanah Lempung Lunak Menggunakan Serbuk Cangkang Bekicot Dan Bakteri *Bacillus subtilis* (Lokasi Studi : Desa Ploso Kecamatan Wonoayu Kabupaten Sidoarjo)”

Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, peneliti menghadapi berbagai hambatan. Namun, berkat dukungan, masukan, kritik, dan saran dari berbagai pihak, peneliti akhirnya dapat menyelesaikannya dengan baik. Sebagai ungkapan rasa terima kasih dan penghargaan, peneliti ingin menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Ir. Laily Endah Fatmawati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, serta motivasi selama penyusunan Tugas Akhir ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik. Terima kasih atas waktu, ilmu, dan dukungan yang telah diberikan kepada peneliti.
2. Bapak Dr. Andi Patriadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, dan motivasi selama penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas waktu, ilmu, dan dukungan yang telah diberikan sehingga peneliti dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan Tugas Akhir dengan baik.
3. Ibu Ir. Michella Beatrix, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, atas perhatian dan dukungannya.
4. Ibu Dr. Ir. Dika Ayu Safitri, S.T., M.T. PhD., dan Bapak Mochamad Firmansyah, S.T., M.T. selaku koordinator Tugas Akhir yang telah membantu, memberikan arahan, serta memfasilitasi pelaksanaan Tugas Akhir sehingga dapat berjalan dengan baik.
5. Seluruh Staf Tata Usaha Program Studi Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya yang telah membantu dan memberikan pelayanan administrasi serta dukungan selama proses perkuliahan hingga penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas bantuan dan kerja samanya.

6. ⁹ ² Laboratorium Mekanika Tanah Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya dan Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya yang telah memberikan fasilitas, bantuan teknis, arahan, serta dukungan selama pelaksanaan p¹¹⁹ujian dan penelitian ini, sehingga seluruh rangkaian kegiatan penelitian dapat berjalan dengan lancar ¹² data yang dibutuhkan dapat diperoleh dengan baik.
7. Kedua orang tua tercinta, Bapak Ahmad Saik Rifa'i dan Ibu Ia Rohana, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan, motivasi, serta pengorbanan ya²⁴ tiada henti selama peneliti menempuh pendidikan hingga menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Peneliti berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi yang bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Surabaya, 23 Juni 2026

Divia Rahma Putri
1432200113

**“STUDI EKSPERIMENTAL PERBAIKAN SIFAT FISIS
DAN MEKANIS TANAH LEMPUNG LUNAK
MENGUNAKAN SERBUK CANGKANG BEKICOT DAN
BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*
(Lokasi Studi : Desa Ploso Kecamatan Wonoayu Kabupaten
Sidoarjo)”**

Nama	: Divia Rahma Putri
157	: 1432200113
Program Studi	: Teknik Sipil
Dosen Pembimbing 1	: Ir. Laily Endah Fatmawati, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing 2	: Dr. Andi Patriadi, S.T., M.T.

ABSTRAK

Perkembangan pembangunan di Kabupaten Sidoarjo pasca bencana Lumpur Lapindo menyebabkan meningkatnya kebutuhan¹¹⁷ an pada wilayah pengembangan baru, termasuk Kecamatan Wonoayu. Namun, tanah di lokasi penelitian tergolong tanah lempung dengan plasti¹⁰s tinggi dan daya dukung rendah sehingga memerlukan perbaikan sebelum digunakan sebagai tanah dasar konstruksi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pen¹²ah penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap sifat fisis dan mekanis tanah lempung lunak di Desa Ploso Kecamatan Wonoayu Kabupaten Sidoarjo.

Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan¹⁰ riasi serbuk cangkang bekicot 5%, 10%, dan 15%, bakteri *Bacillus subtilis* 6%, serta waktu pemeraman 0, 7, dan 14 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* mampu memperbaiki sifat fisis dan mekanis tanah lempung. Variasi optimum diperoleh pada campuran serbuk cangkang bekicot 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 7 hari, yang menghasilkan kadar air sebesar 15,73%, *Specific Gravity* sebesar 2,639, *Liquid Limit* s¹¹esar 18,40%, *Plasticity Index* sebesar 5,68%, *Shrinkage Limit* sebesar 14,67%, berat isi kering maksimum (*γ_d max*) sebesar 1,536 gr/cm³, dan nilai *UCS* sebesar 0,53108 kg/cm². Berdasarkan has¹⁹ penelitian, menggunakan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* efektif dalam meningkatkan kualitas tanah lempung di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo.

Kata Kunci: *Bacillus subtilis*, biogrouting, serbuk cangkang bekicot, stabilisasi tanah, tanah lempung, UCS.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

19

EXPERIMENTAL STUDY ON IMPROVING PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SOFT CLAY SOIL USING SNAIL SHELL POWDER AND BACILLUS SUBTILIS BACTERIA

(Study Location: Ploso Village, Wonoayu District, Sidoarjo Regency)

Name of Student : Divia Rahma Putri

Number of Student : 1432200113

Study Program : Civil Engineering

Supervisor 1 : Ir. Laily Endah Fatmawati, S.T., M.T.

Supervisor 2 : Dr. Andi Patriadi, S.T., M.T.

ABSTRACT

The rapid development of construction in Sidoarjo Regency following the Lapindo mudflow disaster has led to increased requirements in new development areas, including Wonoayu District. However, the soil at the study site is classified as clay with high plasticity and low bearing capacity, requiring improvement before being used as a construction base. This study aims to analyze the effect of adding snail shell powder and *Bacillus subtilis* bacteria on the physical and mechanical properties of soft clay soil in Ploso Village, Wonoayu District, Sidoarjo Regency.

The research was conducted experimentally with variations of snail shell powder of 5%, 10%, and 15%, *Bacillus subtilis* bacteria of 6%, and curing time of 0, 7, and 14 days. The results show that the addition of snail shell powder and *Bacillus subtilis* bacteria was able to improve the physical and mechanical properties of clay soil. The optimum variation was obtained in a mixture of 15% snail shell powder and 6% *Bacillus subtilis* bacteria with curing for 7 days, which resulted in a water content of 15.73%, Specific Gravity of 2.639, Liquid Limit of 18.40%, Plasticity Index of 5.68%, Shrinkage Limit of 14.67%, maximum dry unit weight (γ_d max) of 1.536 gr/cm^3 , and UCS value of 0.53108 kg/cm^2 . Based on the research results, using snail shell powder and *Bacillus subtilis* bacteria is effective in improving the quality of clay soil in Wonoayu District, Sidoarjo.

Keywords: *Bacillus subtilis*, biogrouting, clay soil, snail shell powder, soil stabilization, UCS.

3

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

COVER TUGAS AKHIR	i
COVER FINAL PROJECT	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	i
SURAT PERNYATAAN.....	i
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	i
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
DAFTAR RUMUS.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Tanah.....	13
2.3 Tanah Lempung Lunak.....	13
2.4 Stabilisasi Tanah.....	15
2.5 Bio Grouting atau Bioremediasi.....	15
2.6 Serbuk Cangkang Bekicot (<i>Achatina fullica</i>).....	16
2.7 Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	17
2.8 Klasifikasi Tanah.....	18
2.8.1 Sistem Klasifikasi <i>American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)</i>	19
2.9 Pengujian Sifat Fisis Tanah	23
2.9.1 Pengujian Kadar Air Tanah	23
2.9.2 Pengujian <i>Gravimetry</i> dan <i>Volumetry</i> Tanah.....	24
2.9.3 Pengujian Konsistensi Tanah (Batas – Batas <i>Atterberg</i>)	25
2.9.4 Pengujian Analisa Saringan.....	29
2.9.5 Tes Hidrometer.....	31

2.10	Pengujian Sifat Mekanis Tanah	38
2.10.1	Pengujian Standar <i>Proctor</i>	38
2.10.2	<i>Unconfined Compression Test (UCS)</i>	42
3	BAB III METODE PENELITIAN	43
3.1	<i>Flowchart (Diagram Alir)</i>	43
3.2	Penjelasan Diagram Alir (<i>Flowchart</i>)	45
3.3	Lokasi Penelitian	49
3.4	Tempat Penelitian	50
3.5	Pembuatan Benda Uji	50
3.6	Sampel dan Pengujian	52
3.6	Uji Laboratorium	58
3.6.1	Analisa Gradasi Butiran	59
3.6.2	<i>Hidrometer Test</i>	60
3.6.3	<i>Volumetry dan Gravimetry</i>	61
3.6.4	Percobaan Menentukan Kadar Air	62
3.6.5	Percobaan menentukan <i>Specific Gravity (GS)</i>	62
3.6.6	<i>Atterberg Limit</i>	63
3.6.7	<i>Liquid Plasticity/Plastic limit (PL)</i>	64
3.6.8	Batas Cair/ <i>Liquid limit (LL)</i>	65
3.6.9	<i>Proctor Test</i>	66
3.7	<i>Timeline Penelitian</i>	68
3.8	Hasil dan Pembahasan	69
3.9	Kesimpulan	69
18	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	71
4.1	Hasil Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Asli	71
4.1.1	Pengujian Kadar Air (<i>water content</i>) Tanah Asli	71
4.1.2	Pengujian Berat Volume Tanah (<i>Volumetry Test</i>)	72
4.1.3	Pengujian Berat Jenis Tanah (<i>Gravimetry Test</i>)	74
4.1.4	Pengujian Batas – Batas Konsistensi Tanah (<i>Atterberg Limit</i>)	75
4.1.5	Analisa Saringan dan <i>Hidrometer</i>	82
4.1.6	Pengujian Pemadatan (<i>Proctor Test</i>)	88
4.1.7	Pengujian <i>Unconfined Compression Strength (UCS)</i>	91
4.2	Perhitungan Pembuatan Benda Uji	93
4.3	Hasil Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	97

4.3.1	Pengujian Kadar Air Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	97
4.3.2	Pengujian <i>Volumetry</i> Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	102
4.3.3	Pengujian <i>Gravimetry</i> Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	111
4.3.4	Pengujian Konsistensi Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	119
4.3.5	Pengujian Pemadatan (<i>Proctor Test</i>) Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	133
4.3.6	Pengujian <i>Unconfined Compressive Strength (UCS)</i> Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	161
4.3.7	Rekapitulasi Hasil Pengujian Tanah Asli	180
4.3.8	Grafik Rekapitulasi Pengujian Kadar Air Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	181
4.3.9	Grafik Rekapitulasi Angka Pori dan Derajat Kejenuhan pada Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	184
4.3.10	Grafik Rekapitulasi Pengujian <i>Gravimetry</i> Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	188
4.3.11	Grafik Rekapitulasi Pengujian Konsistensi Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	192
4.3.12	Grafik Rekapitulasi Pengujian Pemadatan Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	197
4.3.11	Hasil Rekapitulasi Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	209
4.4	Pembahasan	210
4.4.1	Pengaruh Penambahan Serbuk Cangkang Bekicot Dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> Terhadap Sifat Fisis Tanah Lempung Di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo	210
4.4.2	Pengaruh penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri <i>Bacillus subtilis</i> terhadap sifat mekanis tanah lempung di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo	212
4.4.3	Persentase Campuran Serbuk Cangkang Bekicot Dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> Serta Waktu Pemeraman Yang Paling Optimum Dalam Meningkatkan Sifat Tanah Lempung Di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo	214
2	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	215
5.1	Kesimpulan	215
5.2	Saran	215

DAFTAR PUSTAKA	217
BIODATA PENULIS	221
LAMPIRAN	L1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Dokumentasi (a) dan (b) Limbah Cangkang Bekicot.....	16
Gambar 2. 2 Proses Pengendapan (CaCO_3) oleh Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	18
Gambar 2. 3 Batas - Batas Atterberg	25
Gambar 2. 5 Grafik Hubungan Antara Indeks Plastis dengan <i>Liquid limit</i> (LL) menurut AASHTO	34
Gambar 2. 7 Grafik Analisis Distribusi Ukuran Butiran	30
Gambar 2. 8 22 rva Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering	39
Gambar 2. 9 Grafik Hubungan Kepadatan Kering dengan Kadar Air	41
Gambar 2. 10 Grafik Hubungan Kepadatan Kering dengan Penambahan	Error!
99 bookmark not defined.	
Gambar 3. 1 Flowchart (diagram alir)	43
Gambar 3. 2 12 wchart (Diagram alir) lanjutan	43
Gambar 3. 3 Lokasi Penelitian Pengambilan Sampel Tanah.....	49
Gambar 3. 4 Lokasi Penelitian Pengambilan Sampel Tanah.....	49

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	53	Penelitian Terdahulu	7
Tabel 2. 7		Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2. 8		Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS	22
Tabel 2. 9	61	Klasifikasi tanah terhadap kadar air Braja M.DAS	23
Tabel 2. 10		Berat Jenis Tanah (Specific Gravity)	24
Tabel 2. 11		Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah	27
Tabel 2. 12		Hubungan Antara Kemampuan Pengembangan dengan Indeks Plastisitas	27
Tabel 2. 13		Batas – batas Atterberg untuk mineral lempung	29
Tabel 3. 1		Sampel dan Pengujian Sifat Fisis Tanah	52
Tabel 3. 2	20	Timeline Penelitian	68
Tabel 4. 1		Data hasil pengujian kadar air tanah asli	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 2		Data hasil pengujian volumetri tanah asli (Undisturb) sampel 1	72
Tabel 4. 3		Data hasil pengujian volumetri tanah asli (Undisturb) sampel 2	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 4		Data hasil pengujian volumetri tanah asli (Disturb) sampel 1	73
Tabel 4. 5		Data hasil pengujian volumetri tanah asli (Undisturb) sampel 1	74
Tabel 4. 6		Data hasil pengujian volumetri tanah asli (Undisturb) sampel 2	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 7		Data hasil pengujian volumetri tanah asli (Disturb) sampel 2	75
Tabel 4. 8		Data hasil pengujian Batas Cair tanah asli	75
Tabel 4. 9		Data hasil pengujian batas plastis tanah asli	77
Tabel 4. 10		Data hasil pengujian batas susut tanah asli	78
Tabel 4. 11		Data hasil perhitungan Indeks Plastisitas	79
Tabel 4. 12		Hubungan Antara Plastic limit (PL) dengan Tingkat Plastisitas	80
Tabel 4. 13		Hubungan Antara Kemampuan Pengembangan dengan Indeks Plastisitas	80
Tabel 4. 14		Tabel Klasifikasi USCS	93
Tabel 4. 15		Hubungan Antara Plastic limit (PL) dengan Tingkat Plastisitas	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 16		Hubungan Antara Kemampuan Pengembangan dengan Indeks Plastisitas	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 17		Tabel Klasifikasi USCS	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 18		Hubungan Antara Plastic limit (PL) dengan Tingkat Plastisitas	81
Tabel 4. 19		Hubungan Antara Kemampuan Pengembangan dengan Indeks Plastisitas	82
Tabel 4. 20		Tabel Klasifikasi USCS	82

Tabel 4. 21 Data Hasil Pengujian Analisa Saringan Tanah Asli (Undisturb) Sampel 1	83
Tabel 4. 22 Data Hasil Pengujian Analisa Saringan Tanah Asli (Undisturb) Sampel 2	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 23 Data Hasil Pengujian Hidrometer Tanah Asli (Undisturb) Sampel 1	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 24 Data Hasil Pengujian Hidrometer Tanah Asli (Undisturb) Sampel 2	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 25 Hasil Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan dan Hidrometer dari Sampel 1 dan 2	86
Tabel 4. 26 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Asli	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 27 Data Pengujian Uncovined Compression Strength (UCS) Tanah Asli Sampel 1	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 28 Rekapitulasi Hasil Pengujian Tanah Asli	181
Tabel 4. 29 Rekapitulasi Perhitungan Pembuatan Benda Uji	94
Tabel 4. 30 Data Hasil Pengujian Kadar Air SCB 5% + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	98
Tabel 4. 31 Data Hasil Pengujian Kadar Air SCB 10% + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	99
Tabel 4. 32 Data Hasil Pengujian Kadar Air SCB 15% + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	101
Tabel 4. 33 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 5% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 0 Hari	102
Tabel 4. 34 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 5% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 7 Hari	103
Tabel 4. 35 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 5% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 14 Hari	105
Tabel 4. 36 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 10% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 0 Hari	106
Tabel 4. 37 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 10% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 7 Hari	107
Tabel 4. 38 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 10% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 14 Hari	108
Tabel 4. 39 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 15% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 0 Hari	109
Tabel 4. 40 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 15% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 7 Hari	110
Tabel 4. 41 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 15% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 14 Hari	111

Tabel 4. 42 Data Hasil Pengujian <i>Gravimetry</i> Campuran SCB 5% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 7 Hari	113
Tabel 4. 43 Data Hasil Pengujian <i>Gravimetry</i> Campuran SCB 5% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 14 Hari	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 44 Data Hasil Pengujian <i>Gravimetry</i> Campuran SCB 10% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 0 Hari	114
Tabel 4. 45 Data Hasil Pengujian <i>Gravimetry</i> Campuran SCB 10% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 7 Hari	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 46 Data Hasil Pengujian <i>Gravimetry</i> Campuran SCB 10% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 14 Hari	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 47 Data Hasil Pengujian <i>Gravimetry</i> Campuran SCB 15% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 0 Hari	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 48 Data Hasil Pengujian <i>Gravimetry</i> Campuran SCB 15% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 7 Hari	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 49 Data Hasil Pengujian <i>Gravimetry</i> Campuran SCB 15% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% Pemeraman 14 Hari	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 50 Data Hasil Pengujian Batas Cair SCB 5% + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	119
Tabel 4. 51 Data Hasil Pengujian Batas Cair SCB 10% + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	122
Tabel 4. 52 Data Hasil Pengujian Batas Cair SCB 15% + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	124
Tabel 4. 53 Data Hasil Pengujian Batas Plastis (PL) SCB 5% + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	127
Tabel 4. 54 Data Hasil Pengujian Batas Plastis (PL) SCB 10% + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	127
Tabel 4. 55 Data Hasil Pengujian Batas Plastis (PL) SCB 15% + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	128
Tabel 4. 56 Data Hasil Pengujian Plasticity index SCB 5% + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	129
Tabel 4. 57 Data Hasil Pengujian Plasticity index SCB 10% + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	129
Tabel 4. 58 Data Hasil Pengujian Plasticity index SCB 5% + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	130
Tabel 4. 59 Data Hasil Pengujian Batas Susut SCB 5% + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	130
Tabel 4. 60 Data Hasil Pengujian Batas Susut SCB 10% + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	131
Tabel 4. 61 Data Hasil Pengujian Batas Susut SCB 15% + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	132

Tabel 4. 71 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	134
Tabel 4. 72 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	136
Tabel 4. 73 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 74 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 75 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 76 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 77 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 78 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 79 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 80 Data Unconfined Compressive Strength (UCS) tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 5% dan bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% peram 0 hari	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 81 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% peram 7 hari.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 82 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% peram 14 hari...	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 83 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% peram 0 hari.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 84 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% peram 7 hari.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 85 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% peram 14 hari...	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 86 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% peram 0 hari.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 87 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% peram 7 hari.....	177
Tabel 4. 88 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% peram 14 hari...	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 89 Rekapitulasi Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR LAMPIRAN

77

L. 1 Dokumentasi Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah.....	L1
L. 2 Form Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah	L4
L. 3 Letter Of Acceptance (LoA) Jurnal	L9
L. 4 Lembar Bimbingan & Persetujuan Dosen Pembimbing.....	L10
L. 5 Perintah Revisi Sidang Tugas Akhir.....	L14
L. 6 Hasil Turnitin Tugas Akhir	L17
L. 7 Media Massa.....	L18
L. 8 ST Panitia Prodi.....	L19
L. 9 Bukti Korespondensi Artikel Jurnal	L22

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR RUMUS

Rumus (2.1).....	19
Rumus (2.2).....	23
Rumus (2.3).....	24
Rumus (2.4).....	24
Rumus (2.5).....	25
Rumus (2.6).....	26
Rumus (2.7).....	27
Rumus (2.8).....	29
Rumus (2.9).....	31
Rumus (2.10).....	31
Rumus (2.11).....	31
Rumus (2.12).....	32
Rumus (2.13).....	32
Rumus (2.14).....	33
Rumus (2.15).....	33
Rumus (2.16).....	34
Rumus (2.17).....	35
Rumus (2.18).....	35
Rumus (2.19).....	35
Rumus (2.20).....	36
Rumus (2.21).....	36
Rumus (2.22).....	37
Rumus (2.23).....	38
Rumus (2.24).....	39

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR SIMBOL

PI	¹¹² = Indeks plastisitas (%)
CF	= Persentase fraksi lempung, berdiameter kurang dari 0,002 (%)
Wc	= Kadar air dalam ¹² persen
w ₁	= Berat cawan (gram)
w ₂	= Berat cawan + tanah basah (gram)
w ₃	= Berat cawan + tanah kering (gram)
Ft	= Koreksi temperatur Dari Tabel
Fz	= Zero correction,
Fm	= Koreksi miniscus
A	= Harga yang diperoleh dari tabel Berdasarkan pembacaan suhu dan nilai Gs
D	= Diameter butir-butir tanah)
Ww	= Berat air (gr)
Ws	= Berat ¹ tanah kering oven (gr)
m ₁	= Berat tanah basah dalam percobaan (g)
m ₂	= Berat tanah kering oven (g)
v ₁	= Volume tanah basah dalam cawan (gr)
v ₂	= Volume tanah kering oven (gr)
rw	= ¹ berat jenis air
γ _t	= Berat volume tanah (gr/cm ³)
Wsc	= Berat tanah + Cawan gelas kaca (gr)
Mc	= Berat cawan gelas kaca (gr)
V	= Volume tanah (gr) = $\frac{MRL - Mm}{\rho}$
MRLm	= Berat air raksa luber + Mangkok (gr)
Mm	= ⁹⁰ Berat Mangkok Luber (gr)
ρ	= Massa Jenis Air raksa (13,6 g/cm ³)
¹¹	= Berat spesifik Butiran, gr/cm ³
a	= Berat Piknometer, gr
b	= Berat Piknometer + aquades, gr
c	= Berat Piknometer + Sampel tanah, gr
¹²¹	= Berat Piknometer + aquades + Sampel Tanah, gr
T ₁	= Temperatur awal ° C
T ₂	= Temperatur setelah 24 jam ° C ²⁰
γ _{mi}	= Berat volume tanah lembab (tiap sample) (gr/cm ³)
Ws	= Berat tanah biasa (gr)
V	= Volume Cetakan (0,25 π.D ² .H) (cm ³)

γ_{di} = ¹ Berat volume tanah kering (tiap sample) (gr/cm³)
 γ_{mi} = Berat volume tanah lembab (tiap sample) (gr)
 w_c = Kadar Air (tiap sample) (cm³)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan pembangunan di Kabupaten Sidoarjo terus mengalami peningkatan pasca terjadinya bencana lumpur Lapindo yang mengubah pola pemanfaatan lahan di beberapa wilayah. Berdasarkan penelitian Nugraheni & Sagala (2024) mengenai dampak perubahan tutupan lahan akibat lumpur lapindo Sidoarjo, pembangunan fisik diarahkan menuju wilayah bagian barat Kabupaten Sidoarjo, khususnya Kecamatan Wonoayu dan sekitarnya, sebagai kawasan pengembangan permukiman hingga tahun 2029. Kondisi tersebut menyebabkan kebutuhan lahan untuk pembangunan perumahan semakin meningkat sehingga diperlukan perhatian terhadap kondisi tanah dasar pada wilayah yang akan dikembangkan.

Penelitian terhadap tanah asli dilakukan pada bulan September 2025, di area persawahan Desa Ploso, Kecamatan Wonoayu, Kabupaten Sidoarjo. Penelitian ini dilaksanakan karena lokasi tersebut rencananya akan dialihfungsikan menjadi kawasan perumahan. Pengambilan tanah dilakukan kedalaman 60 cm – 370 cm. Hasil pengujian saringan tanah yang dilakukan didapatkan butiran halus lebih dari 50% lolos saringan No. 200 yaitu sebesar 77% dengan berat 154 gr pada *undisturb* sampel 1 dan 88,5% berat 177 gr sampel 2, kadar air sampel 1 dan 2 sebesar 41,28% dan 47,48%. Pada sampel *disturb* kadar air sebesar 53,17%. Nilai *Specific Gravity* (*G_s*) sebesar 2,6. Hasil uji batas *Atterberg* menunjukkan batas cair (*LL*) pada *undisturb* sampel 1 dan 2 serta tanah *disturb* sebesar 75%, 75% dan 76% dan batas plastis (*PL*) sebesar 44,3% 42,5% dan 42,7%, menghasilkan indeks plastisitas (*PI*) 30,75% 32,46% dan 33,33% dimana berdasarkan tabel tingkat plastisitas apabila *PI* lebih dari 17% maka termasuk plastisitas tinggi dengan jenis tanah *Clay* (lempung) dan nilai batas susut (*SL*) sebesar 3,03% 3,06% dan 2,99%. Dan berdasarkan tabel kemampuan pengembangan apabila nilai Indeks Plastisitas diantara 16% – 35% menunjukkan kemampuan kembang susut tinggi. Dari kondisi parameter fisis tersebut, berdasarkan sistem klasifikasi *USCS* yang menunjukkan bahwa tanah di lokasi tersebut tergolong jenis *OH* yaitu tanah lempung organik bergradasi buruk dengan tingkat plastisitas tinggi dan memiliki kualitas sebagai tanah dasar yang kurang baik.

Menurut Amran *et al.* (2022), stabilisasi mekanis dilakukan dengan mencampur atau mengaduk dua jenis tanah atau lebih yang memiliki gradasi berbeda untuk menghasilkan material dengan komposisi tertentu yang sesuai dengan persyaratan teknis. Menurut Sufa *et al.* (2022), metode perbaikan tanah secara kimia dilakukan dengan menambahkan bahan kimia tertentu ke dalam tanah agar terjadi

reaksi antara komponen tanah dan zat pencampurnya. Sedangkan *biogrouting* merupakan salah satu teknik perbaikan tanah yang memanfaatkan aktivitas bakteri alami di dalam tanah untuk menghasilkan *enzim urease* (Aswin, 2019).

Berdasarkan peneliti terdahulu macam – macam bahan stabilisasi tanah yang telah diteliti adalah penggunaan bakteri *Bacillus subtilis* (Sinambela *et al.*, 2024), cangkang kerang (Hoque *et al.*, 2025), abu serbuk kayu (Prihestanto *et al.*, 2023) dan lain lain. Limbah cangkang bekicot digunakan sebagai bahan alami untuk stabilisasi tanah karena mengandung sekitar 48,11% kalsium karbonat (CaCO_3) serta mineral lain seperti Mn, Zn, Fe, Cu, Na, K, dan Mg yang dapat meningkatkan kekuatan serta kestabilan tanah (Potorti *et al.*, 2024). Dalam penelitian ini, cangkang bekicot diperoleh dari limbah industri olahan bekicot di Kabupaten Kediri . Berdasarkan survei lapangan pada 8 November 2025, diketahui bahwa pabrik tersebut mengolah sekitar 7 ton bekicot per hari pada musim penghujan dan 3-4 ton per hari pada musim kemarau, sehingga menghasilkan limbah cangkang dalam jumlah besar. Oleh karena itu, limbah cangkang bekicot ini dapat digunakan sebagai bahan alternatif stabilisasi tanah sebagai sumber CaCO_3 alami .

Bacillus subtilis dipilih karena mampu bertahan pada kondisi ekstrem dengan membentuk spora yang dapat menghasilkan *enzim urease* yang memicu pembentukan kalsium karbonat (CaCO_3) melalui proses *biomineralisasi*, sehingga memperkuat struktur tanah secara alami (PubMed, 2024). Selain itu, bakteri ini menghasilkan *eksopolisakarida* (EPS) yang berfungsi sebagai perekat biologis untuk mengikat partikel tanah dan meningkatkan kestabilannya (Wiley Online Library, 2017). Pada tanah lempung, aktivitas bakteri dan cangkang bekicot ini memberikan pengaruh signifikan karena endapan CaCO_3 hasil *biomineralisasi* dapat mengisi pori-pori antarpartikel lempung dan membentuk ikatan yang lebih padat, sementara lapisan EPS berperan sebagai perekat alami yang meningkatkan kohesi serta menurunkan daya serap air (Kaunang *et al.*, 2025). *Bacillus subtilis* dikembangbiakkan dengan mencampurkan air dan larutan *molase* sebagai sumber nutrisi, kemudian ditambah bubuk bakteri dan diperam 3 hari hingga berkembang biak secara optimal (Li *et al.*, 2022).

Berdasarkan latar belakang diatas, maka di perlukan adanya penelitian stabilisasi tanah lempung dengan bahan stabilisator serbuk cangkang bekicot sebagai sumber CaCO_3 dan bakteri *Bacillus subtilis* sebagai pemicu *bioremediasi* untuk meningkatkan kepadatan, kekuatan, serta kestabilan tanah lempung yang memiliki plastisitas dan kembang-susut tinggi.

98

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang yang dikemukakan diatas, maka permasalahan yang dapat dirumuskan diantaranya:

1. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap sifat fisis tanah lempung lunak di Desa Ploso Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo?
2. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap nilai kepadatan tanah lempung lunak di Desa Ploso Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo?
3. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap nilai kuat tekan bebas tanah lempung lunak di Desa Ploso Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo?

12

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini dilaksanakan Adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap sifat fisis tanah lempung lunak di Desa Ploso Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo.
2. Mengetahui pengaruh penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap nilai kepadatan tanah lempung lunak di Desa Ploso Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo.
3. Mengetahui pengaruh penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap nilai kuat tekan bebas tanah lempung lunak di Desa Ploso Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo.

23

1.4 Batasan Penelitian

Dikarenakan banyaknya permasalahan serta aspek-aspek yang ada sehingga pada penelitian kali ini batasan yang akan dilakukan adalah:

1. Lokasi pengambilan sampel tanah berada di Desa Ploso Kecamatan Wonoayu Kabupaten Sidoarjo.
2. Pengambilan sampel tanah dilakukan dalam dua kondisi, yaitu sampel terganggu (*disturbed*) pada kedalaman 100 cm dan sampel tidak terganggu (*undisturbed*) pada kedalaman 100 - 150 cm.
3. Limbah cangkang bekicot diambil dari limbah industri olahan daging bekicot Desa Purwodadi Kecamatan Ringinrejo Kabupaten Kediri.
4. Bakteri yang digunakan dalam penelitian ini merupakan bakteri *Bacillus subtilis*.
5. Tanpa proses pengembangan kultur bakteri *Bacillus subtilis*

6. Pengujian hanya mencakup pengujian sifat fisik dan mekanik dasar tanah, seperti kadar air, volumetry & gravimetry, analisa saringan & hidrometer, test Atterberg, Proctor, dan UCS.
7. Pengujian yang dilakukan hanya mencakup pengujian sifat fisik dan mekanik dasar tanah, tanpa membahas aspek kimiawi secara mendalam.
8. Analisis hanya difokuskan pada perubahan karakteristik tanah lempung akibat penambahan bahan stabilisasi, tidak membahas performa jangka panjang seperti durabilitas atau ketahanan terhadap lingkungan ekstrem.
9. Pemeraman tanah asli dengan serbuk cangkang bekicot dan bakteri yaitu 7 dan 14 hari
10. Penelitian ini membatasi pengolahan limbah tanpa proses pembakaran, sehingga analisis sifat mekaniknya hanya didasarkan pada hasil pengeringan alami.

24

1.5 Manfaat Penelitian

1. Manfaat bagi peneliti:

- a) Menambah pengetahuan dan pengalaman dalam menganalisis sifat tanah lempung.
- b) Meningkatkan pemahaman mengenai cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* sebagai bahan stabilisasi tanah.
- c) Mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan analitis dalam bidang geoteknik.

2. Bagi Institusi Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

- a) Menambah referensi dan koleksi penelitian di bidang teknik sipil, khususnya geoteknik.
- b) Mendukung pengembangan penelitian yang berorientasi pada teknologi ramah lingkungan.
- c) Menjadi bahan kajian akademik untuk mahasiswa dan dosen dalam penelitian sejenis.

3. Bagi Instansi/Perusahaan Konstruksi

- a) Memberikan informasi alternatif bahan stabilisasi tanah yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.
- b) Dapat dijadikan pertimbangan dalam pelaksanaan proyek di daerah dengan kondisi tanah lempung yang lemah.
- c) Mendorong penerapan inovasi penggunaan limbah industri dalam bidang konstruksi.

4. Bagi Penelitian Selanjutnya

- a) Menjadi referensi untuk penelitian lanjutan terkait stabilisasi tanah menggunakan bahan limbah organik.
- b) Dapat dikembangkan dengan variasi komposisi campuran, jenis limbah, atau metode pengujian yang berbeda.
- c) Membuka peluang penelitian baru di bidang pemanfaatan limbah untuk perbaikan tanah dan lingkungan.

²
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya telah banyak membahas mengenai upaya peningkatan daya dukung dan stabilitas tanah melalui berbagai metode stabilisasi yang tersaji dalam tabel berikut:

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

1.	Nama Peneliti	29 Ambela, Rondonuwu, dan Legrans (2024)
	Judul	Potensi Penggunaan <i>Bacillus subtilis</i> Untuk Stabilisasi Tanah Bekas Tambang Emas
	Metode	Bio 29 untung
	Hasil	1. Tanah bekas tambang yang dijadikan objek penelitian memiliki karakter sebagai pasir halus berlanau yang tidak bersifat kohesif, dengan berat jenis sekitar 2,556 dan kadar air sampel sebesar 1,150%. 2. Pada proses stabilisasi, digunakan bakteri <i>Bacillus subtilis</i> dalam bentuk larutan yang dicampurkan langsung ke tanah sebagai metode bioremediasi. Perlakuan ini mampu meningkatkan stabilitas tanah, ditunjukkan oleh naiknya kepadatan kering maksimum dari kondisi awal 1,947 t/m³ menj 29 1,978 t/m³ setelah mengalami pemeraman selama 14 hari. 3. Kenaikan kepadatan kering maksimum pada setiap variasi campuran menunjukkan pola yang sejalan dengan lamanya waktu peram. Pada hari ke-0 nilai kepadatan kering maksimum tercatat 1,950 t/m³, meningkat menjadi 1,961 t/m³ pada hari ke-7, dan mencapai 1,978 t/m³ pada hari ke-14.

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

51

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

2.	Nama Peneliti	Nasution, Purwana, dan Setiawan (2017)
	Judul	Penurunan Permeabilitas Dan Peningkatan Kuat Geser Tanah Lanau Menggunakan Pengaruh <i>Mikrobakteri Bacillus subtilis</i> Dan <i>Pseudomonas Sp</i>
	Metode	<i>Biologis</i> atau <i>Biogrouting</i>
	Hasil	1. Kuat geser tanah lanau tanpa bakteri sebagai nilai kontrol adalah 163,49 kN/m². Campuran bakteri dengan waktu peram 15 hari meningkatkan kuat geser sebesar 38,37% dan 34,88%. Pemeraman 30 hari menaikkan kuat geser lebih besar, yaitu 48,88% dan 59,30%. 2. Permeabilitas tanah tanpa bakteri sebagai kontrol tercatat $1,34 \times 10^{-9}$ m/dt. 3. Pada peram 15 hari, permeabilitas tanah menurun 8,49% dan 15,60%. Pada peram 30 hari, penurunan permeabilitas mencapai 48,92% dan 60,29%. 4. Hasil SEM menunjukkan EPS dari kedua bakteri mampu mengikat partikel dan menutup pori tanah, sehingga kuat geser meningkat dan aliran air terhambat. 5. <i>Bacillus subtilis</i> lebih efektif dibanding <i>Pseudomonas sp.</i> karena mampu mengisi rongga dan merekatkan partikel dengan lebih baik.
3.	Nama Peneliti	Indriani, Utomo, dan Syahputra (2023)
	Judul	Pengaruh Siklus Basah Kering terhadap Perilaku Mekanik Tanah Lempung Stabilisasi <i>Biosementasi</i> dengan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>
	Metode	<i>Biosementasi</i>
	Hasil	1. Tanah asli memiliki berat jenis 2,72 gr/cm³, termasuk lempung anorganik plastisitas sedang, dengan kadar air optimum 23,25%, kepadatan kering maksimum 1,550 gr/cc, CBR soaked 1%, dan CBR unsoaked 2%.

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

		2. Stabilisasi menggunakan <i>Bacillus subtilis</i> paling efektif pada penambahan 6%, meningkatkan CBR unsoaked dari 2% menjadi 9% dan CBR soaked dari 1% menjadi 5%. 3. Pada metode satu siklus, penambahan 6% juga memberi hasil terbaik, di mana siklus A dengan cara di rendam selama 6 hari kemudian dikeringkan selama 8 hari dapat meningkatkan CBR hingga 89%, sedangkan siklus B di keringkan selama 6 hari lalu dilakukan perendaman selama 6 hari dan dikeringkan selama 2 hari baru di uji untuk mengetahui perubahan sifat mekanis tanah hanya 15%, sehingga metode A dinilai paling efektif.
4.	Nama Peneliti	Indriani dan Utomo (2023)
	Judul	Pengaruh <i>Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP)</i> terhadap Perilaku Kuat Geser Tanah Terkontaminasi Batubara
	Metode	<i>Biogrouting</i>
	Hasil	1. Penambahan partikel halus batubara ($\leq 0,149$ mm) sebesar 5%, 10%, 15% dan penambahan bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% meningkatkan pengendapan CaCO_3 serta nilai <i>shear stress</i>, dengan kenaikan kuat geser bertahap sesuai persentase campuran. 2. Melalui stabilisasi MICP, tanah terkontaminasi batubara mengalami peningkatan kuat geser signifikan: tiga kali lipat pada 5%, tujuh kali pada 10%, dan lima belas kali pada 15% dibandingkan tanah tanpa stabilisasi. 3. Kenaikan nilai C_u dan C_c hingga penambahan 15% menunjukkan gradasi butiran yang lebih baik, sementara kandungan organik tinggi pada batubara turut memperkuat <i>shear stress</i> pada tanah yang distabilisasi menggunakan <i>Bacillus subtilis</i>.

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

51

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

5.	Nama Peneliti	Almuaythir, Zaini, Hasan, dan Hoque (2025)
	Judul	Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Abu Limbah Pertanian Berbasis Cangkang Kerang
	Metode	Pengujian CBR
	Hasil	1. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan limbah cangkang tiram sebagai bahan stabilisasi tanah gambut terhadap peningkatan nilai CBR dan kuat geser langsung, dengan variasi campuran sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15%, pada tanah berbutir halus menurut klasifikasi USCS. 2. Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan berat kering tanah, dari 0,86 gr/cm³ pada tanah asli menjadi 0,946 gr/cm³ pada campuran 15%, serta peningkatan nilai CBR dari 1,63% menjadi 11,62%, yang dipengaruhi oleh kemampuan limbah cangkang tiram mengisi pori tanah dan reaksi kimia kandungan SiO₂ dan Ca 3. Parameter kuat geser tanah juga mengalami peningkatan, ditunjukkan oleh kenaikan sudut geser dalam dari 20,23° menjadi 33,37°, kohesi dari 0,12 kg/cm² menjadi 0,13 kg/cm², serta kuat geser dari 0,18 kg/cm² menjadi 0,31 kg/cm² pada penambahan limbah cangkang tiram sebesar 15%.
6.	Nama Peneliti	Ikhwan Ardi, Gusneli Yanti, dan Muthia Anggraini (2022)
	Judul	Stabilitas Tanah Lempung dengan Serbuk Cangkang Kerang terhadap Nilai Kuat Geser
	Metode	Pengujian <i>Direct shear</i>
	Hasil	1. Penambahan serbuk cangkang kerang pada tanah lempung terbukti dapat meningkatkan kuat geser dan daya dukung tanah. Peningkatan tertinggi terjadi pada campuran 5%, di mana kuat geser meningkat sebesar 12,5%, dari 0,6128 kg/cm² menjadi 0,6995 kg/cm².

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

		2. Pada campuran 20%, 67ai kohesi mengalami kenaikan sebesar 12,29%, dari 0,3478 kg/cm² menjadi 0,3905 kg/cm², sementara sudut geser bertambah 10,73%, dari 24,65° menjadi 27,30°. 3. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan variasi bahan campuran lain seperti semen, fly ash, atau kapur untuk menemukan kombinasi stabilisasi yang lebih optimal.
7.	Nama Peneliti	Hermansyah dan Fynnisa Zebua (2020)
	Judul	Tinjauan Terhadap Sifat Plastisitas Tanah Lempung yang Distabilisasi dengan Limbah Cangkang Kerang
	Metode	Pengujian Konsistensi Tanah
	Hasil	1. Tanah dari daerah Sidomukti memiliki kadar air 25,87%, berat isi 1,946 g/cm³, dan berat jenis 2,68 g/cm³. Nilai Atterberg menunjukkan kadar air plastis sebesar 49,09% dan indeks plastisitas 21,53%. Berdasarkan klasifikasi AASHTO, tanah ini tergolong lempung. 2. Penelitian ini menggunakan campuran cangkang kerang dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Klasifikasi AASHTO menempatkan tanah ini ke dalam kelompok A-7-5 dengan nilai GI > 20, yang menandakan bahwa tanah tersebut kurang cocok digunakan sebagai tanah dasar untuk konstruksi.
8.	Nama Peneliti	Sherly Inggrit Tuflasa, Adri Raidyarto, dan Pangeran Long Sitorus (2024)
	Judul	Pemanfaatan Campuran Abu Cangkang Kerang sebagai Bahan Stabilisasi Tanah terhadap Nilai Kuat Geser
	Metode	Pengujian <i>Triaxial Test</i>
	Hasil	1. Hasil pengujian tanah asli menunjukkan kadar air yang tinggi, yaitu 49,67%, dan berat jenis 2,61, yang mengindikasikan sifat lempung. Nilai Atterberg menunjukkan batas cair 54,33%, batas plastis 24,22%, indeks plastisitas 30,30%, serta batas susut 12,22%, menegaskan bahwa tanah bersifat plastis saat basah, lengket, mudah dibentuk, dan menjadi keras serta sulit dihancurkan saat kering. Tekstur halus tanah ini juga menyebabkan daya ikat airnya tinggi.

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

		2. Penambahan bahan stabilisasi terbukti meningkatkan kohesi dan sudut geser dalam tanah. Peningkatan tertinggi terjadi 171 campuran 35%, di mana kohesi mencapai 0,384 kg/cm ² dan sudut geser dalam 21,00°, sehingga secara signifikan meningkatkan kekuatan tanah.
9.	Nama Peneliti	59zul Hidayat dan Dyah Pratiwi Kusumastuti (2024)
	Judul	Penambahan Serbuk Cangkang Kerang terhadap Perubahan Nilai CBR Laboratorium Lempung Lunak
	Metode	Pengujian CBR 59
	Hasil	1. Berdasarkan uji CBR laboratorium dengan penetrasi 2,5 mm dan 5 mm, peningkatan kekuatan tanah menunjukkan hasil terbaik pada campuran serbuk cangkang kerang sebesar 159. 2. Pengujian yang dilakukan masih terbatas pada variasi jumlah tumbukan CBR di laboratorium, sehingga penelitian lanjutan disarankan menganalisis nilai CBR hingga level yang dapat digunakan dalam perencanaan perkerasan jalan. Selain itu, bahan campuran dapat divariasikan dengan material lain seperti abu ampas tebu, fly ash, atau limbah bersifat pozzolan untuk 57 memperoleh hasil stabilisasi yang lebih optimal.
10.	Nama Peneliti	Irvan Ustuchri, Anita Setyowati Srie Gunarti, Sri Nuryati, Elma Yulius, Eko Darma, Ninik Paryati, dan Fajar Prihesnanto (2023)
	Judul	Pemanfaatan Abu Serbuk Kayu dan Serbuk Cangkang Kerang sebagai Material Stabilisasi Tanah Lunak
	Metode	Pengujian CBR 70
	Hasil	1. Penambahan abu serbuk kayu dan serbuk cangkang kerang terbukti dapat menurunkan indeks plastisitas tanah sekaligus meningkatkan 70 nilai CBR. Pada campuran yang mengandung 4% serbuk cangkang kerang, nilai CBR meningkat menjadi 2,47%, mengalami kenaikan sekitar 84,32% dibandingkan kondisi awal.

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

		2. Meski terjadi peningkatan, nilai tersebut masih belum memenuhi standar CBR untuk tanah dasar jalan. Karena itu, penelitian lanjutan perlu dilakukan dengan kadar campuran serbuk cangkang kerang yang lebih tinggi agar diperoleh nilai CBR yang sesuai persyaratan subgrade konstruksi jalan.
--	--	---

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

4

2.2 Tanah

Tanah merupakan kumpulan partikel mineral alami yang tidak saling terikat kuat, sehingga mudah terurai atau terpisah. Dalam bidang teknik sipil, tanah berperan sebagai lapisan dasar utama yang menopang berbagai jenis konstruksi. Selain fungsi struktural, tanah juga dimanfaatkan untuk beragam aktivitas yang mendukung kehidupan manusia. Jenis-jenis tanah diklasifikasikan berdasarkan ukuran partikel penyusunnya, mulai dari yang berbutir kasar hingga halus (Sufa et al., 2022).

Tanah merupakan material alami yang tersusun atas butiran mineral padat serta bahan organik yang telah mengalami proses pelapukan. Butiran-butir tersebut tidak saling terikat secara kimia, dan di antara partikel-partikel padat itu terdapat ruang kosong atau pori-pori yang diisi oleh air maupun udara (Das, 1988).

Dalam pengertian lain, tanah dapat dijelaskan sebagai hasil akumulasi partikel mineral yang terbentuk akibat proses pelapukan batuan, dengan ikatan antarpartikel yang lemah atau hampir tidak ada (Craig, 1991). Tanah juga dapat dipandang sebagai kumpulan partikel lepas yang berasal dari pelapukan batuan induk, di mana pori-porinya berfungsi sebagai ruang penyimpanan bagi air dan udara yang memengaruhi sifat fisik tanah tersebut (Amran et al., 2022).

Tanah memiliki peranan penting sebagai media penopang beban dari suatu konstruksi di atasnya. Seluruh beban bangunan serta beban tambahan lainnya harus dapat ditahan oleh tanah tersebut. Oleh karena itu, kekuatan dan kestabilan suatu bangunan sangat bergantung pada kondisi tanah di lokasi pembangunan (Chaniago, 2019).

46

2.3 Tanah Lempung Lunak

Tanah lempung Lunak merupakan kumpulan partikel berukuran sangat halus hingga mikroskopik yang terbentuk dari hasil pelapukan kimiawi mineral penyusun batuan (Maitimu et al., 2023). Tanah ini bersifat plastis pada kadar air sedang hingga tinggi, namun menjadi sangat keras saat kering dan tidak mudah

terkelupas hanya dengan tekanan jari. Pada kadar air yang lebih tinggi, tanah lempung menunjukkan sifat lengket dan cenderung mudah menempel satu sama lain (D. 20 Nasution et al., 2024)

Tanah lempung merupakan salah satu jenis tanah yang sering menimbulkan permasalahan dalam pekerjaan konstruksi karena sifatnya yang kurang stabil. Jenis tanah ini umumnya tidak direkomendasikan sebagai lapisan dasar bangunan sipil akibat kandungan airnya yang tinggi, kemampuan menahan beban yang rendah, serta kecenderungannya mengalami perubahan volume seperti mengembang dan menyusut secara signifikan (Hermansyah & Zebua, 2020). Untuk mengatasi kondisi tersebut, berbagai teknik perbaikan tanah telah dikembangkan, baik melalui penggantian tanah asli maupun dengan menambahkan bahan stabilisasi. Beberapa material yang sering digunakan sebagai campuran stabilisasi antara lain abu sekam padi, abu batubara, abu cangkang sawit, dan berbagai bahan tambahan lainnya (Hermansyah & Zebua, 2020).

Berikut sifat – sifat dari tanah lempung menurut (Hermansyah & Zebua, 2020):

1. Ukuran Butiran
Tanah lempung memiliki butiran sangat halus dengan diameter kurang dari 0,002 mm.
2. Permeabilitas
Memiliki tingkat permeabilitas rendah sehingga aliran air sulit menembus lapisan tanahnya.
3. Kapilaritas
Mempunyai kemampuan kapiler yang tinggi, membuat air mudah naik ke permukaan melalui pori-pori tanah.
4. Kohesi
Bersifat sangat kohesif karena partikel-partikelnya saling melekat kuat akibat gaya elektrostatik.
5. Kembang-Susut
Memiliki potensi perubahan volume yang besar, mudah mengembang saat basah dan menyusut ketika kering.
6. Konsolidasi
Mengalami proses konsolidasi yang lambat karena air di dalam pori-porinya sulit keluar.

2.4 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan salah satu cabang rekayasa dalam teknik sipil yang bertujuan meningkatkan kestabilan tanah, terutama dalam hal daya dukungnya. Selain itu, kepadatan tanah menjadi salah satu indikator penting yang mencerminkan tingkat stabilitas tanah tersebut (Sinambela, 2023).

Secara umum, stabilisasi tanah adalah proses perbaikan sifat-sifat tanah dengan menambahkan bahan tertentu, sehingga tanah memiliki kekuatan lebih tinggi dan mampu mempertahankan tahanan gesernya. Tujuan dari stabilisasi ini adalah untuk mengikat serta menyatukan partikel-partikel tanah sehingga terbentuk struktur jalan atau pondasi yang padat dan stabil (Tuflasa et al., 2024).

Menurut (Amran et al., 2022), metode stabilisasi tanah dibagi menjadi beberapa jenis yaitu :

a. Metode Mekanis

Metode mekanis dilakukan dengan mencampurkan dua atau lebih jenis tanah yang memiliki gradasi berbeda agar diperoleh komposisi yang lebih padat dan stabil. Proses ini umumnya disertai pemadatan untuk mencapai kepadatan maksimum. Dalam beberapa kasus, tanah yang memiliki kualitas buruk dapat diganti dengan material granular yang lebih baik dari lokasi lain.

b. Metode Kimiawi

Stabilisasi kimiawi dilakukan dengan menambahkan bahan kimia tertentu yang bereaksi dengan mineral tanah, membentuk senyawa baru yang lebih kuat dan stabil. Tujuannya adalah memperbaiki sifat teknis tanah, seperti kekuatan geser, kepadatan, dan daya dukung. Bahan kimia yang umum digunakan antara lain kapur, semen portland, abu terbang (*fly ash*), dan aspal. Campuran bahan tersebut diaplikasikan ke dalam tanah melalui beberapa metode pencampuran yang disesuaikan dengan kondisi material dan jenis tanah yang akan distabilisasi.

c. Metode Biologi

Metode ini memanfaatkan bakteri tanah yang memiliki kemampuan menguraikan urease untuk menghasilkan kalsium karbonat (CaCO_3), yang kemudian berfungsi sebagai perekat antar partikel tanah sehingga memperkuat struktur tanah (Lim et al., 2019).

2.5 Bio Grouting atau Bioremediasi

Metode *bio-grouting* atau *bio-remediasi* adalah teknik stabilisasi tanah yang menggunakan mikroorganisme untuk memicu presipitasi kalsium karbonat (CaCO_3) di antara butiran tanah. Endapan kalsium karbonat ini berfungsi sebagai pengikat alami yang memperkuat kohesi antartikel tanah, sehingga

meningkatkan kepadatan dan daya dukung tanah. Pengendapan kalsium karbonat bertindak pengikat antar sel yang merangsang proses sementasi di antara butiran tanah. Proses ini, yang dikenal juga sebagai biosementasi, melibatkan aktivitas enzim urease yang dihasilkan oleh mikroorganisme seperti *Bacillus subtilis*, yang memfasilitasi deposisi CaCO_3 secara biologis. Keberhasilan metode ini sangat bergantung pada kesesuaian antara jenis tanah, kandungan mineral, kondisi kelembapan, dan spesies mikroorganisme yang digunakan, karena faktor-faktor tersebut memengaruhi laju dan kualitas pengendapan kalsium karbonat. Bio-grouting memiliki keuntungan lingkungan karena menggunakan agen biologis alami dibandingkan stabilisasi kimiawi konvensional, dan dapat diterapkan untuk memperkuat tanah lempung, pasir, maupun campuran tanah bergradasi buruk (Pangesti, 2005; Achal et al., 2013).

2.6 Serbuk Cangkang Bekicot (*Achatina fulica*)

Cangkang bekicot (*Achatina fulica*) yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah industri pengolahan daging bekicot di Desa Purwodadi, Kecamatan Ringinrejo, Kabupaten Kediri, yang memproduksi berbagai olahan seperti keripik bekicot dan daging bekicot segar. Berdasarkan survei lapangan pada 8 November 2025, diketahui bahwa pabrik tersebut mengolah sekitar 7 ton bekicot per hari pada musim penghujan dan 3 – 4 ton per hari pada musim kemarau, sehingga menghasilkan limbah cangkang dalam jumlah besar. Oleh karena itu, limbah cangkang bekicot ini dapat digunakan sebagai bahan alternatif stabilisasi tanah.



(a)



(b)

Gambar 2. 1 Dokumentasi (a) dan (b) Limbah Cangkang Bekicot
(Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2026)

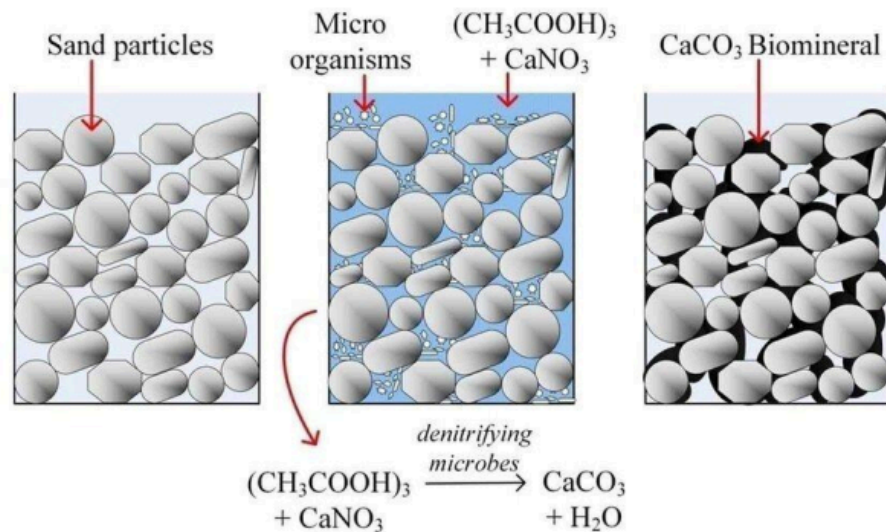
Menurut penelitian (Potorti et al., 2024) cangkang bekicot mengandung sekitar 48,11% kalsium karbonat (CaCO_3) serta mineral lain seperti Mn, Zn, Fe, Cu, Na, K, dan Mg yang dapat meningkatkan kekuatan serta kestabilan tanah. Cangkang bekicot yang didapat dibersihkan terlebih dahulu dari sisa lemak, kemudian cangkang di jemur 2 hari untuk menghilangkan kadar airnya (Ikhwan Ardi et al., 2023). Kemudian jika sudah kering cangkang dimasukkan kedalam karung dan ditumbuk sampai menjadi serbuk dan diayak di ayakan no. 41 (Royan et al., 2023). Presentase penambahan serbuk cangkang bekicot adalah 5%, 10% dan 15% dari berat sampel tanah (Sinambela et al., 2023).

2.7 Bakteri *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis merupakan mikroorganisme yang mampu menghasilkan kalsium karbonat (CaCO_3), yang berperan dalam mengisi rongga atau pori-pori tanah serta mengikat partikel-partikel tanah. Endapan CaCO_3 yang terbentuk berfungsi sebagai jembatan pengikat antar kristal dan sel, sehingga memicu proses sementasi alami di antara butiran tanah dan meningkatkan kekuatannya (Sinambela, 2023).

Bakteri *Bacillus subtilis* mampu berkembang pada rentang suhu di Indonesia. *Bacillus subtilis* merupakan bakteri tanah yang bersifat *katalase* positif. Jenis bakteri ini termasuk kelompok *termofilik* atau menyukai suhu panas, sehingga mampu hidup dan berkembang pada suhu optimal sekitar 60°C hingga 80 °C (Graumann, 2007). Dalam penelitian sebelumnya, bakteri dicampurkan ke dalam pasir kemudian diperam selama satu bulan pada suhu ruang. Hasilnya, pasir mengalami perubahan menjadi material yang menyerupai batuan pasir. Proses ini terjadi karena aktivitas *Bacillus subtilis* yang selama masa pemeraman menghasilkan kristal kalsit sehingga pasir saling mengikat dan membentuk struktur seperti batu (M. S. Nasution et al., 2017).

Bacillus subtilis adalah bakteri Gram positif yang mampu bertahan pada kondisi ekstrem dengan membentuk spora yang memicu pembentukan kalsium karbonat (CaCO_3) melalui proses *biomineralisasi*, sehingga memperkuat struktur tanah secara alami (PubMed, 2024). Selain itu, bakteri ini menghasilkan *eksopolisakarida* (EPS) yang berfungsi sebagai perekat biologis untuk mengikat partikel tanah dan meningkatkan kestabilannya (Wiley Online Library, 2017).



Gambar 2. 2 Proses Pengendapan (CaCO_3) oleh Bakteri *Bacillus subtilis* (Sumber: Jain et al., 2021)

Gambar diatas merupakan proses pembentukan pengikat alami pada tanah yang melibatkan mikroorganisme seperti *Bacillus subtilis*. Pada awalnya, partikel lempung memiliki sifat plastis dan mudah berubah bentuk karena ikatan antarpartikel yang lemah (D. W. Nasution et al., 2024). Bakteri *Bacillus subtilis* ditambahkan dengan serbuk cangkang bekicot (CaCO_3) sebagai sumber kalsium alami. Pada tanah lempung, bakteri ini berfungsi membantu proses pengendapan kalsium karbonat (CaCO_3) di antara partikel tanah. Endapan ini berperan sebagai material pengikat yang mengisi rongga antar partikel lempung, sehingga meningkatkan kepadatan, kekuatan, dan kestabilan tanah. Dengan demikian, kombinasi antara aktivitas biologis *Bacillus subtilis* dan kandungan mineral dari cangkang bekicot dapat menjadi metode alami dalam memperbaiki sifat fisik tanah lempung (Jain et al., 2021).

12

2.8 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah metode yang digunakan untuk mengelompokkan tanah berdasarkan sifat fisik dan perilaku mekaniknya. Sistem klasifikasi ini bertujuan memberikan gambaran umum tentang karakteristik tanah, sehingga dapat dijadikan dasar dalam perencanaan, perancangan, dan pelaksanaan berbagai pekerjaan teknik sipil. Melalui proses klasifikasi, sifat-sifat seperti ukuran butiran, plastisitas, serta kemampuan tanah dalam menahan beban dapat diketahui, sehingga membantu menentukan metode penanganan dan pemanfaatan yang sesuai pada setiap jenis tanah. Pada penelitian ini ada 2 jenis klasifikasi tanah yang digunakan:

2.8.1 Sistem Klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)*

Sistem ini dikembangkan oleh *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* dengan tujuan utama untuk menilai sifat material subgrade pada konstruksi jalan raya. Pada awalnya, sistem ini membagi tanah ke dalam delapan kelompok utama (A-1 hingga A-8) yang mencakup beberapa subkelompok. Berdasarkan hasil revisi yang dilakukan pada Pertemuan Tahunan ke-25 *Highway Research Board* tahun 1945, delapan kelompok dasar tersebut tetap dipertahankan, namun ditambahkan beberapa subkelompok baru: dua pada kelompok A-1, empat pada kelompok A-2, dan dua pada kelompok A-7. Adapun kelompok A-8 tidak lagi digunakan karena umumnya mencakup tanah gambut atau rawa, yang biasanya diidentifikasi melalui pengamatan visual (Bowles, 1984).

Dalam sistem ini, tanah yang termasuk ke dalam kelompok A-1, A-2, dan A-3 dikategorikan sebagai tanah berbutir kasar, yaitu tanah yang memiliki 35% atau kurang partikel yang lolos saringan No. 200. Sementara itu, tanah dengan lebih dari 35% partikel yang lolos saringan No. 200 dimasukkan ke dalam kelompok A-4 hingga A-7, yang umumnya terdiri atas lanau dan lempung (Das, 1995).

Untuk menilai kualitas lebih lanjut dari tanah dalam tiap kelompoknya, digunakan suatu parameter yang disebut Indeks Kelompok (*Group Index*), yang nilainya diperoleh melalui perhitungan empiris menggunakan rumus tertentu. *Index* pada sistem klasifikasi tanah AASHTO adalah berdasarkan persamaan berikut

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15)(PI - 10) \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

GI = Indeks Kelompok (*Group Index*)

F = Material Lolos Saringan No. 200(%)

LL = Batas Cair (%)

PI = Indeks Plastisitas (%)

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2. 2 Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35 % atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							Tanah lanau - lempung (lebih dari 35 % dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi Kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	≤ 50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	≤ 30	≤ 50	≥ 51	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40											
Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	---	≤ 6	---	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≤ 41	≤ 40	≥ 41
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik			Biasa sampai jelek							

(Sumber : Das, 1995)

*Keterangan : Untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$
Untuk A-7-6, $PI > LL - 30$

16

2.8.2 Sistem Klasifikasi *Unified Soil Classification System (USCS)*

Sistem klasifikasi tanah USCS (*Unified Soil Classification System*) pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Arthur Casagrande pada tahun 1942 sebagai metod¹ pengelompokan tanah yang digunakan dalam pembangunan lapangan udara selama Perang Dunia II. Sistem ini kemudian mengalami penyempurnaan oleh tim teknisi dari *United States Bureau of Re²² nation (USBR)* pada tahun 1952, dan akhirnya diresmikan sebagai metode standar klasifikasi tanah oleh *American Society for Testing and Materials (ASTM)* melalui standar ASTM D2487 pada tahun 1969.

10

Dalam sistem ini, klasifikasi tanah ditentukan berdasarkan persentase butiran yang lolos saringan No. 200. Apabil¹ tanah memiliki kurang dari 50% partikel yang lolos saringan tersebut, maka tanah dikategorikan sebagai tanah berbutir kasar (terdiri atas kerikil dan pasir). Sebaliknya, bila lebih dari 50% butirannya lolos saringan No. 200, maka tanah digolongkan sebagai tanah berbutir halus, yang umumnya terdiri dari lanau atau lempung.

Sistem USCS menggunakan simbol-simbol huruf untuk menggambarkan sifat¹ dan jenis tanah, yaitu:

S = Pasir (*sand*),

G = Kerikil (*gravel*),

M = Lanau (*silt*),

C = Lempung (*clay*),

Pt = Tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic soil*),

O = Lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*),

P = Gradasi buruk (*poorly-graded*),

W = Gradasi baik (*well-graded*),

L = Plastisitas rendah (*low-plasticity*), dan

H = Plastisitas tinggi (*high-plasticity*).

Pengelompokan tanah berdasarkan sistem USCS dapat dilihat pada Tabel

2.3 berikut ini:

Tabel 2. 3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

Devisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Laboratorium	
Tanah Berbutir kasar 50% butiran tertahan saringan No. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan No. 4 (4,75 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus	
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	
		GC	Kerikil berlempung, campuran, kerikil pasir-lempung	
	Kerikil bersih (sedikit atau tak-ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir lempung	
	Tanah berbutir halus 50% atau lolos ayakan No. 200(0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung
			CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lumpur berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays")
OL			Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
MH			Lanau organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis	
CH			Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")	
OH			Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
PT			Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus kurang dari 5% lolos saringan mo. 200: GW, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan No. 200; GM, GC, SM, SC. 5%-12% lolos saringan No. 200: Batasan klasifikasi yang memenuhi simbol double

$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}, \text{ antara } 1 \text{ dan } 3$ Tidak memenuhi kriteria untuk GW	Batas-batas <i>Aterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Aterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$	Bila batas berbeda di daerah arsitek Bila batas berbeda di daerah arsitek Bila batas berbeda di daerah arsitek
---	--	---

Diagram Plastisitas :

Untuk mengklasifikasikan kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar, Batas *Aterberg* yang termasuk dalam daerah yang di arsitek berarti Batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.

Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488

76

2.9 Pengujian Sifat Fisis Tanah

Pengujian sifat fisis tanah bertujuan untuk mengetahui karakteristik dasar tanah melalui parameter seperti kadar air, batas-batas Atterberg, dan indeks plastisitas. Parameter tersebut digunakan untuk menentukan klasifikasi tanah serta memahami perilaku tanah terhadap perubahan kadar air dan kemampuannya sebagai tanah dasar

2.9.1 Pengujian Kadar Air Tanah

Kadar air (*water content*) adalah rasio antara berat air yang terkandung di dalam tanah dengan berat tanah kering. Dengan kata lain, kadar air menunjukkan seberapa banyak air yang terdapat dalam tanah dibandingkan dengan berat tanah yang sudah dikeringkan di oven. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan air dalam sampel tanah yang akan dianalisis. Perhitungan kadar air dapat dilakukan menggunakan Persamaan 2.2 berikut.

$$W = \frac{W_w}{W_s} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

W = Kadar Air (%)

W_w = Berat Air (gram)

W_s = Berat Tanah Kering (gram)

Hasil dari pengujian kadar air kemudian di masukkan kedalam gambar tabel 2.2 Hal 23 *Braja M.DAS* untuk menentukan jenis tanahnya.

Tabel 2. 4 Klasifikasi tanah terhadap kadar air Braja M.DAS

Tipe tanah	Angka pori, e	Kadar air dalam keadaan jenuh ω	Berat volume kering, γ_d (lb/ft ³)	(kN/m ³)
Pasir lepas dengan butiran seragam (loose uniform sand)	0,8	30	92	14,5
Pasir padat dengan butiran seragam (dense uniform sand)	0,45	16	115	18
Pasir berlanau yang lepas dengan butiran bersudut (loose angular-grained silty sand)	0,65	25	102	16
Pasir berlanau yang padat dengan butiran bersudut (dense angular-grained silty sand)	0,4	15	121	19
Lempung kaku (stiff clay)	0,6	21	108	17
Lempung lembek (soft clay)	0,9 – 1,4	30 – 50	73 – 93	11,5 – 14,5
Tanah (loess)	0,9	25	86	13,5
Lempung organik lembek (soft organic clay)	2,5 – 3,2	90 – 120	38 – 51	6 – 8
Glacial till	0,3	10	134	21

(Sumber: Das, 1995)

2.9.2 Pengujian Gravimetry dan Volumetry Tanah

Pengujian *gravimetri* dan *volumetri* tanah dilakukan untuk menentukan sifat fisis tanah berdasarkan perbandingan massa dan volume, yang digunakan sebagai dasar dalam analisis karakteristik tanah

1. Pengujian Gravimetry (Berat Jenis Tanah)

Berat jenis adalah perbandingan antara berat butiran tanah dengan berat air suling yang memiliki volume sama pada kondisi udara dan suhu tertentu, biasanya pada 30°C. Berat jenis air pada suhu t°C maupun pada suhu 30°C dapat diketahui melalui tabel *Properties of Distilled Water*. Setelah mendapatkan nilai tersebut, berat jenis tanah dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.3 dan 2.4 berikut.

$$G_s(t) = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$G_s(30^\circ\text{C}) = G_s(t) \times \frac{\text{berat volume air pada suhu } t^\circ\text{C}}{\text{berat volume pada suhu } 30^\circ\text{C}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

$G_s(t)$: Berat jenis pada suhu tertentu,
 $G_s(30^\circ\text{C})$: Berat jenis pada suhu 30°C,
 γ_s : Berat volume butiran padat (gram/cm³), dan
 γ_w : Berat volume air (gram/cm³)

16 engelompokan tanah berdasarkan hasil pengujian *Gravimetri* (berat Jenis Tanah) dapat dilihat pada tabel 2.5 dibawah ini:

Tabel 2. 5 Berat Jenis Tanah (*Spesific Gravity*)

Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2.65 – 2.68
Pasir	2.65 – 2.68
Lanau Organik	2.62 – 2.68
Lempung Organik	2.58 – 2.65
Lempung Anorganik	2.68 – 2.75
Humus	1.37
Gambut	1.25 – 1.28

(Sumber : Hardiyatmo,2022)

2. Pengujian Volumetry Tanah (Volume Tanah)

Berat volume tanah merupakan perbandingan antara massa total tanah beserta kandungan air di dalam pori-porinya dengan volume keseluruhan tanah tersebut. Nilai berat volume ini dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.5 berikut:

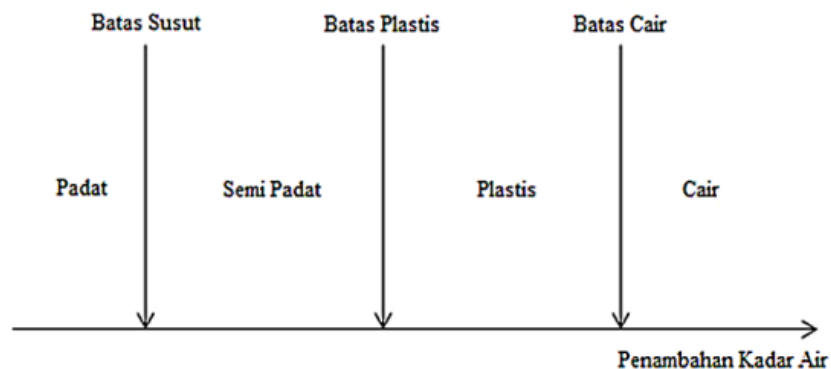
$$\gamma = \frac{W}{V} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

γ = Berat volume tanah (gram/cm³),
 W = Berat tanah basah (gram), dan
 V = Volume tanah total (cm³).

2.9.3 Pengujian Konsistensi Tanah (Batas – Batas Atterberg)

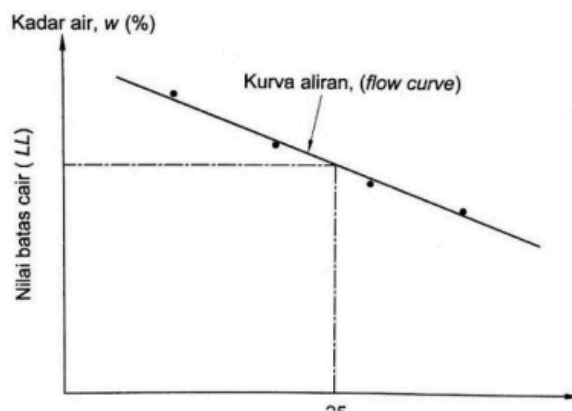
Kondisi fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu dikenal sebagai konsistensi tanah. Konsistensi ini sangat dipengaruhi oleh jumlah air dalam tanah, yang menentukan tingkat kekentalan dan perilaku tanah tersebut. Menurut Atterberg (1911), perubahan sifat tanah akibat variasi kadar air dapat dijelaskan melalui tiga batas konsistensi utama: batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*). Ketiga batas ini menunjukkan pergeseran fase tanah dari padat menuju cair seiring peningkatan kadar air. Posisi batas-batas konsistensi tanah kohesi dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2. 3 Batas - Batas Atterberg
 (Sumber: Hardiyatmo, 2010)

1. Batas Cair (*Liquid limit* atau LL)

Batas cair (*Liquid limit* atau LL) adalah kadar air pada saat tanah mulai berubah dari kondisi plastis menjadi cair, atau sebaliknya. Nilai ini ditentukan melalui uji *Casagrande* (1948). Dalam pengujian tersebut, kadar air tanah dikaitkan dengan jumlah ketukan yang tercatat menggunakan alat *Casagrande*. Hasil pengujian kemudian digambarkan dalam grafik *semi-logaritmik*, dengan jumlah ketukan pada sumbu *logaritmik* dan kadar air (%) pada sumbu linear. Dari kurva ini, kadar air pada 25 ketukan dapat ditentukan, yang menjadi acuan untuk mengetahui nilai batas cair tanah lempung, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Kurva Penentuan Batas Cair Tanah Lempung
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

2. Batas Plastis (*Plastic limit* atau PL)

Batas plastis (*Plastic limit/PL*) merupakan kadar air ketika tanah berada pada transisi antara kondisi plastis menuju keadaan semi-padat. Nilai ini diperoleh saat tanah yang digulung hingga mencapai diameter sekitar 3,2 mm mulai memperlihatkan retakan, sebagaimana dijelaskan oleh Hardiyatmo (2002). Besaran PL selanjutnya dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.6 berikut:

$$PL = \frac{Wp - Wk}{Wk} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

PL = Batas plastis tanah (%),

Wp = Berat tanah basah kondisi plastis (gram), dan

Wk = Berat tanah kering (gram).

24 3. Plasticity index (PI)

Indeks plastisitas (PI) merupakan selisih antara batas cair dan batas plastis, yang menggambarkan kisaran kadar air ketika tanah masih berada dalam kondisi plastis. Besarnya nilai PI menunjukkan tingkat keplastisan suatu tanah: PI tinggi mengindikasikan kandungan lempung yang lebih besar, sedangkan PI rendah seperti pada tanah lanau mengakibatkan tanah cepat mengeras ketika mengalami sedikit pengurangan kadar air (Hardiyatmo, 2002). Perhitungan PI ditentukan menggunakan Persamaan 2.7.

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

PI = Indeks Plastisitas (%),

LL = Batas cair (%), dan

PL = Batas plastis (%).

Klasifikasi mengenai batas indeks plastis, karakteristik tanah, jenis tanah, serta tingkat kohesinya dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut.

Tabel 2. 6 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

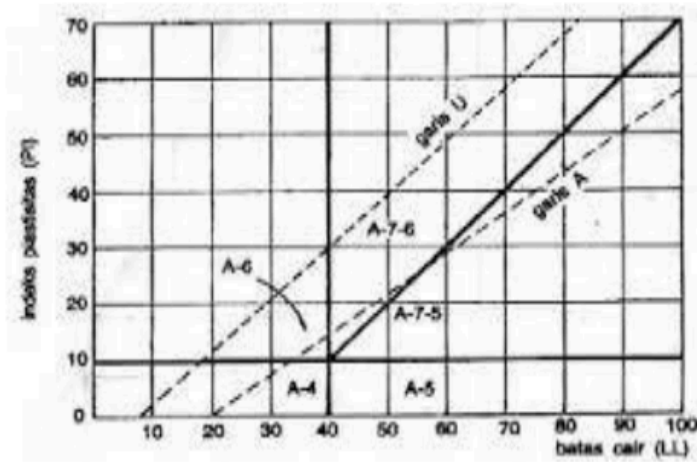
PI	Sifat Tanah	Macam Tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non Kohesif
< 7	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
7 – 17	Plastisitas Sedang	Lempung Berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

Tabel 2. 7 Hubungan Antara Kemampuan Pengembangan dengan Indeks Plastisitas

Kemampuan Pengembangan	Indeks Plastisitas (%)
Rendah	0 - 5
Sedang	5 - 15
Tinggi	16 - 35
Sangat Tinggi	>35

(Sumber: Fredlund, 1993; Mitchel, 1976)



42

Gambar 2. 5 Grafik Hubungan Antara Indeks Plastis dengan Liquid limit (LL) menurut AASHTO
(Sumber: Hardiyatmo, 1996)

Gambar 2. 6 Tabel Sistem Klasifikasi AASHTO)

Klasifikasi umum	Bahan-bahan (35% atau kurang melalui No. 200)						Bahan-bahan lanau-lempung (Lebih dari 35% melalui No. 200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Klasifikasi kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5; A-7-6;
Analisis saringan: Persen melalui: No. 10 No. 40 No. 200	50 maks. 30 maks. 15 maks.	50 maks. 25 maks.	51 maks. 10 maks.	35 maks.	35 maks.	35 maks.	35 maks.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Karakteristik fraksi melalui No. 40 Batas cair: Indeks plastisitas	6 maks.		N.P.	40 maks. 10 maks.	41 min. 10 maks.	40 maks. 11 min.	41 min. 11 min.	40 maks. 10 maks.	41 min. 10 maks.	40 maks 11 min.	41 min. 11 min.
Indeks kelompok	0		0	0		4 maks.		8 maks.	12 maks.	16 maks.	20 maks.
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Fragmen batuan, kerikil, dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Tingkatan umum sebagian tanah dasar	Sangat baik baik sampai baik							sedang sampai buruk			

Untuk : A-7-5 : $PI \leq LL - 30$ NP = Non plastis
Untuk : A-7-6 : $PI > LL - 30$

(Sumber : Hardiyatmo, 1996)

11 Untuk mengevaluasi mutu (kualitas) dari suatu tanah sebagai bahan lapisan tanah dasar (*subgrade*) suatu konstruksi maka diperlukan perhitungan *Group Index* (GI) menggunakan persamaan 2.1 diatas.

Harga GI ini dituliskan didalam kurung setelah nama kelompok dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan.

1 4. Batas Susut (*Shrinkage limit* atau *SL*)

Batas susut (SL) adalah kadar air ketika tanah berada di antara kondisi semi-padat dan padat, yaitu saat penurunan kadar air tidak lagi membuat volumenya berubah. Pengujian dilakukan dengan memasukkan tanah ke dalam cawan porselen berukuran diameter 44,4 mm dan tinggi 12,7 mm yang sudah diberi pelumas, lalu sampel dikeringkan di dalam oven. Nilai batas susut kemudian dihitung menggunakan Persamaan 2.8 berikut:

$$SL = W_c - \left[\frac{W_4 - W_5}{13,6} \right] \times \left[\frac{1}{W_3 - W_1} \right] \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

SL = Batas Susut (%)

W_c = Kadar Air Mula-Mula (%)

W₄ = Berat Cawan + Tanah Kering (gr)

W₅ = Berat Tanah Kering (gr)

W₃ = Berat Tanah Basah (gr)

W₁ = Berat cawan (gr)

Setelah nilai batas cair, batas plastis, dan batas susut diperoleh dari hasil pengujian *Atterberg*, jenis mineral lempung dalam sampel dapat diidentifikasi dengan membandingkannya terhadap rentang karakteristik mineral yang di tunjukkan berdasarkan tabel 2.8 berikut :

5 Tabel 2. 8 Batas – Batas *Atterberg* untuk Mineral Lempung

Mineral	Batas Cair	Batas Plastis	Batas Susut
Montmorilonit	100 - 90	50 -100	8.5 - 15
Illit	60 - 120	35 - 60	15 - 17
Kaolinit	30 - 110	25 - 40	25 - 29

(Sumber: Mitchell, 1976)

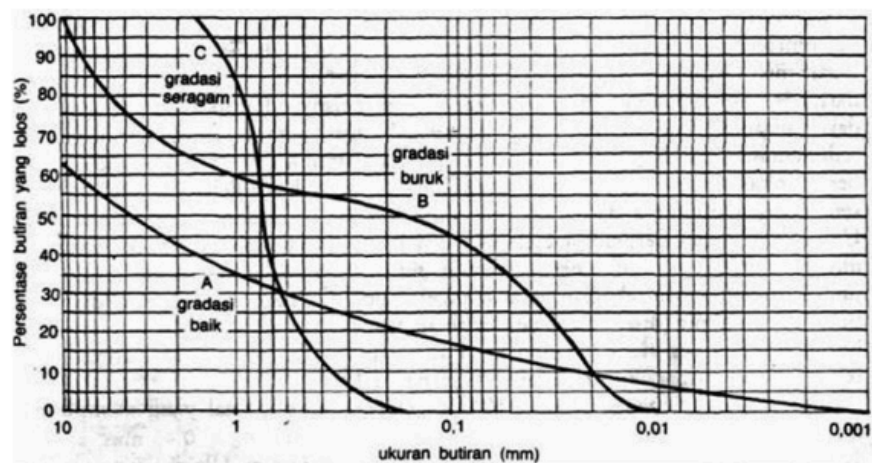
2.9.4 Pengujian Analisa Saringan

Analisis butiran tanah dilakukan untuk mengetahui persentase berat partikel yang tertahan pada setiap ukuran saringan. Karena sifat dasar tanah sangat dipengaruhi oleh ukuran butirannya, parameter ini menjadi acuan penting dalam

penamaan dan perklasifikasian jenis tanah. Untuk mengetahui distribusi ukuran partikel, terdapat dua metode pengujian utama, yaitu analisis saringan dan analisis hidrometer sebagai berikut :

1. Analisis saringan digunakan untuk tanah berbutir kasar dengan cara mengayak sampel melalui rangkaian saringan berukuran tertentu. Tujuannya adalah menentukan persentase butir tanah yang tertahan pada saringan No. 200 setelah sampel dikeringkan.
2. Analisis hidrometer diterapkan pada tanah berbutir halus. Pengujian ini memanfaatkan proses sedimentasi untuk menghitung distribusi ukuran partikel yang tidak tertahan saringan No. 10.

Hasil kedua metode tersebut disajikan dalam bentuk grafik distribusi ukuran butir seperti ditampilkan pada Gambar 2.7



Gambar 2. 7 Grafik Analisis Distribusi Ukuran Butiran
(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

4

Ukuran butir tanah :

- Kerikil Kasar = Lolos saringan 3" dan tertahan di 3/4"
- Kerikil Halus = Lolos saringan 3/4" dan tertahan di No.4
- Pasir Kasar = Lolos saringan No.4 dan tertahan di No. 10
- Pasir Sedang = Lolos saringan No.10 dan tertahan di No. 40
- Pasir Halus = Lolos saringan No.40 dan tertahan di No.200
- Lanau dan Lempung = Lolos saringan No.200

2

Rumus yang digunakan untuk menghitung presentasi dan berat tertahan sesuai dengan persamaan 2.9 dan 2.10 serta untuk presentase tanah lolos sesuai dengan persamaan 2.11 berikut:

$$\%R_i = \frac{W_i}{W} \times 100\% \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\% CR_i = \Sigma \%R_i \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\% P_i = 100\% - \% CR_i \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

- W = Berat Total Contoh Tanah (gr)
 W_i = Berat Tanah Tertahan pada Saringan ke-i (gr)
 ΣW_i = Jumlah Berat Tanah Tertahan (gr)
 $\%R_i$ = Persen Tertahan pada saringan ke-i (%)
 $\% CR_i$ = Persen Tertahan Kumulatif (%)
 $\%P_i$ = Persen Lolos Saringan ke-i (%)
 D = Ukuran Bukaan Saringan (mm)

2.9.5 Tes Hidrometer

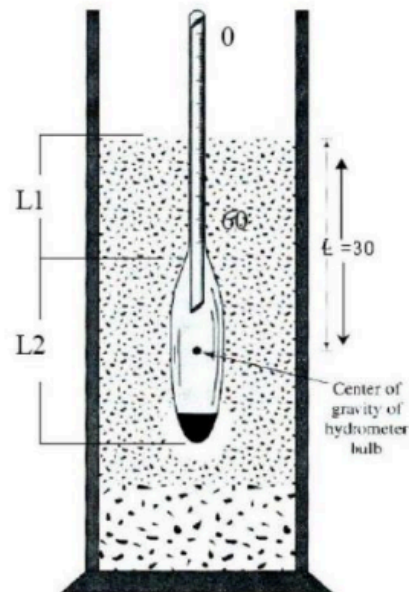
a. Referensi

ASTM C136-2012 dan AASHTO T27

b. Dasar Teori

Hydrometer merupakan instrumen yang digunakan untuk menentukan berat jenis atau kepadatan relatif suatu fluida, yaitu perbandingan antara massa jenis cairan dengan massa jenis air. Alat ini umumnya dibuat dari bahan kaca dan memiliki bentuk batang silindris yang dilengkapi dengan bola pemberat berisi merkuri (raksa) sehingga dapat mengapung dalam posisi tegak saat digunakan.

Prinsip kerja *hydrometer* mengacu pada hukum *Archimedes*, yang menyatakan bahwa suatu benda padat yang berada di dalam fluida dalam pengujian ini berupa partikel tanah akan mengalami gaya apung sebesar berat fluida yang dipindahkan. Oleh karena itu, fluida dengan tingkat kerapatan yang lebih rendah menyebabkan *hydrometer* tenggelam lebih dalam. Kedalaman tenggelamnya alat tersebut dapat diketahui melalui skala pengukuran yang tercantum pada badan *hydrometer*.



Gambar 2. 8 Hidrometer dalam Cairan
(Sumber : ASTM 152-H)

Pengujian ini berlandaskan pada hukum Stokes yang menjelaskan perilaku pengendapan partikel berbentuk menyerupai bola di dalam fluida kental. Kecepatan pengendapan maksimum partikel dipengaruhi oleh ukuran butiran serta perbedaan berat jenis antara partikel tanah dan cairan tempat partikel tersebut tersuspensi. Berdasarkan hubungan tersebut, ukuran butiran tanah dapat ditentukan melalui data jarak tempuh dan waktu pengendapan. Selain itu, penggunaan *hydrometer* memungkinkan penentuan berat jenis suspensi, yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk menghitung persentase serta ukuran partikel tanah yang setara.

Penelitian ini menitikberatkan pada keterkaitan antara kecepatan jatuh partikel dalam larutan dengan diameter butiran, berat jenis partikel, berat jenis larutan, serta sifat kekentalan fluida. Hubungan fisis ini selanjutnya dinyatakan secara matematis melalui hukum Stokes sebagai berikut:

$$v = \frac{2\gamma_s - \gamma_w}{9\eta} \left(\frac{D}{2}\right)^2 \dots\dots\dots(2.12)$$

$$D = 2 \sqrt{\frac{9\eta}{2\gamma_s - \gamma_w}} \dots\dots\dots(2.13)$$

7
dengan:

v = kecepatan jatuh dari butiran (cm/s)

γ_s = berat jenis butiran (gr/cm³)

γ_w = berat volume air (gr/cm³)

η = kekentalan air (dyne.s/cm²)

D = diameter butiran (cm)

Adapun batasan penerapan hukum *Stokes* dalam pengujian hidrometer adalah sebagai berikut:

1. Hukum *Stokes* hanya berlaku untuk partikel tanah dengan diameter yang berada pada rentang 0,0002 mm hingga 0,2 mm.
2. Partikel dengan ukuran lebih besar dari 0,2 mm dapat menimbulkan aliran turbulen dalam larutan, sedangkan partikel yang lebih kecil dari 0,0002 mm cenderung mengalami gerak Brown akibat adanya gaya tarik dan gaya tolak antarpartikel.
3. Jumlah sampel tanah yang digunakan dalam pengujian harus relatif kecil, yaitu sekitar 5% dari total suspensi, dengan tujuan untuk menghindari terjadinya interferensi antarbutiran selama proses pengendapan. Berdasarkan pendapat Bowles, hydrometer tipe 152H dikalibrasi untuk suspensi yang mengandung 60 gram tanah dalam 1000 ml air.
4. Dalam analisis ini, butiran tanah diasumsikan berbentuk bulat, meskipun asumsi tersebut tidak sepenuhnya menggambarkan kondisi alami partikel tanah. Oleh karena itu, tanah yang akan diuji perlu terlebih dahulu diuraikan menggunakan bahan pendispersi, yaitu sodium metafosfat (NaPO₃) atau Calgon untuk tanah yang bersifat alkalis, serta sodium silikat (Na₂SiO₃) atau Water Glass untuk tanah yang bersifat asam.

Kecepatan jatuh butiran dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$v = \frac{L}{t} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$L2 = L1 + 0,5 \left(L2 - \frac{Vb}{a} \right) \dots\dots\dots(2.15)$$

dengan :

v = kecepatan jatuh dari butiran

L = tinggi jatuh butiran

T = waktu

Vb = volume *Bulb Hydrometer*

A = luas penampang *Hydrometer*

L1 = sesuai tabel pembacaan *hydrometer* tipe 152 H dan dikoreksi terhadap miniskus dapat dilihat pada tabel 2.9 berikut:

Tabel 2. 9 Tabel Pembacaan *Hydrometer* Tipe 152 H dan dikoreksi terhadap Miniskus

BACAAN HIDROMETER TERKOREKSI OLEH MENISKUS (R)	EFFECTIVE DEPTH (L(cm))	BACAAN HIDROMETER TERKOREKSI OLEH MENISKUS (R)	EFFECTIVE DEPTH (L(cm))
0	16.3	31	11.2
1	16.1	32	11.1
2	16	33	10.9
3	15.8	34	10.7
4	15.6	35	10.5
5	15.5	36	10.4
6	15.3	37	10.2
7	15.2	38	10.1
8	15	39	9.9
9	14.8	40	9.7
10	14.7	41	9.6
11	14.5	42	9.4
12	14.3	43	9.2
13	14.2	44	9.1
14	14	45	8.9
15	13.8	46	8.8
16	13.7	47	8.6
17	13.5	48	8.4
18	13.3	49	8.3
19	13.2	50	8.1
20	13	51	7.9
21	12.9	52	7.8
22	12.7	53	7.6
23	12.5	54	7.4
24	12.4	55	7.3
25	12.2	56	7.1
26	12	57	7
27	11.9	58	6.8
28	11.7	59	6.6
29	11.5	60	6.5
30	11.4		

(Sumber: ASTM D422-63 (Reapproved 1990))

45

Untuk yang sudah dikoreksi:

$$RC = R_{aktual} - \text{Zero Correction} + CT \dots\dots\dots(2.16)$$

dengan :

CT = koreksi terhadap temperatur yang dapat dilihat pada tabel 2.10

Tabel 2. 10 koreksi terhadap temperatur

TEMPERATUR (°C)	Ct
15	-1.10
16	-0.90
17	-0.70
18	-0.50
19	-0.30
20	0.00
21	0.20
22	0.40
23	0.70
24	1.00
25	1.30
26	1.65
27	2.00
28	2.50
29	3.05
30	3.80

(Sumber : ASTM D422-63 (Reapproved 1990))

9 untuk $G_s = 2.65$ rumus yang digunakan:

$$\% \text{ finer} = \frac{R_c}{W_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

sedangkan untuk $G_s \geq 2.65$

$$\% \text{ finer} = \frac{R_c \cdot a}{W_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

$$a = \frac{G_s \cdot 1,65}{(G_s - 1)2,65} \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

atau harga a dapat dilihat dalam tabel 2.11 berikut:

Tabel 2. 11 Hubungan G_s den nilai a

Specific Gravity	a
2,95	0,94
2,9	0,95
2,85	0,96
2,8	0,97
2,75	0,98
2,7	0,99
2,65	1
2,6	1,01
2,55	1,02
2,5	1,04
2,45	1,05

(Sumber : ASTM D422-63 (Reapproved 1990))

Dapat dihitung dengan rumus di bawah ini

$$D = \sqrt{\frac{30 \eta L}{(G_s - G_w) 980 t}} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}} \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan :

- satuan dalam L (cm) dan t (menit)

- koefisien K (tabel harga-harga K) Tabel K dapat dilihat pada tabel 2.12 berikut.

Tabel 2. 12 Tabel Nilai K

TABEL NILAI K								
TEMP	Gs							
°C	2.45	2.5	2.55	2.6	2.65	2.7	2.75	2.8
16	0.0151	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191
29	0.01312	0.0129	0.01269	0.01249	0.0123	0.01212	0.01195	0.01178
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01169

(Sumber : ASTM D422-63 (Reapproved 1990))

Setelah % finer dan D yang saling terkait telah dihitung, maka didapat suatu grafik distribusi butiran. Dari grafik ini akan didapat D10, D30 dan D60 dengan cara sebagai berikut:

- D10 = diameter yang koresponding dengan lolosnya butiran sebanyak 10% (%finer = 10%)
- D30 = diameter yang koresponding dengan lolosnya butiran sebanyak 30% (%finer = 30%)
- D60 = diameter yang koresponding dengan lolosnya butiran sebanyak 60% (%finer = 60%)

Sehingga koefisien keseragaman (CU) kita bisa dapatkan dengan rumus:

$$C = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots\dots\dots(2.22)$$

Definisi koefisien keseragaman untuk beberapa nilai:

- CU = 1 , tanah yang hanya memiliki satu ukuran butiran
- 2 < CU < 3 , tanah yang gradasinya sangat buruk
- CU > 15 , tanah bergradasi baik

Selain itu koefisien curvature (kelengkungan) CC kita bisa dapatkan dengan rumus:

$$C_c = \frac{D_{30} \times D_{30}}{710 \times D_{60}} \dots\dots\dots(2.23)$$

Untuk $1 < CC < 3$, dapat dianggap suatu range untuk tanah yang bergradasi baik

2.10 Pengujian Sifat Mekanis Tanah

Sifat mekanis tanah menggambarkan perilaku massa tanah ketika menerima beban atau tekanan dan dijelaskan melalui pendekatan mekanika tanah (Kusuma dkk., 2016). Parameter teknis seperti koefisien konsolidasi, kohesi, dan sudut geser dalam merupakan bagian dari sifat mekanis tersebut, di mana seluruh parameter ini sangat dipengaruhi oleh karakteristik fisis tanah (Darwis, 2018).

Menurut (Darwis, 2018). Kuat geser tanah merupakan kemampuan tanah untuk menahan gaya dorong maupun tarik yang bekerja padanya. Ketika suatu beban diberikan, daya tahan tanah ditentukan oleh dua komponen utama, yaitu:

1. Kohesi, yaitu gaya ikat antar butir tanah yang dipengaruhi oleh jenis tanah dan tingkat kepadatannya, namun tidak bergantung pada besar tegangan normal di bidang geser.
2. Gaya gesek antar butir, yaitu resistansi yang timbul akibat kontak antarbutir tanah, di mana besarnya meningkat seiring bertambahnya tegangan normal pada bidang geser.

Dalam penelitian ini, penentuan parameter kuat geser tanah dilakukan melalui dua jenis pengujian geser langsung, yaitu:

2.10.1 Pengujian Standar Proctor

Pemadatan tanah merupakan proses meningkatnya berat volume kering akibat pemberian energi dinamis. Gaya dinamis tersebut membuat butir-butir tanah saling mendekat karena udara dalam pori-pori berkurang (Hardiyatmo, 2012). Ketika air ditambahkan selama proses pemadatan, air berperan sebagai pelumas yang membantu partikel-partikel tanah bergerak dan bergeser lebih mudah. Dengan adanya pelumasan ini, butir tanah dapat tersusun lebih rapat sehingga menghasilkan kondisi tanah yang lebih padat (Das, 1995).

Pemadatan tanah memiliki peran penting dalam meningkatkan kekuatan serta daya dukung tanah. Dengan pemadatan yang baik, pondasi di atasnya akan lebih stabil, penurunan tanah yang tidak diinginkan dapat diminimalkan, dan kestabilan lereng timbunan (*embankment*) menjadi lebih terjamin (Das, 1995). Selain itu, proses pemadatan berperan penting dalam meningkatkan kekuatan geser tanah, mengurangi kecenderungan tanah untuk mengalami

pemampatan (*compresibilitas*), menurunkan tingkat *permeabilitas*, serta menekan perubahan volume yang dapat terjadi akibat *fluktuasi* kadar air.

15 Proctor (1933) mengungkapkan bahwa terdapat keterkaitan yang kuat antara kadar air dan berat volume kering tanah yang dipadatkan. Setiap jenis tanah umumnya memiliki satu nilai kadar air tertentu yang mampu menghasilkan berat volume kering paling tinggi.. Untuk menilai karakteristik kepadatan tersebut, dilakukan u 91 emadatan di laboratorium melalui *standard Proctor test*. Hubungan antara berat volume kering, berat volume basah, dan kadar air kemudian dinyatakan dalam Persamaan 2.24 :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + w} \dots\dots\dots(2.24)$$

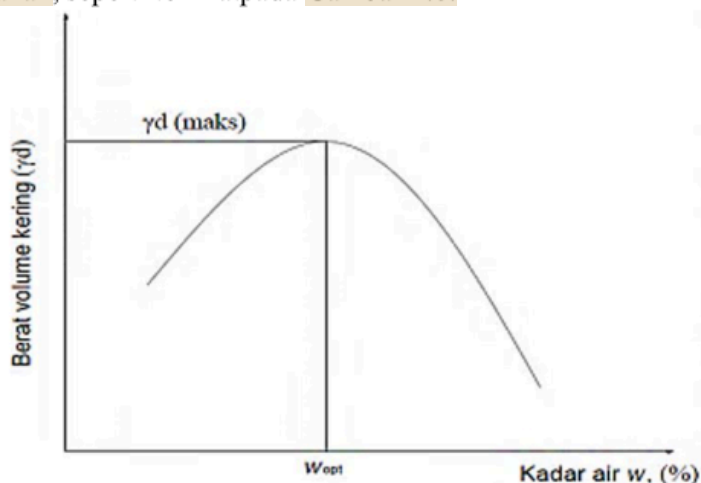
1
Keterangan :

W = Kadar air (%),

γ_d = Berat volume tanah kering (gram/cm³), dan

γ_b = Berat volume tanah basah (gram/cm³).

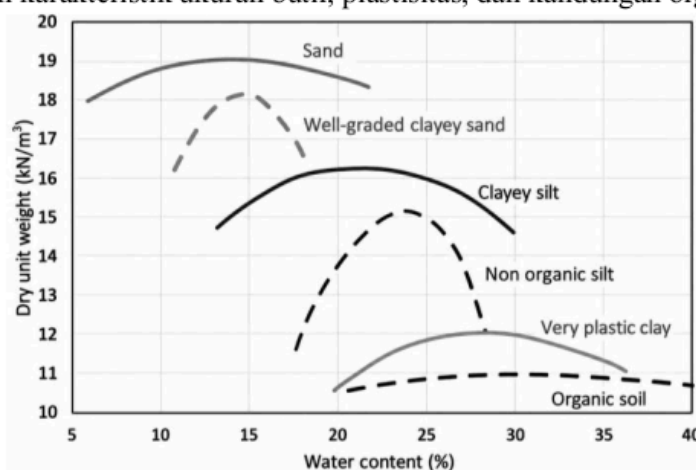
1
Uji Proctor standar dilakukan dengan memadatkan sampel tanah ke dalam cetakan berukuran tet 1 menggunakan pemadat khusus. Melalui pengujian ini, dapat ditentukan nilai kepadatan kering maksimum (*Maximum Dry Density/MDD*) dari tanah tersebut. serta kadar air terbaik yang diperlukan untuk mencapai kepadatan tersebut (*Optimum Moisture Content/OMC*). Nilai-nilai hasil 18 ini kemudian disajikan dalam bentuk grafik yang menggambarkan hubungan antara perubahan kadar air dengan berat volume kering tanah, seperti terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 9 Kurva Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering
(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

Hasil kurva pemadatan memperlihatkan bahwa berat volume kering tertinggi (γ_{dmax}) tercapai pada kadar air tertentu yang menjadi titik optimum ($W_{optimum}$).²⁴

Menurut Daniel Levacher dan Samer Oqabi (2025), *typical shapes of some compaction curves of common soils* atau bentuk umum kurva pemadatan pada beberapa jenis tanah berdasarkan hasil *Proctor Test*. Kurva tersebut menggambarkan hubungan antara kadar air (*water content*) dan berat isi kering (*dry unit weight*) dari berbagai klasifikasi tanah. Setiap jenis tanah memiliki bentuk kurva yang berbeda sesuai dengan karakteristik ukuran butir, plastisitas, dan kandungan organiknya.⁶²



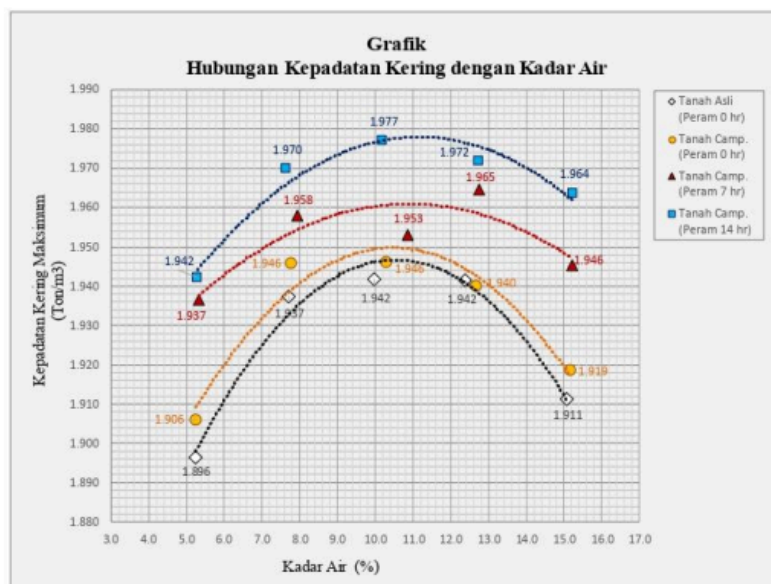
Grafik 2. 1 Typical Shapes of Some Compaction Curves of Common Soils
(Sumber: Daniel Levacher dan Samer Oqabi, 2025)

Tanah berbutir kasar seperti pasir (*sand*) memiliki kurva dengan berat isi kering maksimum yang tinggi pada kadar air optimum yang relatif rendah. Hal ini menunjukkan bahwa tanah pasir lebih mudah dipadatkan karena rongga antar butir dapat tersusun rapat dengan sedikit penambahan air. Pada tanah bergradasi baik yang mengandung lempung (*well-graded clayey sand*), kepadatan maksimum masih cukup tinggi, namun membutuhkan kadar air yang lebih besar dibandingkan pasir murni.¹⁶

Sementara itu, tanah berbutir halus seperti lanau lempungan (*clayey silt*), lanau non-organik (*non organic silt*), dan lempung plastis tinggi (*very plastic clay*) menunjukkan kurva yang lebih landai dengan nilai berat isi kering maksimum lebih rendah. Kondisi ini terjadi karena tanah halus memiliki daya ikat air lebih besar dan plastisitas yang lebih tinggi sehingga membutuhkan kadar air optimum yang lebih tinggi untuk mencapai pemadatan maksimum. Adapun tanah organik (*organic soil*) memiliki nilai berat isi kering paling rendah akibat kandungan bahan organik yang menghambat proses pemadatan.⁵⁵

Grafik dibawah yang dilakukan oleh Sinambela, Rondonuwu dan Legrans (2024) dengan judul penelitian "*Potensi Penggunaan Bacillus Subtillis Untuk*

Stabilisasi Tanah Bekas Tambang Emas” memperlihatkan contoh pola peningkatan kepadatan kering maksimum seiring dengan bertambahnya waktu peram. Tanah tanpa penambahan bakteri memiliki nilai tetap sebesar $1,947 \text{ t/m}^3$, sedangkan tanah yang sudah dicampur reagen bakteri menunjukkan kenaikan secara bertahap: $1,950 \text{ t/m}^3$ pada hari ke-0, $1,961 \text{ t/m}^3$ pada hari ke-7, dan $1,978 \text{ t/m}^3$ pada hari ke-14. Kenaikan ini menegaskan bahwa bakteri *Bacillus subtilis* aktif menghasilkan CaCO_3 yang memperkuat ikatan antar partikel tanah, sehingga memadatkan struktur dan meningkatkan stabilitasnya. Dengan kata lain, semakin lama bakteri berperan dalam sampel, semakin besar proses sementasi biologis yang terjadi. Temuan ini menunjukkan bahwa teknik *biogrouting* efektif diterapkan pada tanah bekas tambang yang memerlukan peningkatan daya dukung tanpa menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan.



22

Gambar 2. 10 Grafik Hubungan Kepadatan Kering dengan Kadar Air
(Sumber: Sinambela, 2024)

2.10.2 Unconfined Compression Test (UCS)

Pengujian *Unconfined Compression Test* (UCS) merupakan salah satu bentuk khusus dari pengujian *Unconsolidated Undrained* (UU) yang umumnya diterapkan pada sampel tanah lempung. Pengujian kuat tekan bebas ini dilakukan di laboratorium untuk menentukan kekuatan geser tanah melalui pemberian beban tekan aksial tanpa adanya tekanan samping pada benda uji. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kemampuan tanah dalam menahan beban tekan hingga mengalami deformasi maupun keruntuhan berupa retakan. Selain itu, pengujian UCS juga digunakan untuk mengamati besarnya regangan tanah akibat tekanan yang diberikan.

Nilai kuat tekan bebas (q_u) didefinisikan sebagai tegangan aksial maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji berbentuk silinder sebelum terjadi keruntuhan geser. Dari hasil pengujian ini juga dapat diketahui tingkat konsistensi tanah, yaitu penilaian terhadap tingkat kekuatan atau daya dukung tanah berdasarkan hasil pengujian lapangan seperti sondir dan SPT maupun pengujian laboratorium seperti UCS. Tingkat konsistensi tersebut digunakan untuk menggambarkan kondisi kekuatan tanah dari sangat lunak hingga keras.

Tabel 2. 13 Konsistensi Tingkat kekuatan tanah

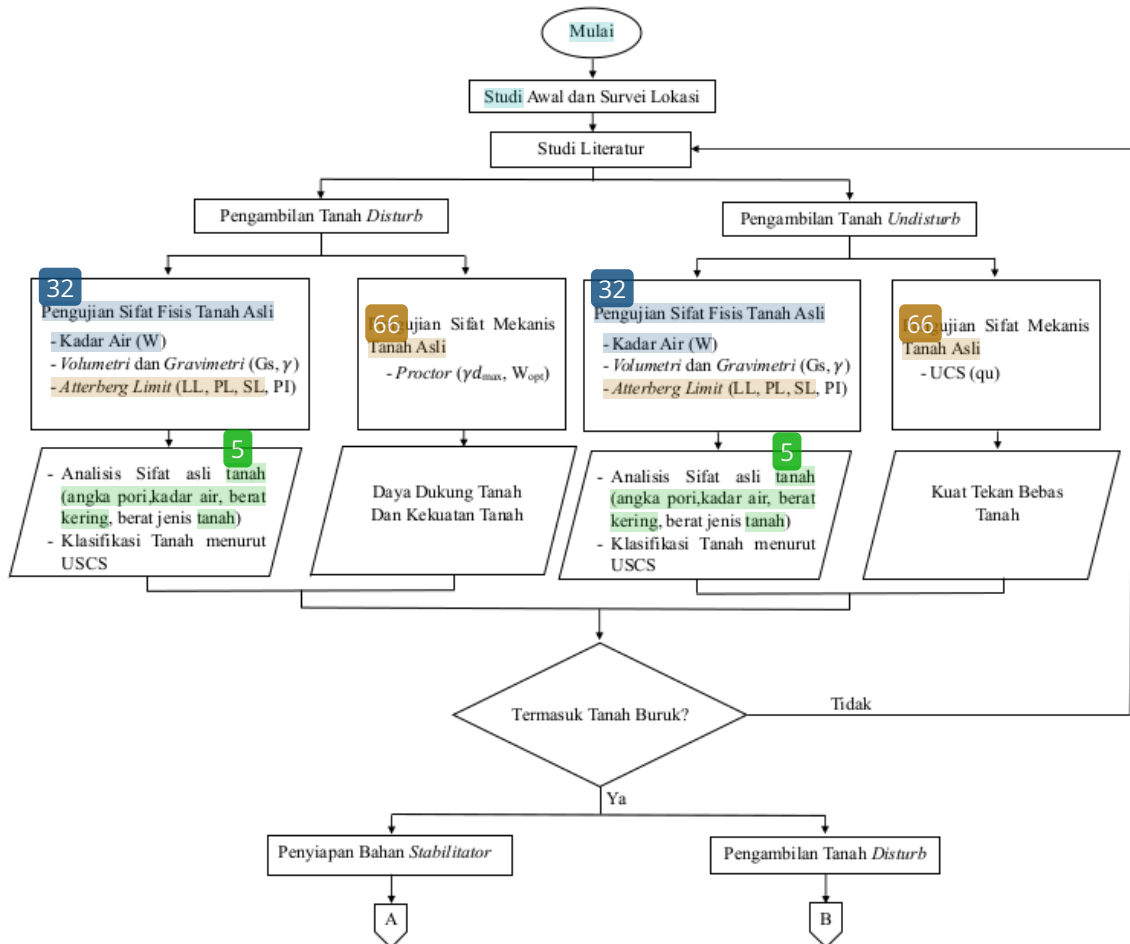
UCS (kg/cm ²)	Konsistensi
0,00 – 0,25	<i>Very soft</i> (sangat lunak)
0,25 – 0,50	<i>Soft</i> (lunak)
0,50 – 1,00	<i>Medium Stiff</i> (sedang)
1,00 – 2,00	<i>Stiff</i> (kaku)
2,00 – 4,00	<i>Very stiff</i> (Sangat kaku)
> 4,00	<i>Hard</i> (keras)

(Sumber: Begeman, 1965)

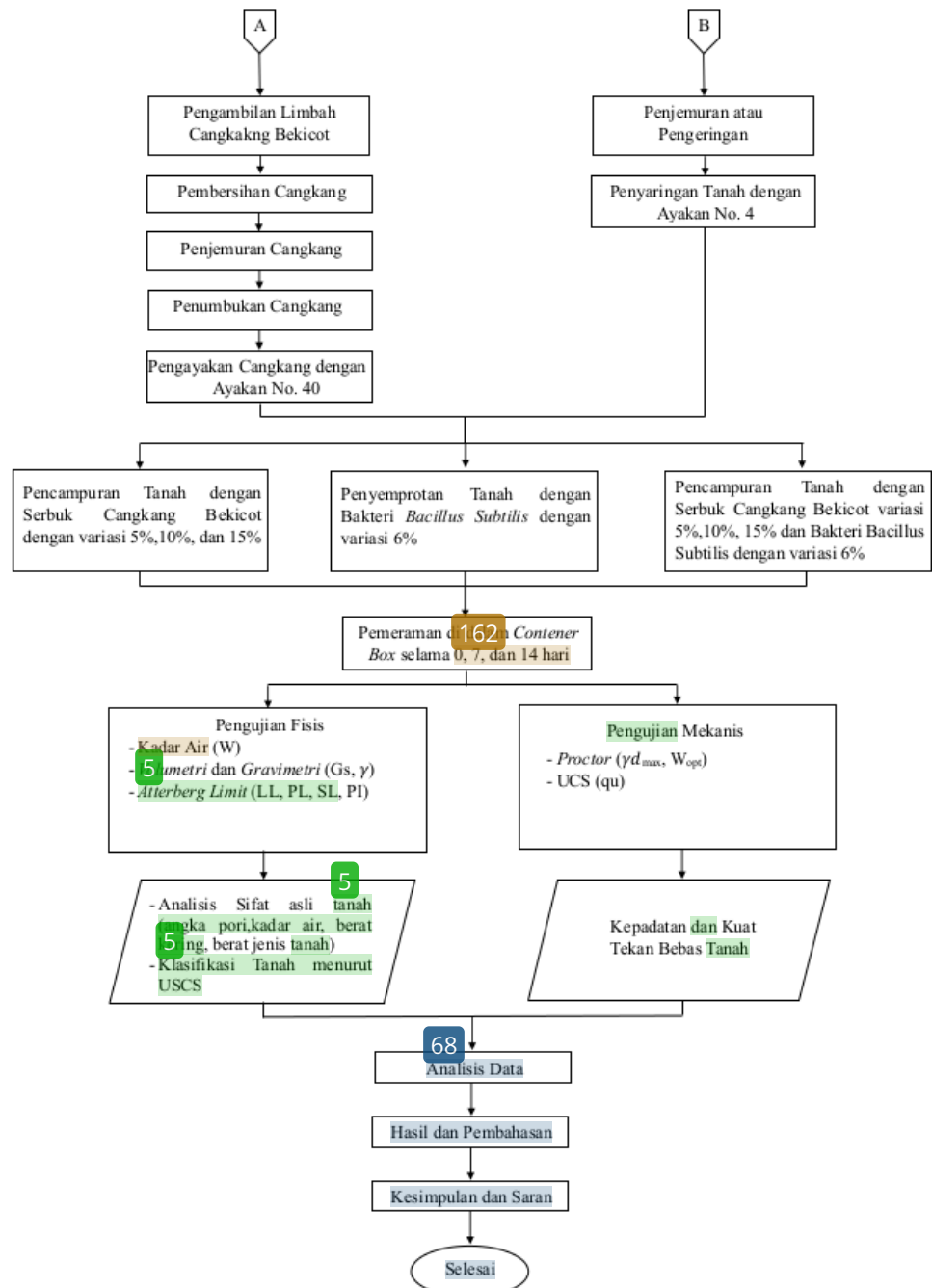
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Flowchart (Diagram Alir)



Gambar 3. 1 Flowchart (Diagram Alir)
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 3. 2 Flowchart (Diagram alir) (Lanjutan)
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

3.2 Penjelasan Diagram Alir (*Flowchart*)

1. Studi Awal

Peneliti melakukan identifikasi awal terkait kondisi tanah di lokasi penelitian, yaitu Kecamatan Wonoayu–Sidoarjo, yang diketahui memiliki karakteristik tanah lempung dengan tingkat plastisitas tinggi dan daya dukung yang rendah. Studi awal ini juga mencakup pengenalan permasalahan teknis yang sering muncul pada area dengan kondisi tanah tersebut, seperti potensi penurunan tanah, deformasi saat perubahan kadar air, serta risiko retakan pada struktur bangunan.

2. Studi Literatur

Tahap ini merupakan proses pengumpulan landasan teori yang relevan, baik dari buku, jurnal, maupun penelitian terdahulu. Fokus utama literatur adalah mengenai karakteristik tanah lempung, metode stabilisasi tanah, pemanfaatan limbah cangkang bekicot sebagai material perbaikan tanah, serta peran bakteri *Bacillus subtilis* dalam meningkatkan kekuatan struktur tanah melalui proses *bioremediasi* mineral. Studi ini juga bertujuan untuk menemukan celah penelitian dan memperkuat argumentasi pentingnya inovasi stabilisasi yang lebih ramah lingkungan.

3. Pengambilan Sampel Tanah

Setelah lokasi ditentukan, dilakukan pengambilan sampel tanah asli dari Wonoayu Sidoarjo sesuai prosedur standar. Sampel yang diambil akan digunakan sebagai bahan uji di laboratorium untuk mengetahui sifat asli tanah sebelum diberikan perlakuan stabilisasi.

4. Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Asli

Pada tahap ini, sampel tanah diuji untuk mengetahui karakteristik awalnya. Pemeriksaan meliputi sifat fisik seperti distribusi ukuran butir, kadar air, batas plastisitas, berat jenis, serta sifat mekaniknya. Hasil dari tahap ini menjadi pembanding utama dalam menilai efektivitas bahan stabilisasi yang digunakan. Adapun parameter yang diuji meliputi:

- a. Kadar Air dihitung dengan mengacu pada rumus (2.2)
- b. Analisa Saringan dan *Hidrometer* dihitung dengan mengacu pada persamaan rumus (2.9) sampai persamaan (2.23)
- c. Berat Jenis (*Volumetri dan Gravimetri*) dihitung dengan mengacu pada rumus (2.3), (2.4) dan (2.5)
- d. Batas *Atterberg* (LL, PL, PI, SL)
 1. LL dihitung dengan mengacu pada rumus (2.6)

2. PL dihitung dengan mengacu pada rumus (2.6)
3. PI dihitung dengan mengacu pada rumus (2.7)
4. SL dihitung dengan mengacu pada rumus (2.8)

5. Pengumpulan Data Tanah Asli

Semua data dari hasil pengujian awal dikumpulkan dan diolah sebagai dasar analisis karakteristik tanah sebelum distabilisasi. Data ini menjadi acuan dalam mengetahui peningkatan atau perubahan setelah tanah dicampur dengan bakteri dan serbuk cangkang bekicot.

6. Pemberian Perlakuan Stabilisasi pada Tanah

Pada tahap ini dilakukan campuran tanah lempung dengan bahan stabilisasi. Bakteri *Bacillus subtilis* digunakan dalam beberapa variasi persentase yaitu 6% sedangkan serbuk cangkang bekicot diberikan dengan konsentrasi tetap sebesar 5% 10% dan 15%. Setelah proses pencampuran, tanah kemudian menjalani proses pemeraman selama 0,7 dan 14 hari untuk memungkinkan bakteri dan bahan tambahan bekerja memperbaiki struktur tanah.

7. Pengujian Sifat Fisis Tanah Campuran

Setelah pemeraman sesuai variasi waktu, dilakukan kembali pengujian sifat fisis untuk mengetahui sejauh mana perubahan karakteristik fisik tanah yang telah distabilisasi. Parameter yang diuji tetap sama seperti tanah asli agar perbandingan lebih akurat, yaitu:

- a. Kadar Air dihitung dengan mengacu pada rumus (2.2)
- b. Analisa Saringan dan Hidrometer dihitung dengan mengacu pada rumus (2.9) sampai persamaan (2.23)
- c. Berat Jenis (Volumetri dan Gravimetri) dihitung dengan mengacu pada rumus (2.3), (2.4) dan (2.5)
- d. Batas Atterberg (LL, PL, PI, SL)
 1. LL dihitung dengan mengacu pada rumus (2.6)
 2. PL dihitung dengan mengacu pada rumus (2.6)
 3. PI dihitung dengan mengacu pada rumus (2.7)
 4. SL dihitung dengan mengacu pada rumus (2.8)

Perubahan yang diamati dapat menggambarkan berkurangnya sifat ekspansif dan meningkatnya kestabilan tanah terhadap perubahan kadar air.

8. Pengujian Sifat Mekanis Tanah Campuran

Selain sifat fisik, kemampuan tanah dalam menahan beban dan tekanan juga diuji melalui metode uji mekanis. Dua uji utama yang dilakukan adalah:

- a. Uji *Proctor* → menentukan kadar air optimum dan nilai kepadatan maksimum tanah setelah distabilisasi, dihitung dengan mengacu pada rumus (2.24)
- b. Uji UCS → menilai peningkatan Kuat Tekan Bebas Tanah terhadap beban struktur, dihitung dengan mengacu pada rumus (2.25), (2.26) dan (2.27).

Tahap ini merupakan faktor kunci dalam menentukan keberhasilan stabilisasi.

9. Analisis Data

Analisis dilakukan dengan membandingkan seluruh parameter hasil uji sebelum dan sesudah stabilisasi. Data diinterpretasikan untuk mengetahui pengaruh variasi persentase bakteri dan durasi pemeraman terhadap peningkatan kualitas tanah. Grafik, tabel, dan hubungan antar-variabel ditampilkan untuk mendukung pembahasan ilmiah. Berikut analisis data dari pengujian parameter fisis dan mekanis tanah:

a. Analisis Data Pengujian Kadar Air

Data hasil perhitungan pengujian kadar air dianalisis dengan menyesuaikan Tabel 2.9, sehingga dapat diketahui kondisi kelembapan tanah serta klasifikasinya.

b. Analisa Data Saringan dan Hidrometer

Data hasil pengujian analisa saringan dan hidrometer dianalisis dengan menyesuaikan Gambar 2.7 berupa grafik distribusi ukuran butiran, sehingga dapat diketahui persentase fraksi pasir, lanau, dan lempung serta dianalisis dari hasil C_u dan C_c dari pengujian hidrometer untuk mengetahui klasifikasi jenis tanah berdasarkan gradasinya.

c. Analisis Data Berat Jenis (*Volumetri dan Gravimetri*)

Data hasil pengujian *volumetri dan gravimetri* dianalisis dengan menyesuaikan Tabel 2.10 sehingga dapat diketahui macam tanah berdasarkan nilai berat jenisnya.

a. Analisis Data Batas Atterberg (LL, PL, PI, SL)

Data hasil pengujian batas cair (LL) dan batas plastis (PL) digunakan untuk menghitung indeks plastisitas (PI), sehingga dapat ditentukan nilai indeks plastisitas sesuai Tabel 2.11 dan selanjutnya disesuaikan dengan Tabel 2.12 untuk mengetahui tingkat kemampuan pengembangan tanah.

d. Analisis Data Uji *Proctor*

Nilai-nilai hasil pengujian *Proctor* disajikan dalam bentuk grafik sesuai kurva hubungan antara kadar air dan berat volume kering pada Gambar 2.9. Kurva pemadatan tersebut digunakan untuk memperlihatkan bahwa

²⁴ berat volume kering tertinggi tercapai pada kadar air tertentu yang menjadi titik optimum kepadatan tanah .

e. Analisis Data Uji UCS

Data hasil pengujian UCS dianalisis, sehingga dapat diketahui ¹ kuat tekan bebas tanah pada kondisi tanah asli maupun tanah yang telah diberi perlakuan stabilisasi.

f. Analisis Stabilisasi Tanah

Hasil analisis seluruh parameter ⁴ fisis dan mekanis dianalisis secara keseluruhan dengan menyesuaikan Tabel 2.7 atau Tabel 2.8, yaitu tabel klasifikasi tanah berdasarkan sistem AASHTO atau USCS, sehingga dapat diketahui pengaruh bahan stabilisasi serta campuran yang paling optimal.

10. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ⁹ ini dijelaskan seberapa efektif bahan stabilisasi dalam meningkatkan sifat fisis dan mekanis tanah. Hasil penelitian kemudian dikaitkan dengan teori dan penelitian sebelumnya untuk memperkuat validitas ilmiah. Faktor-faktor penyebab peningkatan atau penurunan kualitas tanah dijelaskan secara teknis. Berikut hasil dan pembahasan dari penelitian ini:

a. Pengaruh Serbuk Cangkang Bekicot

Penambahan serbuk ⁵² gkang bekicot pada tanah lempung Kecamatan Wonoayu–Sidoarjo menurunkan nilai plastisitas dan meningkatkan kepadatan serta kuat tekan bebas tanah. Kandungan CaCO_3 berperan dalam memperkuat ikatan antar partikel tanah.

b. Pengaruh Bakteri *Bacillus subtilis*

Aplikasi bakteri *Bacillus subtilis* meningkatkan parameter mekanis tanah, khususnya nilai berat kering tanah, melalui proses *biomineralisasi* yang memperkuat struktur tanah, meskipun perubahan sifat fisis relatif terbatas.

c. Pengaruh Kombinasi Serbuk Cangkang Bekicot dan *Bacillus subtilis*

Kombinasi serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* ¹⁶ memberikan hasil paling optimal dengan penurunan plastisitas dan peningkatan nilai kuat tekan bebas tanah, menunjukkan perbaikan stabilitas dan kekuatan tanah secara signifikan.

11. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan berisi pernyataan singkat mengenai keberhasilan penelitian, variasi stabilisasi terbaik, serta implikasinya terhadap pemanfaatan tanah di

lapangan. Saran diberikan untuk penelitian lanjutan, pengembangan metode yang lebih optimal, dan potensi aplikasi pada proyek konstruksi nyata.

3.3 Lokasi Penelitian

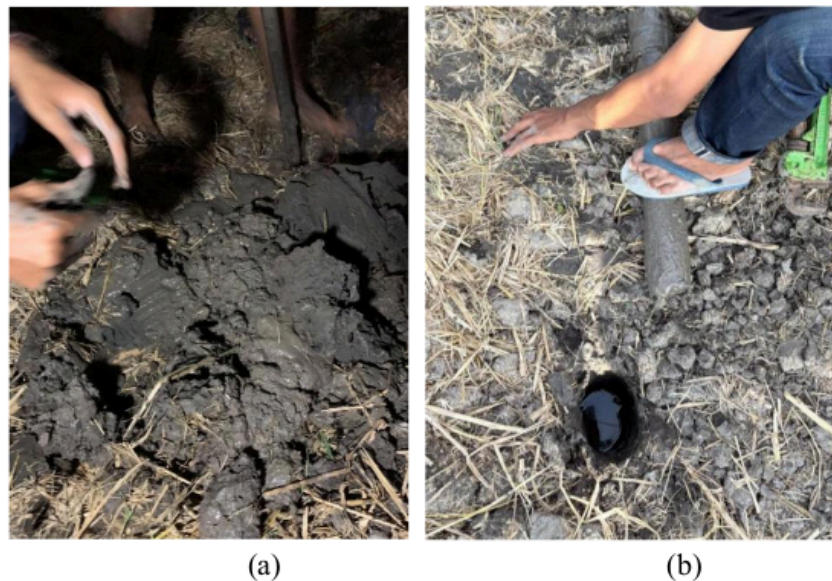
Sampel tanah yang digunakan pada penelitian ini diambil dari wilayah Desa Ploso, Kecamatan Wonoayu, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Lokasi tersebut merupakan area yang direncanakan untuk pengembangan kawasan perumahan, sehingga diperlukan analisis karakteristik tanah secara lebih mendalam untuk memastikan kelayakan konstruksi di atasnya. Pengambilan sampel dilakukan pada kedalaman antara 60 cm hingga 100 cm dari permukaan tanah.



Gambar 3. 3 Lokasi Penelitian Pengambilan Sampel Tanah
(Sumber: Google Maps, 2026)



Gambar 3. 4 Lokasi Penelitian Pengambilan Sampel Tanah
(Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2026)



Gambar 3. 5 Dokumentasi (a) dan (b) Tanah Asli
(Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2026)

3.4 Tempat Penelitian

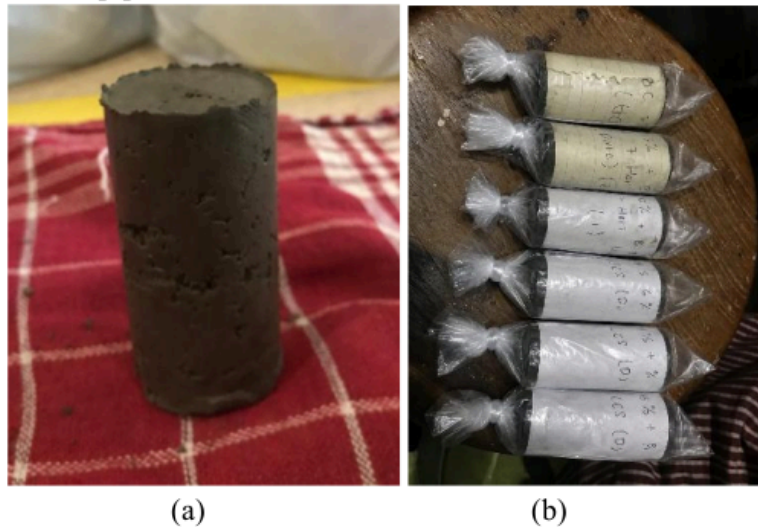
Pengujian terhadap proses stabilisasi campuran pada tanah lempung ekspansif dalam penelitian ini dilaksanakan di fasilitas Laboratorium Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya. Seluruh prosedur pengujian dilakukan sesuai dengan standar yang berlaku di laboratorium tersebut yaitu 5%, 10% dan 15% untuk serbuk cangkang bekicot dan 6% untuk untuk *Bakteri Bacillus Subtillis*.

3.5 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji bertujuan untuk menghasilkan sampel tanah yang homogen dan representatif sesuai dengan variasi campuran yang direncanakan. Langkah – langkah pembuatan benda uji sebagai berikut :

1. Benda uji dibuat berdasarkan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum dari hasil pengujian pemadatan standar (*proctor*). Perhitungan pembuatan benda uji dapat dilihat pada tabel 4.29.
2. Sebelum dicetak tanah natural yang telah lolos saringan no. 4 di campurkan dengan serbuk cangkang bekicot dan di aduk secara homogen. Kemudian diberi tambahan air sesuai kadar air optimum dari pengujian pemadatan.
3. Campuran tanah yang telah disiapkan dimasukkan kedalam masing – masing cetakan (pengujian UCS, volumetry, dan konsistensi tanah).

4. Setelah dicetak benda uji dikeluarkan dari cetakan dan ditetaskan bakteri *Bacillus subtilis* sesuai hasil perhitungan variasi terhadap berat kering menggunakan pipet .



Gambar 3. 6 Dokumentasi Benda Uji Pengujian UCS
(Sumber : Dokumentasi Peneliti,2026)

5. Setelah dicampur dengan bakteri *Bacillus subtilis* benda uji dimasukkan kedalam kantong plastik kedap udara.



Gambar 3. 7 Dokumentasi Proses Pemeraman Benda Uji
(Sumber : Dokumentasi Peneliti,2026)

Benda uji disimpan ke dalam *contener box* selama 7 dan 14 hari. Untuk pemeraman 0 hari setelah di campuran dengan bakteri maka langsung dilakukan pengujian.

3.6 Sampel dan Pengujian

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini berupa tanah lempung yang diambil dari Kecamatan Wonoayu - Sidoarjo dan diuji di Laboratorium Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian sifat fisis dan mekanis tanah, yaitu pengujian kadar air, analisa saringan dan hidrometer, volumetri dan gravimetri, berat jenis, serta batas Atterberg untuk mengetahui karakteristik fisis tanah, sedangkan pengujian mekanis meliputi uji Proctor dan uji UCS untuk mengetahui karakteristik pemadatan dan kuat tekan bebas tanah. Jumlah sampel yang digunakan pada setiap pengujian tersaji pada Tabel 3.2. Untuk berat sampel tanah dapat dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3. 1 Sampel dan Pengujian Sifat Fisis Tanah

No.	Jenis Pengujian	Jumlah Sampel	Satuan
Pengujian Sifat Fisis Tanah			
1.	Uji Kadar Air		
	1. Tanah Asli	3	buah
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	3	buah
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	3	buah
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	3	buah
2.	Analisa Saringan		
	1. Tanah Asli	1	buah
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	1	buah
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	1	buah
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	1	buah
3.	Atterberg Limit		
	• Uji Batas Cair (LL)		

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 3.2 Sampel dan ¹ Pengujian Sifat Fisis Tanah (Lanjutan)

No.	Jenis Pengujian	Jumlah Sampel	Satuan
	1. Tanah Asli	3	buah
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	3	buah
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	3	buah
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	3	buah
	• Uji Batas Plastis (PL)		
	1. Tanah Asli	3	buah
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	3	buah
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	3	buah
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	3	buah
	• Uji Batas Susut (SL)		
	1. Tanah Asli	3	buah
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	3	buah
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	3	buah
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	3	buah
4.	Volumetri dan Gravimetri		
	• Uji Volumetri		
	1. Tanah Asli	3	buah
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	3	buah
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	3	buah
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	3	buah

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 3.2 Sampel dan Pengujian Sifat Fisis Tanah (Lanjutan)

No.	Jenis Pengujian	Jumlah Sampel	Satuan
	• Uji <i>Gravimetri</i>		
	1. Tanah Asli	3	buah
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	3	buah
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	3	buah
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	3	buah
	• Pengujian <i>Hidrometer</i>		
	1. Tanah Asli	1	buah
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	1	buah
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	1	buah
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	1	buah

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 3.2 Sampel dan Pengujian Sifat Mekanis Tanah

No.	Jenis Pengujian	Jumlah Sampel	Satuan
Pengujian Sifat Mekanis Tanah			
1.	Pengujian <i>Proctor</i>		
	1. Tanah Asli	1	buah
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	1	buah
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	1	buah
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	1	buah
2.	Pengujian <i>UCS</i>		
	1. Tanah Asli	1	buah

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

40

Tabel 3.2 Sampel dan Pengujian Sifat Mekanis Tanah (Lanjutan)

No.	Jenis Pengujian	Jumlah Sampel	Satuan
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	1	buah
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	1	buah
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	1	buah
Total Sampel		85	buah

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 3.3 dibawah menyajikan berat sampel tanah yang digunakan pada setiap variasi campuran dalam penelitian ini. Penentuan berat sampel tanah dilakukan berdasarkan kebutuhan masing-masing jenis pengujian laboratorium dan variasi campuran yang direncanakan.

Tabel 3. 2 Berat Sampel Tanah Pengujian Sifat Fisis

No.	Jenis Pengujian	Berat Sampel	Satuan
Pengujian Sifat Fisis Tanah			
1.	Uji Kadar Air		
	1. Tanah Asli	150	gr
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	150	gr
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	150	gr
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	150	gr
2.	Analisa Saringan		
	1. Tanah Asli	500	gr
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	500	gr
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	500	gr
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	500	gr

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

1 Tabel 3. 2 Berat Sampel Tanah Pengujian Sifat Fisis (Lanjutan)

No.	Jenis Pengujian	Jumlah Sampel	Satuan
3.	<i>Atterberg Limit</i>		
	• Uji Batas Cair (LL)		
	1. Tanah Asli	150	gr
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	150	gr
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	150	gr
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	150	gr
	• Uji Batas Plastis (PL)		
	1. Tanah Asli	150	gr
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	150	gr
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	150	gr
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	150	gr
	• Uji Batas Susut (SL)		
	1. Tanah Asli	150	gr
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	150	gr
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	150	gr
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	150	gr

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

1
Tabel 3. 2 Berat Sampel Tanah Pengujian Sifat Fisis (Lanjutan)

No.	Jenis Pengujian	Jumlah Sampel	Satuan
4.	Volumetri dan Gravimetri		
	• Uji Volumetri		
	1. Tanah Asli	150	gr
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	150	gr
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	150	gr
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	150	gr
	• Uji Gravimetri		
	1. Tanah Asli	150	gr
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	150	gr
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	150	gr
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	150	gr
	• Pengujian Hidrometer		
	1. Tanah Asli	50	gr
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	50	gr
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	50	gr
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	50	gr

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 3. 3 Berat Sampel Tanah Pengujian Sifat Mekanis

No.	Jenis Pengujian	Berat Sampel	Satuan
Pengujian Sifat Mekanis Tanah			
1.	Pengujian <i>Proctor</i>		
	1. Tanah Asli	2500	gr
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	2500	gr
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	2500	gr
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	2500	gr
2.	Pengujian <i>UCS</i>		
	1. Tanah Asli	150	gr
	2. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6 % + Serbuk Cangkang Bekicot 5%	150	gr
	3. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 10%	150	gr
	4. Tanah + Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6% + Serbuk Cangkang Bekicot 15%	150	gr

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

3.6 Uji Laboratorium

Pengujian pada sampel tanah lempung yang distabilisasi dengan campuran serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* dilakukan melalui beberapa tahapan uji karakteristik tanah, seperti *Atterberg Limit*, *Volumetri*, *Gravimetri*, serta Uji *Proctor*. Seluruh prosedur pengujian mengikuti ketentuan yang tercantum dalam standar SNI maupun ASTM yang relevan. Standar yang digunakan meliputi:

1. Pengujian Kadar Air Tanah 1963 SNI 1965-2019
2. Analisis saringan berdasarkan SNI 03-1968-1990
3. Penentuan batas cair (*Liquid limit, LL*) mengacu pada SNI 03-1967-1990
4. Penentuan batas plastis (*Plastic limit*) dan indeks plastisitas (*plasticity index, PI*) sesuai SNI 03-1966-1990
5. Pengujian berat jenis tanah mengikuti ASTM D854-2008,
6. Analisis *hidrometer* mengacu pada SNI 03-3423-1994,
7. Uji pemadatan tanah (*Proctor*) menggunakan standar ASTM D698-70.

3.6.1 Analisa Gradasi Butiran

1. Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran tanah, baik yang berukuran lebih besar maupun lebih kecil dari 0,075 mm (sesuai ayakan No. 200 menurut standar ASTM).

2. Alat yang Digunakan

- Oven pengering
- Satu set ayakan dengan ukuran No. 4, 10, 40, 200, dan pan
- Timbangan dengan tingkat ketelitian hingga 0,01 gram
- Mangkuk sebagai wadah pencampur
- Ember untuk penanganan sampel
- Cawan sebagai tempat penimbangan atau pengujian
- Sampel tanah sekitar ± 300 gram yang telah melalui proses pengeringan menggunakan oven

3. Prosedur Pengujian

- Siapkan seluruh peralatan serta sampel tanah yang telah dikeringkan.
- Timbang tanah uji sebanyak 500 gram.
- Lakukan penimbangan terhadap setiap cawan yang akan dipakai.
- Tempatkan sampel tanah tersebut ke dalam mangkuk.
- Rendam sampel selama kurang lebih 10 menit hingga jenuh.
- Saring tanah yang lolos menggunakan ayakan No. 10. Cuci tanah dengan air hingga butiran yang tertahan tampak bersih, sementara material yang lolos ditampung dalam ember di bawahnya.
- Ulangi proses penyaringan dan pencucian ini secara berurutan hingga ayakan No. 200.
- Letakkan tanah yang tertahan pada tiap ayakan ke dalam cawan sesuai nomor ayakannya.
- Keringkan seluruh sampel dalam oven selama 24 jam.
- Keluarkan sampel dari oven dan biarkan hingga mencapai suhu ruang.
- Timbang kembali setiap sampel tanah yang tertahan sesuai nomor ayakan.
- Lakukan perhitungan hasil analisis saringan dan susun grafik distribusi butiran tan.

3.6.2 *Hidrometer Test*

1. Alat-alat yang digunakan :
 - Hydrometer (tipe 152 H)
 - Hydrometer jar (1000 ml)
 - Gelas ukur
 - Sampel tanah lolos ayakan No. 200 masing masing 50 gr setiap sampel
 - Stopwatch
 - Pengaduk mekanis (*mixer*)
 - Oven
 - Termometer Celcius
 - Saringan No. 200 ASTM
 - Timbangan dengan ketelitian 0.01 gram
2. Langkah – Langkah Pengujian :
 - a. Menyiapkan sampel tanah yang lolos saringan No. 200 sebanyak 50 gram dalam kondisi kering oven.
 - b. Menimbang *water glass* sebesar 40 gram sebagai bahan pendispersi, kemudian memasukkannya ke dalam tabung *hidrometer*. Aquades ditambahkan hingga volume mencapai 1000 ml dan campuran diaduk menggunakan *mixer* sampai homogen. Larutan ini selanjutnya disebut sebagai larutan dispersi.
 - c. Menyiapkan satu tabung silinder berkapasitas 1000 ml, kemudian memasukkan 125 ml larutan dispersi dan menambahkan air suling hingga volume 1000 ml. Tabung ini digunakan sebagai tabung kontrol (blanko).
 - d. Memasukkan sampel tanah ke dalam gelas pencampur, kemudian menambahkan larutan dispersi secukupnya dan diaduk menggunakan *mixer* selama ± 1 menit hingga butiran tanah terdispersi sempurna.
 - e. Menuangkan campuran tanah dan larutan dispersi ke dalam tabung silinder pengujian, kemudian menambahkan air suling hingga mencapai volume 1000 ml.
 - f. Menutup tabung silinder dan mengocoknya secara merata dengan gerakan naik-turun selama kurang lebih 1 menit untuk memastikan campuran homogen.
 - g. Meletakkan tabung silinder pada permukaan datar dan stabil, kemudian segera memulai pencatatan waktu pengujian.

- h. Memasukkan hidrometer secara perlahan ke dalam tabung silinder dan melakukan pembacaan pertama pada waktu yang telah ditentukan (misalnya 30 detik atau 1 menit) tanpa mengganggu endapan.
- i. Melakukan pembacaan hidrometer berikutnya pada interval waktu tertentu sesuai standar pengujian hingga waktu akhir pengujian tercapai.
- j. Mencatat suhu larutan setiap kali pembacaan hidrometer dilakukan untuk keperluan koreksi suhu.
- k. Melakukan pembacaan hidrometer pada tabung kontrol untuk mendapatkan nilai koreksi larutan dispersi.
- l. Mengeluarkan hidrometer setelah pengujian selesai, kemudian membersihkan seluruh peralatan yang digunakan.
- m. Mengolah data hasil pembacaan hidrometer dengan memperhitungkan koreksi suhu dan koreksi larutan untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah halus.

3.6.3 Volumetry dan Gravimetry

a. Percobaan Menentukan Berat Volume

1. Alat-alat yang digunakan
 - Gelas kaca ukuran ϕ 5,5- 6,5 cm ; tinggi 3-4 cm
 - Kaca datar 3 paku
 - Mangkok peluberan
 - Air raksa
 - Pisau
 - Timbangan ketelitian 0,10 gram
 - Cawan
2. Langkah – Langkah Pengujian :
 - a. Cari dan ambil tanah dalam kondisi *undisturbed* (tanpa terganggu), kemudian keluarkan dari tabungnya.
 - b. Potong sampel tanah secara hati-hati hingga berbentuk persegi.
 - c. Timbang cawan kosong yang akan digunakan untuk menampung tanah, misal nya dengan berat = A gram.
 - d. Letakkan sampel tanah dari langkah (b) ke dalam cawan yang sudah ditimbang, lalu timbang kembali. Misalnya berat totalnya = B gram.
 - e. Isi gelas kaca berdiameter 5,5–6,5 cm dan tinggi 3–4 cm dengan air raksa sampai penuh. Gelas harus ditempatkan di atas mangkok penampung. Ratakan permukaan air raksa menggunakan kaca datar

berpaku tiga. Air raksa yang meluber dipindahkan dan ditampung di wadah lain.

- f. Masukkan sampel tanah dari langkah (d) ke dalam gelas berisi air raksa, kemudian tekan dengan kaca datar tiga paku hingga seluruh tanah terendam. Air raksa yang keluar akibat desakan tanah ditampung pada mangkok peluberan.
- g. Timbang mangkok kaca/proselin berisi air raksa yang tumpah tersebut. Misalnya beratnya = D gram.
- h. Timbang mangkok kaca/proselin dalam keadaan kosong, misalnya dengan berat = C gram.

14

3.6.4 Percobaan Menentukan Kadar Air

1. Alat-alat yang digunakan :
 - a. Cawan
 - b. Oven
 - c. Timbangan dengan ketelitian 0.10 gram
 - d. Gergaji
2. Langkah – Langkah Pengujian :
 - a. Timbang cawan yang akan digunakan, misalnya diperoleh berat = A gram.
 - b. Tempatkan sampel tanah *undisturbed* (tanah asli) ke dalam cawan tersebut, kemudian timbang kembali. Misalnya berat totalnya = B gram.
 - c. Masukkan cawan berisi tanah dari langkah (b) ke dalam oven, lalu setelah proses selesai timbang lagi sehingga diperoleh berat = C gram.

14

3.6.5 Percobaan menentukan *Specific Gravity* (GS)

1. Alat-alat yang dipergunakan
 - a. Bejana volumetric
 - b. Thermometer
 - c. Timbangan dengan ketelitian 0.10 gram
 - d. Mangkok proselin dengan penumbuknya
 - e. Pipet
2. Urutan percobaan
 - a. Timbang bejana volumetri yang akan digunakan, misalnya beratnya = A gram.
 - b. Masukkan tanah kering (dari pengujian kadar air) ke dalam bejana volumetri. Jika ada gumpalan yang tidak dapat masuk, hancurkan

- terlebih dahulu. Timbang kembali bejana berisi tanah tersebut, misalnya beratnya = B gram.
- Tambahkan air suling ke dalam bejana hingga seluruh tanah terendam, lalu diamkan selama 2–3 jam agar butiran tanah dapat terpisah sehingga udara di antara butir dapat keluar saat proses vakum.
 - Hilangkan udara dari campuran tanah dan air dengan cara memvakum atau memanaskannya perlahan sampai gelembung udara tidak muncul lagi. Jika sudah tidak ada gelembung yang tersisa, hentikan proses.
 - Setelah udara hilang, tambahkan air suling lagi hingga mencapai garis batas bejana, kemudian timbang bejana tersebut. Misalnya diperoleh berat = C gram. Ukur juga temperaturnya (misalnya t_1). Setelah itu, kosongkan dan bersihkan bejana volumetri.
 - Isi kembali bejana yang telah dibersihkan dengan air suling hingga mencapai batas garis yang sama seperti pada langkah sebelumnya, lalu timbang, misalnya beratnya = D gram.

3.6.6 Atterberg Limit

a. 4. Batas Susut/Shrinkage limit (SL)

1. Tujuan

Tujuan percobaan ini adalah untuk mengetahui kadar air dalam sampel tanah (khususnya tanah lempung) pada saat tanah mengalami perubahan dari kondisi semi-padat menjadi padat.

14 2. Alat-alat yang digunakan.

- Mangkok shrinkage limit
- Gelas kaca
- Mangkok peluberan
- Kaca datar 3 paku
- Nampan
- Penggaris besi
- Air raksa
- 17 Timbangan dengan ketelitian 0.10 gram

3. Prosedur Pelaksanaan

- Ambil tanah yang telah lolos ayakan No. 40 dalam jumlah yang cukup, letakkan di nampan, lalu basahi dengan air.
- Timbang mangkuk shrinkage, misalnya beratnya = A gram. Untuk mencegah tanah menempel pada logam saat proses penyusutan, olesi bagian dalam mangkuk dengan sedikit minyak pelumas.

- c. Ukur volume mangkuk *shrinkage* tersebut menggunakan ¹⁴ air raksa atau jangka sorong. Misalnya volumenya = V_1 cc.
- d. Aduk tanah dari langkah (a) hingga merata dan pastikan kadar airnya lebih tinggi daripada kadar air pada pengujian LL, namun tidak boleh terlalu encer.
- e. Isi mangkuk *shrinkage* (yang telah disiapkan pada langkah b) dengan tanah dari langkah (d) sebanyak $\pm \frac{1}{3}$ volumenya. Ketuk atau getarkan perlahan agar tanah menyebar hingga ke seluruh bagian mangkuk dan tidak menyisakan gelembung udara.
- f. Ulangi proses pengisian hingga mangkuk *shrinkage* terisi penuh.
- g. Ratakan permukaan tanah hingga sejajar ¹²⁹ dengan bibir mangkuk menggunakan penggaris atau spatula. Bersihkan sisa tanah yang menempel di bagian luar, lalu timbang. Misalnya beratnya = B gram.
- h. Diamkan tanah dari langkah (g) di udara selama ± 6 jam hingga warnanya memucat. Setelah itu, masukkan ke oven seperti pada prosedur penentuan kadar air.
- i. Setelah sampel benar-benar kering, keluarkan dari oven dan timbang kembali. Misalnya beratnya = C gram.
- j. Keluarkan tanah kering ¹⁴ dari mangkuk *shrinkage*. Untuk menentukan volumenya, letakkan gelas kaca di dalam mangkuk pelubangan, isi gelas dengan air raksa hingga penuh, lalu ratakan permukaannya dengan kaca datar.

18

3.6.7 Batas Plastis/*Plastic limit (PL)*

1. Tujuan

Pengujian batas plastis bertujuan untuk menentukan kadar air pada sampel tanah saat tanah berpindah dari keadaan plastis menuju kondisi semi-padat, maupun sebaliknya.

2. Alat-alat yang digunakan.

- a. Cawan
- b. Kaca datar
- c. ⁴²nbangan
- d. Mangkok tempat mengaduk tanah
- e. Spatula
- f. Oven
- g. Botol air

3. Prosedur Pelaksanaan ¹²

- a. Ambil sekitar ± 20 gram tanah yang telah lolos ayakan No. 40, kemudian letakkan di atas nampan.
- b. Siapkan cawan yang telah ditimbang sebelumnya, misalnya berat awalnya = A gram.
- c. Tambahkan air sedikit demi sedikit ke tanah pada langkah (a), lalu aduk hingga merata. Jangan memberi air terlalu banyak tanah harus tetap dapat dikepal tanpa berubah bentuk. Setelah campuran tanah dan air homogen, kepal tanah dengan telapak tangan sampai tampak retakan halus. Kemudian gulungkan tanah di atas kaca dengan kecepatan sekitar 80 gulungan per menit.
- d. Jika saat digelintir diameter gulungan mencapai ± 3 mm dan mulai tampak retak-retak (namun belum terputus), kumpulkan tanah tersebut ke dalam cawan dari langkah (b). Bila jumlahnya sudah cukup ± 10 – 20 gram per cawan, timbang kembali, misalnya beratnya = B gram.
 - Jika tanah sudah putus sebelum mencapai diameter 3 mm, tambahkan sedikit air pada campuran.
 - Jika tanah belum retak meski diameter sudah kurang dari 3 mm, tambahkan tanah kering.
- e. Masukkan cawan berisi tanah dari langkah (d) ke dalam oven seperti pada prosedur penentuan kadar air.
- f. Setelah tanah benar-benar kering, keluarkan cawan dari oven dan timbang kembali. Misalnya berat akhirnya = C gram.

42

3.6.8 Batas Cair/Liquid limit (LL)

1. Tujuan

Pengujian batas cair dimaksudkan untuk menentukan besarnya kadar air di dalam contoh tanah pada saat fase tanah akan berubah dari cair menjadi plastis atau sebaliknya.

14

2. Alat-alat yang digunakan

- Satu set alat casgrande
- Alat pembuat alur
- Cawan
- Pisau spatula
- Oven
- Timbangan dengan ketelitian 0.10 gram
- Saringan nomor 40

- Nampan
- Lumping besi dan penumbuknya

3. Prosedur Pelaksanaan

- a. Siapkan tanah berbutir 17 s (lanau atau lempung) yang telah dikeringkan, lalu tumbuk dan ayak menggunakan ayakan No. 40. Ambil tanah yang lolos ayakan tersebut sebanyak ± 250 gram.
- b. Ambil sebagian tanah hasil ayakan lalu tambahkan air sedikit demi sedikit sambil diaduk hingga merata. Campuran dianggap siap diuji apabila tanah mulai terlihat lembek dan homogen.
- c. Masukkan tanah dari langkah (b) ke dalam mangkuk Casagrande menggunakan spatula. Ratakan permukaannya hingga mencapai ketebalan sekitar 8–10 mm. Pada 151 an tinggi jatuh mangkuk Casagrande telah disetel tepat 1 cm (tidak boleh melebihi atau kurang dari nilai tersebut).
- d. Buat sebuah alur memanjang di tengah permukaan tanah pada 12 ngkuk Casagrande.
- e. Putar engkol dengan kecepatan 14 n sekitar dua putaran per detik. Dengan setiap putaran, mangkuk akan terangkat dan jatuh setinggi 1 cm. Amati alur pada tanah—alur akan perlahan menutup. Ketika alur tertutup sepanjang $\pm \frac{1}{2}$ inci di dasar mangkuk, hentikan pemutaran dan catat jumlah putaran yang diperlukan untuk menutup alur tersebut.
- f. Timbang sebuah cawan kosong, misalnya berat awal = A gram.
- g. Ambil ± 40 gram tanah dari langkah (e), masukkan ke dalam cawan, lalu timbang kembali. Misalnya beratnya = B gram.
- h. Keringkan cawan berisi tanah dalam oven pada temperatur 105 – 110°C selama ± 24 jam atau hingga beratnya konstan.
- i. Ulangi langkah 2 hingga 8 dengan variasi kadar air sehingga diperoleh jumlah putaran dalam rentang 15–24 dan 30–45.
- j. Setelah semua sampel tanah benar-benar kering, keluarkan dari oven dan timbang lagi. Misalnya berat akhirnya = C gram.

3.6.9 Proctor Test

1. Tujuan

Pemadatan tanah di laboratorium dilakukan untuk memperoleh kepadatan maksimum pada energi pemadatan standar dengan memberikan kadar air yang 34 uai. Proses ini menggunakan beban pemadatan standar mengacu pada ASTM D-1586 (34 998) dan AASHTO (1982). Umumnya, hasil uji pemadatan disajikan dalam bentuk grafik yang menggambarkan

hubungan antara berat volume kering (*dry density*) dengan kadar air (*moisture content*).

2. Alat yang digunakan

a. Tabung Silinder

Dua tipe tabung silinder yang umum digunakan adalah:

- *Standard Proctor* (ASTM D-698, 1998), memiliki diameter 10 cm (4 inch) dan volume 946 cm³ (1/30 ft³), dilengkapi dengan alas dan tabung tambahan di bagian atas yang disebut *collar*.
- *Modified Proctor* (ASTM D-1557, 1998), biasanya menggunakan tabung dengan diameter sekitar 15 cm (6 inch), meskipun tidak selalu sama.

b. Penumbuk (*Rammer*)

Energi pemadatan diberikan dengan cara menjatuhkan penumbuk:

- Pada *Standard Proctor*, *rammer* berbobot 5,5 lbs dengan tinggi jatuh 30 cm (12 in).
- Pada *Modified Proctor*, *rammer* berbobot ±4,5 kg (10 lbs) dengan tinggi jatuh 45 cm (18 in).

c. Cawan Aluminium

Digunakan untuk menampung sampel tanah saat penimbangan.

d. Timbangan

Untuk menimbang cawan dan sampel tanah dengan presisi tinggi.

e. Oven

Digunakan untuk mengeringkan tanah hingga beratnya konstan sebelum atau sesudah pengujian.

3. Langkah – Langkah Pengujian :

- a. Siapkan beberapa cawan aluminium yang bersih, timbang, dan catat berat masing-masing.
- b. Timbang tabung Proctor (*mold*) tanpa alas dan *collar*.
- c. Siapkan sampel tanah sekitar 3–4 kg, lalu keringkan dalam oven selama 24 jam.
- d. Keluarkan tanah dari oven, biarkan dingin, kemudian tambahkan air sekitar 3% dari berat tanah kering dan aduk hingga merata.
- e. Masukkan tanah ke dalam tabung silinder yang telah dipasang *collar*, sehingga volume-nya sekitar 1/3 dari total volume tabung.
- f. Tumbuk tanah di dalam tabung sebanyak 25 kali secara merata.
- g. Tambahkan tanah lagi ke tabung dan ulangi pemadatan sesuai prosedur.

- h. Lanjutkan menambah tanah hingga tabung penuh (mendekati tinggi collar), kemudian tumbuk lagi sebanyak 25 kali. Pastikan permukaan tanah setelah pemadatan lapisan terakhir lebih tinggi dari tinggi tabung (mold, tanpa collar).
- i. Lepaskan collar dengan hati-hati agar tanah tidak terpotong.
- j. Ratakan permukaan tanah di tabung, lepas alas tabung, lalu timbang seluruh tanah beserta tabung.
- k. Keluarkan tanah dari tabung.
- l. Ambil sampel tanah dari bagian atas, tengah, dan bawah tabung, masukkan ke cawan yang sudah ditimbang untuk menentukan kadar air.
- m. Timbang cawan beserta tanah, kemudian keringkan dalam oven pada temperatur $105 \pm 5^\circ\text{C}$ selama 24 jam.
- n. Pecahkan gumpalan tanah yang terbentuk setelah dikeluarkan dari tabung.
- o. Tambahkan air lagi sekitar 3% ke tanah hasil keluaran tabung, aduk rata, dan ulangi langkah 5 hingga 14.
- p. Lakukan pengulangan langkah 15 beberapa kali untuk mendapatkan kadar air optimal.
- q. Proses penambahan air dihentikan bila berat tabung beserta tanah setelah pemadatan lebih rendah daripada percobaan sebelumnya.

3.7 Timeline Penelitian

Dalam penyusunan Tugas Akhir, timeline penelitian berfungsi sebagai panduan waktu yang mengatur seluruh rangkaian aktivitas peneliti dalam periode tertentu. Penelitian ini menyajikan estimasi waktu pelaksanaan dengan perincian sebagai berikut :

Tabel 3. 4 Timeline Penelitian

No	Kegiatan	September				Oktober				November				Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1	Plotting Pendaftaran Proposal																																								
2	Penyusunan Proposal dan Bimbingan																																								
3	Seminar Proposal																																								
4	Revisi Proposal																																								
5	126 an Penelitian																																								
6	Pengolahan Data																																								
7	Penyusunan Laporan Tugas Akhir																																								
8	Sidang Tugas Akhir																																								
9	Revisi Tugas Akhir																																								

(Sumber: Olahan Peneliti, 2026)

3.8 Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan dalam penelitian ini ditujukan untuk mengetahui serta menjelaskan pengaruh penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap perubahan sifat fisik dan mekanis tanah lempung di Desa Ploso, Kecamatan Wonoayu. Melalui pengujian sifat fisis seperti kadar air, berat jenis, dan batas Atterberg serta pengujian sifat mekanis melalui uji pemadatan dan UCS, penelitian ini diharapkan menunjukkan adanya peningkatan kualitas dan kestabilan tanah setelah diberi perlakuan stabilisasi.

3.9 Kesimpulan

Berdasarkan latar belakang, tujuan, serta metode penelitian yang telah disusun, dapat disimpulkan bahwa tanah lempung di Desa Ploso, Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo memiliki karakteristik plastisitas dan daya dukung yang rendah sehingga memerlukan upaya perbaikan sebelum dimanfaatkan sebagai tanah dasar konstruksi. Stabilisasi tanah menggunakan serbuk cangkang bekicot sebagai sumber kalsium karbonat (CaCO_3) dan bakteri *Bacillus subtilis* sebagai agen *biogrouting* merupakan metode yang berpotensi memperbaiki sifat fisis dan mekanis tanah lempung. Melalui pengujian sifat fisis seperti kadar air, berat jenis, dan batas Atterberg serta pengujian sifat mekanis melalui uji pemadatan dan UCS, penelitian ini diharapkan mampu menunjukkan adanya peningkatan kepadatan, penurunan plastisitas, serta peningkatan daya dukung tanah setelah diberi perlakuan stabilisasi. Dengan demikian, kombinasi bahan stabilisasi tersebut dapat menjadi alternatif perbaikan tanah yang ramah lingkungan dan berpotensi diterapkan pada kondisi tanah lempung serupa.

5

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Asli

Lokasi penelitian yang digunakan berada di Desa Ploso Kecamatan Wonoayu Kabupaten Sidoarjo. Metode pengambilan tanah asli dilakukan dengan 2 cara yaitu secara *disturb* dengan kedalaman 100 cm dan *undisturb* dengan kedalaman 100 cm – 150 cm. Tanah *undisturbed* merupakan sampel yang diambil pada titik pengeboran yang berbeda. Dan tanah *disturb* merupakan tanah terganggu.

4.1.1 Pengujian Kadar Air (*water content*) Tanah Asli

Kadar air (*water content*) merupakan perbandingan antara massa air yang terdapat dalam tanah dengan massa tanah dalam kondisi kering. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan besarnya kandungan air yang terdapat pada sampel tanah yang akan diteliti. Berikut hasil dari pengujian kadar air tanah *disturb* dan *undisturb* pada penelitian tanah asli terdapat pada tabel 4.1

Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian Kadar Air Tanah Asli

Kadar Air Tanah Asli							
Nama Sampel		<i>Undisturb</i>			<i>Disturb</i>		
No. Cawan	gram	8	34	24	2	14	7
Berat Cawan	gram	46,93	35,16	46,64	50	46	54
Berat Cawan + Tanah Basah	gram	74,32	68,95	74,80	60	56	63
Berat Cawan + Tanah Kering	gram	66,51	58,65	66,74	56	53	60
Berat Air	gram	7,81	10,29	8,06	4	3	3
Berat Tanah Kering	gram	19,57	23,5	20,10	6	7	6
Kadar Air	%	40%	44%	40%	67%	43%	50%
Kadar Air Rata-Rata (WC)		41,28%			53,17%		

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 WC &= \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \\
 &= \frac{4}{6} \times 100\% \\
 &= 67\%
 \end{aligned}$$

83

Berdasarkan hasil pengujian kadar air tanah asli diperoleh kadar air sebesar 41,28% pada tanah *undisturbed*, dan 53,17% pada tanah *disturbed*.

4.1.2 Pengujian Berat Volume Tanah (*Volumetry Test*)

Berat volume tanah adalah rasio antara berat total tanah, termasuk air yang mengisi pori-porinya, terhadap volume total tanah tersebut. Berikut hasil dari pengujian berat volume tanah *disturb* dan *undisturb* pada penelitian tanah asli terdapat pada tabel 4.2 dan 4.3.

Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian *Volumetry* Tanah Asli (*Undisturb*)

Volumetry Test						
No	Berat Volume Tanah		1	2	3	Rata - Rata
1	No Cawan		90	55	80	
2	Berat Cawan Kosong	gram	46,932	35,164	46,642	
3	Berat Cawan + Tanah Basah	gram	74,317	68,950	74,802	
4	Berat Cawan + Tanah Kering	gram	66,507	58,654	66,742	
5	Berat Cawan Peluberan	gram	97,018	97,018	97,018	
6	Berat Cawan Peluberan + Hg Luber	gram	306,173	365,132	318,952	
7	Beart Hg Luber	gram	209,155	268,114	221,934	
8	Berat Tanah Basah	gram	27,385	33,786	28,160	
9	Volume Tanah	gram	15,379	19,714	16,319	
10	Berat Air	gram	7,810	10,296	8,060	
11	Berat Tanah Kering	gram	19,575	23,490	20,100	21,06
12	Berat/Volume Tanah	γ_t gr/cc	1,781	1,714	1,726	1,740
13	Berat/Volume Kering	γ_d gr/cc	1,273	1,192	1,232	1,232
14	Kadar Air	WC %	39,90	43,83%	40,10%	41,28%
15	Derajat Kejenuhan	Sr %	53,815	56,801	51,613	54,076
16	Kadar Pori	n %	43,998	45,630	44,809	44,812
17	Angka Pori	e %	0,786	0,839	0,812	0,812

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

10

Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian *Volumetry* Tanah Asli (*Disturb*)

Volumetry Test							
No	Berat Volume Tanah			1	2	3	Rata - Rata
1	No Cawan			16	10	1	Rata
2	Berat Cawan Kosong	gram	50	46	54		
3	Berat Cawan + Tanah Basah	gram	60	56	63		
4	Berat Cawan + Tanah Kering	gram	56	53	60		
5	Berat Cawan Peluberan	gram	355	355	355		
6	Berat Cawan Peluberan + Hg Luber	gram	437	436	437		
7	Beart Hg Luber	gram	82	81	82		
8	Berat Tanah Basah	gram	10	10	9		
9	Volume Tanah	gram	6,03	5,96	6,03		
10	Berat Air	gram	4	3	3		
11	Berat Tanah Kering	gram	6	7	6	6,33	
12	Berat/Volume Tanah	γ_t	gr/cc	1,659	1,679	1,493	1,610
13	Berat/Volume Kering	γ_d	gr/cc	0,995	1,175	0,995	1,055
14	Kadar Air	WC	%	66,67%	42,86%	50%	53,17%
15	Derajat Kejenuhan	Sr	%	61,453	44,358	44,306	50,039
16	Kadar Pori	n	%	50,122	45,970	50,122	48,738
17	Angka Pori	e	%	1,005	0,851	1,005	0,954

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Kering } (\gamma_d) &= \frac{\text{Berat Kering Tanah}}{\text{Volume Tanah}} \\
 &= \frac{19.575}{15.379} \\
 &= 1.273 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Tanah } (\gamma_t) &= \frac{\text{Berat Tanah Basah}}{\text{Volume Tanah}} \\
 &= \frac{27.385}{15.379} \\
 &= 1.782 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Air (Wc)} &= \frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat Tanah Kering}} \times 100\% \\
 &= \frac{7.810}{19.575} \times 100\% \\
 &= 39.90\%
 \end{aligned}$$

4.1.3 ¹ Pengujian Berat Jenis Tanah (*Gravimetry Test*)

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat partikel tanah dengan berat air murni yang memiliki volume yang sama pada kondisi suhu dan tekanan tertentu, umumnya pada suhu sekitar 30°C. Berikut hasil dari pengujian ¹⁰⁴ rat volume tanah *disturb* dan *undisturb* pada penelitian tanah asli terdapat pada tabel 4.4 dan 4.5.

Tabel 4. 4 Data Hasil Pengujian Volumetry Tanah Asli (*Undisturb*)

GRAVIMETRY (Gs)						
No	SPECIFIC GRAVITY TANAH		1	2	3	Rata-rata
18	No Pikno		31	51	28	
19	Berat Pikno Kosong	gram	86,32	85,12	84,26	
20	Berat Pikno + Air Suling	gram	335,16	333,79	333,03	
21	Berat Pikno + Tanah Kering	gram	105,97	108,75	104,49	
22	Berat Pikno + Tanah + Air	gram	354,81	357,43	353,26	
23	Berat Pikno + Tanah + Air (Setelah Difakum)	gram	347,34	348,60	345,64	
24	Suhu		28,8	28,8	28,5	28,3
25	Berat Air	gram	248,84	248,67	248,76	
26	Berat Tanah Kering	gram	19,65	23,63	20,23	21,17
27	Volume Butir	Vs cc	8,77	7,57	7,93	7,93
28	Volume Pori	Vv cc	2,25	2,15	2,16	2,16
29	Specific Gravity	Gs	2,68	2,65	2,65	2,65

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 5 Data Hasil Pengujian Volumetry Tanah Asli (*Disturb*)

GRAVIMETRY (Gs)						
No	SPECIFIC GRAVITY TANAH		1	2	3	Rata-rata
18	No Pikno		9	52	112	
19	Berat Pikno Kosong	gram	86,09	81,65	82,30	
20	Berat Pikno + Air Suling	gram	334,14	330,18	330,62	
21	Berat Pikno + Tanah Kering	gram	92,63	88,06	89,05	
22	Berat Pikno + Tanah + Air	gram	340,68	336,60	337,37	
23	Berat Pikno + Tanah + Air (Setelah Difakum)	gram	338,24	334,12	334,70	
24	Temperatur		28	28,50	28,50	
25	Berat Air	gram	248,05	248,54	248,32	
26	Berat Tanah Kering	gram	6,54	6,42	6,74	6,57
27	Volume Butir	Vs	cc	2,24	2,71	2,37
28	Volume Pori	Vv	cc	2,69	2,30	2,54
29	Specific Gravity	Gs		2,678	2,585	2,528
						2,597

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis tanah asli di peroleh nilai Gs sebesar 2,654 pada tanah *undisturb* dan 2,597 pada tanah *disturb*.

4.1.4 Pengujian Batas – Batas Konsistensi Tanah (*Atterberg Limit*)

Kondisi fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu dikenal sebagai konsistensi tanah. Konsistensi ini sangat dipengaruhi oleh jumlah air dalam tanah, yang menentukan tingkat kekentalan dan perilaku tanah tersebut.

1. Batas Cair (*Liquid limit*)

Batas cair (*Liquid limit* atau LL) adalah kadar air pada saat tanah mulai berubah dari kondisi plastis menjadi cair, atau sebaliknya. Nilai ini ditentukan melalui uji *Casagrande* (1948). Hasil dari pengujian batas cair tanah asli dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Data Hasil Pengujian Batas Cair Tanah Asli

Batas Cair Tanah Asli						
Sampel		<i>Undisturb</i>			<i>Disturb</i>	
No. Cawan		36	35	13	16	10
Berat Cawan	gram	43,4	51	36,1	50	46
Jumlah Pukulan		40	29	19	38	46
Berat Cawan + Tanah Basah	gram	61,2	78,2	56,5	65,89	67,32
						68,1

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 6 Data Hasil Pengujian Batas Cair Tanah Asli (Lanjutan)

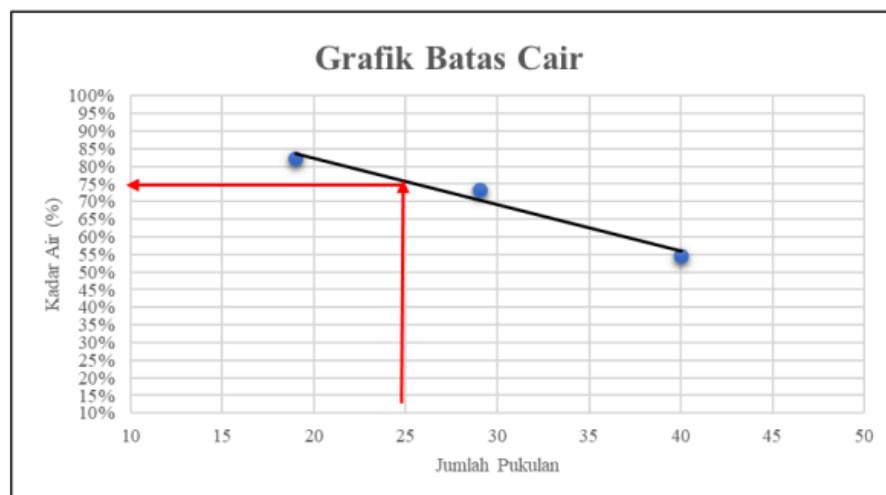
Batas Cair Tanah Asli							
Sampel		Undisturb			Disturb		
No. Cawan		36	35	13	16	10	1
Berat Cawan + Tanah Kering	gram	54,9	66,7	47,3	59,61	60,71	61,53
Berat Air	gram	6,3	11,5	9,2	6,3	6,6	6,6
Berat Tanah Kering	gram	11,50	15,70	11,20	9,61	14,71	7,53
Berat Tanah Basah	gram	17,80	27,20	20,40	15,89	21,32	14,10
Kadar Air	%	54,78	73,25	82,14	65,35	44,94	87,25

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Perhitungan :

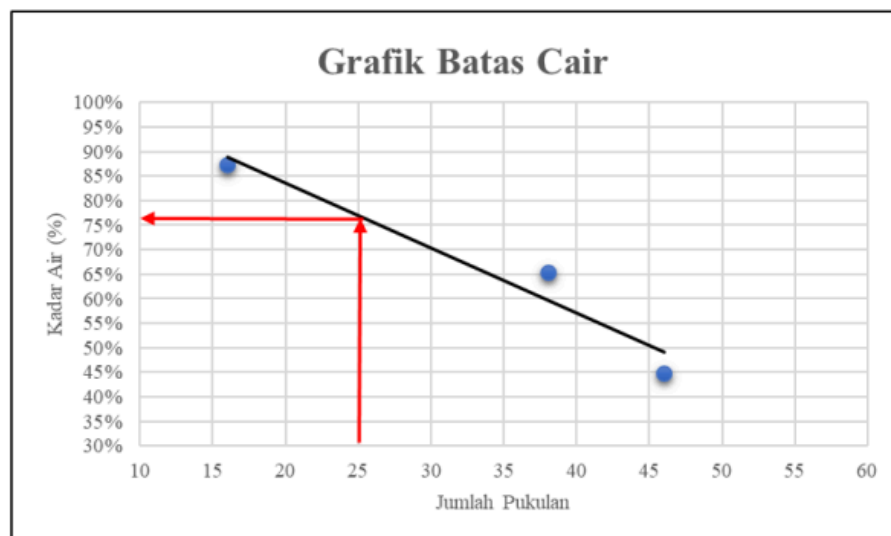
$$W_c = \frac{17,80 - 11,50}{11,50} \times 100 \% = 54,78\%$$

$$W_c = \frac{15,89 - 9,61}{9,61} \times 100 \% = 65,35 \%$$



Grafik 4. 1 Pengujian Batas Cair Tanah Asli (*Undisturb*) Pukulan ke 25
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan grafik 4.1 didapatkan kadar air tanah asli (*undisturb*) sebesar 75%



Grafik 4. 2 Pengujian Batas Cair Tanah Asli (*Disturb*) Pukulan ke 25
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan grafik 4.3 didapatkan kadar air tanah asli (*undisturb*) sampel 1 sebesar 76%

1. Batas Plastis (*Plastic limit*)

Batas plastis (*Plastic limit/PL*) merupakan kadar air ketika tanah berada pada transisi antara kondisi plastis menuju keadaan semi-padat. Hasil dari pengujian batas plastis tanah asli dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Data hasil pengujian batas plastis tanah asli

Batas Cair Tanah Asli							
Sampel		Undisturb			Disturb		
No. Cawan		15	16	11	23	15	22
Berat Cawan	gram	49	57	46	43,9	49	51,2
Berat Cawan + Tanah Basah	gram	51	58,3	47,6	47,48	50,83	52,19
Berat Cawan + Tanah Kering	gram	50,4	57,9	47,1	46,39	50,83	52,19
Berat Air	gram	0,60	0,40	0,50	1,09	0,53	0,30
Berat Tanah Kering	gram	1,40	0,90	1,10	2,49	1,30	0,69
Berat Tanah Basah	gram	2,00	1,30	1,60	3,58	1,83	0,99
Kadar Air	%	42,9	44,4	45,5	43,8	40,8	43,5
Rata-rata Kadar Air	%	44,3			42,7		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Perhitungan :

$$PL = \frac{2,00 - 1,40}{1,40} \times 100\% = 42,9\%$$

$$PL = \frac{3,58 - 2,49}{2,49} \times 100\% = 43,8\%$$

83

Berdasarkan hasil pengujian batas plastis tanah asli di peroleh kadar air sebesar 44,3% pada tanah *undisturb*, dan 42,7% pada tanah *disturb*.

1

3. Batas Susut (*Shrinkage limit* atau *SL*)

Batas susut (*shrinkage limit/SL*) merupakan kadar air pada saat tanah berada di peralihan antara kondisi semi padat dan padat, di mana berkurangnya kadar air selanjutnya tidak lagi menyebabkan perubahan volume pada tanah tersebut. Berikut hasil dari pengujian batas susut tanah asli dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Data hasil pengujian batas susut tanah asli

SHRINKAGE LIMIT (SL) TANAH ASLI					
Sampel		Undisturb		Disturb	
No Cawan Logam		20	21	21	20
Berat Cawan	gr	20,6	21,2	20,8	19,5
Berat Cawan + Tanah Basah	gr	47,30	49,10	48,10	45
Berat Tanah Basah	gr	26,70	27,90	27,30	25,5
Berat Cawan + Tanah Kering	gr	41	41	34,8	36,9
Berat Tanah Kering	gr	20,4	19,8	14	17,4
Kadar Air Mula-mula	gr	3,38	3,16	3,20	3,25
Berat Air Raks dengan Vol=Vol Mangkok <i>Shrinkage</i>	gr	171,7	219,0	219,0	173,3
Berat Air Raksa dengan Vol=Vol Tanah Kering	gr	245,6	195,6	180,4	191,4
Volume Tanah Basah	cm ³	12,77	16,10	16,10	12,74
Volume Tanah Kering	cm ³	18,06	14,38	13,26	14,7
Berat Kerut, SL	%	3,13	2,93	2,96	3,01
Rata-rata		3,03		2,99	

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Perhitungan :

$$SL = 3,38 - \left[\frac{41-20,4}{13,6} \right] \times \left[\frac{1}{26,70-20,6} \right] \times 100\% = 3,13$$

$$SL = 3,20 - \left[\frac{34,8-3,20}{13,6} \right] \times \left[\frac{1}{27,30-20,8} \right] \times 100\% = 2,96$$

Berdasarkan hasil pengujian *Shrinkage Limit* (SL) tanah asli, diperoleh nilai batas kerut rata-rata sebesar 3,03% pada tanah *undisturbed*, dan 2,99% pada tanah *disturbed*.

4. Indeks Plastisitas (*Plasticity index* atau *PI*)

Indeks plastisitas (*Plasticity index/PI*) adalah nilai yang diperoleh dari perbedaan antara batas cair dan batas plastis, yang mencerminkan rentang kadar air di mana tanah masih bersifat plastis. Nilai PI yang semakin besar menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki tingkat keplastisan yang lebih tinggi. Berikut hasil dari perhitungan indeks plastisitas tanah asli dapat dilihat dari tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Data hasil perhitungan Indeks Plastisitas

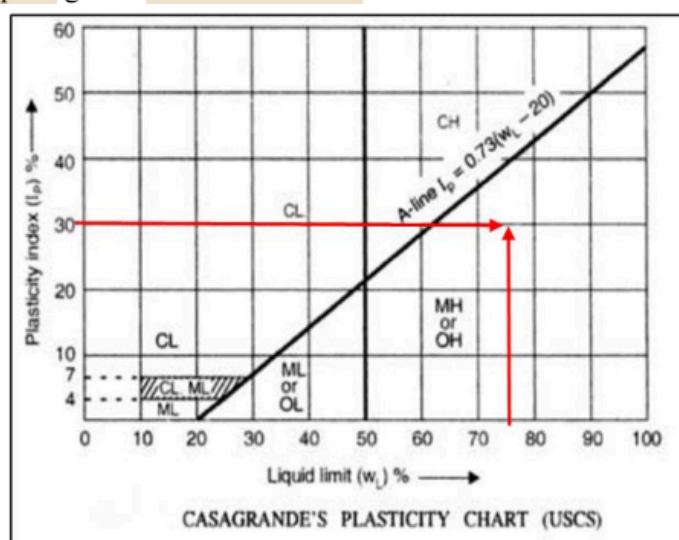
<i>Plasticity index (PI)</i>					
No.	Sampel	LL	PL	PI	SL
1	Tanah Undisturb	75%	44,25%	30,75%	3,03
2	Tanah Disturb	76%	42,77%	33,33%	2,99

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Perhitungan :

$$PI = LL - PL = 75\% - 44,25\% = 30,75\%$$

Setelah dilakukan pengujian batas cair (LL), batas plastis (PL), batas susut (SL), serta indeks plastisitas (PI), data yang diperoleh kemudian dianalisis dengan memplot nilai LL dan PI pada grafik klasifikasi USCS untuk menentukan jenis tanah yang diuji dan dapat dilihat pada grafik 4.4 dan tabel 4.12



Grafik 4. 3 Hubungan *Liquid limit* dan *Plasticity index* Tanah menurut Klasifikasi USCS Pada Tanah Asli (*Undisturb*)
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 10 Hubungan Antara *Plastic limit* (PL) dengan Tingkat Plastisitas dan Jenis Tanah Menurut *Atterberg*

PI	Tingkat Plastisitas	Jenis Tanah
0	Tidak plastis / Non PI	Pasir
$0 < PI < 7$	Plastisitas rendah	Lanau (Silt)
7 – 17	Plastisitas sedang	Silty – Clay
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung (Clay)

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 11 Hubungan Antara Kemampuan Pengembangan dengan Indeks Plastisitas

Kemampuan Pengembangan	Indeks Plastisitas (%)
Rendah	0 - 5
Sedang	5 - 15
Tinggi	16 - 35
Sangat Tinggi	> 35

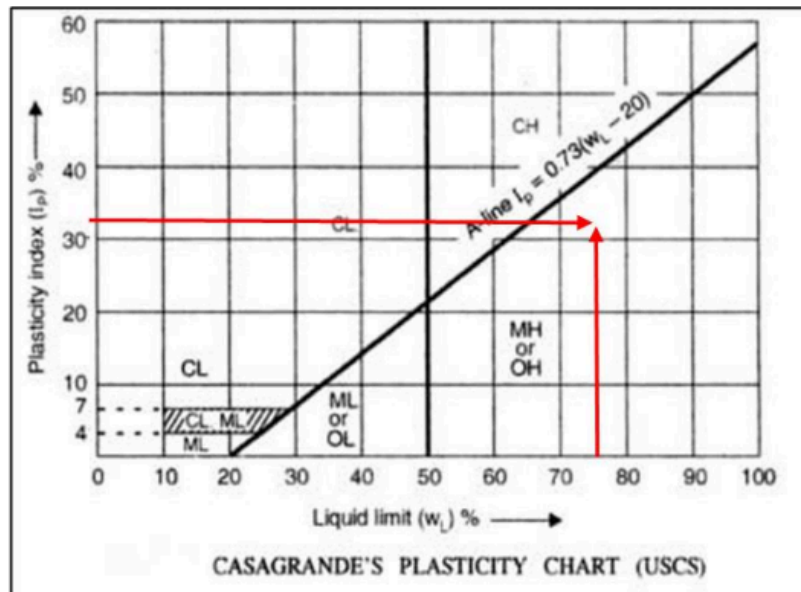
(Sumber : Data Olahan Peneliti,2026)

Tabel 4. 12 Tabel Klasifikasi USCS

Devisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Laboratorium
Tanah Berbutir kasar 50% butir terbesar saringan No. 200 (0,075 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$, antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk GW Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berbeda di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus	
	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	
	GC	Kerikil berlempung, campuran, kerikil pasir-lempung	
Pasir lebih dari 50% fraksi pasir (saringan No. 4 (4,75 mm))	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$, antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Bila batas <i>Atterberg</i> berbeda di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
	SP	Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
	SC	Pasir berlempung, campuran pasir lempung	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih saringan No. 200 (0,075 mm)	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
	CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lumpur berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays")	
	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	MH	Lanau organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis	
	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")	
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
	PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

(Sumber : Data Olahan Peneliti,2026)

Berdasarkan grafik klasifikasi USCS diatas dapat disimpulkan bahwa tanah di Desa Plos⁶⁴ Kecamatan Wonoayu Kabupaten Sidoarjo tergolong jenis OH yang merupakan tanah lempung organik dengan palstisitas tinggi. Sedangkan menurut tabel hubungan PL dengan tingkat plastisitas tanah tersebut tergolong tanah lempung berplastisitas tinggi dengan kemampuan pengembangan yang tinggi menurut Fredlund (1993) dan Mitchel (1976).



Grafik 4. 4 Hubungan *Liquid limit* dan *Plasticity index* Tanah menurut klasifikasi USCS Pada Tanah Asli (*Disturb*)
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 13 Hubungan Antara *Plastic limit* (PL) dengan Tingkat Plastisitas dan Jenis Tanah Menurut *Atterberg*

PI	Tingkat Plastisitas	Jenis Tanah
0	Tidak plastis / Non PI	Pasir
$0 < PI < 7$	Plastisitas rendah	Lanau (Silt)
7 – 17	Plastisitas sedang	Silty – Clay
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung (Clay)

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 14 Hubungan Antara Kemampuan Pengembangan dengan Indeks Plastisitas

Kemampuan Pengembangan	Indeks Plastisitas (%)
Rendah	0 - 5
Sedang	5 - 15
Tinggi	16 - 35
Sangat Tinggi	> 35

43

(Sumber : Data Olahan Peneliti,2026)

Tabel 4. 15 Tabel Klasifikasi USCS

Deviasi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Laboratorium
Tanah Berbutir kasar 50% butiran terendah saringan No. 200 (0,075 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk GW Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berbeda di daerah arsur dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
		Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus	
	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	
		Kerikil berlempung, campuran, kerikil pasir-lempung	
	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
		Pasir berlempung, campuran pasir lempung	
	SC	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
Tanah Berbutir halus 50% atau lebih dari fraksi kasar (4,75 mm)	GP	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk SW Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berbeda di daerah arsur dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
		Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus	
	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	
		Kerikil berlempung, campuran, kerikil pasir-lempung	
	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
		Pasir berlempung, campuran pasir lempung	
	SC	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
Tanah Berbutir halus 50% atau lebih dari fraksi kasar (4,75 mm)	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk SW Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berbeda di daerah arsur dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
		Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lumpur berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays")	
	CL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
		Lanau organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis	
	MH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")	
		Lempung organik dengan plastisitas tinggi	
	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")	
		Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
	OH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")	
		Lempung organik dengan plastisitas tinggi	
Tanah Berbutir halus 50% atau lebih dari fraksi kasar (4,75 mm)	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk SW Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berbeda di daerah arsur dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
		Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lumpur berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays")	
	CL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
		Lanau organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis	
	MH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")	
		Lempung organik dengan plastisitas tinggi	
	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")	
		Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
	OH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")	
		Lempung organik dengan plastisitas tinggi	

48

(Sumber : Data Olahan Peneliti,2026)

Berdasarkan grafik klasifikasi USCS diatas dapat disimpulkan bahwa tanah di Desa Ploso Keca⁶⁴an Wonoayu Kabupaten Sidoarjo tanah *disturb* tergolong jenis OH yang merupakan tanah lempung organik dengan palstisitas tinggi . Sedangkan menurut tabel hubungan PL dengan tingkat plastisitas tanah tersebut tergolong tanah lempung berplastisitas tinggi dengan kemampuan pengembangan yang tinggi menurut Fredlund (1993) dan Mitchel (1976).

12

4.1.5 Analisa Saringan dan Hidrometer

Analisis gradasi butiran tanah bertujuan untuk menentukan distribusi persentase berat partikel yang tertahan pada masing-masing ukuran saringan.

Pengujian hidrometer¹⁷ didasarkan pada hukum Stokes, yang menjelaskan mekanisme pengendapan partikel berbentuk mendekati bola dalam suatu fluida kental. Laju pengendapan partikel ditentukan oleh ukuran butir serta selisih berat jenis antara partikel¹ tanah dan fluida tempat partikel tersebut berada dalam kondisi tersuspensi. Berikut hasil dari pengujian analisa saringan tanah asli dan hidrometer dapat dilihat dari tabel 4.16 dan 4.17.

Perhitungan :

Berat Pasir = 200 gram

Berat Tempat = 10 gram

Berat Pasir yang tertahan (gram) (No.200) = 21,8 gram

Berat Pasir yang tertahan (%) = $\frac{\text{Berat Pasir Tertahan (gr)}}{\text{Berat Pasir}} \times 100\%$

$$= \frac{21,8}{200} \times 100\%$$

$$= 10,90\%$$

Kumulatif Lolos (%) = 87,900 – 10,90

$$= 77\%$$

Kumulatif Tertahan (%) = 100% - 77%

$$= 23\%$$

Tabel 4. 16 Data Hasil Pengujian Analisa Saringan Tanah Asli (Undisturb)¹

No	Diameter Ayakan (mm)		Berat Tempat + Pasir Tertahan (Gram)	Berat Pasir Yang Tertahan		Kumulatif	
	No	mm		Gram	%	Lolos (%)	Tertahan (%)
1	2		3	4	5	6	7
1	16	1,18	10	0	0	100	0
2	30	0,6	10,7	0,7	0,35	99,650	0,350
3	40	0,425	10,8	0,8	0,40	99,250	0,750
4	50	0,3	10,9	0,9	0,45	98,800	1,200
5	60	0,25	15,2	5,2	2,60	96,200	3,800
6	100	0,15	26,6	16,6	8,30	87,900	12,100
7	200	0,075	31,8	21,8	10,90	77	23
8	Pan	Pan	164	154	77	0	100
Jumlah				200	100		

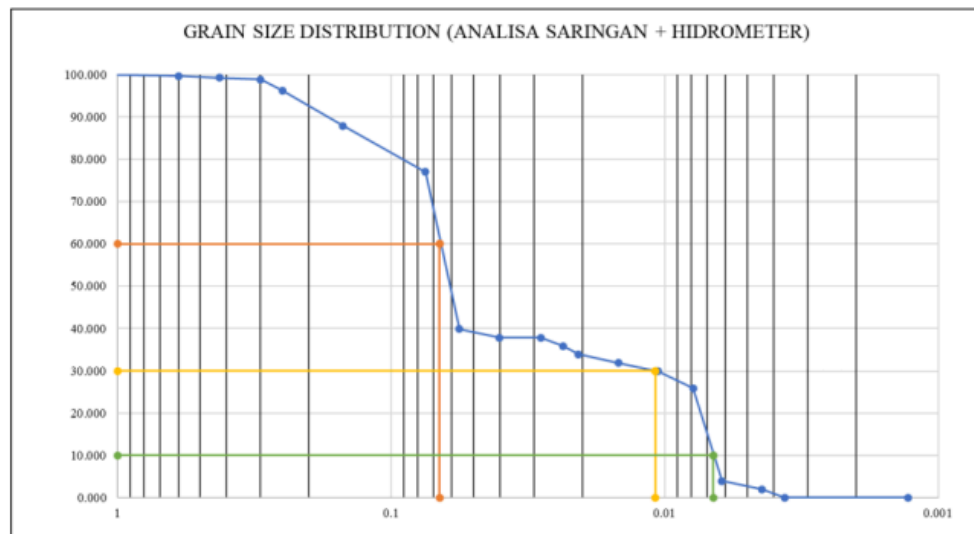
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Dari tabel diatas³⁶ tanah yang lolos saringan No.200 adalah 77% dengan berat 154 gr.

2 Tabel 4.17 Data Hasil Pengujian *Hidrometer* Tanah Asli (*Undisturb*)

PIKOMETER A											
Waktu Waktu (Menit)	Tempe ratur (C°)	Pembacaan Hidrometer (Ra)	R2	Ct	Pembacaan Hidrometer Terkoreksi (Rc)	Pembacaan Hidrometer + Meniscuss Correct (Rcl)	L	K	K'	Ukuran Butir (D) (Mm)	Percentase Lolos (P%)
0,5	29	1021	1001	3,05	20,00	1022	10,5	0,01229	3199,3	0,0563	39,84
1	29	1020	1001	3,05	19,00	1021	10,70	0,01229	3199,3	0,0402	37,85
2	29	1020	1001	3,05	19,00	1021	10,70	0,01229	3199,3	0,0284	37,85
3	29	1019	1001	3,05	18,00	1020	11,00	0,01229	3199,3	0,0235	35,86
4	29	1018	1001	3,05	17,00	1019	11,30	0,01229	3199,3	0,0206	33,87
8	29	1017	1001	3,05	16,00	1018	11,50	0,01229	3199,3	0,0147	31,87
16	29	1016	1001	3,05	15,00	1017	11,80	0,01229	3199,3	0,0106	29,88
30	29	1014	1001	3,05	13,00	1015	12,30	0,01229	3199,3	0,0079	25,90
60	29	1003	1001	3,05	2,00	1004	15,20	0,01229	3199,3	0,0062	3,98
120	29	1002	1001	3,05	1,00	1003	15,50	0,01229	3199,3	0,0044	1,99
180	29	1001	1001	3,05	0,00	1002	15,80	0,01229	3199,3	0,0036	0,00
1440	29	1001	1001	3,05	0,00	1002	15,80	0,01229	3199,3	0,0013	0,00

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



Grafik 4. 5 Hasil Pengujian Hidrometer Tanah Asli (*Undisturb*)

21

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, diketahui bahwa tanah yang di uji merupakan jenis tanah lempung, karena memiliki diameter butiran sebesar 0.0013 – 0.0563 mm , yang memenuhi Batasan klasifikasi butiran ASTM D422-39 dan JIS A1204 – 50,yaitu :

- Lempung : 0.005 – 0.05 mm
- Lanau : 0.05 – 0.025 mm

21

- Pasir : 0.25 – 2.00 mm
- Kerikil : > 2,00 mm

Dengan nilai $C_u = 9.998$ dan $C_c = 0.264$

1

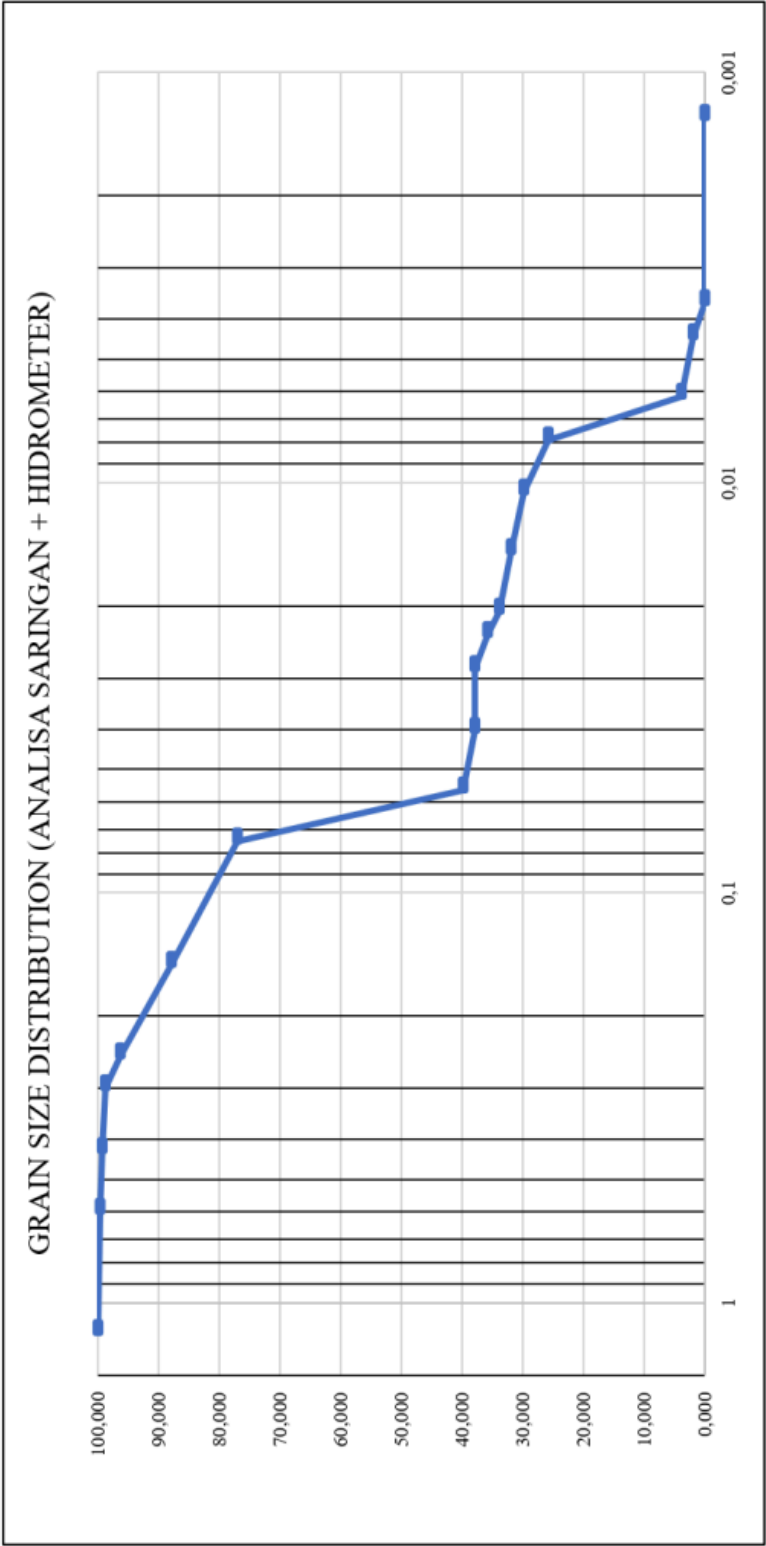
Berikut disajikan hasil rekapitulasi ¹ ⁵ pengujian analisa saringan dan hidrometer dari sampel tanah *undisturb* yang digunakan untuk menggambarkan ² distribusi ukuran butir tanah secara menyeluruh. Hasil tersebut dapat dilihat dari tabel 4.18 dan grafik 4.9.

Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Analisa Saringan dan
Hidrometer

1 Diameter Saringan (mm)	Persentase Lolos	Diameter Saringan (mm)
1,18	100,000	1,18
0,6	99,650	0,6
0,425	99,250	0,425
0,3	98,800	0,3
0,25	96,200	0,25
0,15	87,900	0,15
0,075	77,000	0,075
0,0562982	39,842	0,0562982
0,04018618	37,850	0,04018618
0,02841592	37,850	0,02841592
0,02352451	35,858	0,02352451
0,02064876	33,866	0,02064876
0,01472953	31,874	0,01472953
0,01055033	29,882	0,01055033
0,00786641	25,898	0,00786641
0,00618345	3,984	0,00618345
0,0044153	1,992	0,0044153
0,0036398	0,000	0,0036398
0,00128686	0,000	0,00128686

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Grafik 4. 6 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan dan Hidrometer



21

Sampel tanah merupakan tanah lempung, karena memiliki diameter butiran sebesar 0.0013 – 0.0563 mm

Kedua sampel memenuhi Batasan klasifikasi butiran ASTM D422-39 dan JIS A1204 – 50, yaitu :

- Lempung : 0.005 – 0.05 mm
- Lanau : 0.05 – 0.025 mm
- Pasir : 0.25 – 2.00 mm
- Kerikil : > 2,00 mm

20

4.1.6 Pengujian Pemadatan (*Proctor Test*)

1

Dari pengujian ini diperoleh nilai kepadatan kering maksimum (*Maximum Dry Density/MDD*) serta kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) yang diperlukan agar tanah mencapai kondisi kepadatan tersebut.

Tinggi Cetakan	: 16,3 cm
Berat Cetakan (A)	: 1243
Gs	: 2,597
Diameter Cetakan	: 10,175 cm
Volume Cetakan	: 1325,9 cm ³

Tabel 4. 19 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Asli

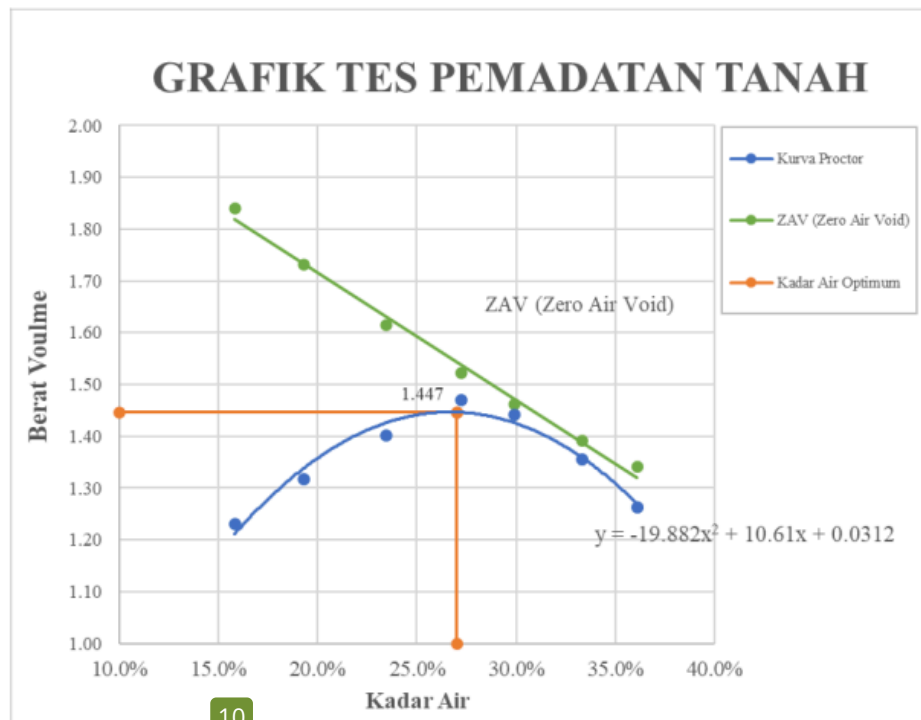
No. Percobaan	1			2			3		
	44	48	60	7	6	17	22	33	67
No. Cawan	19	14	14	33	37	47	53	51	50
Berat Cawan (C)	49	36	44	49	49	83	74	67	62
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	44,9	33	39,9	46,4	47,1	77,1	70	64	59,7
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	4,1	3	4,1	2,6	1,9	5,9	4	3	2,3
Berat Air (D-E)	25,9	19	25,9	13,4	10,1	30,1	17	13	9,7
Berat Tanah Kering (Ws) (E-C)	30	22	30	16	12	36	21	16	12
Berat Tanah Basah (Ww)	15,8%	15,8%	15,8%	19,4%	18,8%	19,6%	23,5%	23,1%	23,7%
Kadar Air (Wc)	15,8%			19,3%			23,4%		
Rata-rata Kadar Air (Wc)	3131			3326			3537		
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	1888	1888	1888	2083	2083	2083	2294	2294	2294
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F) (B-A)	1,424	1,424	1,424	1,571	1,571	1,571	1,730	1,730	1,730
Berat Volume Basah (γ_w)	1,23	1,23	1,23	1,32	1,32	1,31	1,40	1,41	1,40
Berat Volume Kering (γ_d)	1,23	1,23	1,23	1,32	1,32	1,31	1,40	1,41	1,40
Rata-rata Berat Volume Kering (γ_d)	1,84	1,84	1,84	1,73	1,74	1,72	1,61	1,62	1,61
γ_{ZAV}	1,84			1,73			1,61		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

67 Tabel 4.26 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Asli (Lanjutan)

No. Percobaan	4			5			6			7		
No. Cawan	57	53	50	1	3	31	99	21	6	19	35	36
Berat Cawan (C)	14	15	19	40	26	50	26	51	41	49	51	36
Berat Cawan + Tanah Basah	23	29	27	47	33	56	34	61	49	54	57	54
Berat Cawan + Tanah Kering	21	26,1	25,3	45,4	31,4	54,6	32	58,5	47	52,7	55,4	49,3
Berat Air	2	2,9	1,7	1,6	1,6	1,4	2	2,5	2	1,34	1,6	4,7
Berat Tanah Kering	7	11,1	6,3	5,4	5,4	4,6	6	7,5	6	3,66	4,4	13,3
Berat Tanah Basah	9,0	14,0	8,0	7,0	7,0	6,0	8,0	10,0	8,0	5,0	6,0	18,0
Kadar Air	28,6%	26,1%	27,0%	29,6%	29,6%	30,4%	33,3%	33,3%	33,3%	36,6%	36,4%	35,3%
Rata-rata Kadar Air	27,2%			29,9%			33,3%			36,1%		
Berat Cetakan + Tanah Basah	3722			3725			3638			3521		
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan	2479	2479	2479	2482	2482	2482	2395	2395	2395	2278	2278	2278
Berat Volume Basah (γ _w)	1,870	1,870	1,870	1,870	1,870	1,870	1,806	1,806	1,806	1,718	1,718	1,718
Berat Volume Kering (γ _d)	1,45	1,48	1,47	1,44	1,44	1,44	1,35	1,35	1,35	1,26	1,26	1,27
Rata-rata Berat Volume Kering (γ _d)	1,47			1,44			1,35			1,26		
γ _{ZAV}	1,49	1,55	1,53	1,47	1,47	1,45	1,39	1,39	1,39	1,33	1,34	1,35
Rata-rata γ _{ZAV}	1,52			1,46			1,39			1,34		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



Grafik 4. 7 Data Hasil Pengujian Pemadatan Tanah Asli
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

$$y = -19,882 x^2 + 10,61x - 0,0312$$

$$y = -19,882 (27)^2 + 10,61(27) - 0,0312$$

$$y = 1,447 \text{ gr/cm}^3$$

OMC = 27%

Berdasarkan hasil pengujian pemadatan asli dengan metode Proctor, diperoleh nilai *Maximum Dry Density* (MDD) sebesar 1,447 gr/cm³ dan nilai *Optimum Moisture Content* (MC) sebesar 27%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tanah mencapai kepadatan kering maksimum pada kondisi kadar air optimum sebesar 27%.

4.1.7 Pengujian *Unconfined Compression Strength* (UCS)

Berat Sampel	: 140,8 gram
Tinggi Sampel	: 8 cm
Diameter Sampel	: 3,86 cm
Luas	: 11,70683 cm ²
LRC	: 0,5969

Tabel 4. 20 Data Pengujian *Uncovined Compression Strength* (UCS)

SAMPel 1									
Waktu	Bacaan Dial Deformasi	Least Count	Besar Dial	Deformasi Tanah	Regangan Aksial	Faktor Koreksi Luas	Luas Terkoreksi	Beban Total	Tegangan
(mnt)		Lc=0.01 mm	(units)	13 Δh	ε=Δh/h	1-ε	A'=Ao/1-ε	P=kolom 4 x LRC	σ
0,5	40	0,01	2,5	0,04	0,005	0,995	11,766	1,492	0,12683
1	80	0,01	4,5	0,08	0,01	0,99	11,825	2,686	0,22715
1,5	120	0,01	5,5	0,12	0,015	0,985	11,885	3,283	0,27622
2	160	0,01	6	0,16	0,02	0,98	11,946	3,581	0,29981
2,5	200	0,01	5,5	0,2	0,025	0,975	12,007	3,283	0,27342

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



Grafik 139 Data Hasil Pengujian UCS Tanah Asli
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan grafik di atas didapatkan hasil dari kuat tekan bebas sebesar $0,2998 \text{ kg/cm}^2$.

147 4.2 Perhitungan Pembuatan Benda Uji

Perhitungan pembuatan benda uji dilakukan berdasarkan berat kering optimum yang diperoleh dari hasil pengujian pemadatan Proctor. Nilai berat kering optimum tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan kebutuhan berat tanah pada setiap benda uji. Selanjutnya, dilakukan perhitungan persentase penambahan serbuk cangkang bekicot sebesar 5%, 10%, dan 15% serta bakteri *Bacillus subtilis* sebesar 6% terhadap berat kering tanah. Hasil perhitungan ini digunakan untuk menentukan jumlah masing-masing bahan campuran yang diperlukan sehingga komposisi benda uji sesuai dengan variasi yang telah direncanakan dalam penelitian.

Tabel 4. 21 Rekapitulasi Perhitungan Pembuatan Benda Uji

No	Pengujian	Pemeraman 0 hari			Pemeraman 7 hari			Pemeraman 14 hari		
		SCB 5% + Bakteri BS 6%	SCB 10% + Bakteri BS 6%	SCB 15% + Bakteri BS 6%	SCB 5% + Bakteri BS 6%	SCB 10% + Bakteri BS 6%	SCB 15% + Bakteri BS 6%	SCB 5% + Bakteri BS 6%	SCB 10% + Bakteri BS 6%	SCB 15% + Bakteri BS 6%
1.	Pengujian Proctor									
	Kebutuhan Sampel (gram)	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
	Komposisi									
	Serbuk Cangkang Bekicot (gram)	125	250	375	125	250	375	125	250	375
	Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> (ml)	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	Tanah Natural (gram)	2225	2100	1975	2225	2100	1975	2225	2100	1975
	Berat Kering Optimum (gr/cm^3)	1,436	1,470	1,491	1,505	1,522	1,536	1,485	1,500	1,515
	Kadar Air Optimum (%)	28%	26%	25%	25%	24%	22%	25%	24%	23%
2.	Pengujian UCS									
	Tinggi Cetakan (cm)	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	Diameter Cetakan (cm)	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86
	Volume Cetakan (cm^3)	93,65	93,65	93,65	93,65	93,65	93,65	93,65	93,65	93,65
	Berat Kering Tanah UCS (gram)	134,46	137,66	139,65	140,99	142,54	143,87	139,05	140,51	141,85
	Komposisi									
	Serbuk Cangkang Bekicot (gram)	6,72	13,77	20,95	7,05	14,25	21,58	6,95	14,05	21,28
	Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> (ml)	8,07	8,26	8,38	8,46	8,55	8,63	8,34	8,43	8,51
	Tanah Natural (gram)	119,67	115,63	110,32	125,48	119,74	113,66	123,75	118,03	112,06
3.	Pengujian Volumetry									
	Tinggi Cetakan (cm)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Diameter Cetakan (cm)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Volume Cetakan (cm^3)	9,43	9,43	9,43	9,43	9,43	9,43	9,43	9,43	9,43
	Berat Kering Tanah (gram)	13,54	13,86	14,06	14,19	14,35	14,48	14	14,15	14,28
	Komposisi									
	Serbuk Cangkang Bekicot (gram)	0,68	1,39	2,11	0,71	1,44	2,17	0,70	1,41	2,14
	Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> (ml)	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,84	0,85	0,86
	Tanah Natural (gram)	12,05	11,64	11,11	12,63	12,05	11,44	12,46	11,88	11,28

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4.28 Rekapitulasi Perhitungan Pembuatan Benda Uji

No	Pengujian	Pemeraman 0 hari			Pemeraman 7 hari			Pemeraman 14 hari		
		SCB 5% + Bakteri BS 6%	SCB 10% + Bakteri BS 6%	SCB 15% + Bakteri BS 6%	SCB 5% + Bakteri BS 6%	SCB 10% + Bakteri BS 6%	SCB 15% + Bakteri BS 6%	SCB 5% + Bakteri BS 6%	SCB 10% + Bakteri BS 6%	SCB 15% + Bakteri BS 6%
4.	Pengujian Konsistensi Tanah									
	Panjang Cetakan (cm)	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2
	Lebar Cetakan (cm)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	Tinggi Cetakan (cm)	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
	Volume Cetakan (<i>cm</i> ³)	443,70	443,70	443,70	443,70	443,70	443,70	443,70	443,70	443,70
	Berat Kering Tanah (gram)	637,03	652,16	661,60	667,97	675,31	681,62	658,77	665,68	672,02
	Komposisi									
	Serbuk Cangkang Bekicot (gram)	31,85	65,22	99,24	33,40	67,53	102,24	32,94	66,57	100,80
	Bakteri Bacillus Subtilis (ml)	38,22	39,13	39,70	40,08	40,52	40,90	39,53	39,94	40,32
	Tanah Natural(gram)	566,95	547,82	522,66	594,50	567,26	538,48	586,30	559,17	530,90

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Contoh Perhitungan pembuatan benda uji pada variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% sebbagai berikut :

a. Pengujian Proctor

Berat Kebutuhan Sampel Proctor	= 2500 gr
Komposisi :	
15% SCB x 2.500 gr	= 375 gr
6% BS x 2.500 gr	= 150 ml
Tanah Natural	= 2.500 - 375 - 150
	= 1975 gr

72 Melakukan Pengujian Proctor dan diperoleh :

Berat Kering Optimum	= 1,536 gr/cm ³
Kadar Air Optimum	= 22%

b. Pembuatan sampel Pengujian UCS

Volume Cetakan UCS	= 3,14 x 1,93cm x 1,93cm x 8cm
	= 93,57 cm ³
Berat Kering Tanah UCS	= Berat Kering Optimum x Volume Tempat Sampel
	= 1,536 gr/cm ³ x 93,57 cm ³
	= 143,72 gr
Komposisi :	
15% SCB x 143,72 gr	= 21,6 gr
6% BS x 143,72 gr	= 8,6 ml
Tanah Natural	= 143,72 gr - 21,6 gr - 8,6 ml
	= 113,52 gr

c. Pembuatan sampel Pengujian Volumetry

Volume Sampel Volumetry	= 3,14 x 1 cm x 1 cm x 3cm
	= 9,42 cm ³
Berat Kering Tanah Volumetry	= Berat Kering Optimum x Volume Tempat Sampel
	= 1,536 gr/cm ³ x 9,42 cm ³
	= 14,5 gr
Komposisi :	
15% SCB x 14,5 gr	= 2,2 gr
6% BS x 14,5 gr	= 0,87 ml
Tanah Natural	= 14,5 gr - 2,2 gr - 0,87 ml
	= 11,43 gr

d. Pembuatan sampel Pengujian Konsistensi Tanah

$$\begin{aligned}\text{Volume Sampel Atterberg} &= 10,2 \text{ cm} \times 7,5 \text{ cm} \times 5,8 \text{ cm} \\ &= 443,7 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Kering Tanah Atterberg} &= \text{Berat Kering Optimum} \times \text{Volume Tempat Sampel} \\ &= 1,536 \text{ gr/cm}^3 \times 443,7 \text{ cm}^3 \\ &= 681,5 \text{ gr}\end{aligned}$$

Komposisi :

$$\begin{aligned}15\% \text{ SCB} \times 681,5 \text{ gr} &= 102,2 \text{ gr} \\ 6\% \text{ BS} \times 681,5 \text{ gr} &= 40,89 \text{ ml} \\ \text{Tanah Natural} &= 681,5 \text{ gr} - 102,2 \text{ gr} - 40,89 \text{ ml} \\ &= 538,41 \text{ gr}\end{aligned}$$

4.3 Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*

Hasil pengujian sifat fisik dan mekanis tanah dengan penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* menunjukkan karakter tanah setelah perlakuan stabilisasi. Data yang diperoleh meliputi parameter sifat fisik seperti kadar air, berat jenis, dan batas konsistensi, serta sifat mekanis seperti pengujian pemadatan. Pengujian dilakukan pada berbagai variasi campuran dan waktu pemeraman untuk mengetahui respons tanah terhadap perlakuan yang diberikan.

4.3.1 Pengujian Kadar Air Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*

Pengujian kadar air tanah dilakukan pada tanah yang telah distabilisasi menggunakan campuran serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis*. Pada penelitian ini digunakan tiga variasi campuran serbuk cangkang bekicot (SCB), yaitu sebesar 5%, 10%, dan 15% terhadap berat kering tanah, sedangkan kadar bakteri *Bacillus subtilis* (BCB) dijaga konstan sebesar 6% pada setiap variasi campuran dengan 3 jenis pemeraman yaitu 0,7 dan 14 hari.

a. Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Pengujian kadar air tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* dilakukan untuk mengetahui kondisi kelembapan tanah setelah proses pencampuran dan pemeraman. Nilai kadar air ini mencerminkan jumlah air yang terkandung dalam pori-pori tanah yang berpengaruh terhadap sifat fisiknya. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.22 sampai tabel 4.32.

Tabel 4. 22 Data Hasil Pengujian Kadar Air SCB 5% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Kadar Air Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 5% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%									
Nama Sampel	4 Pemeraman 0 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari		
	6	24	22	6	14	26	12	5	23
No Cawan									
Berat Cawan (gram)	37	46	31	39,0	32,0	42,0	32	38	29
Berat Cawan + Tanah Basah (gram)	46	57	41	51,0	45,0	56,0	46	52	41
Berat Cawan + Tanah Kering (gram)	43,3	53,6	38,1	48,2	42,1	52,9	42,5	48,6	37,9
Berat Air (gram)	2,7	3,4	2,9	2,8	2,9	3,1	3,5	3,4	3,1
Berat Tanah Kering (gram)	6,3	7,6	7,1	9,2	10,1	10,9	10,5	10,6	8,9
Kadar Air (%)	42,9	44,7	40,8	30,6	28,5	28,3	33,3	32,1	34,8
Kadar Air Rata Rata (Wc)	42,81%			29,12%			33,41%		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 WC &= \frac{Ww}{Ws} \times 100\% \\
 &= \frac{2,70}{6,300} \times 100\% \\
 &= 42,86\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 WC &= \frac{Ww}{Ws} \times 100\% \\
 &= \frac{2,81}{9,190} \times 100\% \\
 &= 30,58\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 WC &= \frac{Ww}{Ws} \times 100\% \\
 &= \frac{3,50}{10,500} \times 100\% \\
 &= 33,33\%
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian kadar air tanah pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 5% dan *Bacillus subtilis* 6% menunjukkan bahwa kadar air tanah sebesar 42,81% pada pemeraman 0 hari, kemudian menurun menjadi 29,12% pada pemeraman 7 hari, dan meningkat kembali menjadi 33,41% pada pemeraman 14 hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan SCB dan *Bacillus subtilis* serta lamanya waktu pemeraman memengaruhi kondisi kadar air tanah selama proses stabilisasi.

b. Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Pengujian kadar air tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* dilakukan untuk mengetahui kondisi kelembapan tanah setelah proses pencampuran dan pemeraman. Nilai kadar air ini mencerminkan jumlah air yang terdapat dalam pori-pori tanah yang berpengaruh terhadap sifat fisisnya. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.24.

Tabel 4. 23 Data Hasil Pengujian Kadar Air SCB 10% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Kadar Air Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 10% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%									
Nama Sampel	Pemeraman 0 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari		
No Cawan	6	14	26	16	27	3	14	21	33
Bobot Cawan (gram)	32	41	39	35,0	40,0	43,0	37	41	32
Berat Cawan + Tanah (gram)	43	55	48	47,0	53,0	57,0	49	57	46
Berat Cawan + Tanah Kering (gram)	40,0	51,1	45,6	44,9	50,6	54,5	46,5	53,7	43,2
Berat Air (gram)	3	3,9	2,4	2,1	2,4	2,5	2,5	3,3	2,8
Berat Tanah Kering (gram)	8,0	10,1	6,6	9,9	10,6	11,5	9,5	12,7	11,2
Kadar Air (%)	37,5	38,6	37,2	21,3	22,6	21,6	26,3	25,8	24,9
Kadar Air Rata Rata (Wc)	37,77%			21,87%			25,66%		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 WC &= \frac{Ww}{Ws} \times 100\% \\
 &= \frac{3}{8} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 37,50\%$$

$$\begin{aligned} WC &= \frac{Ww}{Ws} \times 100\% \\ &= \frac{2,11}{9,890} \times 100\% \\ &= 21,33\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} WC &= \frac{Ww}{Ws} \times 100\% \\ &= \frac{2,50}{9,500} \times 100\% \\ &= 26,32\% \end{aligned}$$

Hasil pengujian kadar air tanah pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 10% dan *Bacillus subtilis* 6% menunjukkan bahwa kadar air tanah sebesar 37,77% pada pemeraman 0 hari, kemudian menurun menjadi 21,87% pada pemeraman 7 hari, dan meningkat kembali menjadi 25,66% pada pemeraman 14 hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan SCB dan *Bacillus subtilis* serta lamanya waktu pemeraman memengaruhi kondisi kadar air tanah selama proses stabilisasi.

c. Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Pengujian kadar air pada tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) sebesar 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* sebesar 6% dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan stabilisasi terhadap kandungan air dalam tanah setelah proses pencampuran dan pemeraman. Nilai kadar air yang diperoleh menunjukkan kondisi kelembapan tanah dan perubahan sifat fisis tanah akibat penambahan campuran tersebut. Hasil pengujian kadar air pada variasi ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 24 Data Hasil Pengujian Kadar Air SCB 15% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Kadar Air Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%									
Nama Sampel	Pemeraman 0 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari		
	7	3	31	8	34	24	27	14	29
No Cawan	40	46	51	42	53	40	48	42	51
Berat Cawan (gram)	51	57	62	56	64	54	59	54	63
Berat Cawan + Tanah Basah (gram)	48,5	54,4	59,4	54,1	62,5	52,1	57,4	52,2	61,2
Berat Cawan + Tanah Kering (gram)	2,5	2,6	2,6	1,9	1,5	1,9	1,6	1,8	1,8
Berat Tanah Kering (gram)	8,5	8,4	8,4	12,1	9,5	12,1	9,4	10,2	10,2
Kadar Air (%)	29,4	30,9	30,9	15,6	16,2	15,4	17,0	17,6	17,6
Kadar Air Rata Rata (Wc)	30,44%			15,73%			17,44%		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Perhitungan :

$$WC = \frac{Ww}{Ws} \times 100\%$$

$$= \frac{2,50}{8,5} \times 100\%$$

$$= 29,41\%$$

$$WC = \frac{Ww}{Ws} \times 100\%$$

$$= \frac{1,89}{12,110} \times 100\%$$

$$= 15,61\%$$

$$WC = \frac{Ww}{Ws} \times 100\%$$

$$= \frac{1,60}{9,400} \times 100\%$$

$$= 17,02\%$$

Hasil pengujian kadar air tanah pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 15% dan *Bacillus subtilis* 6% menunjukkan bahwa kadar air tanah sebesar 30,44% pada pemeraman 0 hari, kemudian menurun menjadi 15,73% pada pemeraman 7 hari, dan meningkat kembali menjadi 17,44% pada pemeraman 14 hari.

4.3.2 Pengujian Volumetry Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*

Pengujian volumetri tanah dilakukan pada tanah yang telah distabilisasi menggunakan campuran serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* untuk mengetahui perubahan sifat volumetri tanah setelah proses pencampuran dan pemeraman. Pada penelitian ini digunakan tiga variasi campuran serbuk cangkang bekicot (SCB), yaitu sebesar 5%, 10%, dan 15%, dengan kadar bakteri *Bacillus subtilis* yang dijaga konstan sebesar 6% pada setiap variasi. Pengujian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

a. Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Pengujian volumetri pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat volumetri tanah setelah proses stabilisasi dan pemeraman. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 25 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 5% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 0 Hari

Pemeraman 0 Hari						
VOLUMETRY SCB 5% + BBS 6%						
No	BERAT VOLUME TANAH		1	2	3	Rata rata
1	No Cawan		15	33	8	
2	Berat Cawan Kosong	gr	37	46	31	
3	Berat Cawan + Tanah Basah	gr	46	57	41	
4	Berat Cawan + Tanah Kering	gr	43,30	53,60	38,10	
5	Berat Cawan Peluberan	gr	355	355	355	

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 33 Data Hasil Pengujian *Volumetry* Campuran SCB 5% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 0 Hari (Lanjutan)

Pemeraman 0 Hari						
VOLUMETRY SCB 5% + BBS 6%						
No	BERAT VOLUME TANAH		1	2	3	Rata rata
1	No Cawan		15	33	8	
6	Berat Cawan Peluberan + Hg Luber	gr	436,2	453,3	447,2	
7	Beart Hg Luber	gr	81,20	98,30	92,20	
8	Berat Tanah Basah	gr	9	11	10	
9	Volume Tanah	gr	5,97	7,23	6,78	
10	Berat Air	gr	2,70	3,40	2,90	
11	Berat Tanah Kering	gr	6,30	7,60	7,10	7
12	Berat/Volume Tanah	γt gr/cc	1,507	1,522	1,475	1,501
13	Berat/Volume Kering	γd gr/cc	1,055	1,051	1,047	1,051
14	Kadar Air	WC %	42,86	44,74	40,85	42,81
15	Derajat Kejenuhan	Sr %	43,81	43,57	38,91	42,09
16	Kadar Pori	n %	48,66	48,74	48,84	48,75
17	Angka Pori	e %	0,948	0,951	0,955	0,951

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian volumetri pada variasi SCB 5% + BBS 6% pemeraman 0 hari, nilai derajat kejenuhan (Sr) rata-rata sebesar 42,098%, sedangkan nilai angka pori (e) rata-rata sebesar 0,951.

Tabel 4. 26 Data Hasil Pengujian *Volumetry* Campuran SCB 5% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 7 Hari

Pemeraman 7 Hari						
VOLUMETRY SCB 5% + BBS 6%						
No	BERAT VOLUME TANAH		1	2	3	Rata rata
1	No Cawan		7	12	46	
2	Berat Cawan Kosong	gr	39	32	42	
3	Berat Cawan + Tanah Basah	gr	51	45	56	
4	Berat Cawan + Tanah Kering	gr	48,19	42,12	52,91	

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 34 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 5% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 7 Hari (Lanjutan)

Pemeraman 7 Hari							
VOLUMETRY SCB 5% + BBS 6%							
No	BERAT VOLUME TANAH		1	2	3	Rata rata	
1	No Cawan		7	12	46		
5	Berat Cawan Peluberan	gr	355	355	355		
6	Berat Cawan Peluberan + Hg Luber	gr	459	468	475		
7	Beart Hg Luber	gr	104	113	120		
8	Berat Tanah Basah	gr	12	13	14		
9	Volume Tanah	gr	7,65	8,31	8,82		
10	Berat Air	gr	2,81	2,88	3,09		
11	Berat Tanah Kering	gr	9,19	10,12	10,91	10,07	
12	Berat/Volume Tanah γ_t	gr/cc	1,569	1,565	1,587	1,573	
13	Berat/Volume Kering γ_d	gr/cc	1,202	1,218	1,236	1,219	
14	Kadar Air WC	%	30,58	28,46	28,32	29,12	
15	Derajat Kejenuhan Sr	%	33,553	33,237	31,427	32,739	
16	Kadar Pori n	%	45,418	45,086	44,713	45,072	
17	Angka Pori e	%	0,832	0,821	0,809	0,821	

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian volumetri pada variasi SCB 5% + BBS 6% pemeraman 7 hari, nilai derajat kejenuhan (Sr) rata-rata sebesar 32,739%, sedangkan nilai angka pori (e) rata-rata sebesar 0,821.

Tabel 4. 27 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 5% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 14 Hari

Pemeraman 14 Hari						
VOLUMETRY SCB 5% + BBS 6%						
No	BERAT VOLUME TANAH		1	2	3	Rata rata
1	No Cawan		12	5	23	
2	Berat Cawan Kosong	gr	32	38	29	
3	Berat Cawan + Tanah Basah	gr	46	52	41	
4	Berat Cawan + Tanah Kering	gr	42,50	48,60	37,90	
5	Berat Cawan Peluberan	gr	355	355	355	
6	Berat Cawan Peluberan + Hg Luber	gr	479	476	457	
7	Beart Hg Luber	gr	124	121	102	
8	Berat Tanah Basah	gr	14	14	12	
9	Volume Tanah	gr	9,12	8,90	7,50	
10	Berat Air	gr	3,50	3,40	3,10	
11	Berat Tanah Kering	gr	10,50	10,60	8,90	10
12	Berat/Volume Tanah	γ_t gr/cc	1,53	1,57	1,60	1,57
13	Berat/Volume Kering	γ_d gr/cc	1,152	1,191	1,187	1,177
14	Kadar Air	WC %	33,33	32,08	34,83	33,41
15	Derajat Kejenuhan	Sr %	34,72	34,62	36,39	35,24
16	Kadar Pori	n %	46,48	45,63	45,73	45,95
17	Angka Pori	e %	0,868	0,839	0,843	0,850

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian *volumetri* tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 14 hari diperoleh rata-rata angka pori 0,850 dan dearajat kejenuhan sebesar 35,245%.

b. Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Pengujian volumetri pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat volumetrik tanah akibat proses stabilisasi dan pemeraman. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 28 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 10% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 0 Hari

Pemeraman 0 Hari						
VOLUMETRY SCB 10% + BBS 6%						
No	BERAT VOLUME TANAH		1	2	3	Rata
1	No Cawan		13	4	34	rata
2	Berat Cawan Kosong	gr	32	41	39	
3	Berat Cawan + Tanah Basah	gr	43	55	48	
4	Berat Cawan + Tanah Kering	gr	40	51,10	45,56	
5	Berat Cawan Peluberan	gr	355	355	355	
6	Berat Cawan Peluberan + Hg Luber	gr	457	481	437	
7	Beart Hg Luber	gr	102	126	82	
8	Berat Tanah Basah	gr	11	14	9	
9	Volume Tanah	gr	7,50	9,26	6,03	
10	Berat Air	gr	3	3,90	2,44	
11	Berat Tanah Kering	gr	8	10,10	6,56	8,22
12	Berat/Volume Tanah	γ_t gr/cc	1,467	1,511	1,493	1,490
13	Berat/Volume Kering	γ_d gr/cc	1,067	1,090	1,088	1,082
14	Kadar Air	WC %	37,50	38,61	37,20	37,77
15	Derajat Kejenuhan	Sr %	38,49	37,99	37,72	38,07
16	Kadar Pori	n %	48,39	47,84	47,89	48,04
17	Angka Pori	e %	0,938	0,917	0,919	0,925

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian volumetri tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 0 hari diperoleh rata-rata angka pori 0,925 dan dearajat kejenuhan sebesar 38,069%.

Tabel 4. 29 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 10% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 7Hari

Pemeraman 7 Hari						
VOLUMETRY SCB 10% + BBS 6%						
No	BERAT VOLUME TANAH		1	2	3	Rata rata
1	No Cawan		12	34	36	
2	Berat Cawan Kosong	gr	35	40	43	
3	Berat Cawan + Tanah Basah	gr	47	53	57	
4	Berat Cawan + Tanah Kering	gr	44,89	50,60	54,51	
5	Berat Cawan Peluberan	gr	355	355	355	
6	Berat Cawan Peluberan + Hg Luber	gr	451	463	472	
7	Beart Hg Luber	gr	96	108	117	
8	Berat Tanah Basah	gr	12	13	14	
9	Volume Tanah	gr	7,06	7,94	8,60	
10	Berat Air	gr	2,11	2,40	2,49	
11	Berat Tanah Kering	gr	9,89	10,60	11,51	10,67
12	Berat/Volume Tanah	γ_t gr/cc	1,700	1,637	1,627	1,655
13	Berat/Volume Kering	γ_d gr/cc	1,401	1,335	1,338	1,358
14	Kadar Air	WC %	21,33	22,64	21,63	21,87
15	Derajat Kejenuhan	Sr %	26,523	26,562	25,734	26,273
16	Kadar Pori	n %	41,648	42,830	42,773	42,417
17	Angka Pori	e %	0,714	0,749	0,747	0,737

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian *volumetri* tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 7 hari diperoleh rata-rata angka pori 0,737 dan dearajat kejenuhan sebesar 26,273%.

Tabel 4. 30 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 10% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 14 Hari

Pemeraman 14 Hari						
VOLUMETRY SCB 10% + BBS 6%						
No	BERAT VOLUME TANAH		1	2	3	Rata rata
1	No Cawan		14	21	33	
2	Berat Cawan Kosong	gr	37	41	32	
3	Berat Cawan + Tanah Basah	gr	49	57	46	
4	Berat Cawan + Tanah Kering	gr	46,50	53,72	43,21	
5	Berat Cawan Peluberan	gr	355	355	355	
6	Berat Cawan Peluberan + Hg Luber	gr	454	486	471	
7	Beart Hg Luber	gr	99	131	116	
8	Berat Tanah Basah	gr	12	16	14	
9	Volume Tanah	gr	7,28	9,63	8,53	
10	Berat Air	gr	2,50	3,28	2,79	
11	Berat Tanah Kering	gr	9,50	12,72	11,21	11,14
12	Berat/Volume Tanah	γ_t gr/cc	1,648	1,661	1,641	1,650
13	Berat/Volume Kering	γ_d gr/cc	1,305	1,321	1,314	1,313
14	Kadar Air	WC %	26,32	25,79	24,89	25,66
15	Derajat Kejenuhan	Sr %	30,54	30,82	29,12	30,16
16	Kadar Pori	n %	43,38	43,09	43,21	43,23
17	Angka Pori	e %	0,766	0,757	0,761	0,761

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian *volumetri* tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 14 hari diperoleh rata-rata angka pori 0,761 dan dearajat kejenuhan sebesar 30,157%.

c. Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Pengujian volumetri pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat volumetrik tanah setelah proses stabilisasi dan pemeraman. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 31 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 15% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 0 Hari

Pemeraman 0 Hari						
VOLUMETRY SCB 15% + BBS 6%						
No	BERAT VOLUME TANAH		1	2	3	Rata rata
1	No Cawan		7	3	31	
2	Berat Cawan Kosong	gr	40	46	51	
3	Berat Cawan + Tanah Basah	gr	51	57	62	
4	Berat Cawan + Tanah Kering	gr	48,50	54,40	59,40	
5	Berat Cawan Peluberan	gr	355	355	355	
6	Berat Cawan Peluberan + Hg Luber	gr	456	439	460	
7	Beart Hg Luber	gr	101	84	105	
8	Berat Tanah Basah	gr	11	11	11	
9	Volume Tanah	gr	7,43	6,18	7,72	
10	Berat Air	gr	2,50	2,60	2,60	
11	Berat Tanah Kering	gr	8,50	8,40	8,40	8,43
12	Berat/Volume Tanah	γ_t gr/cc	1,481	1,781	1,425	1,562
13	Berat/Volume Kering	γ_d gr/cc	1,145	1,360	1,088	1,198
14	Kadar Air	WC %	29,41	30,95	30,95	30,44
15	Derajat Kejenuhan	Sr %	30,03	41,06	31,32	34,14
16	Kadar Pori	n %	46,63	42,37	47,89	45,63
17	Angka Pori	e %	0,874	0,735	0,919	0,843

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian volumetri tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 0 hari diperoleh rata-rata angka pori 0,843 dan dearajat kejenuhan sebesar 34,135%.

Tabel 4. 32 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 15% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 7 Hari

Pemeraman 7 Hari						
2 VOLUMETRY SCB 15% + BBS 6%						
No	BERAT VOLUME TANAH		1	2	3	Rata
1	No Cawan		6	22	34	rata
2	Berat Cawan Kosong	gr	42	53	40	
3	Berat Cawan + Tanah Basah	gr	56	64	54	
4	Berat Cawan + Tanah Kering	gr	54,11	62,47	52,13	
5	Berat Cawan Peluberan	gr	355	355	355	
6	Berat Cawan Peluberan + Hg Luber	gr	478	439	460	
7	Beart Hg Luber	gr	123	84	105	
8	Berat Tanah Basah	gr	14	11	14	
9	Volume Tanah	gr	9,04	6,18	7,72	
10	Berat Air	gr	1,89	1,53	1,87	
11	Berat Tanah Kering	gr	12,11	9,47	12,13	11,24
12	Berat/Volume Tanah	γ_t gr/cc	1,548	1,781	1,813	1,714
13	Berat/Volume Kering	γ_d gr/cc	1,339	1,533	1,571	1,481
14	Kadar Air	WC %	15,61	16,16	15,42	15,73
15	Derajat Kejenuhan	Sr %	20,43	22,22	22,39	21,68
16	Kadar Pori	n %	42,75	39,47	38,89	40,37
17	Angka Pori	e %	0,747	0,652	0,636	0,679

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian *volumetri* tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 7 hari diperoleh rata-rata angka pori 0,679 dan dearajat kejenuhan sebesar 21,679%.

Tabel 4. 33 Data Hasil Pengujian Volumetry Campuran SCB 15% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 14 Hari

Pemeraman 14 Hari						
VOLUMETRY SCB 15% + BBS 6%						
No	BERAT VOLUME TANAH		1	2	3	Rata rata
1	No Cawan		27	14	29	
2	Berat Cawan Kosong	gr	48	42	51	
3	Berat Cawan + Tanah Basah	gr	59	54	63	
4	Berat Cawan + Tanah Kering	gr	57,40	52,20	61,20	
5	Berat Cawan Peluberan	gr	355	355	355	
6	Berat Cawan Peluberan + Hg Luber	gr	442	452	451	
7	Beart Hg Luber	gr	87	97	96	
8	Berat Tanah Basah	gr	11	12	12	
9	Volume Tanah	gr	6,40	7,13	7,06	
10	Berat Air	gr	1,60	1,80	1,80	
11	Berat Tanah Kering	gr	9,40	10,20	10,20	9,93
12	Berat/Volume Tanah	γt gr/cc	1,720	1,682	1,700	1,701
13	Berat/Volume Kering	γd gr/cc	1,469	1,430	1,445	1,448
14	Kadar Air	WC %	17,02	17,65	17,65	17,44
15	Derajat Kejenuhan	Sr %	23,08	22,68	22,69	22,82
16	Kadar Pori	n %	40,49	41,15	40,90	40,85
17	Angka Pori	e %	0,681	0,699	0,692	0,691

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian *volumetri* tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 14 hari diperoleh rata-rata angka pori 0,691 dan dearajat kejenuhan sebesar 22,815%.

4.3.3 Pengujian *Gravimetry* Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*

Pengujian *gravimetry* tanah dilakukan pada tanah yang telah distabilisasi menggunakan campuran serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* dengan tiga variasi campuran SCB, yaitu 5%, 10%, dan 15%, sedangkan kadar bakteri dijaga konstan sebesar 6%. Setiap variasi campuran diuji pada masa pemeraman 0 hari, 7 hari, dan 14 hari untuk mengetahui

pengaruh penambahan bahan stabilisasi dan lama pemeraman terhadap perubahan sifat volumetrik tanah.

a. Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Pengujian berat jenis (*specific gravity/GS*) pada tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai berat jenis tanah setelah proses stabilisasi dan pemeraman pada 7 hari. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 34 Data Hasil Pengujian Gravimetry Campuran SCB 5% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 0 Hari

Pemeraman 0 Hari						
GRAVIMETRY (Gs) SCB 5% + BBS 6%						
No	SPECIFIC GRAVITY TANAH		1	2	3	Rata-rata
18	No Pikno		21	14	31	
19	Berat Pikno Kosong	gram	82,10	81,40	80,20	
20	Berat Pikno + Air Suling	gram	318,42	314,63	309,87	
21	Berat Pikno + Tanah Kering	gram	96,87	92,63	90,97	
22	Berat Pikno + Tanah + Air	gram	333,19	325,86	320,64	
23	Berat Pikno + Tanah + Air (Setelah Difakum)	gram	327,50	321,53	316,47	
24	Temperatur		28	29	29	
25	Berat Air	gram	236,32	233,23	229,67	
26	Berat Tanah Kering	gram	14,77	11,23	10,77	12,26
27	Volume Butir	Vs cc	2,427	2,932	2,749	2,703
28	Volume Pori	Vv cc	2,460	2,465	2,466	2,464
29	<i>Specific Gravity</i>	Gs	2,596	2,592	2,583	2,590

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian gravimetry tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 0 hari diperoleh nilai GS sebesar 2,590

Tabel 4. 35 Data Hasil Pengujian *Gravimetry* Campuran SCB 5% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 7 Hari

Pemeraman 7 Hari							
GRAVIMETRY (Gs) SCB 5% + BBS 6%							
No	SPECIFIC GRAVITY TANAH			1	2	3	Rata rata
18	No Pikno			21	14	31	
19	Berat Pikno Kosong	gram		80,17	82,85	79,93	
20	Berat Pikno + Air Suling	gram		311,93	319,38	309,29	
21	Berat Pikno + Tanah Kering	gram		91,31	95,89	89,74	
22	Berat Pikno + Tanah + Air	gram		323,07	332,42	319,10	
23	Berat Pikno + Tanah + Air (Setelah Difakum)	gram		318,76	327,41	315,33	
24	Temperatur			28	29	29	
25	Berat Air	gram		231,76	236,53	229,36	
26	Berat Tanah Kering	gram		11,14	13,04	9,81	11,330
27	Volume Butir	Vs	cc	3,556	3,891	4,198	3,882
28	Volume Pori	Vv	cc	2,150	2,135	2,102	2,129
29	Specific Gravity	Gs		2,584	2,601	2,599	2,594

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian *gravimetry* tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 0 hari diperoleh nilai GS sebesar 2,594

Tabel 4. 36 Data Hasil Pengujian *Gravimetry* Campuran SCB 5% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 14 Hari

Pemeraman 14 Hari						
GRAVIMETRY (Gs) SCB 5% + BBS 6%						
No	SPECIFIC GRAVITY TANAH		1	2	3	Rata-rata
18	No Pikno		22	14	31	
19	Berat Pikno Kosong	gram	82,52	80,03	80,42	
20	Berat Pikno + Air Suling	gram	323,84	310,93	314,36	
21	Berat Pikno + Tanah Kering	gram	90,46	90,59	88,04	
22	Berat Pikno + Tanah + Air	gram	331,78	321,49	321,98	
23	Berat Pikno + Tanah + Air (Setelah Difakum)	gram	328,73	317,41	319,04	
24	Temperatur		28	29	29	

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 37 Data Hasil Pengujian *Gravimetry* Campuran SCB 5% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 14 Hari (Lanjutan)

Pemeraman 14 Hari						
GRAVIMETRY (Gs) SCB 5% + BBS 6%						
No	SPECIFIC GRAVITY TANAH		1	2	3	Rata-rata
18	No Pikno		22	14	31	
25	Berat Air	gram	241,32	230,90	233,94	
26	Berat Tanah Kering	gram	7,94	10,56	7,62	8,71
27	Volume Butir	Vs cc	4,035	4,097	3,430	3,854
28	Volume Pori	Vv cc	2,260	2,171	2,186	2,206
29	Specific Gravity	Gs	2,587	2,602	2,587	2,594

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian gravimetri (*specific gravity*) tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 14 hari diperoleh nilai rata-rata berat jenis tanah (Gs) sebesar 2,595.

b. Variasi 94% Serbuk Cangkang Bekicot 10% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Pengujian berat jenis (*specific gravity/Gs*) pada tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai berat jenis tanah setelah proses stabilisasi. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 38 Data Hasil Pengujian *Gravimetry* Campuran SCB 10% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 0 Hari

Pemeraman 0 Hari						
GRAVIMETRY (Gs) SCB 10% + BBS 6%						
No	SPECIFIC GRAVITY TANAH		1	2	3	Rata-rata
18	No Pikno		19	4	11	
19	Berat Pikno Kosong	gram	79,89	80,31	82,42	
20	Berat Pikno + Air Suling	gram	304,21	311,72	319,84	
21	Berat Pikno + Tanah Kering	gram	96,23	90,27	93,20	
22	Berat Pikno + Tanah + Air	gram	320,55	321,68	330,62	
23	Berat Pikno + Tanah + Air (Setelah Difakum)	gram	314,21	317,83	326,43	
24	Temperatur		28	29	29	
25	Berat Air	gram	224,32	231,42	237,42	

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 45 Data Hasil Pengujian *Gravimetry* Campuran SCB 10% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 0 Hari (Lanjutan)

Pemeraman 0 Hari					
GRAVIMETRY (Gs) SCB 10% + BBS 6%					
No	SPECIFIC GRAVITY TANAH	1	2	3	Rata-rata
18	No Pikno	19	4	11	
26	Berat Tanah Kering gram	16,34	9,96	10,78	12,36
27	Volume Butir Vs cc	3,106	3,909	2,550	3,189
28	Volume Pori Vv cc	2,415	2,370	2,364	2,383
29	Specific Gravity Gs	2,576	2,584	2,572	2,577

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian gravimetri (*specific gravity*) tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 0 hari diperoleh nilai rata-rata berat jenis tanah (Gs) sebesar 2,577.

Tabel 4. 39 Data Hasil Pengujian *Gravimetry* Campuran SCB 10% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 7 Hari

Pemeraman 7 Hari					
GRAVIMETRY (Gs) SCB 10% + BBS 6%					
No	SPECIFIC GRAVITY TANAH	1	2	3	Rata-rata
18	No Pikno	12	18	10	
19	Berat Pikno Kosong gram	82,12	79,87	80,69	
20	Berat Pikno + Air Suling gram	314,93	308,14	312,82	
21	Berat Pikno + Tanah Kering gram	88,73	87,89	88,91	
22	Berat Pikno + Tanah + Air gram	321,54	316,16	321,04	
23	Berat Pikno + Tanah + Air (Setelah Difakum) gram	319	313,09	317,92	
24	Temperatur	28	29	29	
25	Berat Air gram	232,81	228,27	232,13	
26	Berat Tanah Kering gram	6,61	8,02	8,22	7,62
27	Volume Butir Vs cc	3,802	4,054	4,367	4,074
28	Volume Pori Vv cc	1,857	1,959	1,970	1,929
29	Specific Gravity Gs	2,601	2,615	2,635	2,617

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian gravimetri (*specific gravity*) tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 10¹⁰ dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 7 hari diperoleh nilai rata-rata berat jenis tanah (Gs) sebesar 2,617.

Tabel 4. 40 Data Hasil Pengujian Gravimetry Campuran SCB 10% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 14 Hari

Pemeraman 14 Hari					
GRAVIMETRY (Gs) SCB 10% + BBS 6%					
No	SPECIFIC GRAVITY TANAH	1	2	3	Rata-rata
18	No Pikno	31	24	27	
19	Berat Pikno Kosong gram	79,36	81,93	80,45	
20	Berat Pikno + Air Suling gram	309,42	316,16	312,63	
21	Berat Pikno + Tanah Kering gram	88,92	90,50	89,01	
22	Berat Pikno + Tanah + Air gram	318,98	324,73	321,19	
23	Berat Pikno + Tanah + Air (Setelah Difakum) gram	315,32	321,45	317,92	
24	Temperatur	28	29	29	
25	Berat Air gram	230,06	234,23	232,18	
26	Berat Tanah Kering gram	9,56	8,57	8,56	8,89
27	Volume Butir Vs cc	3,634	4,871	4,288	4,264
28	Volume Pori Vv cc	2,003	1,977	1,989	1,990
29	Specific Gravity Gs	2,614	2,611	2,615	2,613

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian gravimetri (*specific gravity*) tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 10¹⁰ dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 14 hari diperoleh nilai rata-rata berat jenis tanah (Gs) sebesar 2,613.

c. Variasi 94 Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Pengujian berat jenis (*specific gravity/Gs*) pada tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 15% 10 dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai berat jenis tanah setelah proses stabilisasi. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 41 Data Hasil Pengujian Gr 40avimetry Campuran SCB 15% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 0 Hari

Pemeraman 0 Hari					
GRAVIMETRY (Gs) SCB 15% + BBS 6%					
No	SPECIFIC GRAVITY TANAH	1	2	3	Rata-rata
18	No Pikno	28	15	43	
19	Berat Pikno Kosong gram	80,82	82,13	82,29	
20	Berat Pikno + Air Suling gram	318,27	321,53	321,41	
21	Berat Pikno + Tanah Kering gram	89,21	97,54	92,99	
22	Berat Pikno + Tanah + Air gram	326,66	336,94	332,11	
23	Berat Pikno + Tanah + Air (Setelah Difakum) gram	323,41	331,01	327,98	
24	Temperatur	28	29	29	
25	Berat Air gram	237,45	239,40	239,12	
26	Berat Tanah Kering gram	8,39	15,41	10,70	11,50
27	Volume Butir Vs cc	3,297	3,234	3,244	3,258
28	Volume Pori Vv cc	2,253	1,910	2,380	2,181
29	Specific Gravity Gs	2,578	2,598	2,590	2,589

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian gravimetri (*specific gravity*) tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 1% 10 dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 0 hari diperoleh nilai rata-rata berat jenis tanah (Gs) sebesar 2,589.

Tabel 4. 42 Data Hasil Pengujian Gravimetry Campuran SCB 15% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 7 Hari

Pemeraman 7 Hari					
GRAVIMETRY (Gs) SCB 15% + BBS 6%					
No	SPECIFIC GRAVITY TANAH	1	2	3	Rata-rata
18	No Pikno	8	45	40	
19	Berat Pikno Kosong gram	82,29	8,91	82,39	
20	Berat Pikno + Air Suling gram	321,41	318,02	321,31	
21	Berat Pikno + Tanah Kering gram	97,75	89,68	92,46	

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 50 Data Hasil Pengujian *Gravimetry* Campuran SCB 15% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 7 Hari (Lanjutan)

Pemeraman 7 Hari					
GRAVIMETRY (Gs) SCB 15% + BBS 6%					
No	SPECIFIC GRAVITY TANAH	1	2	3	Rata-rata
18	No Pikno	8	45	40	
22	Berat Pikno + Tanah + Air gram	336,87	326,79	331,38	
23	Berat Pikno + Tanah + Air (Setelah Difakum) gram	330,98	323,47	327,58	
24	Temperatur	28	29	29	
25	Berat Air gram	239,12	237,11	238,92	
26	Berat Tanah Kering gram	15,46	8,77	10,07	11,43
27	Volume Butir Vs cc	4,615	3,586	4,575	4,259
28	Volume Pori Vv cc	1,960	1,722	1,688	1,790
29	Specific Gravity Gs	2,624	2,641	2,651	2,639

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian gravimetri tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 7 hari diperoleh nilai rata-rata berat jenis tanah (Gs) sebesar 2,639.

Tabel 4. 43 Data Hasil Pengujian *Gravimetry* Campuran SCB 15% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Pemeraman 14 Hari

Pemeraman 14 Hari					
GRAVIMETRY (Gs) SCB 15% + BBS 6%					
No	SPECIFIC GRAVITY TANAH	1	2	3	Rata-rata
18	No Pikno	15	10	9	
19	Berat Pikno Kosong gram	80,83	80,45	79,94	
20	Berat Pikno + Air Suling gram	317,53	315,73	314,55	
21	Berat Pikno + Tanah Kering gram	92,27	89,86	88,97	
22	Berat Pikno + Tanah + Air gram	328,97	325,14	323,58	
23	Berat Pikno + Tanah + Air (Setelah Difakum) gram	324,63	321,56	320,13	
24	Temperatur	28	29	29	
25	Berat Air gram	236,70	235,28	234,61	
26	Berat Tanah Kering gram	11,44	9,41	9,03	9,96
27	Volume Butir Vs cc	3,566	3,879	3,899	3,782
28	Volume Pori Vv cc	1,794	1,838	1,810	1,814
29	Specific Gravity Gs	2,636	2,629	2,616	2,627

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian gravimetri (*specific gravity*) tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 1,10 dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 14 hari diperoleh nilai rata-rata berat jenis tanah (Gs) sebesar 2,627.

4.3.4 Pengujian Konsistensi Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*

Pengujian konsistensi tanah dilakukan pada tanah yang telah distabilisasi menggunakan campuran serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* untuk mengetahui perubahan sifat konsistensi tanah setelah proses pencampuran. Pada penelitian ini digunakan tiga variasi campuran serbuk cangkang bekicot (SCB), yaitu 5%, 10%, dan 15%, dengan kadar bakteri *Bacillus subtilis* (BCB) yang dijaga konstan sebesar 6% pada setiap variasi campuran.

a. Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

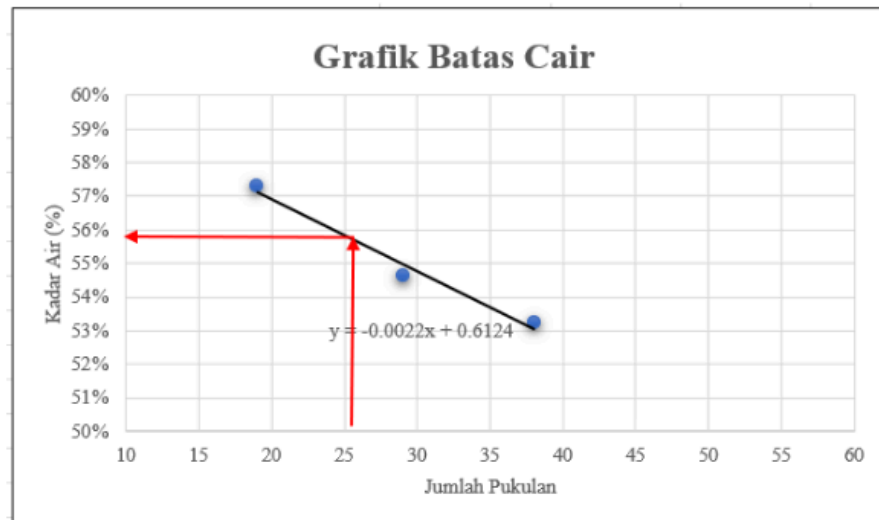
1. Batas Cair (*Liquid limit*)

Pengujian batas cair (*liquid limit*) pada tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dilakukan untuk mengetahui kadar air batas perubahan tanah dari kondisi plastis menjadi cair. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 44 Data Hasil Pengujian Batas Cair SCB 5% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Batas Cair Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 5% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%										
Sampel		Pemeraman 0 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari		
No Cawan		17	24	9	19	27	5	31	16	11
Berat Cawan (A)	gram	27	31	33	30	28	37	29	36	31
12 ml pukulan	x	19	29	38	17	31	42	18	29	37
Berat cawan + tanah	gram	41	46	52	39	35	51	37	46	43
12 ml										
Berat cawan + tanah kering	gram	35,9	40,7	45,4	36,7	33,5	48,2	34,9	43,7	40,5
Berat air	gram	5,1	5,3	6,6	2,3	1,5	2,8	2,1	2,3	2,5
Berat tanah kering (Ws)	gram	8,9	9,7	12,4	6,7	5,5	11,2	5,9	7,7	9,5
Berat tanah basah (Ww)	gram	14	15	19	9	7	14	8	10	12
Kadar air (Wc)	%	57,3	54,6	53,2	34,3	27,3	25,0	35,6	29,9	26,3

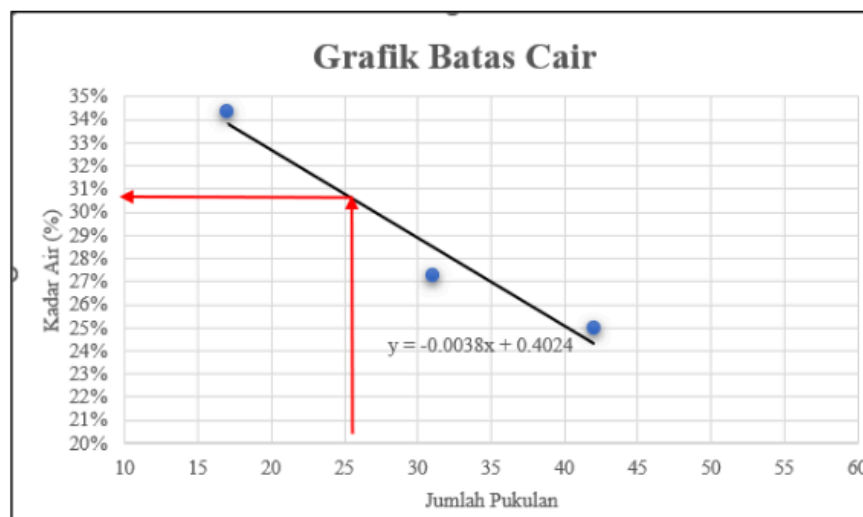
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



Grafik 4. 9 Pengujian Batas Cair SCB 5% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%
Pemeraman 0 Hari Pukulan ke 25
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

$$\begin{aligned} y &= -0,0022x + 0,6124 \\ &= -0,0022 (25) + 0,6124 \\ &= 55,90 \% \end{aligned}$$

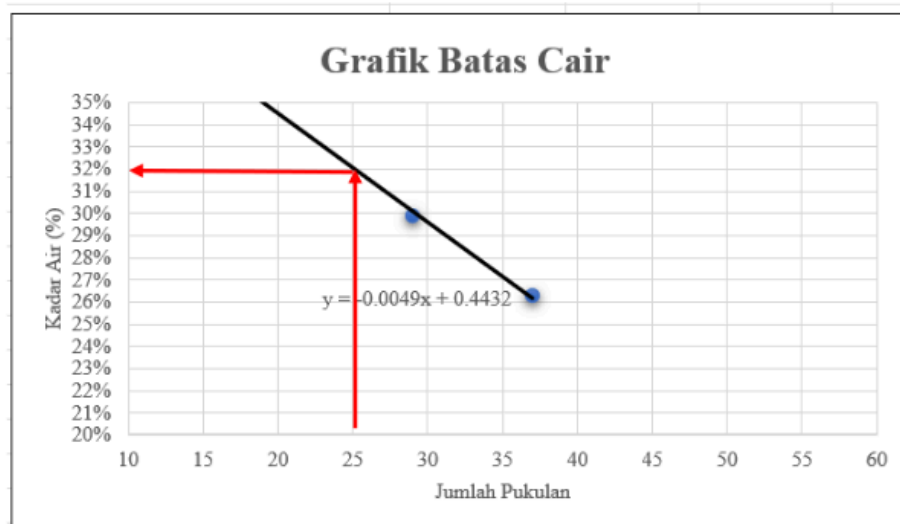
Berdasarkan hasil pengujian batas cair (*liquid limit*) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) 6% dengan pemeraman 0 hari, diperoleh nilai kadar air sebesar 55,90%.



Grafik 4. 10 Pengujian Batas Cair SCB 5% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%
Pemeraman 7 Hari Pukulan ke 25
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

$$\begin{aligned}
 y &= -0,0038x + 0,4024 \\
 &= -0,0038 (25) + 0,4024 \\
 &= 30,80 \%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian batas cair (*liquid limit*) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) 6% dengan pemeraman 7 hari, diperoleh nilai kadar air sebesar 30,80%.



Grafik 4. 11 Pengujian Batas Cair SCB 5% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%
Pemeraman 14 Hari Pukulan ke 25
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

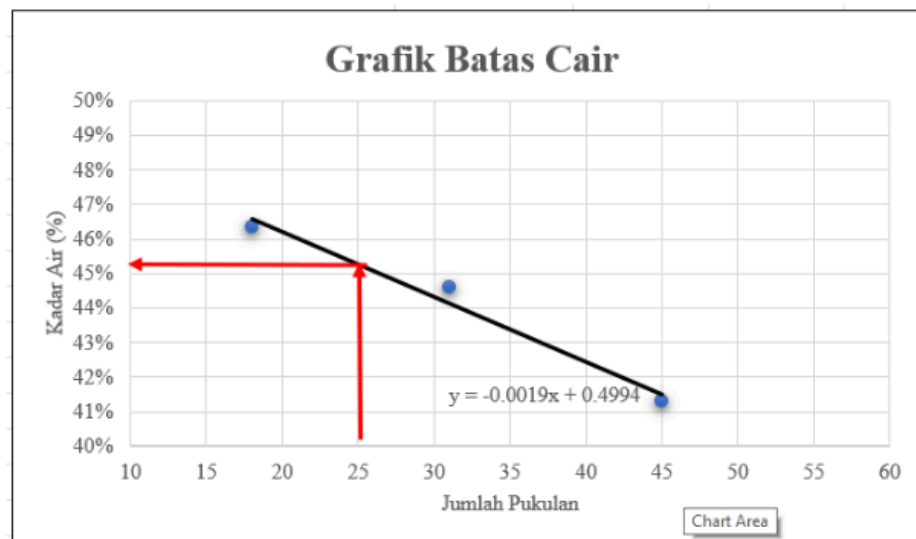
$$\begin{aligned}
 y &= -0,0049x + 0,4432 \\
 &= -0,0049 (25) + 0,4432 \\
 &= 32\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian batas cair (*liquid limit*) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) 6% dengan pemeraman 14 hari, diperoleh nilai kadar air sebesar 32%.

Tabel 4. 45 Data Hasil Pengujian Batas Cair SCB 10% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Batas Cair Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 10% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%										
Sampel		Pemeraman 0 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari		
No Cawan		31	5	14	13	9	17	7	12	41
Berat Cawan (A)	gram	29	34	33	39	32	26	33	28	36
mlah pukulan	x	18	31	45	14	27	39	15	28	37
Berat cawan + tanah basah	gram	41	46	59	49	58	47	45	39	49
Berat cawan + tanah kering	gram	37,2	42,3	51,4	46,8	52,7	43,1	42,2	36,6	46,5
Berat air	gram	3,8	3,7	7,6	2,2	5,3	3,9	2,8	2,4	2,5
Berat tanah kering (Ws)	gram	8,2	8,3	18,4	7,8	20,7	17,1	9,2	8,6	10,5
Berat tanah basah (Ww)	gram	12	12	26	10	26	21	12	11	13
Kadar air (Wc)	%	46,3	44,6	41,3	28,2	25,6	22,8	30,4	27,9	23,8

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



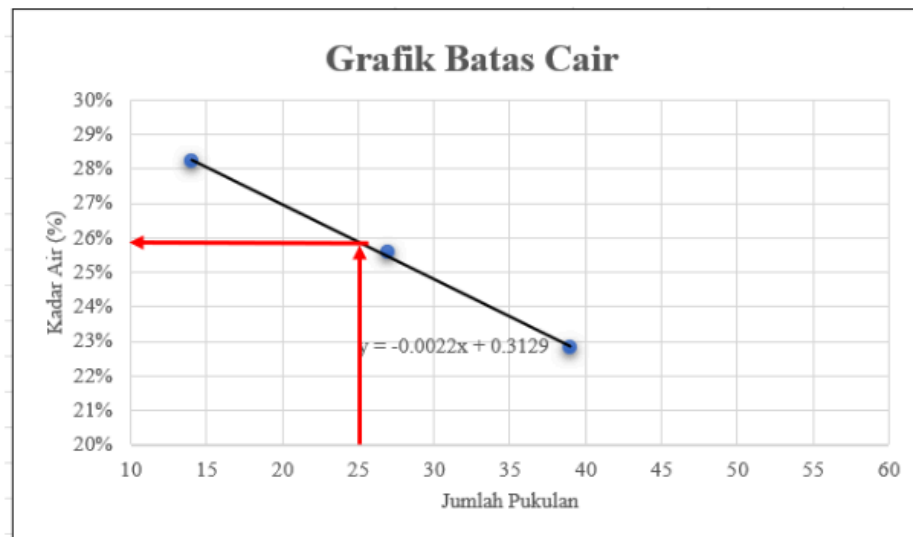
Grafik 4. 12 Pengujian Batas Cair SCB 10% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Pemeraman 0 Hari Pukulan ke 25

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

$$\begin{aligned}
 y &= -0,0019x + 0,4994 \\
 &= -0,0019 (25) + 0,4994 \\
 &= 45,30\%
 \end{aligned}$$

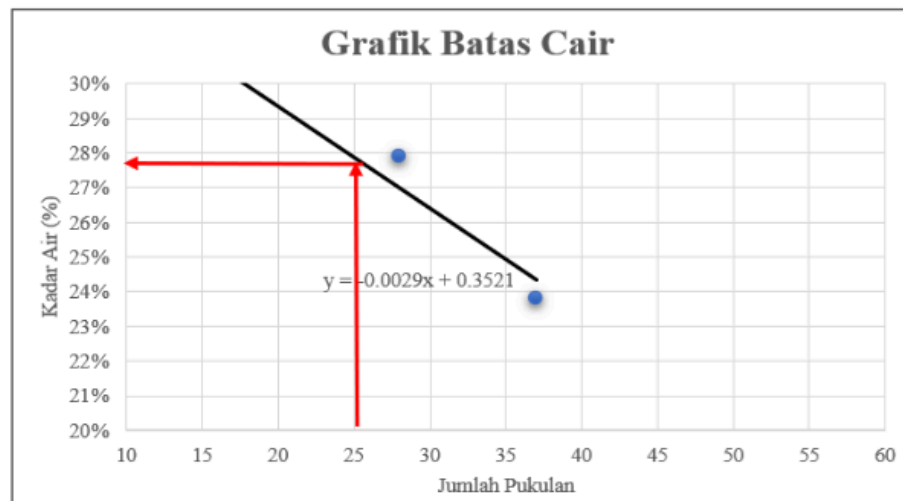
Berdasarkan hasil pengujian batas cair (*liquid limit*) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) 6% dengan pemeraman 0 hari, diperoleh nilai kadar air sebesar 45,30%.



Grafik 4. 13 Pengujian Batas Cair SCB 10% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%
Pemeraman 7 Hari Pukulan ke 25
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

$$\begin{aligned}
 y &= -0,0022x + 0,3129 \\
 &= -0,0022 (25) + 0,3129 \\
 &= 25,90\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian batas cair (*liquid limit*) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) 6% dengan pemeraman 7 hari, diperoleh nilai kadar air sebesar 25,90%.



Grafik 4. 14 Pengujian Batas Cair SCB 10% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%
Pemeraman 7 Hari Pukulan ke 25
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

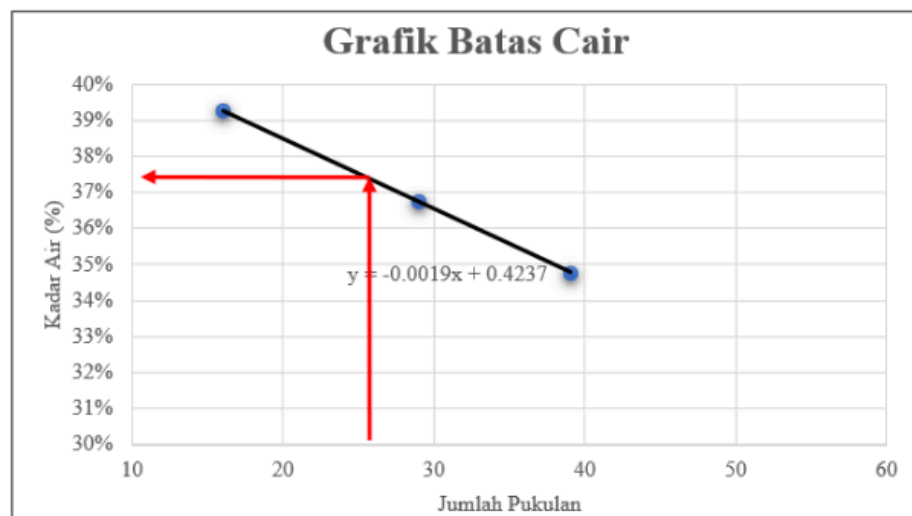
$$\begin{aligned} y &= -0,0029x + 0,3521 \\ &= -0,0029 (25) + 0,3521 \\ &= 27,80\% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian batas cair pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) 6% dengan pemeraman 14 hari, diperoleh nilai kadar air sebesar 27,80%.

Tabel 4. 46 Data Hasil Pengujian Batas Cair SCB 15% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Batas Cair Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%										
Sampel		Pemeraman 0 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari		
No Cawan		22	31	14	7	5	11	42	14	29
Berat Cawan (A)	gram	42	35	29	31	44	26	32	37	34
Jumlah pukulan	x	16	29	39	19	34	40	17	30	43
Berat cawan + tanah basah	gram	64	51	48	52	65	49	51	57	56
Berat cawan + tanah kering	gram	57,8	46,7	43,1	48,6	61,9	45,9	47,5	53,8	52,9
Berat air	gram	6,2	4,3	4,9	3,4	3,1	3,1	3,5	3,2	3,1
Berat tanah kering (Ws)	gram	15,8	11,7	14,1	17,6	17,9	19,9	15,5	16,8	18,9
Berat tanah basah (Ww)	gram	22	16	19	21	21	23	19	20	22
Kadar air (Wc)	%	39,2	36,7	34,7	19,3	17,3	15,6	22,6	19,1	16,4

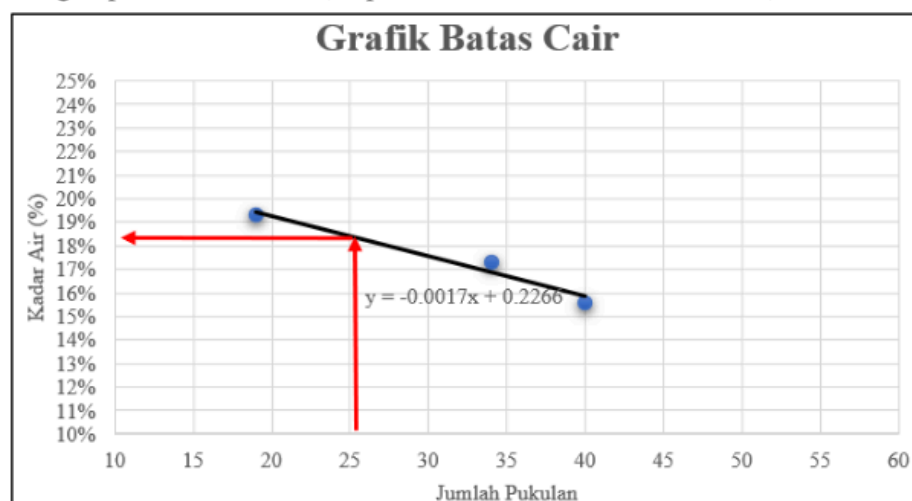
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



Grafik 4. 15 Pengujian Batas Cair SCB 15% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%
Pemeraman 0 Hari Pukulan ke 25
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

$$\begin{aligned}
 y &= -0,0019x + 0,4237 \\
 &= -0,0019 (25) + 0,4237 \\
 &= 37,50\%
 \end{aligned}$$

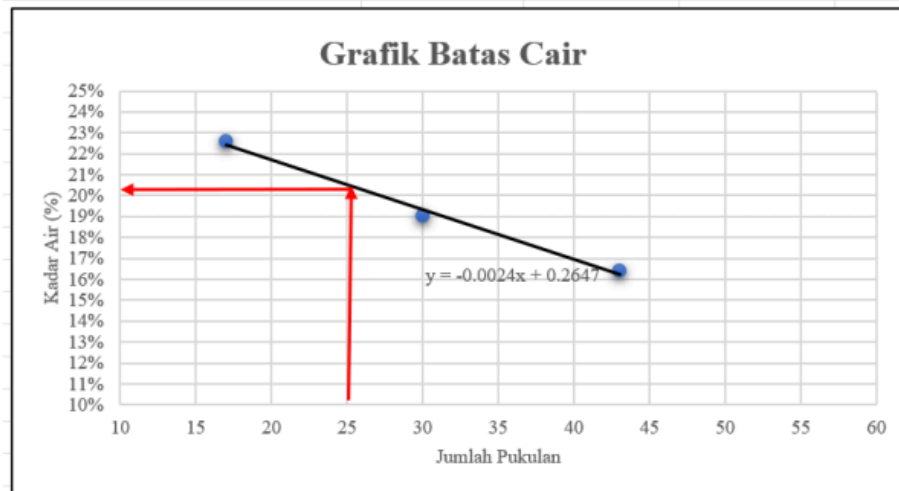
Berdasarkan hasil pengujian batas cair (*liquid limit*) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) 6% dengan pemeraman 0 hari, diperoleh nilai kadar air sebesar 37,50%.



Grafik 4. 16 Pengujian Batas Cair SCB 15% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%
Pemeraman 7 Hari Pukulan ke 25
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

$$\begin{aligned}
 y &= -0,0017x + 0,2266 \\
 &= -0,0017(25) + 0,2266 \\
 &= 18,40\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian batas cair (*liquid limit*) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) 6% dengan pemeraman 7 hari, diperoleh nilai kadar air sebesar 18,40%.



Grafik 4. 17 Pengujian Batas Cair SCB 15% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%
Pemeraman 14 Hari Pukulan ke 25
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

$$\begin{aligned}
 y &= -0,0024x + 0,2647 \\
 &= -0,0024(25) + 0,2647 \\
 &= 20,20\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian batas cair (*liquid limit*) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) 6% dengan pemeraman 14 hari, diperoleh nilai kadar air sebesar 20,20%.

2. Batas Plastis (*Plastic limit*)

Pengujian batas plastis (*plastic limit*) pada tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dilakukan untuk mengetahui kadar air batas perubahan tanah dari kondisi semi padat menjadi plastis. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 47 Data Hasil Pengujian Batas Plastis (PL) SCB 5% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Batas Plastis Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 5% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%										
Sampel		Pemeraman 0 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari		
No Cawan		15	21	22	42	16	12	19	7	13
Berat Cawan	gram	29	35	31	31	33	28	29	34	37
Berat cawan + tanah basah	gram	34	39	45	36	37	33	35	40	45
Berat cawan + tanah kering	gram	32,7	37,9	41,4	35,2	36,4	32,2	34,2	39,1	43,9
Berat air	gram	1,3	1,0	3,6	0,8	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1
Berat tanah kering	gram	3,7	2,9	10,4	4,2	3,4	4,2	5,2	5,1	6,9
Berat tanah basah	gram	5	4	14	5	4	5	6	6	8
Kadar air (Wc)	%	34,4	33,8	34,7	18,5	17,3	18,5	15,4	17,6	15,9
Rata Rata	%	34,3			18,1			16,3		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Hasil pengujian batas plastis (Plastic Limit/PL) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 5% dan *Bacillus subtilis* (BBS) 6% menunjukkan bahwa nilai kadar air sebesar 34,31% pada pemeraman 0 hari, kemudian menurun menjadi 18,09% pada pemeraman 7 hari, dan kembali menurun menjadi 16,32% pada pemeraman 14 hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan SCB dan BBS serta bertambahnya waktu pemeraman berpengaruh terhadap nilai batas plastis tanah selama proses stabilisasi.

Tabel 4. 48 Data Hasil Pengujian Batas Plastis (PL) SCB 10% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Batas Plastis Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 10% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%										
Sampel		Pemeraman 0 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari		
No Cawan		13	7	26	14	41	32	16	18	23
Berat Cawan	gram	41	32	37	29	37	44	32	28	34
Berat cawan + tanah basah	gram	49	38	43	33	39	47	39	35	43
Berat cawan + tanah kering	gram	47,4	36,8	41,9	32,5	38,7	46,4	37,9	34,1	41,8
Berat air	gram	1,6	1,2	1,1	0,5	0,3	0,4	1,1	0,9	1,2

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 48 Data Hasil Pengujian Batas Plastis (PL) SCB 10% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6% (Lanjutan)

Batas Plastis Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 10% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%										
Sampel		Pemeraman 0 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari		
No Cawan		15	21	22	42	16	12	19	7	13
Berat tanah kering	Gram	6,4	4,8	4,9	3,5	1,73	2,6	5,9	6,1	7,8
Berat tanah basah	gram	8	6	6	4	2	3	7	7	9
Kadar air (Wc)	%	25,0	25,0	22,4	14,9	15,6	15,8	18,6	14,7	15,4
Rata Rata	%	24,2			15,4			16,3		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Hasil pengujian batas plastis (Plastic Limit/PL) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 10% dan *Bacillus subtilis* (BBS) 6% menunjukkan bahwa nilai kadar air sebesar 24,15% pada pemeraman 0 hari, kemudian menurun menjadi 15,46% pada pemeraman 7 hari, dan meningkat sedikit menjadi 16,26% pada pemeraman 14 hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan SCB dan BBS serta lamanya waktu pemeraman memengaruhi nilai batas plastis tanah selama proses stabilisasi.

Tabel 4. 49 Data Hasil Pengujian Batas Plastis (PL) SCB 15% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Batas Plastis Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%										
Sampel		Pemeraman 0 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari		
No Cawan		18	3	27	44	39	71	19	23	7
12 at Cawan	gram	43	29	46	24	49	47	33	41	32
Berat cawan + tanah	gram	47	33	50	26	51	50	39	48	39
12 ah	gram	46,3	32,2	49,3	25,8	50,8	49,7	38,3	47,1	38,2
Berat cawan + tanah	gram	46,3	32,2	49,3	25,8	50,8	49,7	38,3	47,1	38,2
5 ring	gram	0,7	0,8	0,7	0,2	0,2	0,3	0,7	0,9	0,8
Berat air	gram	0,7	0,8	0,7	0,2	0,2	0,3	0,7	0,9	0,8
Berat tanah kering	gram	3,3	3,2	3,3	1,8	1,8	2,7	5,3	6,1	6,2
Berat tanah basah	gram	4	4	4	2	2	3	6	7	7
Kadar air (Wc)	%	21,2	25	21,2	12,9	13,6	11,5	13,2	14,7	12,9
Rata Rata	%	22,5			12,7			13,6		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Hasil pengujian batas plastis (Plastic Limit/PL) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 15% dan *Bacillus subtilis* (BBS) 6% menunjukkan bahwa nilai kadar air sebesar 22,47% pada pemeraman 0 hari, kemudian menurun menjadi 12,72% pada pemeraman 7 hari, dan meningkat sedikit menjadi 13,62% pada pemeraman 14 hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan SCB dan BBS serta lamanya waktu pemeraman memengaruhi nilai batas plastis tanah selama proses stabilisasi.

12

3. Indeks Plastisitas (*Plasticity index*)

Pengujian indeks plastisitas (*plasticity index*) pada tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dilakukan untuk mengetahui tingkat plastisitas tanah berdasarkan selisih antara batas cair dan batas plastis.

Tabel 4. 50 Data Hasil Pengujian *Plasticity index* SCB 5% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Plasticity Index Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 5% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%			
Sampel	Pemeraman 0 Hari	Pemeraman 7 Hari	Pemeraman 14 Hari
PI	= LL - Kadar Air PL = 55,90% – 34,31% = 21,59%	= LL - Kadar Air PL = 30,80% – 18,09% = 12,71%	= LL - Kadar Air PL = 32% – 16,32% = 15,68%
PI	21,59%	12,71%	15,68%

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Hasil pengujian *Plasticity Index* (PI) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 5% dan *Bacillus subtilis* (BBS) 6% menunjukkan bahwa nilai PI sebesar 21,59% pada pemeraman 0 hari, kemudian menurun menjadi 12,71% pada pemeraman 7 hari, dan meningkat kembali menjadi 15,68% pada pemeraman 14 hari.

Tabel 4. 51 Data Hasil Pengujian *Plasticity index* SCB 10% + Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Plasticity Index Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 10% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%			
Sampel	Pemeraman 0 Hari	Pemeraman 7 Hari	Pemeraman 14 Hari
PI	= LL - Kadar Air PL = 45,30% – 24,15% = 21,15%	= LL - Kadar Air PL = 25,90% – 15,46% = 10,44%	= LL - Kadar Air PL = 27,80% – 16,26% = 11,54%
PI	21,15%	10,44%	11,54%

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Hasil pengujian Plasticity Index (PI) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 10% dan *Bacillus subtilis* (BBS) 6% menunjukkan bahwa nilai PI sebesar 21,15% pada pemeraman 0 hari, kemudian menurun menjadi 10,44% pada pemeraman 7 hari, dan meningkat sedikit menjadi 11,54% pada pemeraman 14 hari.

Tabel 4. 52 Data Hasil Pengujian *Plasticity index* SCB 5% + BBS 6%

Plasticity Index Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%			
Sampel	Pemeraman 0 Hari	Pemeraman 7 Hari	Pemeraman 14 Hari
PI	= LL - Kadar Air PL = 37,50% – 22,47% = 15,03%	= LL - Kadar Air PL = 18,40% – 12,72% = 5,68%	= LL - Kadar Air PL = 20,20% – 13,62% = 6,58 %
PI	15,03%	5,68%	6,58 %

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Hasil pengujian *Plasticity Index* (PI) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 15% dan *Bacillus subtilis* (BBS) 6% menunjukkan bahwa nilai PI sebesar 15,03% pada pemeraman 0 hari, kemudian menurun menjadi 5,68% pada pemeraman 7 hari, dan meningkat sedikit menjadi 6,58% pada pemeraman 14 hari.

4. Batas Susut (*Shrinkage limit* atau *SL*)

Pengujian batas susut (*shrinkage limit*) pada tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dilakukan untuk mengetahui kadar air pada kondisi tanah saat perubahan volume mulai berhenti akibat proses pengeringan. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 53 Data Hasil Pengujian Batas Susut SCB 5% + BBS 6%

Batas Susut Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 5% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%									
Sampel	Pemeraman 0 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari		
No Cawan Logam	32	24	43	27	33	51	14	12	23
Isi cawan (gr)	14,3	12,9	12,9	14	13	12	15	14	14
Berat Cawan + Tanah Basah (gr)	29,7	26,8	26,8	29,0	26,9	24,9	31,5	29,3	29,2
Berat Tanah Basah (gr)	15,4	13,9	13,9	15,0	13,9	12,9	16,5	15,3	15,0
Berat Tanah Basah (gr)	15,4	13,9	13,9	15,0	13,9	12,9	16,5	15,3	15,0
Berat Cawan + Tanah Kering (gr)	26,8	22,5	22,9	34,2	32,3	31,2	41,2	37,4	38,1
Berat Tanah Kering (gr)	12,5	9,5	10,0	20,2	19,3	19,2	26,2	23,4	24,1

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 53 Data Hasil Pengujian Batas Susut SCB 5% + BBS 6% (Lanjutan)

Batas Susut Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 5% dan Bakteri									
4 <i>Bacillus subtilis</i> 6%									
Sampel	Pemeraman 0 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari		
No Cawan Logam	32	24	43	27	33	51	14	12	23
Kadar Air Mula-Mula (gr)	13,0	14,6	12,9	14,0	13,5	13,3	10,0	10,8	11,7
Berat Air Raksa dengan Vol = Vol Mangkok Shrinkage (gr)	207,1	201,5	204,3	190,3	168,7	201,5	203,4	197,2	179,4
Berat Air Raksa dengan Vol = Vol Tanah Kering (gr)	173,4	167,1	171,2	161,3	146,8	167,1	168,4	164,5	149,3
Volume Tanah Basah (cm ³)	15,23	14,82	15,02	13,99	12,41	14,82	14,96	14,50	13,2
Volume Tanah Kering (cm ³)	12,75	12,29	12,59	11,86	10,80	12,29	12,38	12,10	10,98
Batas Susut (%)	12,04	13,50	11,95	12,97	12,55	12,35	9,26	10,05	10,81
Rata - Rata	12,50			12,62			10,04		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Hasil pengujian batas susut (*Shrinkage Limit*/SL) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 5% dan *Bacillus subtilis* 6% menunjukkan bahwa nilai batas susut sebesar 12,50% pada pemeraman 0 hari, kemudian meningkat menjadi 12,62% pada pemeraman 7 hari, dan menurun menjadi 10,04% pada pemeraman 14 hari.

Tabel 4. 54 Data Hasil Pengujian Batas Susut SCB 10% + BBS 6%

Batas Susut Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 10% dan Bakteri									
4 <i>Bacillus subtilis</i> 6%									
Sampel	Pemeraman 0 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari		
No Cawan Logam	41	26	33	47	51	55	34	26	31
10 Berat cawan (gr)	13,1	12,9	12,2	12,0	12,0	14,0	13,0	14,0	12,0
Berat Cawan + Tanah Basah (gr)	27,2	26,8	25,2	25,0	25,1	29,2	27,1	29,1	24,9
Berat Tanah Basah (gr)	14,1	13,9	13,0	13,0	13,1	15,2	14,1	15,2	12,9

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 54 Data Hasil Pengujian Batas Susut SCB 10% + BBS 6% (Lanjutan)

Batas Susut Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 10% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%									
Sampel	Pemeraman 0 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari		
	41	26	33	47	51	55	34	26	31
No Cawan Logam	41	26	33	47	51	55	34	26	31
Berat Cawan + Tanah Kering (gr)	24,3	23,4	22,5	33,4	30,7	36,2	32,3	34,1	30,7
Berat Tanah Kering (gr)	11,2	10,5	10,4	21,4	18,7	22,2	19,3	20,1	18,7
Kadar Air Mula-Mula (gr)	13,1	13,2	13,5	11,9	10,9	11,7	11,6	12,2	12,8
Berat Air Raksa dengan Vol = Vol Mangkok Shrinkage (gr)	219,3	216,4	209,6	215,1	169,3	189,7	189,6	203,1	172,4
Berat Air Raksa dengan Vol = Vol Tanah Kering (gr)	169,5	167,2	161,9	172,5	158,7	169,7	169,3	179,6	159,5
Volume Tanah Basah (cm ³)	16,13	15,91	15,4	15,8	12,4	13,9	13,9	14,9	12,7
Volume Tanah Kering (cm ³)	12,46	12,29	11,90	12,68	11,67	12,48	12,45	13,21	11,73
Batas Susut (%)	12,14	12,20	12,51	11,01	10,11	10,81	10,75	11,28	11,83
Rata - Rata	12,28			10,64			11,29		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Hasil pengujian batas susut (*Shrinkage Limit*/SL) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 10% dan *Bacillus subtilis* 6% menunjukkan bahwa nilai batas susut sebesar 12,28% pada pemeraman 0 hari, kemudian menurun menjadi 10,64% pada pemeraman 7 hari, dan meningkat sedikit menjadi 11,29% pada pemeraman 14 hari.

Tabel 4. 55 Data Hasil Pengujian Batas Susut SCB 15% + BBS 6%

Batas Susut Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%									
Sampel	Pemeraman 0 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari		
	41	26	33	47	51	55	34	26	31
10 No Cawan Logam	41	26	33	47	51	55	34	26	31
Berat cawan (gr)	13,1	12,9	12,2	12,0	12,0	14,0	13,0	14,0	12,0
Berat Cawan + Tanah Basah (gr)	27,2	26,8	25,2	25,0	25,1	29,2	27,1	29,1	24,9

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Batas Susut Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> 6%									
Sampel	Pemeraman 0 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari		
	41	26	33	47	51	55	34	26	31
No Cawan Logam	41	26	33	47	51	55	34	26	31
Berat Tanah Basah (gr)	14,1	13,9	13,0	13,0	13,1	15,2	14,1	15,2	12,9
Berat Cawan + Tanah Kering (gr)	24,3	23,4	22,5	33,4	30,7	36,2	32,3	34,1	30,7
Berat Tanah Kering (gr)	11,2	10,5	10,4	21,4	18,7	22,2	19,3	20,1	18,7
Kadar Air Mula-Mula (gr)	13,1	13,2	13,5	11,9	10,9	11,7	11,6	12,2	12,8
Berat Air Raksa dengan Vol = Vol Mangkok Shrinkage (gr)	219,3	216,4	209,6	215,1	169,3	189,7	189,6	203,1	172,4
Berat Air Raksa dengan Vol = Vol Tanah Kering (gr)	169,5	167,2	161,9	172,5	158,7	169,7	169,3	179,6	159,5
Volume Tanah Basah (cm ³)	16,13	15,91	15,4	15,8	12,4	13,9	13,9	14,9	12,7
Volume Tanah Kering (cm ³)	12,46	12,29	11,90	12,68	11,67	12,48	12,45	13,21	11,73
Batas Susut (%)	12,14	12,20	12,51	11,01	10,11	10,81	10,75	11,28	11,83
Rata - Rata	12,28			10,64			11,29		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Hasil pengujian batas susut (*Shrinkage Limit*/SL) pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 15% dan *Bacillus subtilis* 6% menunjukkan bahwa nilai batas susut sebesar 12,23% pada pemeraman 0 hari, kemudian meningkat menjadi 14,67% pada pemeraman 7 hari, dan menurun kembali menjadi 12,72% pada pemeraman 14 hari.

4.3.5 Pengujian Pemadatan (*Proctor Test*) Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*

Pengujian pemadatan (*Proctor Test*) tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* dilakukan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah.

a. Variasi Serbuk Canggang Bekicot 5% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Tabel 4. 56 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Canggang Bekicot 5% dengan

Pemeraan 0 Hari										
SCB 5% + Bakteri BS 6%										
No. Percobaan	1			2			3			
No. Cawan	1	57	33	20	3	36	31	50	99	
Berat Cawan (C)	54	14	51	50	26	36	50	19	26	
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	90,9	56,2	87,3	89,6	54,9	76,8	93,5	46,2	51,6	
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	85,8	50,4	82,3	83,2	50,1	70	85,1	41,1	46,5	
Berat Air (D-E)	5,1	5,8	5	6,4	4,8	6,8	8,4	5,1	5,1	
Berat Tanah Kering (Ws) (E-C)	31,8	36,4	31,3	33,2	24,1	34	35,1	22,1	20,5	
Berat Tanah Basah (Ww)	36,9	42,2	36,3	39,6	28,9	40,8	43,5	27,2	25,6	
Kadar Air (Wc)	16%	15,9%	16%	19,3%	19,9%	20%	23,9%	23,1%	24,9%	
Rata-rata Kadar Air (Wc)	16%			19,7%			24%			
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3102			3374			3549			
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F)(BA)	1859	1859	1859	2131	2131	2131	2306	2306	2306	
Berat Volume Basah (γ _w)	1,377	1,377	1,377	1,578	1,578	1,578	1,708	1,708	1,708	
Berat Volume Kering (γ _d)	1,186	1,187	1,187	1,323	1,316	1,315	1,378	1,388	1,368	
Rata-rata Berat Volume Kering (γ _d)	1,187			1,318			1,378			
γ _{ZAV}	1,83	1,83	1,83	1,73	1,71	1,71	1,60	1,62	1,58	
Rata-rata γ _{ZAV}	1,83			1,71			1,60			

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 67 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% (Lanjutan)

No. Percobaan	4			5			6			7		
	35	44	7	2	48	17	1	53	67	6	22	19
Berat Cawan (C)	57	19	33	25	14	47	26	14	50	37	53	49
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	88,3	46,1	61,4	51,6	32,5	82,7	53,2	33	85,3	56,2	81,3	81,2
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	81,2	40	55,1	45,2	28,1	74,3	46,2	28,2	76,5	51,1	73,8	72,6
Berat Air (D-E)	7,1	6,1	6,3	6,4	4,4	8,4	7	4,8	8,8	5,1	7,5	8,6
Berat Tanah Kering (Ws) (E-C)	24,2	21	22,1	20,2	14,1	27,3	20,2	14,2	26,5	14,1	20,8	23,6
Berat Tanah Basah (Ww)	31,3	27,1	28,4	26,6	18,5	35,7	27,2	19	35,3	19,2	28,3	32,2
Kadar Air (Wc)	29,3%	29%	28,5%	31,7%	31,2%	30,8%	34,7%	33,8%	33,2%	36,2%	36,1%	36,4%
Rata-rata Kadar Air (Wc)	29%			31,2%			33,9%			36,2%		
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3767			3759			3716			3539		
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F) (B-A)	2524	2524	2524	2516	2516	2516	2473	2473	2473	2296	2296	2296
Berat Volume Basah (γ_w)	1,869	1,869	1,869	1,863	1,863	1,863	1,831	1,831	1,831	1,700	1,700	1,700
Berat Volume Kering (γ_d)	1,445	1,448	1,455	1,415	1,420	1,425	1,360	1,369	1,375	1,249	1,250	1,246
Rata-rata Berat Volume Kering (γ_d)	1,449			1,420			1,368			1,248		
γ_{ZAV}	1,47	1,48	1,49	1,42	1,43	1,44	1,37	1,38	1,39	1,34	1,34	1,33
Rata-rata γ_{ZAV}	1,48			1,43			1,38			1,34		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 57 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Pemeraman 7 Hari												
SCB 5% + Bakteri BS 6%												
No. Percobaan	1				2				3			
No. Cawan	40	34	63	50	27	32	44	1	25			
Berat Cawan (C)	34	41	51	19	42	50	19	33	43			
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	56,4	76,1	96,7	33,4	63,2	79,5	33,9	56,6	78,7			
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	53,5	71,6	90,7	31,1	59,9	74,9	31,2	52,3	72,2			
Berat Air (D-E)	2,9	4,5	6	2,3	3,3	4,6	2,7	4,3	6,5			
Berat Tanah Kering (Ws) (E-C)	19,5	30,6	39,7	12,1	17,9	24,9	12,2	19,3	29,2			
Berat Tanah Basah (Ww)	22,4	35,1	45,7	14,4	21,2	29,5	14,9	23,6	35,7			
Kadar Air (Wc)	14,9%	14,7%	15,1%	19%	18,4%	18,5%	22,1%	22,3%	22,3%			
Rata-rata Kadar Air (Wc)	14,9%				18,6%				22,2%			
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3264				3549				3717			
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F)(BA)	2021	2021	2021	2306	2306	2306	2474	2474	2474			
Berat Volume Basah (yw)	1,497	1,497	1,497	1,708	1,708	1,708	1,832	1,832	1,832			
Berat Volume Kering (yd)	1,303	1,305	1,300	1,435	1,442	1,441	1,500	1,498	1,499			
Rata-rata Berat Volume Kering (yd)	1,303				1,439				1,499			
YZAV	1,87	1,88	1,86	1,74	1,76	1,75	1,65	1,64	1,64			
Rata-rata YZAV	1,87				1,75				1,65			

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 66 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkrang Bekicot 5% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% (Lanjutan)

No. Percobaan	4			5			6			7		
No. Cawan	45	36	19	48	4	53	33	37	60	15	12	17
Berat Cawan (C)	14	35	49	14	50	14	51	34	14	34	28	42
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	31,2	54,5	89,4	31,9	89,2	30,8	76,7	59,6	29,3	62,3	46,2	73,1
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	27,6	50,5	81,1	27,8	80,3	27	70,3	53,2	25,5	54,8	41,3	64,8
Berat Air (D-E)	3,6	4	8,3	4,1	8,9	3,8	6,4	6,4	3,8	7,5	4,9	8,3
Berat Tanah Kering (Ws) (E-C)	13,6	15,5	32,1	13,8	30,3	13	19,3	19,2	11,5	20,8	13,3	22,8
Berat Tanah Basah (Ww)	17,2	19,5	40,4	17,9	39,2	16,8	25,7	25,6	15,3	28,3	18,2	31,100
Kadar Air (Wc)	26,5%	25,8%	25,9%	29,7%	29,4%	29,2%	33,2%	33,3%	33,0%	36,1%	36,8%	36,4%
Rata-rata Kadar Air (Wc)	26%			29,4%			33,2%			36,4%		
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3812			3765			3683			3604		
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F) (B-A)	2569	2569	2569	2522	2522	2522	2440	2440	2440	2361	2361	2361
Berat Volume Basah (γ_w)	1,902	1,902	1,902	1,868	1,868	1,868	1,807	1,807	1,807	1,748	1,748	1,748
Berat Volume Kering (γ_d)	1,504	1,512	1,512	1,440	1,444	1,445	1,357	1,355	1,358	1,285	1,278	1282
Rata-rata Berat Volume Kering (γ_d)	1,509			1,443			1,357			1,282		
γ_{ZAV}	1,54	1,55	1,55	1,47	1,47	1,48	1,39	1,39	1,40	1,34	1,33	1,33
Rata-rata γ_{ZAV}	1,55			1,47			1,39			1,33		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 58 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6

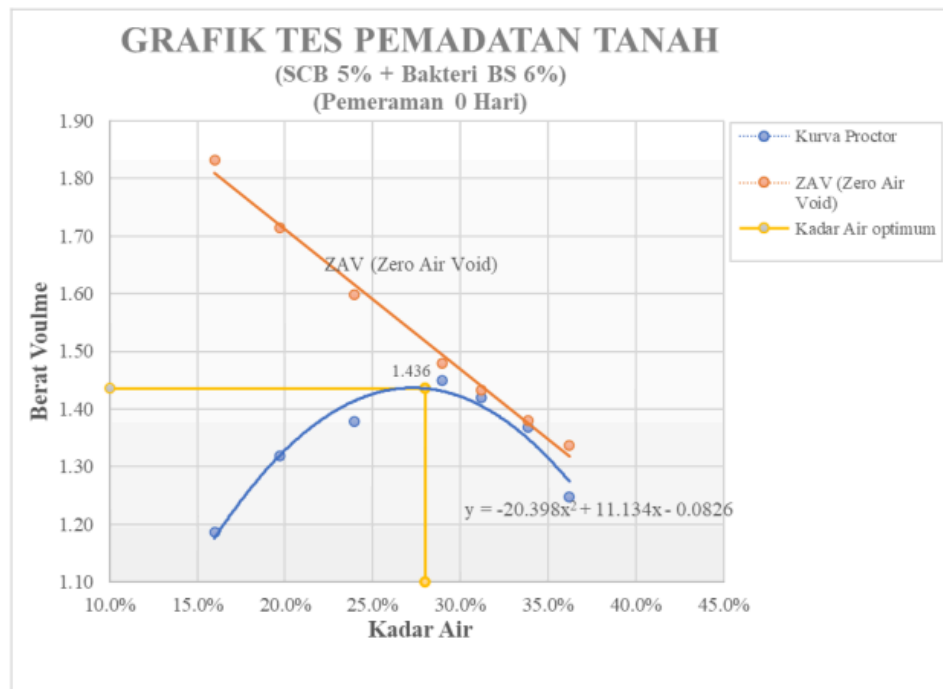
Pemeraman 14 Hari									
SCB 5% + Bakteri BS 6%									
No. Percobaan	1			2			3		
No. Cawan	53	19	48	37	57	31	44	1	25
Berat Cawan (C)	14	49	14	34	22	26	19	33	43
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	42,6	79,5	45,2	65,7	51,9	47,4	38,9	55,3	71,4
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	38,8	75,4	41,2	61	47,2	44,1	35,1	51,2	66
Berat Air (D-E)	3,8	4,1	4	4,7	4,7	3,3	3,8	4,1	5,4
Berat Tanah Kering (Ws) (E-C)	24,8	26,4	27,2	27	25	18,1	16,1	18,2	23
Berat Tanah Basah (Ww)	28,6	30,5	31,2	31,7	29,7	21,4	19,9	22,3	28,4
Kadar Air (Wc)	15,3%	15,5%	14,7%	17,4%	18,8%	18,2%	23,6%	22,5%	23,5%
Rata-rata Kadar Air (Wc)	15,2%			18,1%			23,2%		
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3291			3482			3698		
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F)(BA)	2050	2050	2050	2241	2241	2241	2457	2457	2457
Berat Volume Basah (γ_w)	1,518	1,518	1,518	1,660	1,660	1,660	1,820	1,820	1,820
Berat Volume Kering (γ_d)	1,316	1,314	1,324	1,414	1,397	1,404	1,472	1,485	1,474
Rata-rata Berat Volume Kering (γ_d)	1,318			1,405			1,477		
γ_{ZAV}	1,86	1,85	1,88	1,79	1,74	1,76	1,61	1,64	1,61
Rata-rata γ_{ZAV}	1,86			1,76			1,62		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 67 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% (Lanjutan)

No. Percobaan	4				5				6				7		
No. Cawan	45	36	19	48	4	53	33	37	60	15	12	17			
Berat Cawan (C)	14	35	49	14	50	14	51	34	14	34	28	42			
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	31,2	54,5	89,4	31,9	89,2	30,8	76,7	59,6	29,3	62,3	46,2	73,1			
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	27,6	50,5	81,1	27,8	80,3	27	70,3	53,2	25,5	54,8	41,3	64,8			
Berat Air (D-E)	3,6	4	8,3	4,1	8,9	3,8	6,4	6,4	3,8	7,5	4,9	8,3			
Berat Tanah Kering (Ws) (E-C)	13,6	15,5	32,1	13,8	30,3	13	19,3	19,2	11,5	20,8	13,3	22,8			
Berat Tanah Basah (Ww)	17,2	19,5	40,4	17,9	39,2	16,8	25,7	25,6	15,3	28,3	18,2	31,100			
Kadar Air (Wc)	26,5%	25,8%	25,9%	29,7%	29,4%	29,2%	33,2%	33,3%	33,0%	36,1%	36,8%	36,4%			
Rata-rata Kadar Air (Wc)	26%				29,4%				33,2%				36,4%		
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3812				3765				3683				3604		
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F) (B-A)	2569	2569	2569	2522	2522	2522	2440	2440	2440	2361	2361	2361			
Berat Volume Basah (γw)	1,902	1,902	1,902	1,868	1,868	1,868	1,807	1,807	1,807	1,748	1,748	1,748			
Berat Volume Kering (γd)	1,504	1,512	1,512	1,440	1,444	1,445	1,357	1,355	1,358	1,285	1,278	1282			
Rata-rata Berat Volume Kering (γd)	1,509				1,443				1,357				1,282		
γZAV	1,54	1,55	1,55	1,47	1,47	1,48	1,39	1,39	1,40	1,34	1,33	1,33			
Rata-rata γZAV	1,55				1,47				1,39				1,33		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



Grafik 4. 18 Pemadatan Tanah SCB 5% dan Bakteri *Bacillus Subtilis* 6%
Pemeraman 0 Hari
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

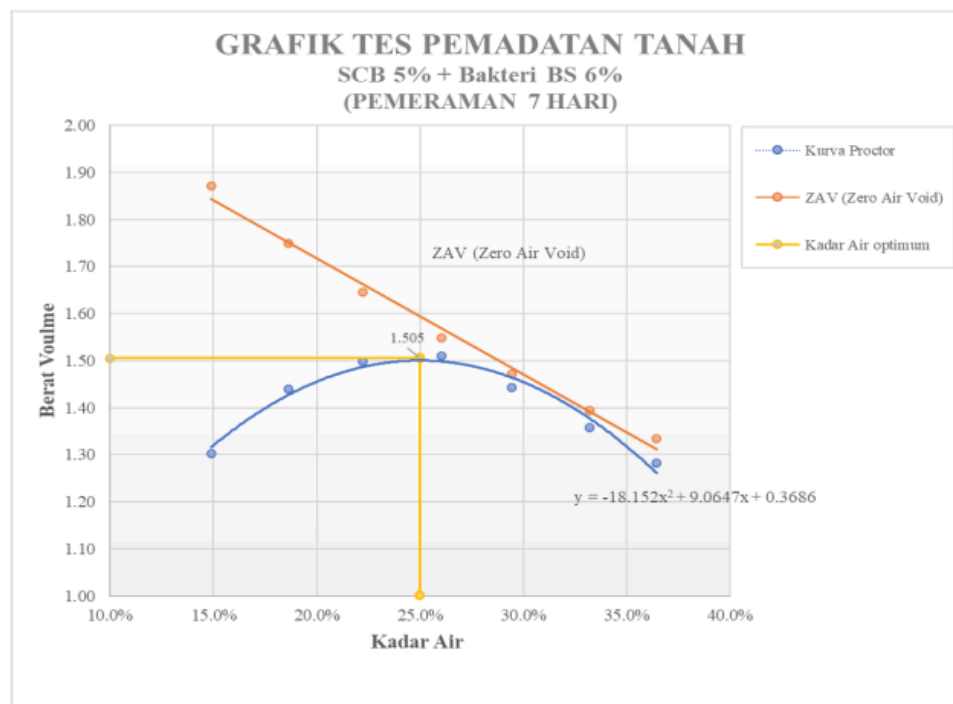
$$y = -20,398 x^2 + 11,134x - 0,0826$$

$$y = -20,398 (28)^2 + 11,134 (28) - 0,0826$$

$$y = 1,436 \text{ gr/cm}^3$$

OMC = 28%

26 Berdasarkan hasil pengujian pemadatan tanah dengan campuran serbuk pengkang bekicot (SCB) 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% pemeraman 0 hari, diperoleh nilai kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) sebesar 28% dan berat kering optimum sebesar 1,436 gr/cm³.



Grafik 4. 19 Pemadatan Tanah SCB 5% dan Bakteri *Bacillus Sbutilis* 6%
Pemeraman 7 Hari
(Sumber : Data Olahan Peneliti,2026)

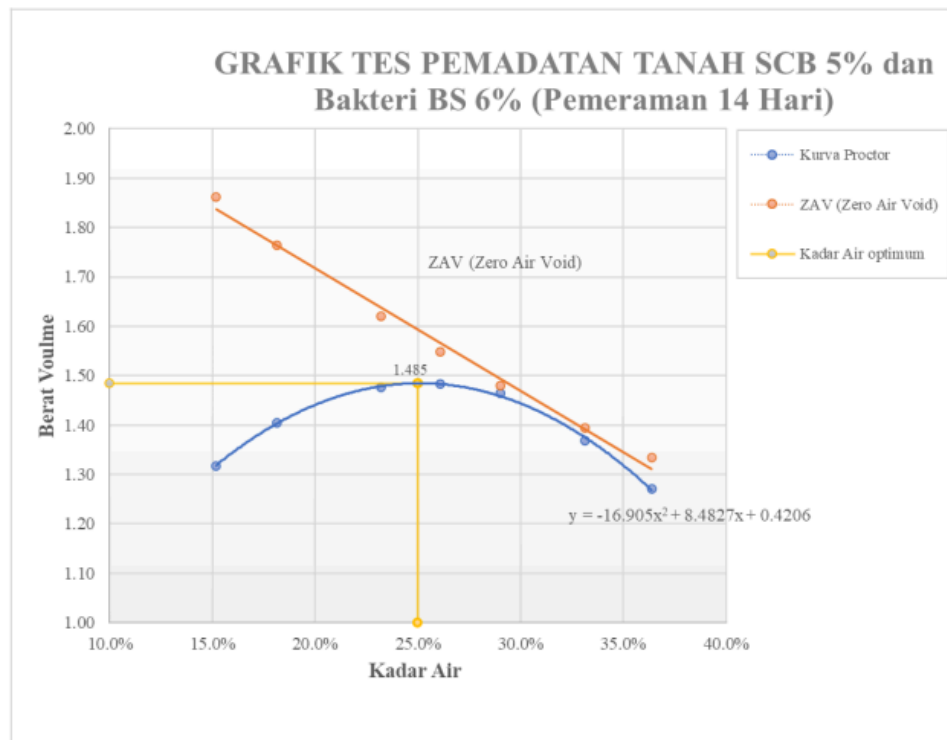
$$y = -18,152 x^2 + 9,0647x - 0,3686$$

$$y = -18,152 (25)^2 + 9,0647(25) - 0,3686$$

$$y = 1,505 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{OMC} = 25\%$$

Berdasarkan hasil pengujian pemadatan tanah campuran serbuk cangkang bekicot 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan metode Proctor, diperoleh nilai *Maximum Dry Density* (MDD) sebesar 1,505 gr/cm³ dan nilai *Optimum Moisture Content* (OMC) sebesar 25%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tanah mencapai kepadatan kering maksimum pada kondisi kadar air optimum sebesar 25%



Grafik 4. 20 Pemadatan Tanah SCB 5% dan Bakteri *Bacillus Sbutilis* 6%
Pemeraman 14 Hari

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

$$y = -16,905 x^2 + 8,4827x - 0,4206$$

$$y = -16,905 (25)^2 + 8,4827(25) - 0,4206$$

$$y = 1,485 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{OMC} = 25\%$$

26 Berdasarkan hasil pengujian pemadatan tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% pemeraman 14 hari, diperoleh nilai kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) sebesar 25% dan berat kering optimum sebesar 1,485 gr/cm³.

b. Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Pengujian Proctor pada tanah variasi serbuk cangkang bekicot 10% dengan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dilakukan untuk mengetahui nilai kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) dan berat kering optimum tanah. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 4. 59 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Pemeraman 0 Hari													
SCB 10% + Bakteri BS 6%													
No. Percobaan	1			2			3						
No. Cawan	63	53	11	27	32	34	15	44	50				
Berat Cawan (C)	51	14	27	42	50	41	50	19	19				
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	86,3	33,5	57,4	77,5	87,2	74,9	88,3	35,6	32,1				
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	81,5	30,9	53,3	71,9	81,4	69,5	81,3	32,5	29,7				
Berat Air (D-E)	4,8	2,6	4,1	5,6	5,8	5,4	7	3,1	2,4				
Berat Tanah Kering (Ws) (E-C)	30,5	16,9	26,3	29,9	31,4	28,5	31,3	13,5	10,7				
Berat Tanah Basah (Ww)	35,3	19,5	30,4	35,5	37,2	33,9	38,3	16,6	13,1				
Kadar Air (Wc)	15,7%	15,4%	15,6%	18,7%	18,5%	18,9%	22,4%	23,0%	22,4%				
Rata-rata Kadar Air (Wc)	15,6%			18,7%			22,6%						
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3241			3418			3614						
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F)(BA)	2000	2000	2000	2177	2177	2177	2373	2373	2373				
Berat Volume Basah (γ_w)	1,508	1,508	1,508	1,642	1,642	1,642	1,790	1,790	1,790				
Berat Volume Kering (γ_d)	1,303	1,307	1,305	1,383	1,386	1,380	1,463	1,455	1,462				
Rata-rata Berat Volume Kering (γ_d)	1,305			1,383			1,460						
γ_{ZAV}	1,83	1,85	1,84	1,74	1,75	1,73	1,63	1,62	1,63				
Rata-rata γ_{ZAV}	1,84			1,74			1,63						

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 68 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% (Lanjutan)

No. Percobaan	4			5			6			7		
No. Cawan	37	19	33	25	60	5	45	36	48	10	8	21
Berat Cawan (C)	34	49	51	43	14	43	14	35	14	31	43	19
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	58,3	86,7	89,1	79,4	30,8	76,3	31,4	56,1	32,9	57,4	65,6	38,3
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	53,1	78,9	80,8	71,2	27,1	68,7	27,1	50,9	28,2	50,3	59,7	33,2
Berat Air (D-E)	5,2	7,8	8,3	8,2	3,7	7,6	4,3	5,2	4,7	7,1	5,9	5,1
Berat Tanah Kering (Ws) (E-C)	19,1	29,9	29,8	28,2	13,1	25,7	13,1	15,9	14,2	19,3	16,7	14,2
Berat Tanah Basah (Ww)	24,3	37,7	38,1	36,4	16,8	33,3	17,4	21,1	18,9	26,4	22,6	19,3
Kadar Air (Wc)	27,2%	26,1%	27,9%	29,1%	28,2%	29,6%	32,8%	32,7%	33,1%	36,8%	35,3%	35,9%
Rata-rata Kadar Air (Wc)	27,1%			29,0%			32,9%			36,0%		
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3724			3716			3652			3563		
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F) (B-A)	2483	2483	2483	2475	2475	2475	2411	2411	2411	2322	2322	2322
Berat Volume Basah (Vw)	1,873	1,873	1,873	1,867	1,867	1,867	1,818	1,818	1,818	1,751	1,751	1,751
Berat Volume Kering (Vd)	1,472	1,485	1,465	1,446	1,456	1,441	1,369	1,370	1,366	1,280	1,294	1,288
Rata-rata Berat Volume Kering (Vd)	1,474			1,447			1,368			1,288		
γZAV	1,51	1,54	1,50	1,47	1,49	1,46	1,40	1,40	1,39	1,32	1,35	1,34
Rata-rata γZAV	1,52			1,48			1,40			1,34		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 60 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Pemeraman 7 Hari												
SCB 10% + Bakteri BS 6%												
No. Percobaan	1				2				3			
No. Cawan	62	15	40		60	63	32		7	37	19	
Berat Cawan (C)	12	50	34		15	51	50		31	34	49	
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	38,2	86,7	62,1		34,4	89,9	84,2		69,3	68,5	83,4	
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	34,8	81,8	58,5		31,4	83,7	78,8		62,3	62,3	77,2	
Berat Air (D-E)	3,4	4,9	3,6		3	6,2	5,4		7	6,2	6,2	
Berat Tanah Kering (Ws) (E-C)	22,8	31,8	24,5		16,4	32,7	28,8		31,3	28,3	28,2	
Berat Tanah Basah (Ww)	26,2	36,7	28,1		19,4	38,9	34,2		38,3	34,5	34,4	
Kadar Air (Wc)	14,9%	15,4%	14,7%		18,3%	19,0%	18,8%		22,4%	21,9%	22,0%	
Rata-rata Kadar Air (Wc)	15,0%				18,7%				22,1%			
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3339				3572				3715			
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F)(BA)	2100	2100	2100		2333	2333	2333		2476	2476	2476	
Berat Volume Basah (γ_w)	1,584	1,584	1,584		1,760	1,760	1,760		1,867	1,867	1,867	
Berat Volume Kering (γ_d)	1,378	1,372	1,381		1,487	1,479	1,482		1,526	1,532	1,531	
Rata-rata Berat Volume Kering (γ_d)	1,377				1,483				1,530			
γ_{ZAV}	1,88	1,87	1,89		1,77	1,75	1,76		1,65	1,66	1,66	
Rata-rata γ_{ZAV}	1,88				1,76				1,66			

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 69 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% (Lanjutan)

No. Percobaan	4			5			6			7		
No. Cawan	11	45	60	5	44	53	44	48	25	17	6	31
Berat Cawan (C)	27	14	14	43	19	14	20	14	43	42	37	26
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	58,6	33,5	39,3	75,1	45,2	37,7	38,4	39,2	76,1	72,5	61,1	43,6
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	52,0	29,4	34,1	67,8	39,2	32,4	33,9	32,9	67,8	64,4	54,6	39,0
Berat Air (D-E)	6,6	4,1	5,2	7,3	6	5,3	4,5	6,3	8,3	8,1	6,5	4,6
Berat Tanah Kering (Ws) (E-C)	25	15,4	20,1	24,8	20,2	18,4	13,9	18,9	24,8	22,4	17,6	13
Berat Tanah Basah (Ww)	31,6	19,5	25,3	32,1	26,2	23,7	18,4	25,2	33,1	30,5	24,1	17,6
Kadar Air (Wc)	26,4%	26,6%	25,9%	29,4%	29,7%	28,8%	32,4%	33,3%	33,5%	36,2%	36,9%	35,4%
Rata-rata Kadar Air (Wc)	26,3%			29,3%			33,1%			36,2%		
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3788			3746			3627			3579		
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F) (B-A)	2549	2549	2549	2507	2507	2507	2388	2388	2388	2340	2340	2340
Berat Volume Basah (Vw)	1,922	1,922	1,922	1,891	1,891	1,891	1,801	1,801	1,801	1,765	1,765	1,765
Berat Volume Kering (Vd)	1,521	1,518	1,527	1,461	1,458	1,468	1,361	1,351	1,349	1,296	1,289	1,304
Rata-rata Berat Volume Kering (Vd)	1,522			1,462			1,354			1,296		
YZAV	1,55	1,54	1,56	1,48	1,47	1,49	1,42	1,40	1,40	1,34	1,33	1,36
Rata-rata YZAV	1,55			1,48			1,40			1,34		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 61 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

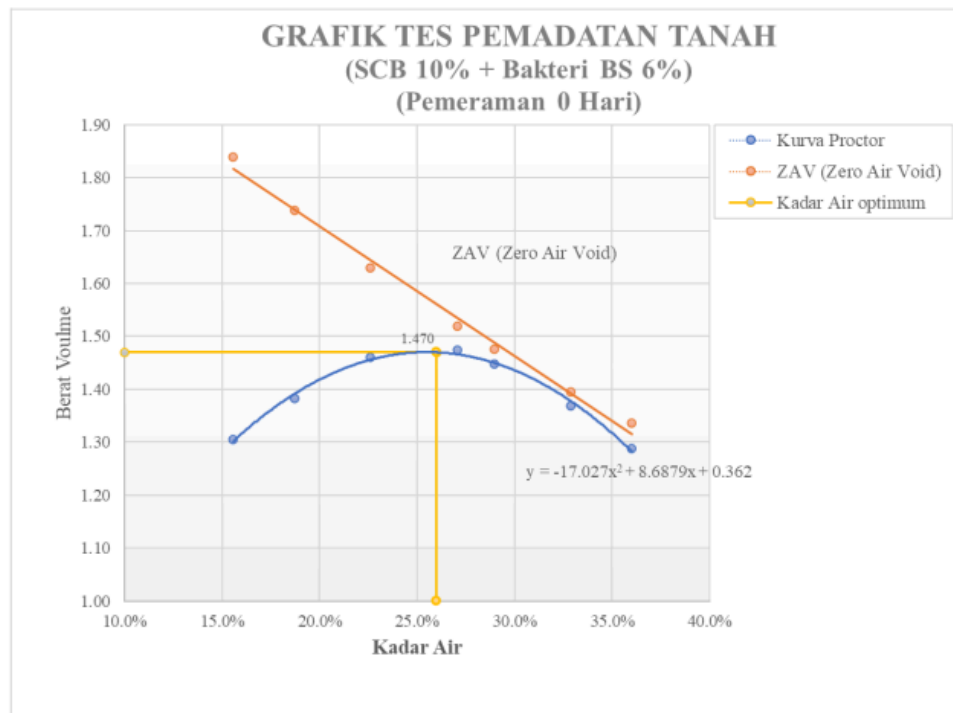
Pemeraman 14 Hari												
SCB 10% + Bakteri BS 6%												
No. Percobaan	1				2				3			
No. Cawan	32	63	50		40	19	36		33	66	32	
Berat Cawan (C)	50	51	19		34	49	35		51	15	50	
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	92,1	89,4	38,7		56,2	77,1	68,3		86,2	34,9	84,9	
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	86,5	84,0	36,2		52,6	73,0	63,4		79,7	31,1	78,4	
Berat Air (D-E)	5,6	5,4	2,5		3,6	4,1	4,9		6,5	3,8	6,5	
Berat Tanah Kering (Ws) (E-C)	36,5	33	17,2		18,6	24	28,4		28,7	16,4	28,4	
Berat Tanah Basah (Ww)	42,1	38,4	19,7		22,2	28,1	33,3		35,2	20,2	34,9	
Kadar Air (Wc)	15,3%	16,4%	14,5%		19,4%	17,1%	17,3%		22,6%	23,1%	22,9%	
Rata-rata Kadar Air (Wc)	15,4%				17,9%				22,9%			
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3315				3496				3697			
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F)(BA)	2075	2075	2075		2256	2256	2256		2457	2457	2457	
Berat Volume Basah (γ_w)	1,565	1,565	1,565		1,701	1,701	1,701		1,853	1,853	1,853	
Berat Volume Kering (γ_d)	1,357	1,345	1,366		1,426	1,453	1,451		1,511	1,505	1,508	
Rata-rata Berat Volume Kering (γ_d)	1,356				1,443				1,508			
γ_{ZAV}	1,87	1,83	1,89		1,74	1,81	1,80		1,64	1,63	1,64	
Rata-rata γ_{ZAV}	1,86				1,78				1,64			

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 70 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% (Lanjutan)

No. Percobaan	4			5			6			7		
No. Cawan	34	15	27	53	25	44	48	45	63	60	4	37
Berat Cawan (C)	41	50	42	14	43	19	14	14	51	14	50	34
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	71,5	86,5	73,7	29,1	74,4	31,5	34,6	28,2	79,1	25,8	95,6	68,8
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	65,0	78,8	67,0	25,7	67,2	28,6	29,6	24,7	72,0	22,7	83,4	59,6
Berat Air (D-E)	6,5	7,7	6,7	3,4	7,2	2,9	5	3,5	7,1	3,1	12,2	9,2
Berat Tanah Kering (Ws) (E-C)	24	28,8	25	11,7	24,2	9,6	15,6	10,7	21	8,7	33,4	25,6
Berat Tanah Basah (Ww)	30,5	36,5	31,7	15,1	31,4	12,5	20,6	14,2	28,1	11,8	45,6	34,8
Kadar Air (Wc)	27,1%	26,7%	26,8%	29,1%	29,8%	30,2%	32,1%	32,7%	33,8%	35,6%	36,5%	35,9%
Rata-rata Kadar Air (Wc)	26,9%			29,7%			32,9%			36,0%		
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3743			3732			3661			3576		
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F) (B-A)	2503	2503	2503	2492	2492	2492	2421	2421	2421	2336	2336	2336
Berat Volume Basah (yw)	1,888	1,888	1,888	1,879	1,879	1,879	1,826	1,826	1,826	1,762	1,762	1,762
Berat Volume Kering (yd)	1,485	1,489	1,489	1,456	1,448	1,443	1,383	1,376	1,365	1,299	1,290	1,296
Rata-rata Berat Volume Kering (y _{kd})	1,488			1,449			1,374			1,295		
Y _{ZAV}	1,53	1,54	1,54	1,49	1,47	1,46	1,42	1,41	1,39	1,35	1,34	1,35
Rata-rata Y _{ZAV}	1,54			1,47			1,41			1,35		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



Grafik 4. 21 Pemadatan Tanah SCB 10% dan Bakteri *Bacillus Sbutilis* 6%
Pemeraman 0 Hari

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

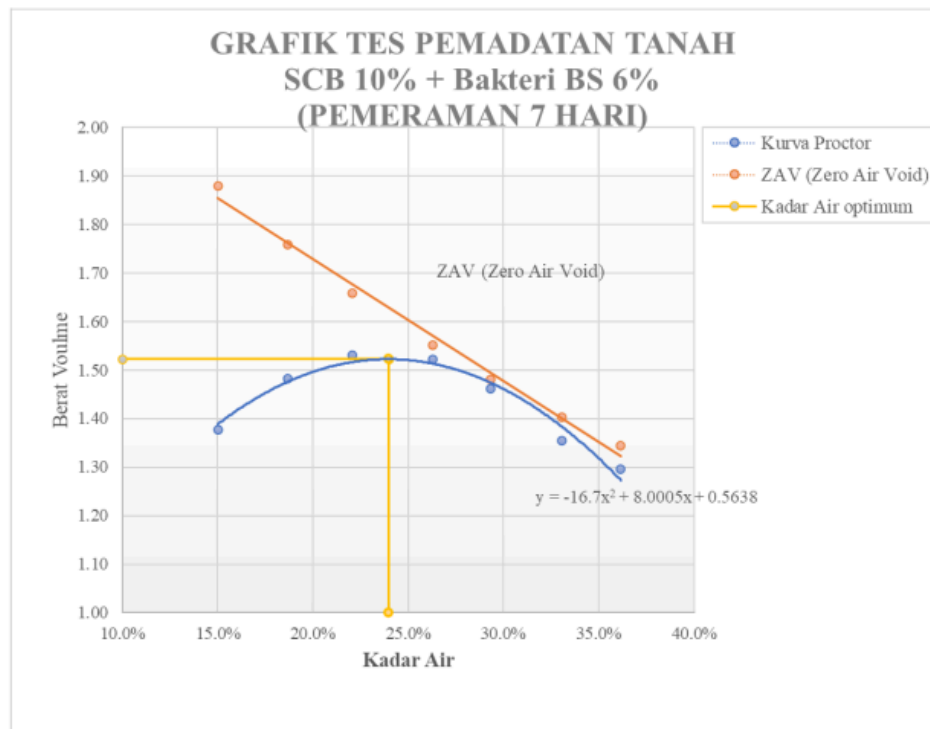
$$y = -17,027 x^2 + 8,6879x - 0,362$$

$$y = -17,027 (26)^2 + 8,6879 (26) - 0,362$$

$$y = 1,470 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{OMC} = 26\%$$

26
Berdasarkan hasil pengujian pemadatan tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% pemeraman 0 hari, diperoleh nilai kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) sebesar 26% dan berat kering optimum sebesar 1,470 gr/cm³.



Grafik 4. 22 Pemadatan Tanah SCB 10% dan Bakteri *Bacillus Sbutilis* 6%
Pemeraman 7 Hari

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

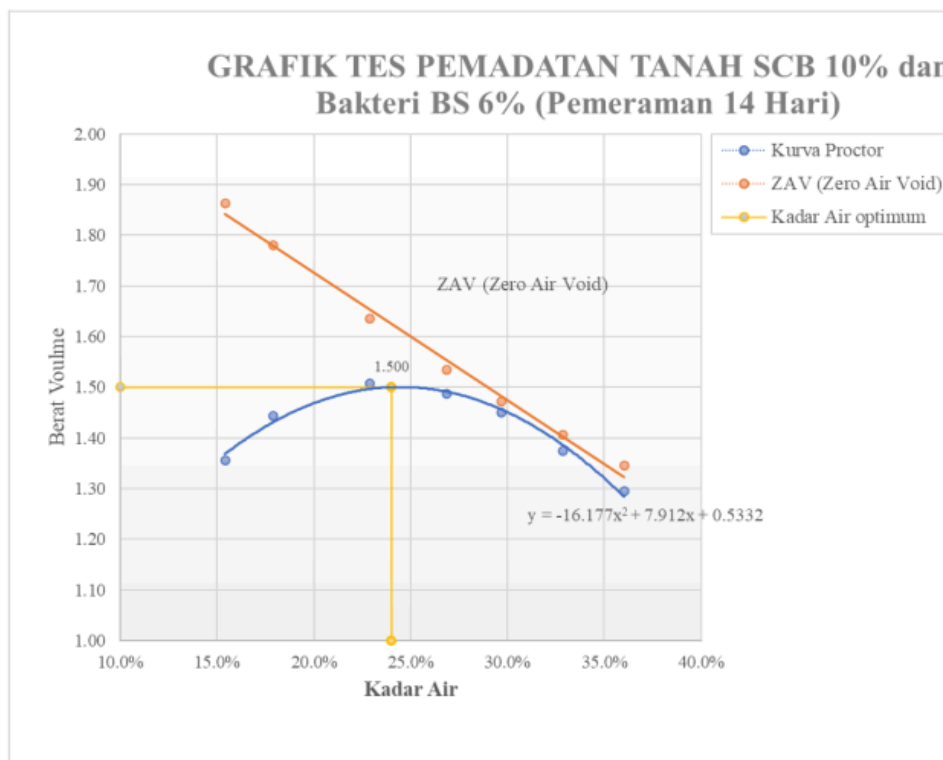
$$y = -16,7 x^2 + 8,0005x - 0,5638$$

$$y = -16,7 (24)^2 + 8,0005 (24) - 0,5638$$

$$y = 1,522 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{OMC} = 24\%$$

Berdasarkan hasil pengujian pemadatan tanah campuran serbuk cangkang bekicot 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan metode Proctor, diperoleh nilai *Maximum Dry Density* (MDD) sebesar $1,522 \text{ gr/cm}^3$ dan nilai *Optimum Moisture Content* (OMC) sebesar 24%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tanah mencapai kepadatan kering maksimum pada kondisi kadar air optimum sebesar 24%



Grafik 4. 23 Pemadatan Tanah SCB 10% dan Bakteri *Bacillus Sbutilis* 6%
Pemeraman 14 Hari

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

$$y = -16,177 x^2 + 7,912x - 0,5332$$

$$y = -16,177 (24)^2 + 7,912 (24) - 0,5332$$

$$y = 1,500 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{OMC} = 24\%$$

26
Berdasarkan hasil pengujian pemadatan tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot (CB) 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% pemeraman 14 hari, diperoleh nilai kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) sebesar 24% dan berat kering optimum sebesar 1,500 gr/cm³.

c. Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

5 Pengujian Proctor pada tanah variasi serbuk cangkang bekicot 15% dengan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dilakukan untuk mengetahui nilai kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) dan berat kering optimum tanah. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 4. 62 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Pemeraman 0 Hari												
SCB 15% + Bakteri BS 6%												
No. Percobaan	1						2			3		
No. Cawan	25	53	36	15	5	44	19	1	27			
Berat Cawan (C)	43	14	35	50	43	19	49	33	42			
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	80,4	46,1	61,7	91,3	80,6	50,7	88,2	59,4	79,6			
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	75,7	41,8	58,1	84,9	74,7	45,8	81,1	54,6	72,6			
Berat Air (D-E)	4,7	4,3	3,6	6,4	5,9	4,9	7,1	4,8	7			
Berat Tanah Kering (Ws) (E-C)	32,7	27,8	23,1	34,9	31,7	26,8	32,1	21,6	30,6			
Berat Tanah Basah (Ww)	37,4	32,1	26,7	41,3	37,6	31,7	39,2	26,4	37,6			
Kadar Air (Wc)	14,4%	15,5%	15,6%	18,3%	18,6%	18,3%	22,1%	22,2%	22,9%			
Rata-rata Kadar Air (Wc)	15,1%			18,4%			22,4%					
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3332						3502			3701		
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F)(BA)	2094	2094	2094	2264	2264	2264	2463	2463	2463			
Berat Volume Basah (yw)	1,551	1,551	1,551	1,677	1,677	1,677	1,824	1,824	1,824			
Berat Volume Kering (yd)	1,356	1,343	1,342	1,417	1,414	1,417	1,494	1,492	1,484			
Rata-rata Berat Volume Kering (yd)	1,347			1,416			1,490					
YZAV	1,89	1,85	1,84	1,76	1,75	1,76	1,65	1,64	1,63			
Rata-rata YZAV	1,86			1,75			1,64					

Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 71 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri Bacillus subtilis 6% (Lanjutan)

No. Percobaan	4				5				6				7			
	48	33	37	32	40	50	62	7	11	8	21	12				
No. Cawan	14	51	34	50	34	19	12	31	27	38	45	33				
Berat Cawan (C)	45,3	90,7	62,5	89,3	61,7	47,2	41,9	58,1	51,4	61,3	73,8	58,4				
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	38,6	82,1	56,4	80,5	55,5	40,8	34,6	51,3	45,3	55,1	66,2	51,7				
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	6,7	8,6	6,1	8,8	6,2	6,4	7,3	6,8	6,1	6,2	7,6	6,7				
Berat Air (D-E)	24,6	31,1	22,4	30,5	21,5	21,8	22,6	20,3	18,3	17,1	21,2	18,7				
Berat Tanah Basah (Ww)	31,3	39,7	28,5	39,3	27,7	28,2	29,9	27,1	24,4	23,3	28,8	25,4				
Kadar Air (Wc)	27,2%	27,7%	27,2%	28,9%	28,8%	29,4%	32,3%	33,5%	33,3%	36,3%	35,8%	35,8%				
Rata-rata Kadar Air (Wc)	27,4%				29,0%				33,0%				36,0%			
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3814				3756				3672				3591			
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F) (B-A)	2576	2576	2576	2518	2518	2518	2434	2434	2434	2353	2353	2353				
Berat Volume Basah (γw)	1,908	1,908	1,908	1,865	1,865	1,865	1,803	1,803	1,803	1,743	1,743	1,743				
Berat Volume Kering (γd)	1,499	1,494	1,499	1,447	1,447	1,442	1,362	1,350	1,352	1,279	1,283	1,283				
Rata-rata Berat Volume Kering (γd)	1,498				1,445				1,355				1,281			
γZAV	1,52	1,51	1,52	1,48	1,48	1,47	1,41	1,39	1,39	1,34	1,34	1,34				
Rata-rata γZAV	1,52				1,48				1,40				1,34			

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 63 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Pemeraman 7 Hari												
SCB 15% + Bakteri BS 6%												
No. Percobaan	1			2			3					
No. Cawan	34	40	15	32	27	63	44	50	53			
Berat Cawan (C)	41	34	50	50	42	51	19	19	14			
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	73,2	62,5	82,4	87,7	72,6	79,2	49,3	48,1	39,9			
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	68,9	58,8	78,1	81,7	67,9	74,8	43,7	42,8	35,2			
Berat Air (D-E)	4,3	3,7	4,3	6	4,7	4,4	5,6	5,3	4,7			
Berat Tanah Kering (Ws) (E-C)	27,9	24,8	28,1	31,7	25,9	23,8	24,7	23,8	21,2			
Berat Tanah Basah (Ww)	32,2	28,5	32,4	37,7	30,6	28,2	30,3	29,1	25,9			
Kadar Air (Wc)	15,4%	14,9%	15,3%	18,9%	18,1%	18,5%	22,7%	22,3%	22,2%			
Rata-rata Kadar Air (Wc)	15,2%			18,5%			22,4%					
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3529			3664			3776					
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F)(BA)	2286	2286	2286	2421	2421	2421	2533	2533	2533			
Berat Volume Basah (γ _w)	1,693	1,693	1,693	1,793	1,793	1,793	1,876	1,876	1,876			
Berat Volume Kering (γ _d)	1,467	1,473	1,468	1,508	1,518	1,513	1,529	1,534	1,535			
Rata-rata Berat Volume Kering (γ _d)	1,469			1,513			1,533					
γ _{ZAV}	1,88	1,89	1,88	1,76	1,78	1,77	1,65	1,66	1,66			
Rata-rata γ _{ZAV}	1,88			1,77			1,66					

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 72 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% (Lanjutan)

No. Percobaan	4			5			6			7		
	25	36	48	60	1	45	19	33	37	48	57	66
Berat Cawan (C)	43	35	14	14	33	14	49	51	34	30	22	15
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	80,3	59,2	36,5	44,6	61,2	45,2	89,7	90,3	60,6	67,2	39,4	31,6
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	72,5	54,1	31,9	37,6	55,0	38,2	79,9	80,8	54,1	57,3	34,9	27,1
Berat Air (D-E)	7,8	5,1	4,6	7	6,2	7	9,8	9,5	6,5	9,9	4,5	4,5
Berat Tanah Kering (W's) (E-C)	29,5	19,1	17,9	23,6	22	24,2	30,9	29,8	20,1	27,6	12,7	12,4
Berat Tanah Basah (W _w)	37,3	24,2	22,5	30,6	28,2	31,2	40,7	39,3	26,6	37,5	17,2	16,9
Kadar Air (W _c)	26,4%	26,7%	25,7%	29,7%	28,2%	28,9%	31,7%	31,9%	32,3%	35,8%	35,3%	36,2%
Rata-rata Kadar Air (W _c)	26,3%			28,9%			32,0%			35,8%		
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3832			3819			3772			3613		
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F) (B-A)	2589	2589	2589	2576	2576	2576	2529	2529	2529	2370	2370	2370
Berat Volume Basah (γ _w)	1,917	1,917	1,917	1,908	1,908	1,908	1,873	1,873	1,873	1,755	1,755	1,755
Berat Volume Kering (γ _d)	1,516	1,513	1,525	1,471	1,488	1,480	1,422	1,420	1,415	1,292	1,297	1,289
Rata-rata Berat Volume Kering (γ _d)	1,518			1,480			1,419			1,293		
γ _{ZAV}	1,55	1,55	1,57	1,48	1,51	1,50	1,44	1,43	1,42	1,36	1,37	1,35
Rata-rata γ _{ZAV}	1,56			1,50			1,43			1,36		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

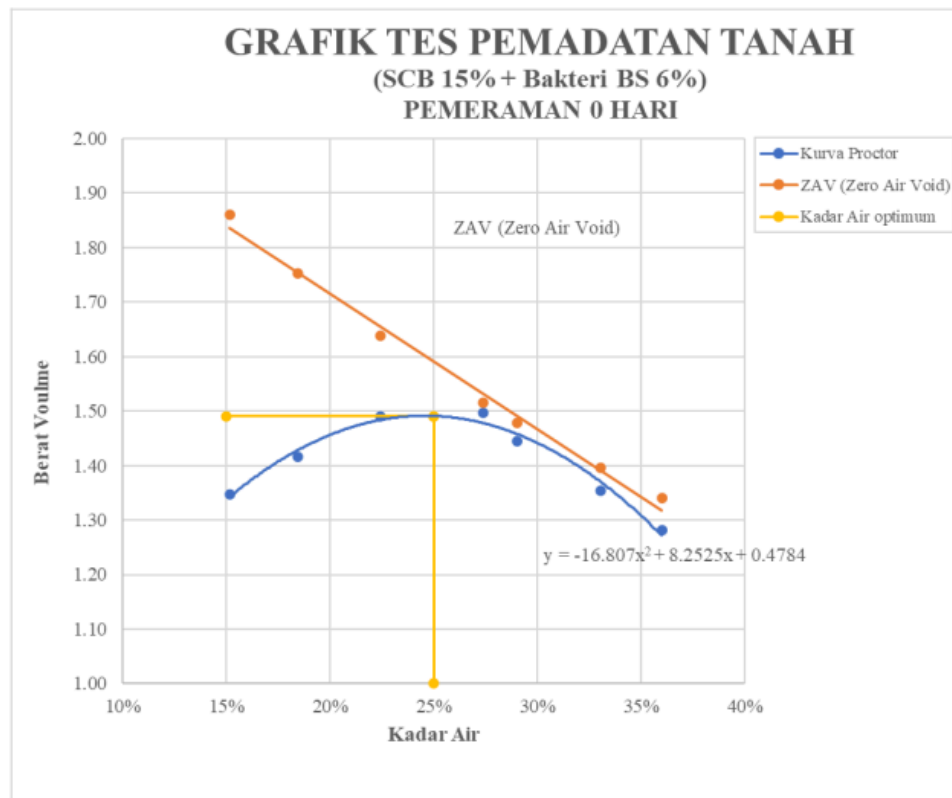
SCB 15% + Bakteri BS 6%												
Pemeraman 14 Hari												
No. Percobaan	1			2			3					
No. Cawan	37	48	7	63	19	27	1	34	40			
Berat Cawan (C)	34	14	31	51	49	42	33	41	34			
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	61,3	35,2	51,7	87,7	83,5	73,5	63,4	79,8	65,1			
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	57,6	32,3	49,0	81,9	78,0	68,3	57,5	72,4	59,2			
Berat Air (D-E)	3,7	2,9	2,7	5,8	5,5	5,2	5,9	7,4	5,9			
Berat Tanah Kering (Ws) (E-C)	23,6	18,3	18	30,9	29	26,3	24,5	31,4	25,2			
Berat Tanah Basah (Ww)	27,3	21,2	20,7	36,7	34,5	31,5	30,4	38,8	31,1			
Kadar Air (Wc)	15,7%	15,8%	15,0%	18,8%	19,0%	19,8%	24,1%	23,6%	23,4%			
Rata-rata Kadar Air (Wc)	15,5%			19,2%			23,7%					
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3482			3658			3776					
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F)(BA)	2239	2239	2239	2415	2415	2415	2533	2533	2533			
Berat Volume Basah (γ _w)	1,658	1,658	1,658	1,788	1,788	1,788	1,876	1,876	1,876			
Berat Volume Kering (γ _d)	1,433	1,431	1,442	1,506	1,503	1,493	1,512	1,518	1,520			
Rata-rata Berat Volume Kering (γ _d)	1,435			1,501			1,517					
γ _{ZAV}	1,86	1,85	1,88	1,76	1,75	1,73	1,61	1,62	1,63			
Rata-rata γ _{ZAV}	1,87			1,75			1,62					

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 73 Data Hasil Pengujian Proctor Pada Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% (Lanjutan)

No. Percobaan	4			5			6			7		
No. Cawan	60	25	53	44	45	11	5	36	15	33	21	17
Berat Cawan (C)	14	43	14	19	14	27	43	35	50	51	34	42
Berat Cawan + Tanah Basah (D)	36,7	79,5	29,2	35,4	30,7	45,2	88,4	69,1	92,4	89,7	68,2	79,3
Berat Cawan + Tanah Kering (E)	31,9	71,6	26,0	31,7	26,8	41,0	77,0	60,5	81,7	79,4	59,3	69,6
Berat Air (D-E)	4,8	7,9	3,2	3,7	3,9	4,2	11,4	8,6	10,7	10,3	8,9	9,7
Berat Tanah Kering (W _s) (E-C)	17,9	28,6	12	12,7	12,8	14	34	25,5	31,7	28,4	25,3	27,6
Berat Tanah Basah (W _w)	22,7	36,5	15,2	16,4	16,7	18,2	45,4	34,1	42,4	38,7	34,2	37,3
Kadar Air (W _c)	26,8%	27,6%	26,7%	29,1%	30,5%	30,0%	33,5%	33,7%	33,8%	36,3%	35,2%	35,1%
Rata-rata Kadar Air (W _c)	27,0%			29,9%			33,7%			35,5%		
Berat Cetakan + Tanah Basah (B)	3805			3786			3692			3656		
Berat Tanah Basah Dalam Cetakan (F) (B-A)	2562	2562	2562	2543	2543	2543	2449	2449	2449	2413	2413	2413
Berat Volume Basah (γ _w)	1,897	1,897	1,897	1,883	1,883	1,883	1,814	1,814	1,814	1,787	1,787	1,787
Berat Volume Kering (γ _d)	1,496	1,487	1,498	1,458	1,443	1,449	1,358	1,356	1,356	1,311	1,322	1,322
Rata-rata Berat Volume Kering (γ _d)	1,494			1,450			1,357			1,319		
γ _{ZAV}	1,54	1,52	1,54	1,49	1,46	1,47	1,40	1,39	1,39	1,35	1,37	1,37
Rata-rata γ _{ZAV}	1,54			1,47			1,39			1,36		

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



Grafik 4. 24 Pemadatan Tanah SCB 15% dan Bakteri *Bacillus Sbutilis* 6%
Pemeraman 0 Hari

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

$$y = -16,807 x^2 + 8,2525x - 0,4784$$

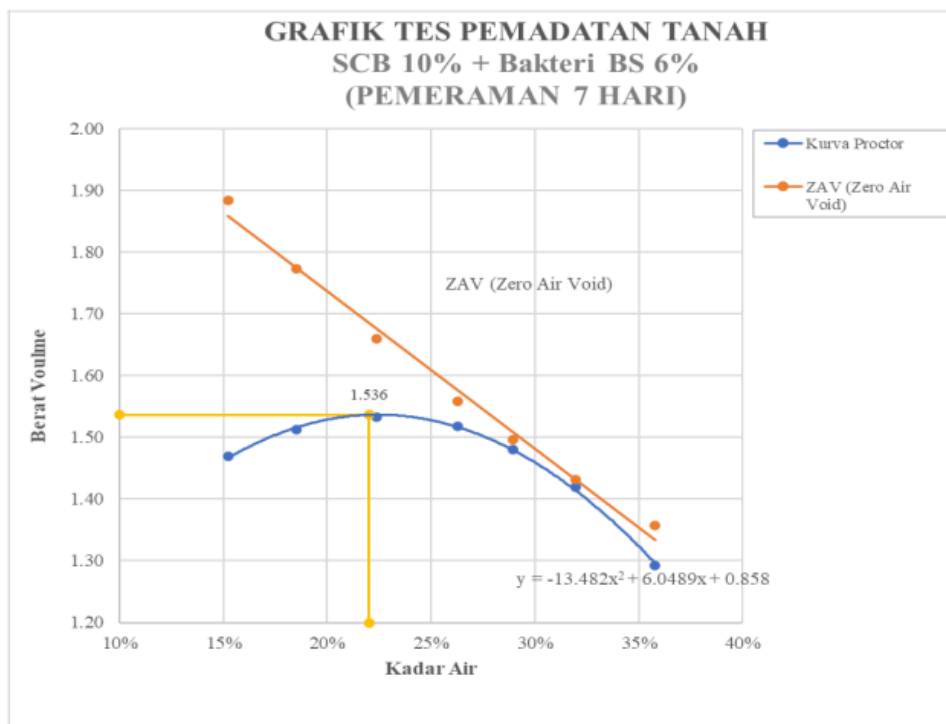
$$y = -16,807 (25)^2 + 8,2525 (25) - 0,4784$$

$$y = 1,491 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{OMC} = 25\%$$

26

Berdasarkan hasil pengujian pemadatan tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% pemeraman 0 hari, diperoleh nilai kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) sebesar 25% dan berat kering optimum sebesar 1,491 gr/cm³.



Grafik 4. 25 Pemadatan Tanah SCB 15% dan Bakteri *Bacillus Sbutilis* 6%
 Pemeraman 7 Hari

(Sumber : Data Olahan Peneliti,2026)

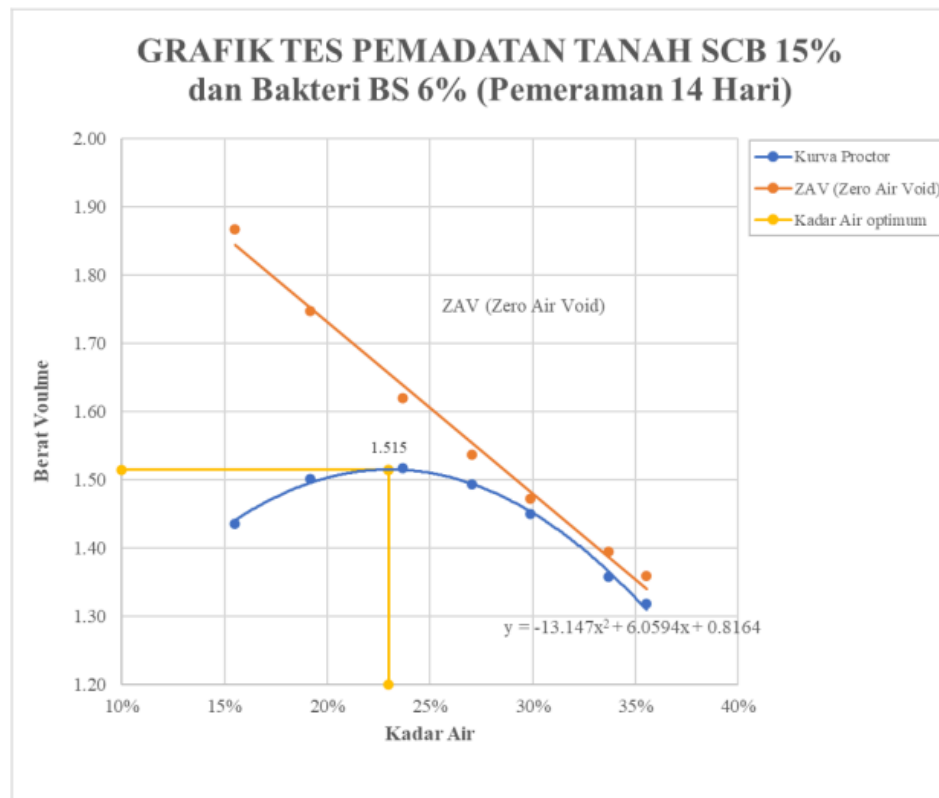
$$y = -13,482 x^2 + 6,0489x - 0,858$$

$$y = -13,482 (22)^2 + 6,0489 (22) - 0,858$$

$$y = 1,536 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{OMC} = 22\%$$

Berdasarkan hasil pengujian pemadatan tanah campuran serbuk cangkang bekicot 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan metode Proctor, diperoleh nilai *Maximum Dry Density* (MDD) sebesar 1,536 gr/cm^3 dan nilai *Optimum Moisture Content* (OMC) sebesar 22%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tanah mencapai kepadatan kering maksimum pada kondisi kadar air optimum sebesar 22%



Grafik 4. 26 Pemadatan Tanah Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri *Bacillus Sbutilis* 6% Pemeraman 14 Hari
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

$$y = -13,147 x^2 + 6,0594x - 0,8164$$

$$y = -13,147 (23)^2 + 6,0594(23) - 0,8164$$

$$y = 1,515 \text{ gr/cm}^3$$

OMC = 23%

26 Berdasarkan hasil pengujian pemadatan tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% pemeraman 14 hari, diperoleh nilai kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) sebesar 23% dan berat kering optimum sebesar 1,515 gr/cm³.

4.3.6 Pengujian *Unconfined Compressive Strength (UCS)* Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*

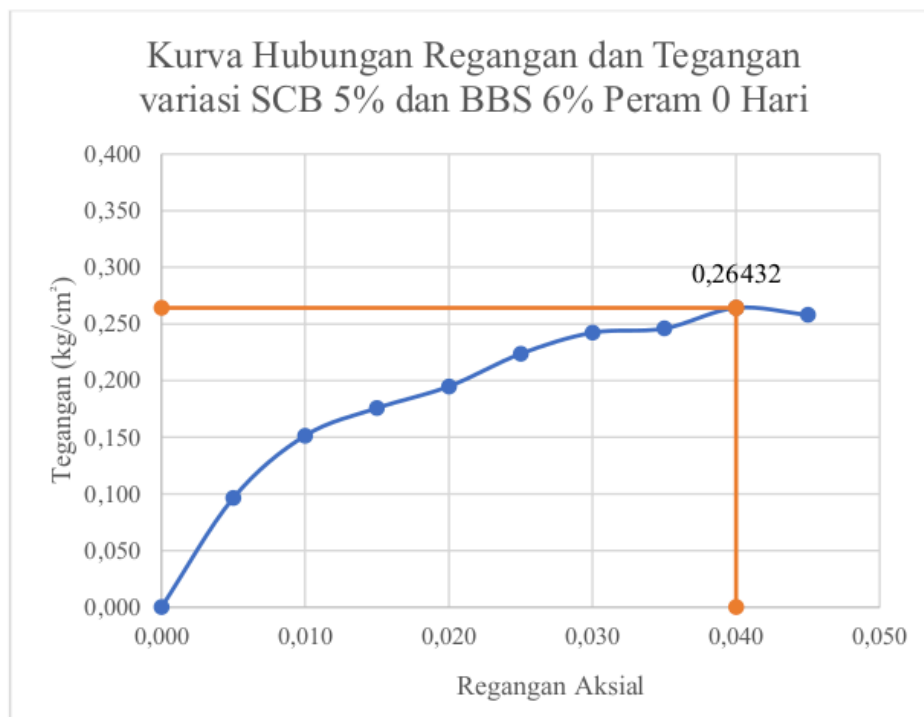
Pengujian *Unconfined Compressive Strength (UCS)* tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* dilakukan untuk mengetahui pengaruh bahan stabilisasi terhadap nilai kuat tekan bebas tanah. Pada penelitian ini digunakan 3 variasi campuran, yaitu serbuk cangkang bekicot sebesar 5%, 10%, dan 15% dengan penambahan bakteri *Bacillus subtilis* masing-masing sebesar 6% pada setiap variasi campuran. Pengujian dilakukan setelah masa pemeraman untuk mengetahui peningkatan kekuatan tanah akibat proses stabilisasi yang terjadi pada campuran tersebut.

a. Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Tabel 4. 65 Data *Unconfined Compressive Strength* (UCS) tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 0 hari

Pemeraman 0 Hari									
Berat Sampel		: 140,68 gram							
Tinggi Sampel		: 8 cm							
Diameter Sampel		: 3,86 cm							
Luas		: 11,70683 <i>cm</i> ²							
LRC		: 0,5969							
SCB 5% + Bakteri BS 6%									
Waktu	Bacaan Dial	Least Count	Besar Dial	Deformasi Tanah	Regangan Aksial	Faktor Koreksi Luas	Luas Terkoreksi	Beban Total	Tegangan
(mnt)	Deformasi	Lc=0.01 mm	(units)	Δh	$e=\Delta h/h$	1-e	$A=A_0/1-e$	$P=kolom$ 4 x LRC	σ
0,5	40	0,01	1,9	0,04	0,0050	0,995	11,7657	1,1341	0,09639
1	80	0,01	3,0	0,08	0,0100	0,990	11,8251	1,7907	0,15143
1,5	120	0,01	3,5	0,12	0,0150	0,985	11,8851	2,0892	0,17578
2	160	0,01	3,9	0,16	0,0200	0,980	11,9457	2,3279	0,19487
2,5	200	0,01	4,5	0,2	0,0250	0,975	12,0070	2,6861	0,22371
3	240	0,01	4,9	0,24	0,0300	0,970	12,0689	2,9248	0,24234
3,5	280	0,01	5,0	0,28	0,0350	0,965	12,1314	2,9845	0,24601
4	320	0,01	5,4	0,32	0,0400	0,960	12,1946	3,2233	0,26432
4,5	360	0,01	5,3	0,36	0,0450	0,955	12,2585	3,1636	0,25807

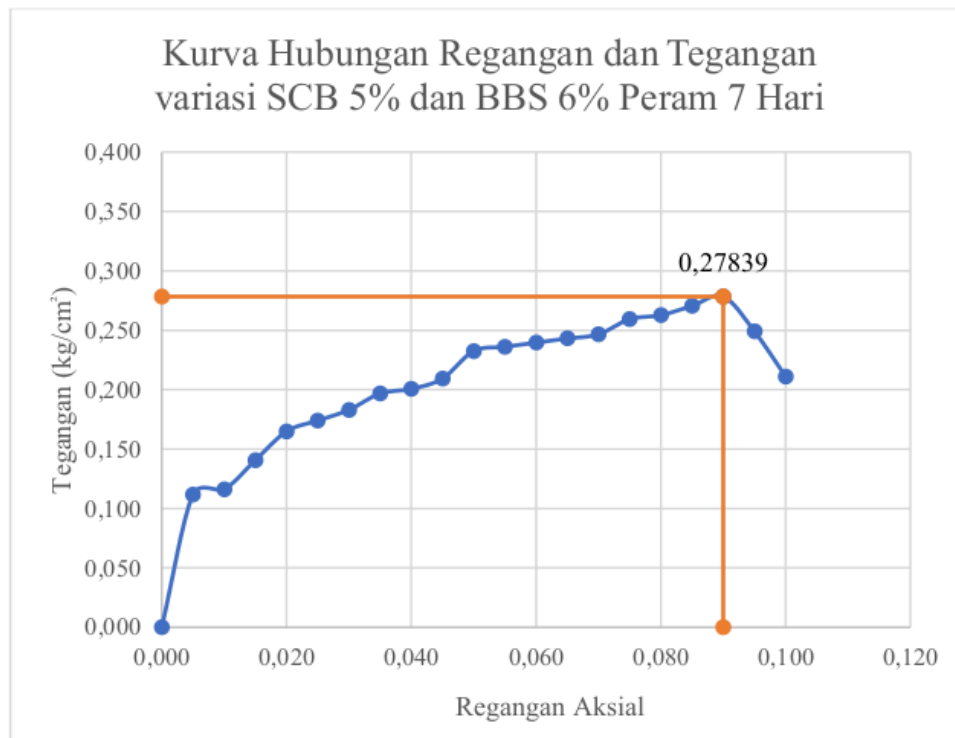
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



Grafik 4. 27 Hubungan Tegangan dan Regangan Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 0 hari
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan grafik hubungan antara nilai tegangan dan regangan pada campuran tanah dengan serbuk cangkang bekicot (SCB) 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% pada pemeraman 0 hari, nilai kuat tekan bebas (q_u) mengalami peningkatan seiring bertambahnya deformasi hingga mencapai nilai maksimum sebesar 0,26432 kg/cm². Setelah mencapai nilai puncak, grafik cenderung mengalami penurunan, yang menunjukkan bahwa tanah mulai kehilangan kemampuan menahan beban akibat terjadinya keruntuhan pada sampel tanah.

(Sumber: Data Olahan Peneliti,



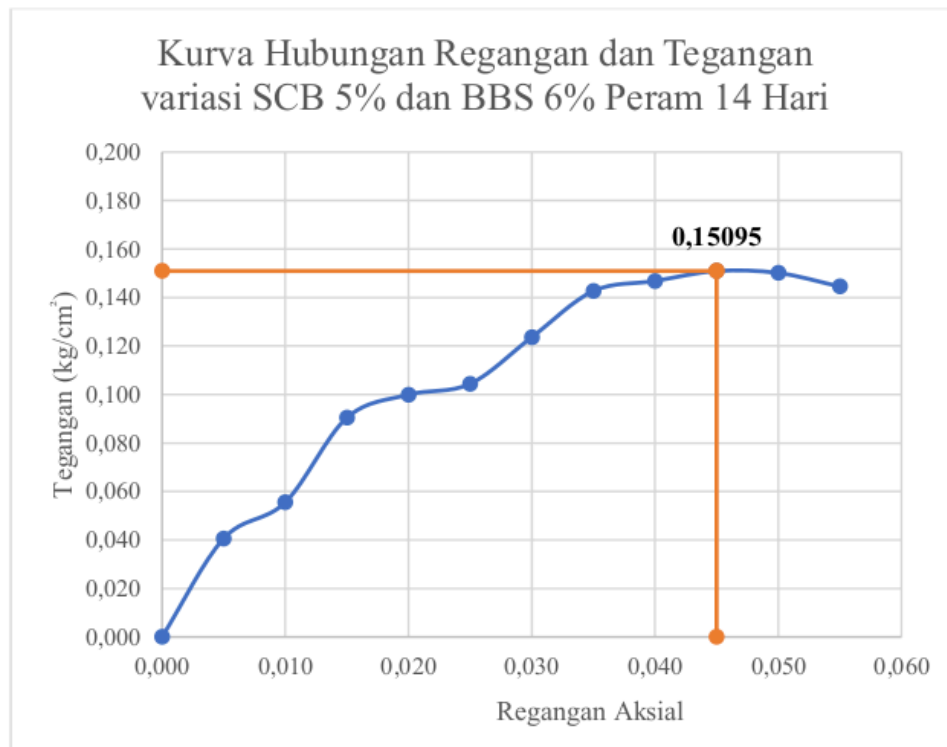
Grafik 4. 28 Hubungan Tegangan dan Regangan Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 7 hari
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian *Unconfined Compressive Strength* (UCS) pada campuran serbuk cangkang bekicot 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6%, diperoleh hubungan antara tegangan dan regangan, nilai maksimum sebesar 0,27839 kg/cm². Setelah mencapai nilai maksimum, tegangan tekan mengalami penurunan yang menunjukkan bahwa benda uji mulai mengalami keruntuhan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa campuran serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* mampu meningkatkan kuat tekan bebas tanah sehingga tanah menjadi lebih padat dan stabil.

Tabel 4. 67 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 14 hari

Pemeraman 14 Hari									
Berat Sampel		:	gram						
Tinggi Sampel		:	8 cm						
Diameter Sampel		:	3,86 cm						
Luas		:	11,70683 cm ²						
LRC		:	0,5969						
SCB 5% + Bakteri BS 6%									
Waktu	Bacaan Dial Deformasi	Least Count	Besar Dial	Deformasi Tanah	Regangan Aksial	Faktor Koreksi Luas	Luas Terkoreksi	Beban Total	Tegangan
(mnt)		Lc=0.01 mm	(units)	Δh	ε=Δh/h	1-ε	A=A ₀ /1-ε	P=kolom 4 x LRC	σ
0,5	40	0.01	0,8	0,04	0,0050	0,995	11,7657	0,4775	0,04059
1	80	0.01	1,1	0,08	0,0100	0,990	11,8251	0,6566	0,05553
1,5	120	0.01	1,8	0,12	0,0150	0,985	11,8851	1,0744	0,09040
2	160	0.01	2,0	0,16	0,0200	0,980	11,9457	1,1938	0,09994
2,5	200	0.01	2,1	0,2	0,0250	0,975	12,0070	1,2535	0,10440
3	240	0.01	2,5	0,24	0,0300	0,970	12,0689	1,4923	0,12364
3,5	280	0.01	2,9	0,28	0,0350	0,965	12,1314	1,7310	0,14269
4	320	0.01	3,0	0,32	0,0400	0,960	12,1946	1,7907	0,14684
4,5	360	0.01	3,1	0,36	0,0450	0,955	12,2585	1,8504	0,15095
5	400	0.01	3,1	0,4	0,0500	0,950	12,3230	1,8504	0,15016
5,5	440	0.01	3,0	0,44	0,0550	0,945	12,3882	1,7907	0,14455

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



Grafik 4. 29 Hubungan Tegangan dan Regangan Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 5% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 14 hari
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

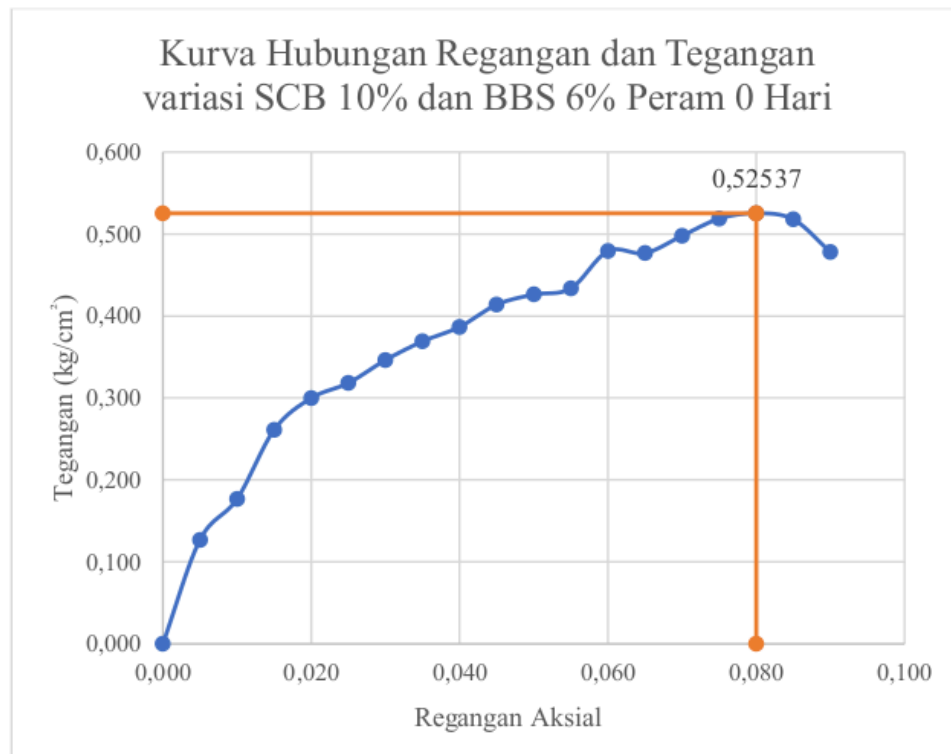
Berdasarkan grafik hubungan tegangan dan regangan pada campuran tanah dengan serbuk cangkang bekicot (SCB) 5% serta bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan masa pemeraman 14 hari, nilai tegangan tekan menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya deformasi. Nilai maksimum yang diperoleh sebesar 0,15095 kg/cm². Setelah mencapai kondisi puncak, kurva mulai mengalami sedikit penurunan yang mengindikasikan sampel tanah telah melewati kondisi optimum dan mulai mengalami kerusakan struktur akibat pembebanan.

167
b. Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Tabel 4. 68 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 0 hari

Pemeraman 14 Hari									
Berat Sampel		: gram							
Tinggi Sampel		: 8 cm							
Diameter Sampel		: 3,86 cm							
Luas		: 11,70683 cm^2							
LRC		: 0,5969							
SCB 5% + Bakteri BS 6%									
Waktu	Bacaan Dial	Least Count	Besar Dial	Deformasi Tanah	Regangan Aksial	Faktor Koreksi Luas	Luas Terkoreksi	Beban Total	Tegangan
(mnt)	Deformasi	Lc=0.01 mm	(units)	Δh	$\epsilon=\Delta h/h$	1- ϵ	$A'=A_0/1-\epsilon$	$P=k_{kolom}$ 4 x LRC	σ
0,5	40	0.01	0,8	0,04	0,0050	0,995	11,7657	0,4775	0,04059
1	80	0.01	1,1	0,08	0,0100	0,990	11,8251	0,6566	0,05553
1,5	120	0.01	1,8	0,12	0,0150	0,985	11,8851	1,0744	0,09040
2	160	0.01	2,0	0,16	0,0200	0,980	11,9457	1,1938	0,09994
2,5	200	0.01	2,1	0,2	0,0250	0,975	12,0070	1,2535	0,10440
3	240	0.01	2,5	0,24	0,0300	0,970	12,0689	1,4923	0,12364
3,5	280	0.01	2,9	0,28	0,0350	0,965	12,1314	1,7310	0,14269
4	320	0.01	3,0	0,32	0,0400	0,960	12,1946	1,7907	0,14684
4,5	360	0.01	3,1	0,36	0,0450	0,955	12,2585	1,8504	0,15095
5	400	0.01	3,1	0,4	0,0500	0,950	12,3230	1,8504	0,15016
5,5	440	0.01	3,0	0,44	0,0550	0,945	12,3882	1,7907	0,14455

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



Grafik 4. 30 Hubungan Tegangan dan Regangan Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 0 hari

1 Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan grafik hubungan antara tegangan dan regangan pada campuran tanah dengan serbuk cangkang bekicot (SCB) 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% pada pemeraman 0 hari, nilai tegangan tekan mengalami peningkatan secara bertahap seiring bertambahnya deformasi. Nilai maksimum yang diperoleh mencapai 0,52537 kg/cm². Setelah mencapai titik puncak, kurva menunjukkan penurunan nilai q yang menandakan sampel tanah mulai mengalami penurunan kekuatan akibat bertambahnya pembebanan dan terjadinya keruntuhan struktur tanah.

Tabel 4. 69 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 7 hari

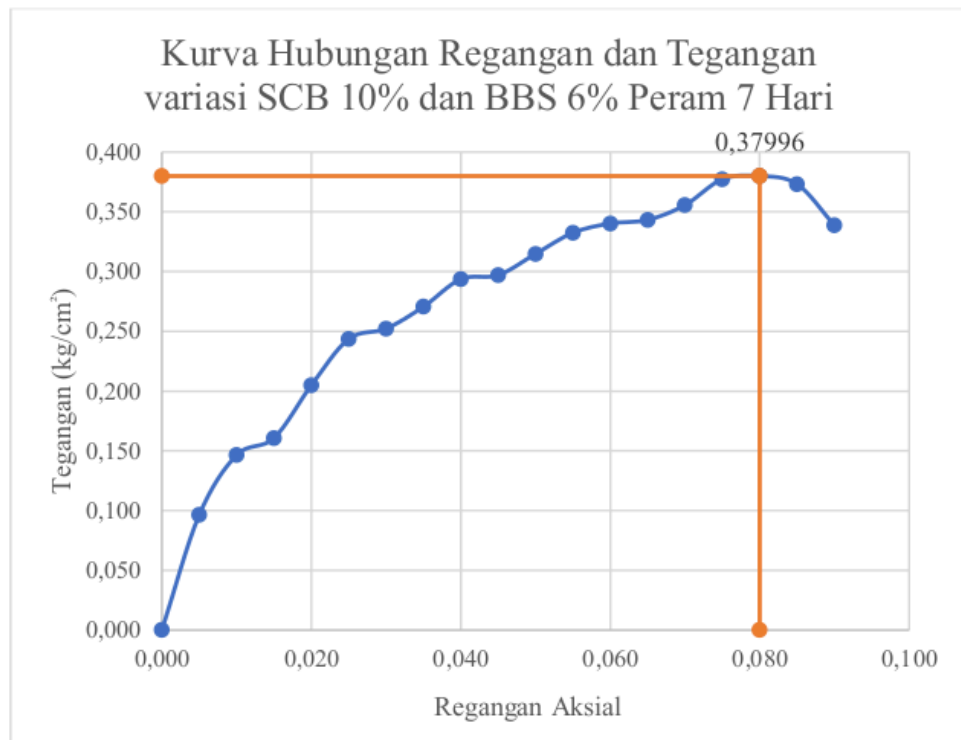
Pemeraman 7 Hari									
Berat Sampel		: 138,81 gram							
Tinggi Sampel		: 8 cm							
Diameter Sampel		: 3,86 cm							
Luas		: 11,70683 cm ²							
LRC		: 0,5969							
SCB 10% dan Bakteri BS 6%									
Waktu	Bacaan Dial	Least Count	Besar Dial	Deformas i Tanah	Regangan Aksial	Faktor Koreksi Luas	Luas Terkoreks i	Beban Total	Tegangan
(mnt)	Deformasi	Lc=0.01 mm	(units)	Δh	$\epsilon = \Delta h/h$	1- ϵ	$A' = A_0 / 1 - \epsilon$	P	σ
0,5	40	0,01	1,9	0,04	0,0050	0,995	11,7657	1,1341	0,09639
1	80	0,01	2,9	0,08	0,0100	0,990	11,8251	1,7310	0,14638
1,5	120	0,01	3,2	0,12	0,0150	0,985	11,8851	1,9101	0,16071
2	160	0,01	4,1	0,16	0,0200	0,980	11,9457	2,4473	0,20487
2,5	200	0,01	4,9	0,2	0,0250	0,975	12,0070	2,9248	0,24359
3	240	0,01	5,1	0,24	0,0300	0,970	12,0689	3,0442	0,25223
3,5	280	0,01	5,5	0,28	0,0350	0,965	12,1314	3,2830	0,27062
4	320	0,01	6,0	0,32	0,0400	0,960	12,1946	3,5814	0,29369
4,5	360	0,01	6,1	0,36	0,0450	0,955	12,2585	3,6411	0,29703

(Sumber: Data Olahan Penelitian, 2026)

Tabel 4. 78 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 7 hari (Lanjutan)

Pemeraman 7 Hari									
Berat Sampel		: 138,81 gram							
Tinggi Sampel		: 8 cm							
Diameter Sampel		: 3,86 cm							
Luas		: 11,70683 cm ²							
LRC		: 0,5969							
SCB 10% dan Bakteri BS 6%									
Waktu	Bacaan Dial Deformasi	Least Count	Besar Dial	Deformas i Tanah	Regangan Aksial	Faktor Koreksi Luas	Luas Terkoreks i	Beban Total	Tegangan
(mnt)		Lc=0.01 mm	(units)	Δh	$\epsilon=\Delta h/h$	1- ϵ	$A'=A_0/1-\epsilon$	P	σ
0,5	40	0,01	1,9	0,04	0,0050	0,995	11,7657	1,1341	0,09639
1	80	0,01	2,9	0,08	0,0100	0,990	11,8251	1,7310	0,14638
1,5	120	0,01	3,2	0,12	0,0150	0,985	11,8851	1,9101	0,16071
2	160	0,01	4,1	0,16	0,0200	0,980	11,9457	2,4473	0,20487
2,5	200	0,01	4,9	0,2	0,0250	0,975	12,0070	2,9248	0,24359
3	240	0,01	5,1	0,24	0,0300	0,970	12,0689	3,0442	0,25223
3,5	280	0,01	5,5	0,28	0,0350	0,965	12,1314	3,2830	0,27062
4	320	0,01	6,0	0,32	0,0400	0,960	12,1946	3,5814	0,29369
4,5	360	0,01	6,1	0,36	0,0450	0,955	12,2585	3,6411	0,29703

(Sumber: Data Olahan Penelitian, 2026)



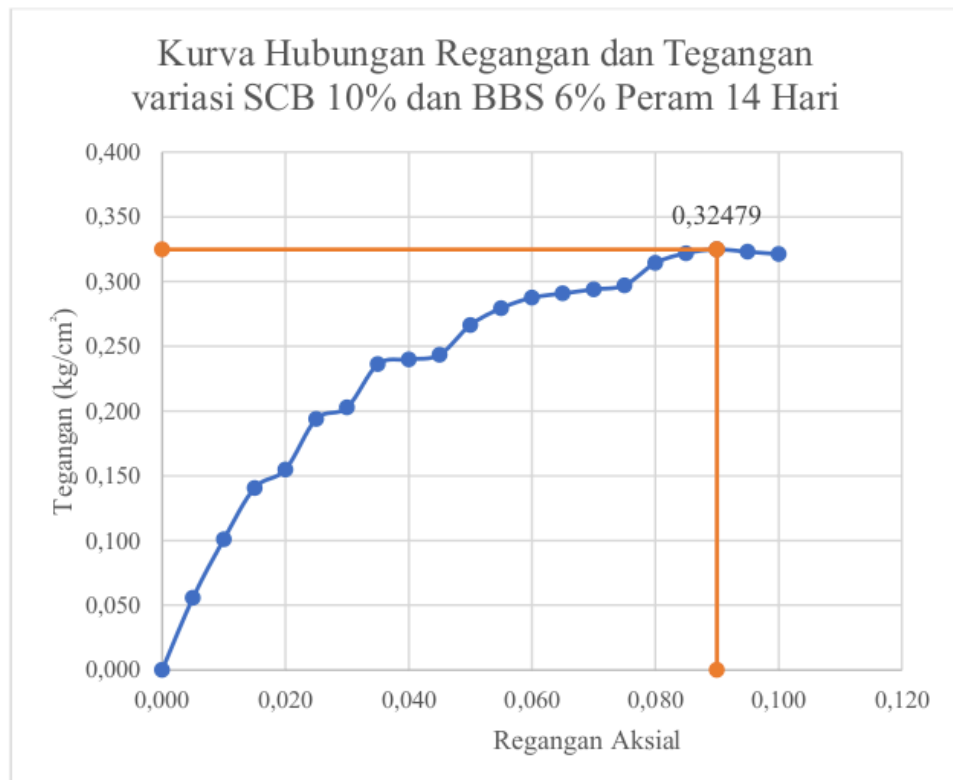
Grafik 4. 31 Hubungan Tegangan dan Regangan Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% Peram 14 Hari
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian *Unconfined Compressive Strength* (UCS) pada campuran serbuk cangkang bekicot 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6%, diperoleh hubungan antara tegangan dan regangan. Nilai maksimum sebesar 0,37996 kg/cm². Setelah mencapai nilai maksimum, tegangan tekan mengalami penurunan yang menunjukkan bahwa benda uji mulai mengalami keruntuhan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa campuran serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* mampu meningkatkan kuat tekan bebas tanah sehingga tanah menjadi lebih padat dan stabil.

Tabel 4. 70 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 14 hari

Pemeraman 14 Hari										
Berat Sampel : 137.47		Diameter Sampel : 3.86 cm				LCR : 0.5969				
Tinggi Sampel : 8 cm		Luas : 11.7068 cm ²								
SCB 10% dan Bakteri BS 6%										
Waktu (mnt)	Bacaan Dial	Least Count Lc=0.01 mm	Besar Dial (units)	Deformasi Tanah Δh	Regangan Aksial ε=Δh/h	Faktor Koreksi Luas 1-ε	Luas Terkoreksi A'=A0/1-ε	Beban Total P	Tegangan	
										σ
0,5	40	0,01	1,1	0,04	0,0050	0,995	11,7657	0,6566		0,05581
1	80	0,01	2,0	0,08	0,0100	0,990	11,8251	1,1938		0,10095
1,5	120	0,01	2,8	0,12	0,0150	0,985	11,8851	1,6713		0,14062
2	160	0,01	3,1	0,16	0,0200	0,980	11,9457	1,8504		0,15490
2,5	200	0,01	3,9	0,2	0,0250	0,975	12,0070	2,3279		0,19388
3	240	0,01	4,1	0,24	0,0300	0,970	12,0689	2,4473		0,20278
3,5	280	0,01	4,8	0,28	0,0350	0,965	12,1314	2,8651		0,23617
4	320	0,01	4,9	0,32	0,0400	0,960	12,1946	2,9248		0,23984
4,5	360	0,01	5,0	0,36	0,0450	0,955	12,2585	2,9845		0,24346
5	400	0,01	5,5	0,4	0,0500	0,950	12,3230	3,2830		0,26641
5,5	440	0,01	5,8	0,44	0,0550	0,945	12,3882	3,4620		0,27946
6	480	0,01	6,0	0,48	0,0600	0,940	12,4541	3,5814		0,28757
6,5	520	0,01	6,1	0,52	0,0650	0,935	12,5207	3,6411		0,29081
7	560	0,01	6,2	0,56	0,0700	0,930	12,5880	3,7008		0,29399
7,5	600	0,01	6,3	0,6	0,0750	0,925	12,6560	3,7605		0,29713
8	640	0,01	6,7	0,64	0,0800	0,920	12,7248	3,9992		0,31429
8,5	680	0,01	6,9	0,68	0,0850	0,915	12,7943	4,1186		0,32191
9	720	0,01	7,0	0,72	0,0900	0,910	12,8646	4,1783		0,32479
9,5	760	0,01	7,0	0,76	0,0950	0,905	12,9357	4,1783		0,32300
10	800	0,01	7,0	0,8	0,1000	0,900	13,0076	4,1783		0,32122

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



Grafik 4. 32 Hubungan Tegangan dan Regangan Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 10% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 14 hari
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

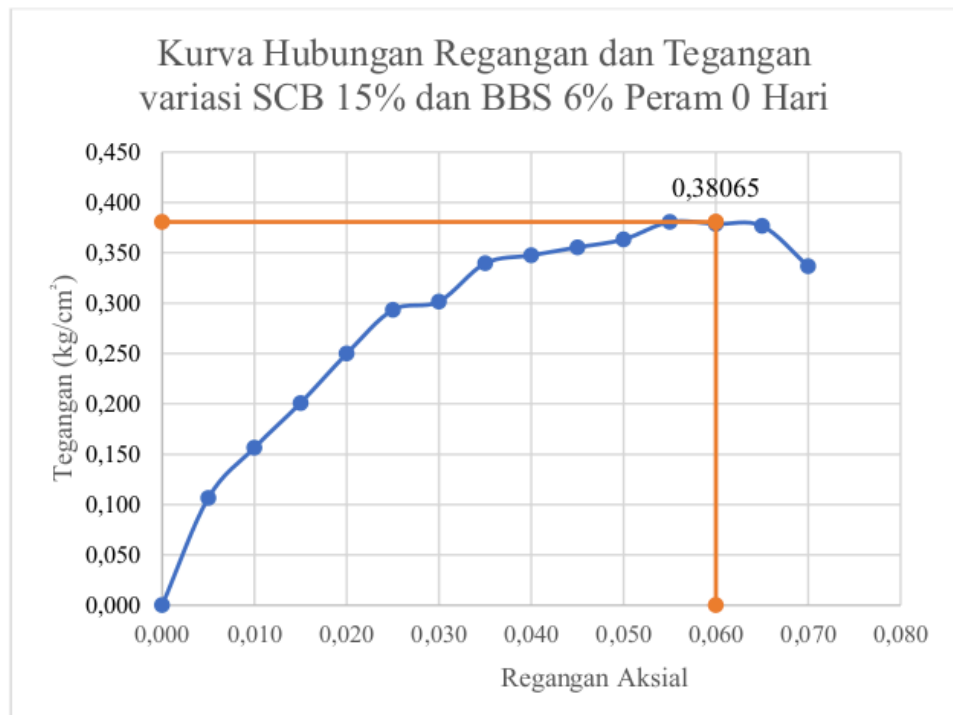
Berdasarkan ¹ grafik hubungan antara tegangan dan regangan ¹⁵ pada campuran tanah dengan serbuk cangkang bekicot (SCB) 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan masa pemeraman 14 hari, nilai tegangan tekan mengalami kenaikan secara bertahap seiring bertambahnya deformasi. Nilai maksimum yang diperoleh sebesar 0,32479 kg/cm². Setelah mencapai kondisi puncak, kurva cenderung stabil dan sedikit menurun, yang menunjukkan bahwa sampel tanah mulai mengalami penurunan kemampuan dalam menahan beban akibat proses keruntuhan struktur tanah.

c. Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6%

Tabel 4. 71 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 0 hari

Pemeraman 0 Hari									
Berat Sampel : 138.81		Diameter Sampel : 3.86 cm				LCR : 0,5969			
Tinggi Sampel : 8 cm		Luas : 11,7068 cm ²							
SCB 15% dan Bakteri BS 6%									
Waktu	Bacaan Dial Deformasi	Least Count	Besar Dial	Deformasi Tanah	Regangan Aksial	Faktor Koreksi Luas	Luas Terkoreksi	Beban Total	Tegangan
(mnt)		L _c =0.01 mm	(units)	Δh	ε=Δh/h	1-ε	A'=A ₀ /1-ε	P=kolom 4 x LRC	σ
0,5	40	0,01	2,1	0,04	0,0050	0,995	11,7657	1,2535	0,10654
1	80	0,01	3,1	0,08	0,0100	0,990	11,8251	1,8504	0,15648
1,5	120	0,01	4,0	0,12	0,0150	0,985	11,8851	2,3876	0,20089
2	160	0,01	5,0	0,16	0,0200	0,980	11,9457	2,9845	0,24984
2,5	200	0,01	5,9	0,2	0,0250	0,975	12,0070	3,5217	0,29330
3	240	0,01	6,1	0,24	0,0300	0,970	12,0689	3,6411	0,30169
3,5	280	0,01	6,9	0,28	0,0350	0,965	12,1314	4,1186	0,33950
4	320	0,01	7,1	0,32	0,0400	0,960	12,1946	4,2380	0,34753
4,5	360	0,01	7,3	0,36	0,0450	0,955	12,2585	4,3574	0,35546
5	400	0,01	7,5	0,4	0,0500	0,950	12,3230	4,4768	0,36328
5,5	440	0,01	7,9	0,44	0,0550	0,945	12,3882	4,7155	0,38065
6	480	0,01	7,9	0,48	0,0600	0,940	12,4541	4,7155	0,37863
6,5	520	0,01	7,9	0,52	0,0650	0,935	12,5207	4,7155	0,37662
7	560	0,01	7,1	0,56	0,0700	0,930	12,5880	4,2380	0,33667

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



Grafik 4. 33 Hubungan Tegangan dan Regangan Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 0 hari

¹ (Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan grafik hubungan antara tegangan dan regangan pada campuran tanah dengan serbuk cangkang bekicot (SCB) 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% pada pemeraman 0 hari, nilai tegangan tekan menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya deformasi. Nilai maksimum tercapai sebesar 0,38065 kg/cm². Setelah melewati titik puncak, nilai q mengalami penurunan yang menunjukkan bahwa sampel tanah mulai kehilangan kestabilan dan mengalami kerusakan struktur akibat pembebanan yang terus bertambah.

Tabel 4. 72 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 7 hari

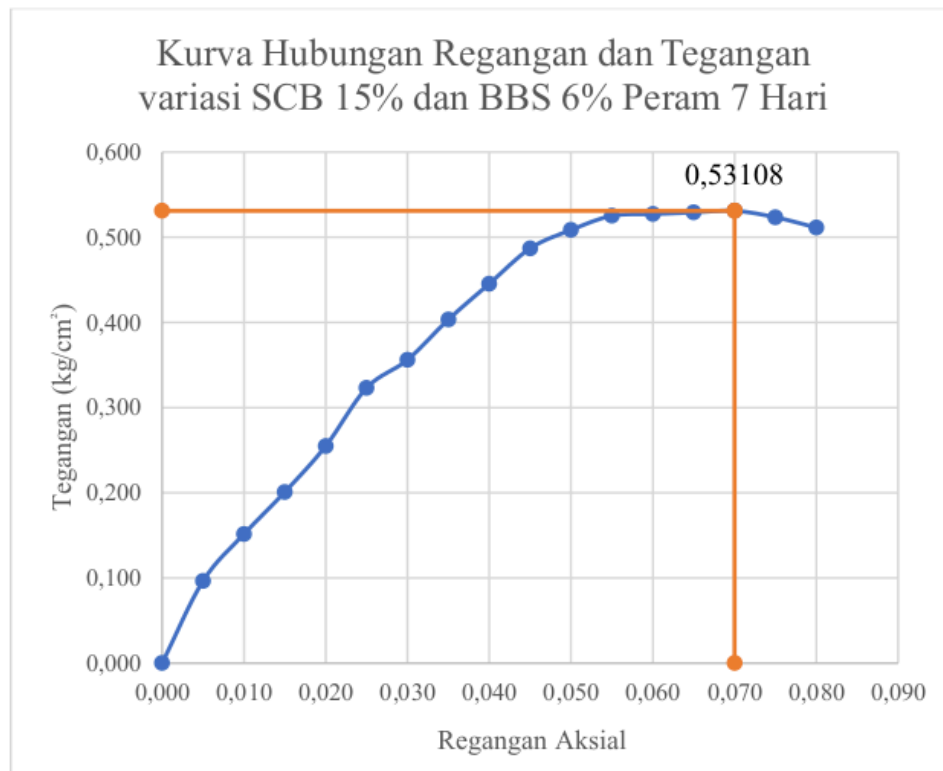
Pemeraman 7 Hari									
SCB 15% dan Bakteri BS 6%									
Berat Sampel	: 137,63 gram								
Tinggi Sampel	: 8 cm								
Diameter Sampel	: 3,86 cm								
Luas	: 11,70683 cm ²								
LRC	: 0,5969								
Waktu	Bacaan Dial Deformasi	Least Count	Besar Dial	Deformasi Tanah	Regangan Aksial	Faktor Koreksi Luas	Luas Terkoreksi	Beban Total	Tegangan
(mnt)		Lc=0.01 mm	(units)	Δh	$\epsilon = \Delta h/h$	1- ϵ	$A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	P	σ
0,5	40	0,01	1,9	0,04	0,0050	0,995	11,7657	1,1341	0,09639
1	80	0,01	3,0	0,08	0,0100	0,990	11,8251	1,7907	0,15143
1,5	120	0,01	4,0	0,12	0,0150	0,985	11,8851	2,3876	0,20089
2	160	0,01	5,1	0,16	0,0200	0,980	11,9457	3,0442	0,25483
2,5	200	0,01	6,5	0,2	0,0250	0,975	12,0070	3,8799	0,32313
3	240	0,01	7,2	0,24	0,0300	0,970	12,0689	4,2977	0,35610
3,5	280	0,01	8,2	0,28	0,0350	0,965	12,1314	4,8946	0,40346
4	320	0,01	9,1	0,32	0,0400	0,960	12,1946	5,4318	0,44543
4,5	360	0,01	10,0	0,36	0,0450	0,955	12,2585	5,9690	0,48693

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 81 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 7 hari (Lanjutan)

Waktu (mnt)	Bacaan Dial Deformasi	Least Count Lc=0.01 mm	Besar Dial (units)	Deformasi Tanah Δh	Regangan Aksial ε=Δh/h	Faktor Koreksi Luas 1-ε	Luas Terkoreksi A=A0/1-ε	Beban Total P	Tegangan σ
5	400	0,01	10,5	0,4	0,0500	0,950	12,3230	6,2675	0,50860
5,5	440	0,01	10,9	0,44	0,0550	0,945	12,3882	6,5062	0,52520
6	480	0,01	11,0	0,48	0,0600	0,940	12,4541	6,5659	0,52721
6,5	520	0,01	11,1	0,52	0,0650	0,935	12,5207	6,6256	0,52917
7	560	0,01	11,2	0,56	0,0700	0,930	12,5880	6,6853	0,53108
7,5	600	0,01	11,1	0,6	0,0750	0,925	12,6560	6,6256	0,52351
8	640	0,01	10,9	0,64	0,0800	0,920	12,7248	6,5062	0,51130

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



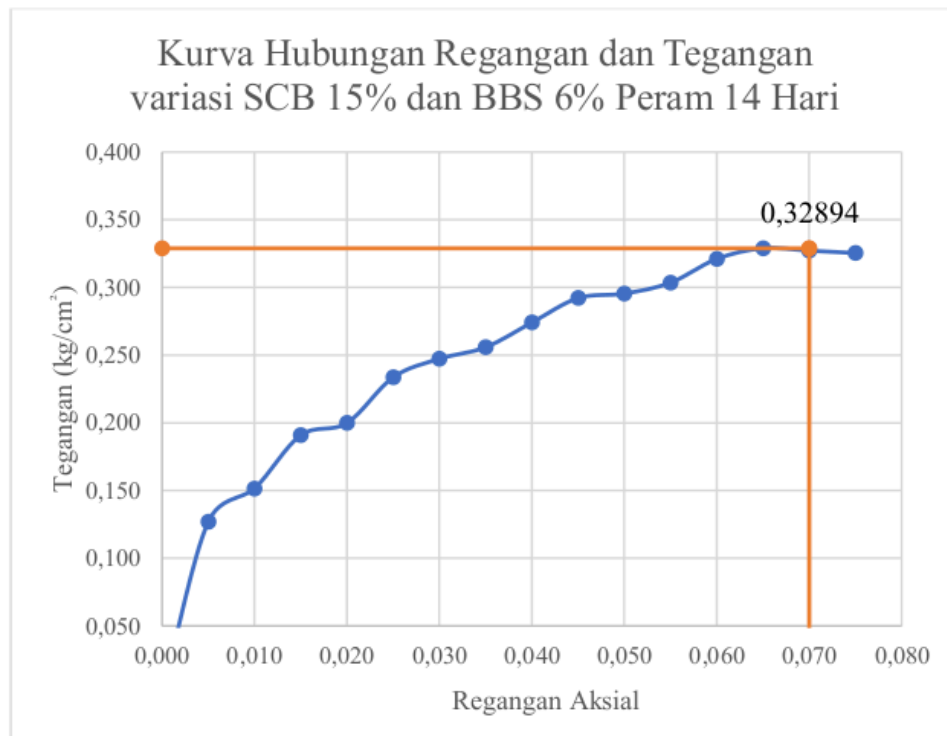
Grafik 4. 34 Hubungan Tegangan dan Regangan Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 7 hari
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian *Unconfined Compressive Strength* (UCS) pada campuran serbuk cangkang bekicot 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6%, diperoleh hubungan antara tegangan dan regangan. Nilai maksimum sebesar 0,53108 kg/cm². Setelah mencapai nilai maksimum, tegangan tekan mengalami penurunan yang menunjukkan bahwa benda uji mulai mengalami keruntuhan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa campuran serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* mampu meningkatkan kuat tekan bebas tanah sehingga tanah menjadi lebih padat dan stabil.

Tabel 4. 73 Data Pengujian (UCS) Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 14 hari

Pemeraman 14 Hari									
Berat Sampel : 137.63		Diameter Sampel : 3.86 cm		LCR : 0.5969					
Tinggi Sampel : 8 cm		Luas : 11,7068 cm ²							
SCB 15% dan Bakteri BS 6%									
Waktu	Bacaan Dial Deformasi	Least Count	Besar Dial	Deformasi Tanah	Regangan Aksial	Faktor Koreksi Luas	Luas Terkoreksi	Beban Total	Tegangan
(mnt)		Lc=0.01 mm	(units)	13 Δh	ε=Δh/h	1-ε	A=A0/1-ε	P	σ
0,5	40	0,01	2,5	0,04	0,0050	0,995	11,7657	1,4923	0,12683
1	80	0,01	3,0	0,08	0,0100	0,990	11,8251	1,7907	0,15143
1,5	120	0,01	3,8	0,12	0,0150	0,985	11,8851	2,2682	0,19085
2	160	0,01	4,0	0,16	0,0200	0,980	11,9457	2,3876	0,19987
2,5	200	0,01	4,7	0,2	0,0250	0,975	12,0070	2,8054	0,23365
3	240	0,01	5,0	0,24	0,0300	0,970	12,0689	2,9845	0,24729
3,5	280	0,01	5,2	0,28	0,0350	0,965	12,1314	3,1039	0,25585
4	320	0,01	5,6	0,32	0,0400	0,960	12,1946	3,3426	0,27411
4,5	360	0,01	6,0	0,36	0,0450	0,955	12,2585	3,5814	0,29216
5	400	0,01	6,1	0,4	0,0500	0,950	12,3230	3,6411	0,29547
5,5	440	0,01	6,3	0,44	0,0550	0,945	12,3882	3,7605	0,30355
6	480	0,01	6,7	0,48	0,0600	0,940	12,4541	3,9992	0,32112
6,5	520	0,01	6,9	0,52	0,0650	0,935	12,5207	4,1186	0,32894
7	560	0,01	6,9	0,56	0,0700	0,930	12,5880	4,1186	0,32719
7,5	600	0,01	6,9	0,6	0,0750	0,925	12,6560	4,1186	0,32543

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)



Grafik 4. 35 Hubungan Tegangan dan Regangan Tanah Variasi Serbuk Cangkang Bekicot 15% dengan Bakteri *Bacillus subtilis* 6% peram 14 hari
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan grafik hubungan antara tegangan dan regangan pada campuran tanah dengan serbuk cangkang bekicot (SCB) 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan masa pemeraman 14 hari, nilai tegangan tekan meningkat secara bertahap seiring bertambahnya deformasi. Nilai maksimum yang dicapai sebesar 0,32894 kg/cm². Setelah mencapai nilai puncak, kurva cenderung stabil dan sedikit menurun, yang menunjukkan bahwa kemampuan tanah dalam menahan beban mulai berkurang akibat terjadinya deformasi dan kerusakan struktur pada sampel tanah.

4.3.7 Rekapitulasi Hasil Pengujian Tanah Asli

Berdasarkan pengujian fisis dan mekanis tanah yang berlokasi di Desa Ploso Kecamatan Wonoayu Kabupaten Sidoarjo menggunakan 2 metode pengambilan tanah yaitu secara *disturb* dan *undisturb* didapatkan rekapitulasi hasil pada tabel berikut.

Tabel 4. 74 Rekapitulasi Hasil Pengujian Tanah Asli

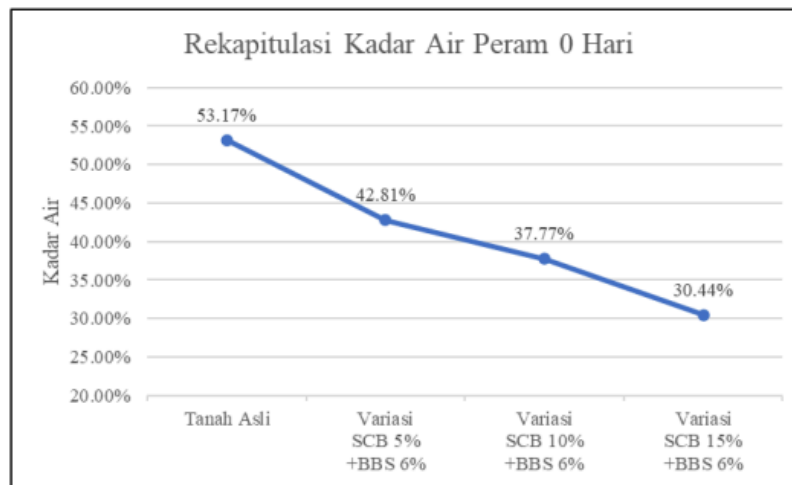
No.	Pengujian	Undisturb	Disturb
1.	Kadar Air (Wc)	41,28 %	53,17%
2.	Volumetry (γ_d)	1,232 t/m ³	1,055 t/m ³
3.	Gravimetry (Gs)	2,654	2,597
4.	Liquid limit (Wc)	75 %	76 %
5.	Plastic limit (Wc)	44,3 %	42,7 %
6.	Plasticity index (Wc)	30,75 %	33,33 %
7.	Shrinkage limit (Wc)	3,03%	2,99%
8.	Analisa Saringan (Lolos Saringan No.200)	77%	-
9.	Hidrometer	0.0013 – 0.0566 mm	-
10.	Proctor	(γ_d max)	1,447 gr/cm ³
		Kadar Air Optimum (W _{opt})	27%
11.	UCS	Kuat Tekan Bebas (q _u)	0.29981 kg/cm ²

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan tabel 4.33 klasifikasi USCS dapat disimpulkan bahwa tanah di Desa Ploso Kecamatan Wonoayu Kabupaten Sidoarjo tergolong jenis OH yang merupakan tanah lempung organik dengan palstisitas tinggi dan kemampuan kembang susut yang tinggi (Fredlund (1993) dan Mitchel (1976)).

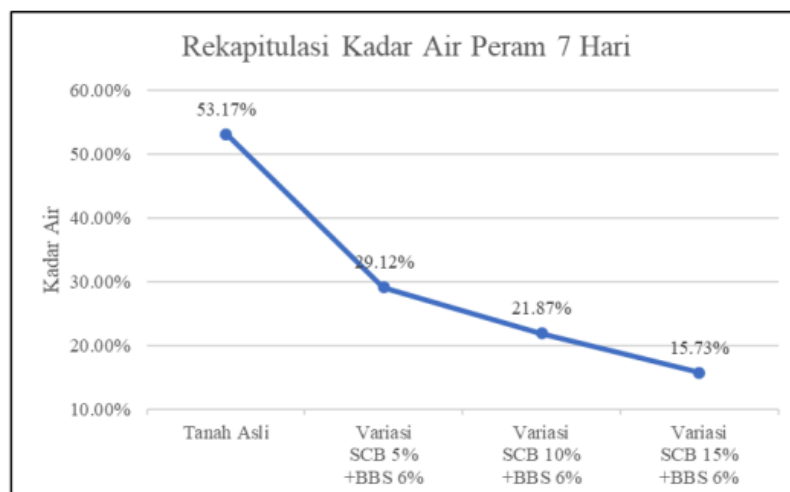
4.3.8 Grafik Rekapitulasi Pengujian Kadar Air Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*

Grafik rekapitulasi pengujian kadar air tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* menunjukkan perubahan nilai kadar air pada setiap variasi campuran yang digunakan. Hasil rekapitulasi kadar air tanah pada masing-masing variasi dapat dilihat pada grafik berikut.



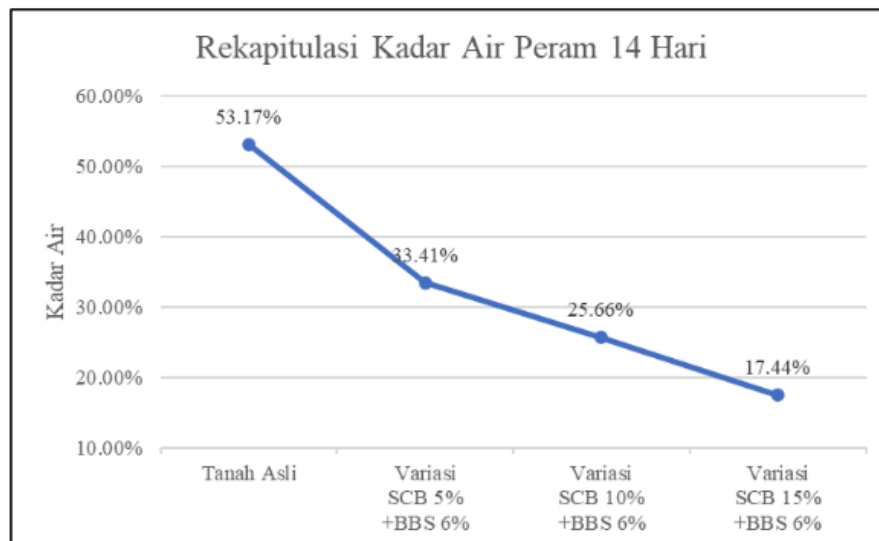
Grafik 4. 36 Rekapitulasi Pengujian Kadar Air Campuran SCB dan Bakteri *Bacillus subtilis* Pemeraman 0 Hari
(Sumber : Data Olahan Peneliti,2026)

Berdasarkan grafik rekapitulasi kadar air peram 0 hari, penambahan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) mampu menurunkan kadar air tanah. Variasi SCB 5% + BBS 6% menurunkan kadar air sebesar 10,36%, variasi SCB 10% + BBS 6% menurunkan sebesar 15,40%, dan variasi SCB 15% + BBS 6% menurunkan sebesar 22,73% dari kondisi tanah asli.



Grafik 4. 37 Rekapitulasi Pengujian Kadar Air Campuran SCB dan Bakteri *Bacillus subtilis* Pemeraman 7 Hari
(Sumber : Data Olahan Peneliti,2026)

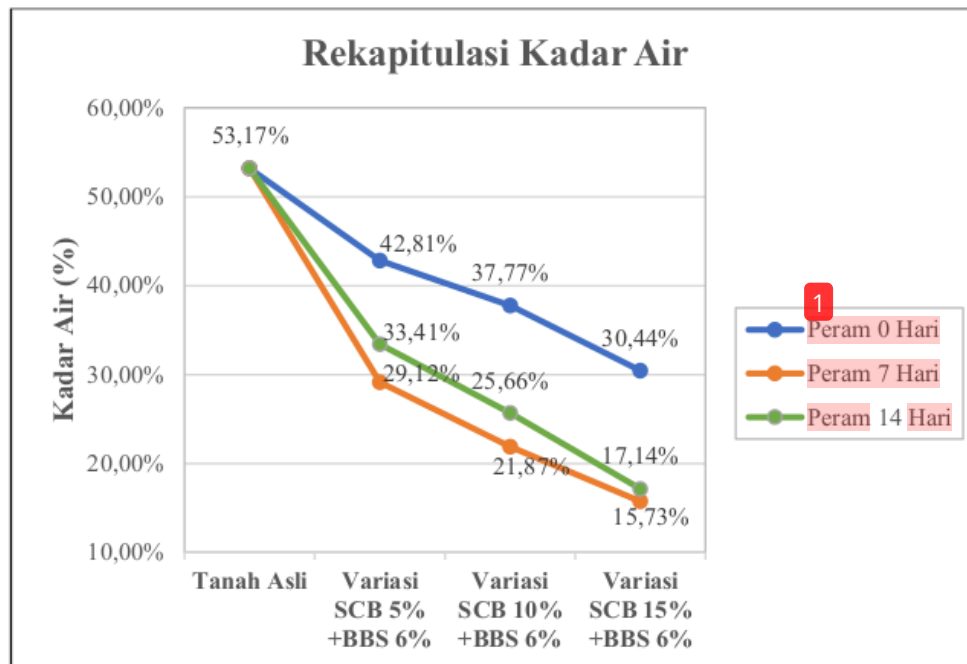
Berdasarkan grafik rekapitulasi kadar air peram 7 hari, penambahan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) mampu menurunkan kadar air tanah. Variasi SCB 5% + BBS 6% menurunkan kadar air sebesar 24,05%, variasi SCB 10% + BBS 6% menurunkan sebesar 31,30%, dan variasi SCB 15% + BBS 6% menurunkan sebesar 37,44% dari kondisi tanah asli.



Grafik 4. 38 Rekapitulasi Pengujian Kadar Air Campuran SCB dan Bakteri *Bacillus subtilis* Pemeraman 14 Hari
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan grafik rekapitulasi kadar air peram 14 hari, penambahan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) mampu menurunkan kadar air tanah. Variasi SCB 5% + BBS 6% menurunkan kadar air sebesar 19,76%, variasi SCB 10% + BBS 6% menurunkan sebesar 27,51%, dan variasi SCB 15% + BBS 6% menurunkan sebesar 35,73% dari kondisi tanah asli.

Setelah dilakukan analisis kadar air pada masing-masing variasi campuran dan masa pemeraman, selanjutnya disajikan rekapitulasi keseluruhan hasil pengujian kadar air tanah yang distabilisasi menggunakan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis*. Rekapitulasi ini bertujuan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai pengaruh variasi campuran dan lama pemeraman terhadap perubahan kadar air tanah. Dengan membandingkan seluruh hasil pengujian pada setiap variasi dan umur pemeraman, dapat diketahui kecenderungan perubahan kadar air yang terjadi selama proses stabilisasi tanah.

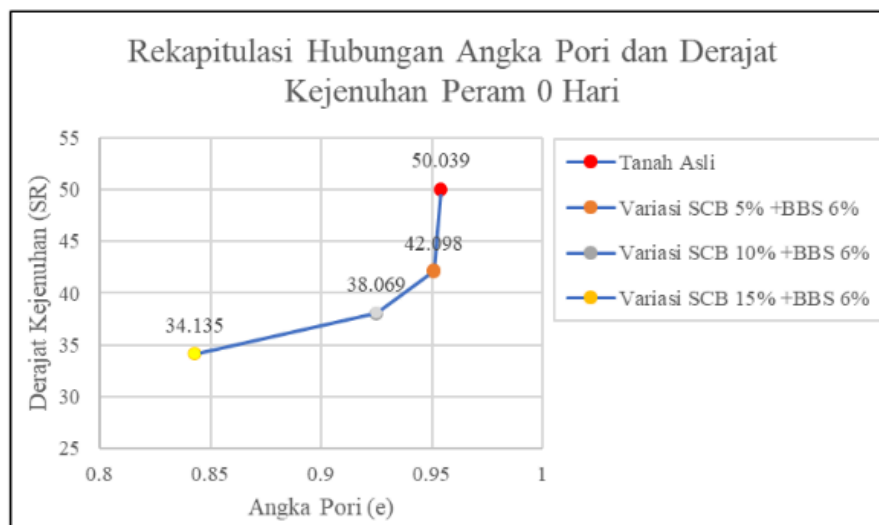


Grafik 4. 39 Rekapitulasi Keseluruhan Kadar Air Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Grafik 4.43, terlihat bahwa kadar air tanah mengalami penurunan pada seluruh variasi campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* dibandingkan dengan tanah asli. Pada kondisi tanah asli, kadar air sebesar 53,17%. Setelah dilakukan penambahan campuran SCB dan bakteri *Bacillus subtilis*, kadar air cenderung menurun seiring meningkatnya persentase SCB yang digunakan. enurunan yang lebih signifikan terjadi pada pemeraman 7 hari, yaitu sebesar 29,12%, 21,87%, dan 15,73% secara berturut-turut untuk variasi SCB 5%, 10%, dan 15%.

4.3.9 Grafik Rekapitulasi Angka Pori dan Derajat Kejenuhan pada Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*

Grafik rekapitulasi angka pori dan derajat kejenuhan pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* menunjukkan perubahan kondisi rongga pori tanah dan tingkat kejenuhan air akibat penambahan variasi campuran serta waktu pemeraman. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh campuran terhadap karakteristik volumetri tanah lempung. Hasil rekapitulasi angka pori dan derajat kejenuhan pada masing-masing variasi dapat dilihat pada grafik berikut.



Grafik 4. 40 Rekapitulasi Hubungan Angka Pori dan Derajat Kejenuhan Campuran SCB dan Bakteri *Bacillus subtilis* Pemeraman 7 Hari Pemeraman 0 Hari

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

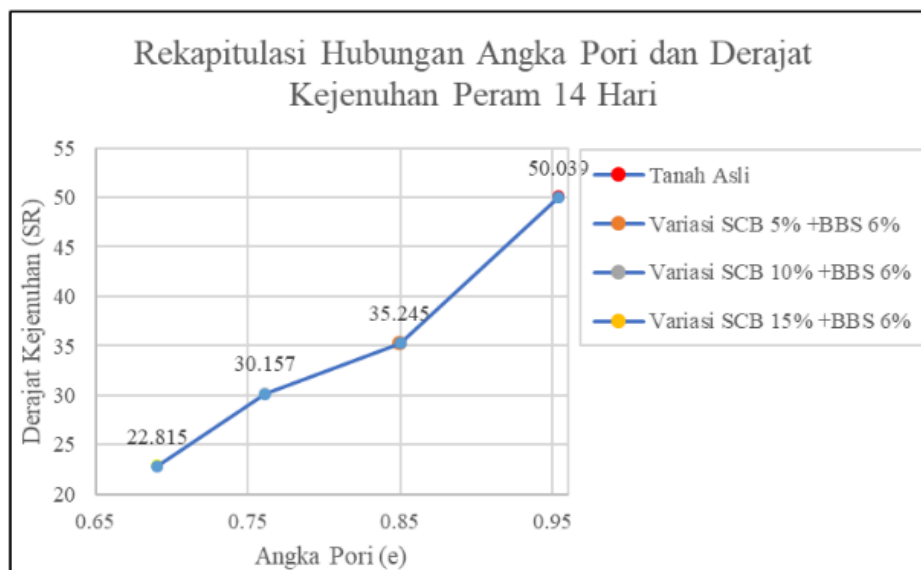
Berdasarkan grafik hubungan angka pori dan derajat kejenuhan peram 0 hari, penambahan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) menyebabkan nilai angka pori dan derajat kejenuhan mengalami penurunan. Variasi SCB 5% + BBS 6% menurunkan angka pori sebesar 0,006 dan derajat kejenuhan sebesar 7,941%, variasi SCB 10% + BBS 6% menurunkan angka pori sebesar 0,034 dan derajat kejenuhan sebesar 11,970%, serta variasi SCB 15% + BBS 6% menurunkan angka pori sebesar 0,114 dan derajat kejenuhan sebesar 15,904% dari kondisi tanah asli.



Grafik 4. 41 Rekapitulasi Hubungan Angka Pori dan Derajat Kejenuhan Campuran SCB dan Bakteri *Bacillus subtilis* Pemeraman 7 Hari Pemeraman 7 Hari

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

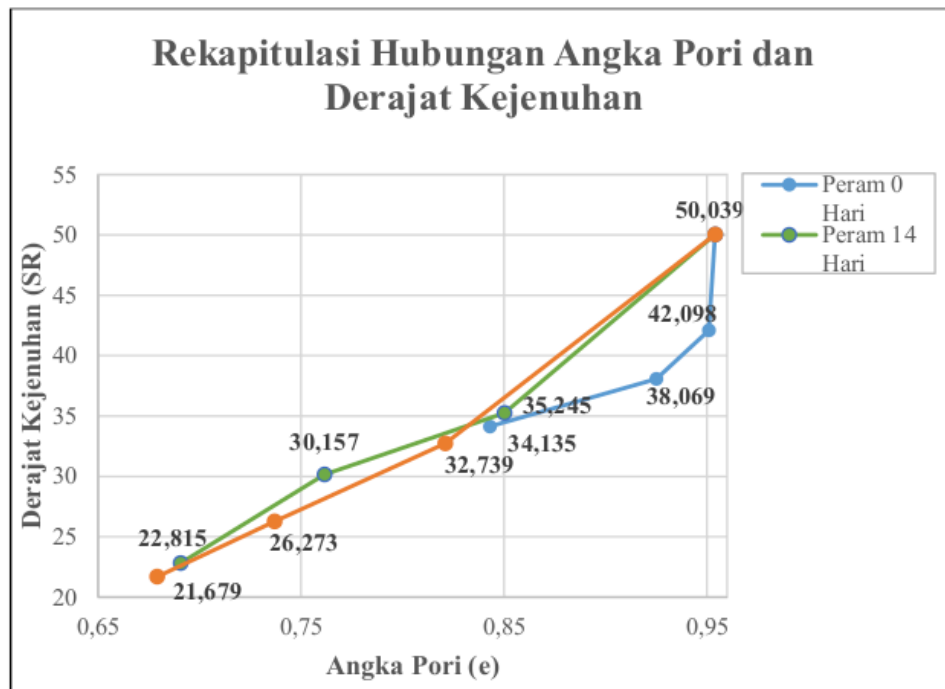
Berdasarkan grafik hubungan angka pori dan derajat kejenuhan peram 7 hari, penambahan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) menyebabkan nilai angka pori dan derajat kejenuhan mengalami penurunan. Variasi SCB 5% + BBS 6% menurunkan angka pori sebesar 0,133 dan derajat kejenuhan sebesar 17,300%, variasi SCB 10% + BBS 6% menurunkan angka pori sebesar 0,215 dan derajat kejenuhan sebesar 23,766%, serta variasi SCB 15% + BBS 6% menurunkan angka pori sebesar 0,283 dan derajat kejenuhan sebesar 28,360% dari kondisi tanah asli.



Grafik 4. 42 Rekapitulasi Hubungan Angka Pori dan Derajat Kejenuhan Campuran SCB dan Bakteri *Bacillus subtilis* Pemeraman 7 Hari Pemeraman 14 Hari

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan grafik hubungan angka pori dan derajat kejenuhan peram 14 hari, penambahan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) menyebabkan nilai angka pori dan derajat kejenuhan mengalami penurunan. Variasi SCB 5% + BBS 6% menurunkan angka pori sebesar 0,102 dan derajat kejenuhan sebesar 14,794%, variasi SCB 10% + BBS 6% menurunkan angka pori sebesar 0,193 dan derajat kejenuhan sebesar 19,882%, serta variasi SCB 15% + BBS 6% menurunkan angka pori sebesar 0,277 dan derajat kejenuhan sebesar 27,224% dari kondisi tanah asli.

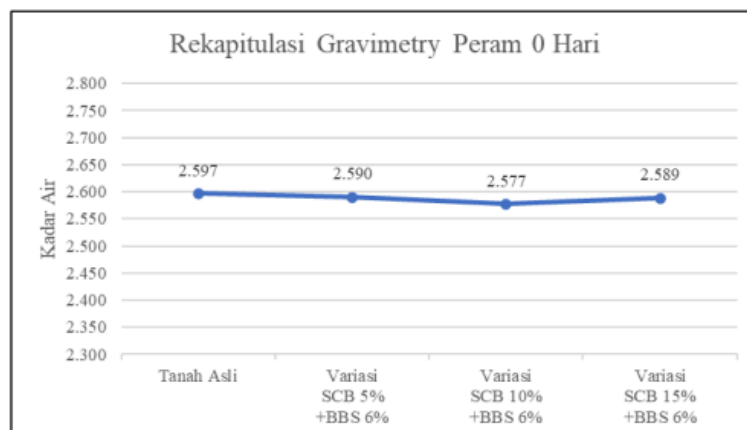


Grafik 4. 43 Rekapitulasi Keseluruhan Hubungan Angka Pori dan Derajat Kejenuhan Campuran SCB dan Bakteri *Bacillus subtilis*
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan grafik hubungan angka pori dan derajat kejenuhan pada pemeraman 0, 7, dan 14 hari, penambahan serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) terbukti menurunkan nilai angka pori dan derajat kejenuhan tanah. Semakin besar persentase SCB yang ditambahkan, semakin besar pula penurunan yang terjadi. Penurunan optimum diperoleh pada variasi SCB 15% + BBS 6% dengan pemeraman 7 hari, yaitu sebesar 0,283 untuk angka pori dan 28,360% untuk derajat kejenuhan, sehingga menunjukkan perbaikan struktur tanah yang paling efektif dibandingkan variasi lainnya.

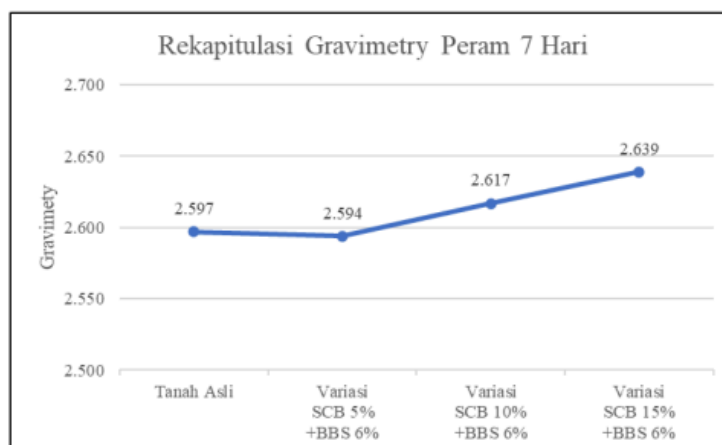
4.3.10 Grafik Rekapitulasi Pengujian *Gravimetry* Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*

Grafik rekapitulasi pengujian *gravimetry* campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* menunjukkan perubahan nilai berat jenis tanah (*specific gravity*/GS) pada setiap variasi campuran dan waktu pemeraman. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan campuran terhadap karakteristik berat jenis partikel tanah. Hasil rekapitulasi pengujian *gravimetry* pada masing-masing variasi dapat dilihat pada grafik berikut.



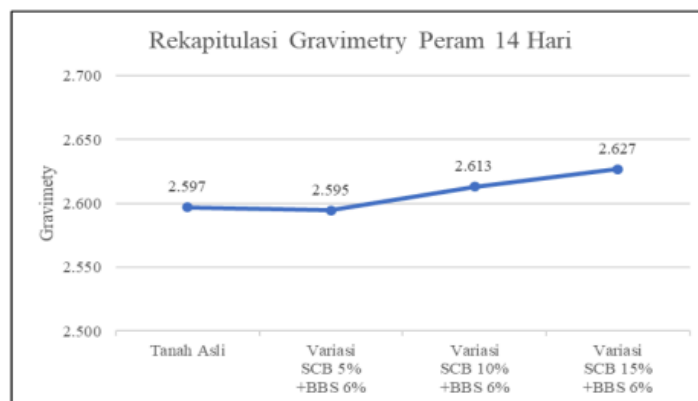
Grafik 4. 44 Rekapitulasi Pengujian *Gravimetry* Campuran SCB dan Bakteri *Bacillus subtilis* Pemeraman 0 Hari
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan rekapitulasi pengujian *gravimetry* campuran serbuk 32 gkgang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) pemeraman 0 hari, nilai berat jenis tanah (Gs) cenderung stabil seiring bertambahnya persentase campuran. Variasi SCB 5% + BS 6% memperoleh nilai Gs sebesar 2,590, variasi SCB 10% + BS 6% sebesar 2,577, dan variasi SCB 15% + BS 6% sebesar 2,589. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan campuran SCB dan bakteri *Bacillus subtilis* menghasilkan nilai yang cenderung stabil dikarenakan tidak ada proses pemeraman.



Grafik 4. 45 Rekapitulasi Pengujian *Gravimetry* Campuran SCB dan Bakteri *Bacillus subtilis* Pemeraman 7 Hari
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

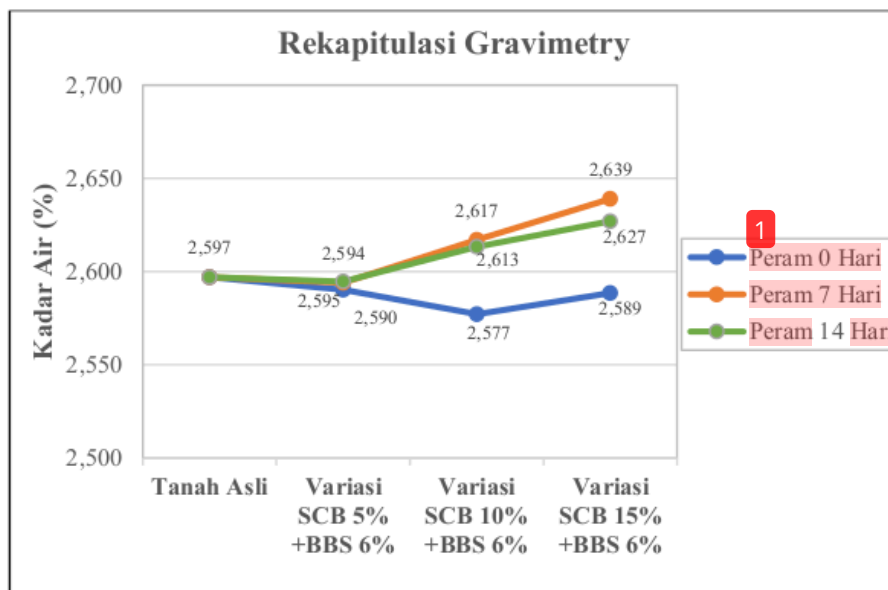
Berdasarkan rekapitulasi pengujian *gravimetry* campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BS) pemeraman 7 hari, nilai berat jenis tanah (Gs) mengalami peningkatan seiring bertambahnya persentase campuran. Variasi SCB 5% + BS 6% memperoleh nilai Gs sebesar 2,594, variasi SCB 10% + BS 6% sebesar 2,617, dan variasi SCB 15% + BS 6% sebesar 2,639. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan campuran SCB dan bakteri *Bacillus subtilis* dapat meningkatkan nilai berat jenis tanah pada proses pemeraman 7 hari.



Grafik 4. 46 Rekapitulasi Pengujian *Gravimetry* Campuran SCB dan Bakteri *Bacillus subtilis* Pemeraman 14 Hari
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan rekapitulasi pengujian *gravimetry* campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BS) pemeraman 14 hari, nilai berat jenis tanah (Gs) mengalami peningkatan seiring bertambahnya persentase campuran. Variasi SCB 5% + BS 6% memperoleh nilai Gs sebesar 2,595, variasi SCB 10% + BS 6% sebesar 2,613, dan variasi SCB 15% + BS 6% sebesar 2,627.

Untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai pengaruh variasi campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap nilai *gravimetry* tanah, hasil pengujian pada seluruh periode pemeraman, yaitu 0 hari, 7 hari, dan 14 hari, direkapitulasi dalam satu grafik. Rekapitulasi ini bertujuan untuk membandingkan perubahan kadar air gravimetri pada setiap variasi campuran sehingga dapat diketahui kecenderungan pengaruh penambahan SCB dan bakteri *Bacillus subtilis* selama proses pemeraman terhadap karakteristik tanah yang diteliti.



Grafik 4. 47 Rekapitulasi Pengujian *Gravimetry* Keseluruhan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Grafik 4.51, terlihat bahwa nilai *gravimetry* pada seluruh variasi campuran cenderung mengalami peningkatan seiring bertambahnya persentase serbuk cangkang bekicot (SCB) yang dicampurkan dengan bakteri *Bacillus subtilis*. Pada kondisi tanah asli, nilai *gravimetry* relatif sama pada seluruh umur pemeraman, yaitu sebesar 2,597. Pada variasi SCB 5% + BS 6%, nilai *gravimetry* mengalami sedikit penurunan pada pemeraman 7 hari menjadi 2,590 dan meningkat kembali pada pemeraman 14 hari menjadi 2,595. Selanjutnya, pada variasi SCB 10% + BS 6%, nilai *gravimetry* meningkat dari 2,577 pada pemeraman 7 hari menjadi 2,613 pada pemeraman 14 hari. Nilai tertinggi diperoleh pada variasi SCB 15% + BS 6%, yaitu sebesar 2,639 pada pemeraman 7 hari dan 2,627 pada pemeraman 14 hari.

4.3.11 Grafik Rekapitulasi Pengujian Konsistensi Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus Subtilis*

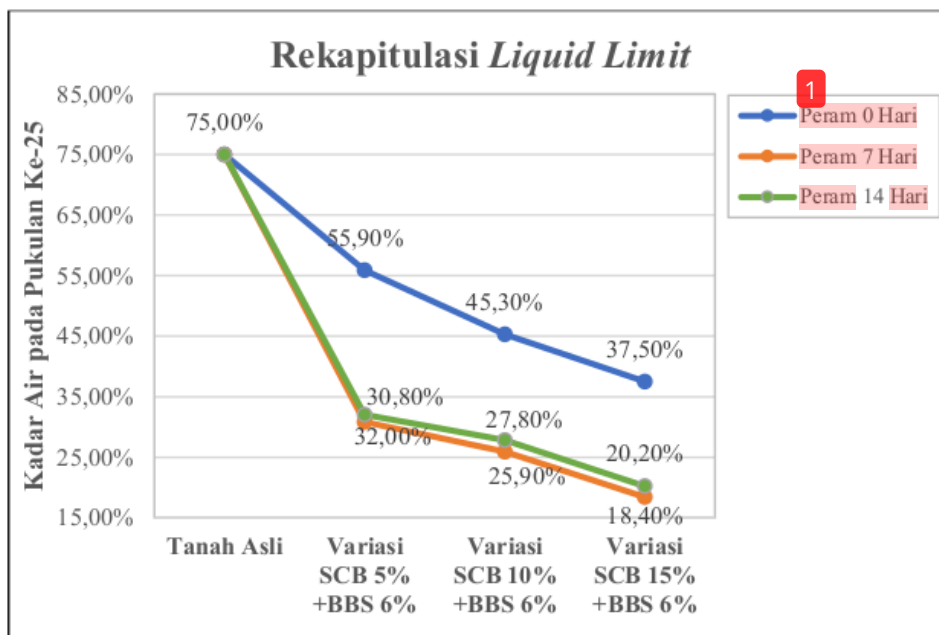
Serangkaian pengujian laboratorium yang telah dilakukan, diperoleh data mengenai sifat konsistensi tanah asli maupun tanah yang telah diberi perlakuan campuran. Hasil rekapitulasi dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 75 Rekapitulasi Pengujian Batas Konsistensi Tanah

Peramaman 0 Hari							
No	Sampel	LL (%)	PL (%)	PI (%)	SL (%)	Tingkat Plastisitas	Kemampuan Pengembangan
1	Tanah Asli	76,00	42,70	33,33	2,99	Plastisitas Tinggi	Tinggi
2	Serbuk Cangkang Bekicot 5% dan Bakteri 6%	55,90	34,31	21,59	12,50	Plastisitas Tinggi	Tinggi
3	Serbuk Cangkang Bekicot 10% dan Bakteri 6%	45,30	24,15	21,15	12,28	Plastisitas Tinggi	Tinggi
4	Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri 6%	37,50	22,47	15,03	12,23	Plastisitas Sedang	Sedang
Pemeraman 7 Hari							
No.	Sampel	LL (%)	PL (%)	PI (%)	SL (%)	Tingkat Plastisitas	Kemampuan Pengembangan
1	Tanah Asli	76,00	42,70	33,33	2,99	Plastisitas Tinggi	Tinggi
2	Serbuk Cangkang Bekicot 5% dan Bakteri 6%	30,80	18,09	12,71	12,62	Plastisitas Sedang	Sedang
3	Serbuk Cangkang Bekicot 10% dan Bakteri 6%	25,90	15,46	10,44	10,64	Plastisitas Sedang	Sedang
4	Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri 6%	18,40	12,72	5,68	14,67	Plastisitas Sedang	Sedang
Pemeraman 14 Hari							
No.	Sampel	LL (%)	PL (%)	PI (%)	SL (%)	Tingkat Plastisitas	Kemampuan Pengembangan
1	Tanah Asli	76,00	42,70	33,33	2,99	Plastisitas Tinggi	Tinggi
2	Serbuk Cangkang Bekicot 5% dan Bakteri 6%	32,00	16,32	15,68	10,04	Plastisitas Sedang	Sedang
3	Serbuk Cangkang Bekicot 10% dan Bakteri 6%	27,80	16,26	11,54	11,29	Plastisitas Sedang	Sedang
4	Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri 6%	20,20	13,62	6,58	12,72	Plastisitas Rendah	Sedang

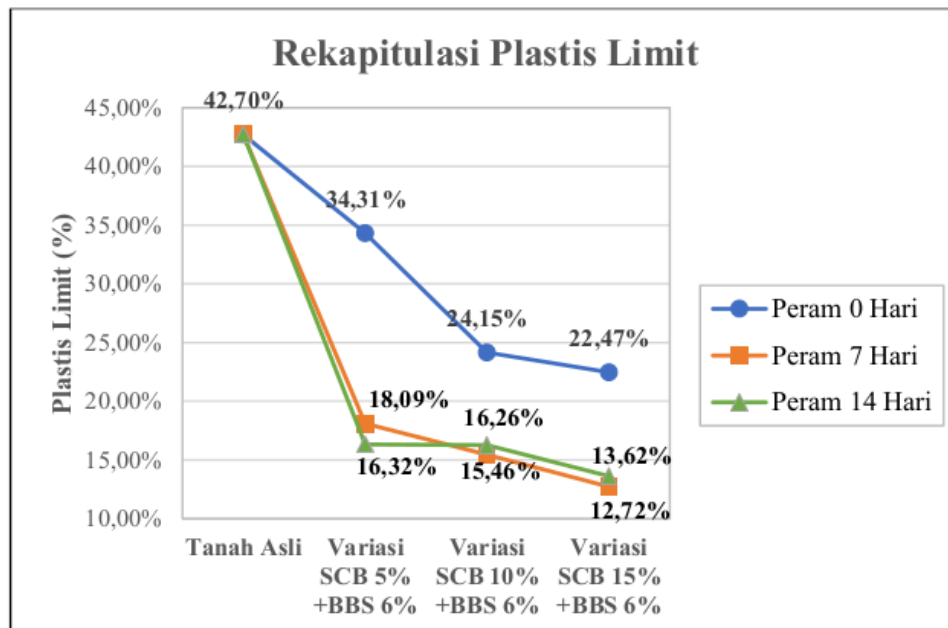
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.75 Rekapitulasi Pengujian Batas Konsistensi Tanah di atas, hasil pengujian pada setiap variasi campuran dan waktu pemeraman juga disajikan dalam grafik rekapitulasi berikut. Grafik rekapitulasi tersebut menunjukkan perubahan nilai batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), *plasticity index* (PI), dan batas susut (*shrinkage limit*) pada setiap variasi campuran dan waktu pemeraman. Hasil rekapitulasi pengujian konsistensi tanah dapat dilihat pada grafik berikut.



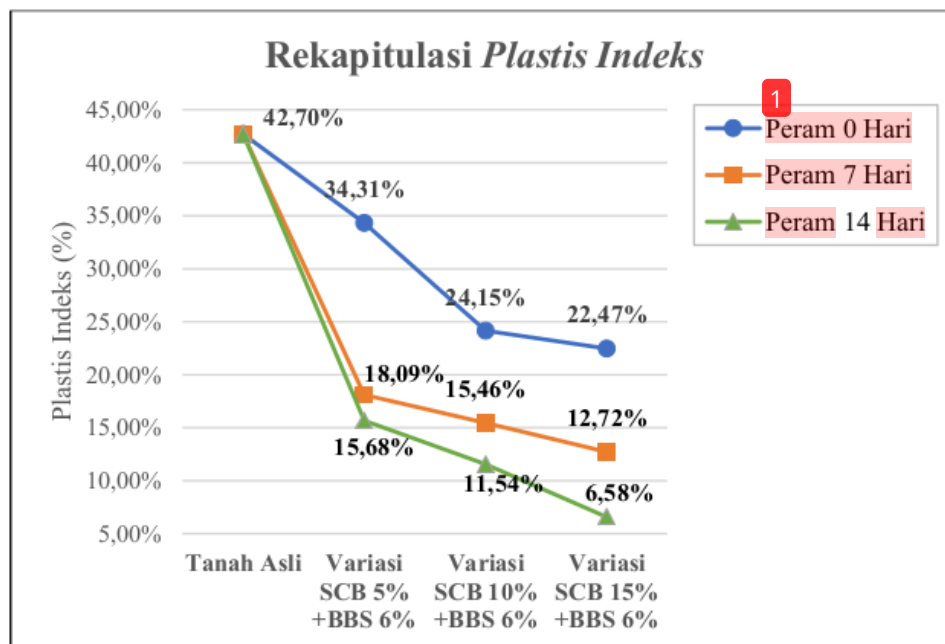
Grafik 4. 48 Rekapitulasi Pengujian *Liquid Limit*
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan rekapitulasi pengujian batas cair (*liquid limit*) pada pemeraman 0, 7, dan 14 hari, penambahan serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) terbukti menurunkan nilai batas cair tanah. Semakin besar persentase SCB yang ditambahkan, semakin besar pula penurunan nilai batas cair yang terjadi. Penurunan optimum diperoleh pada variasi SCB 15% + BBS 6% dengan pemeraman 7 hari, yaitu sebesar 56,6%, sedangkan pada pemeraman 14 hari terjadi sedikit penurunan efektivitas menjadi 54,8%. Hasil ini menunjukkan bahwa campuran SCB dan BBS mampu mengurangi plastisitas tanah, dengan kondisi optimum dicapai pada pemeraman 7 hari.



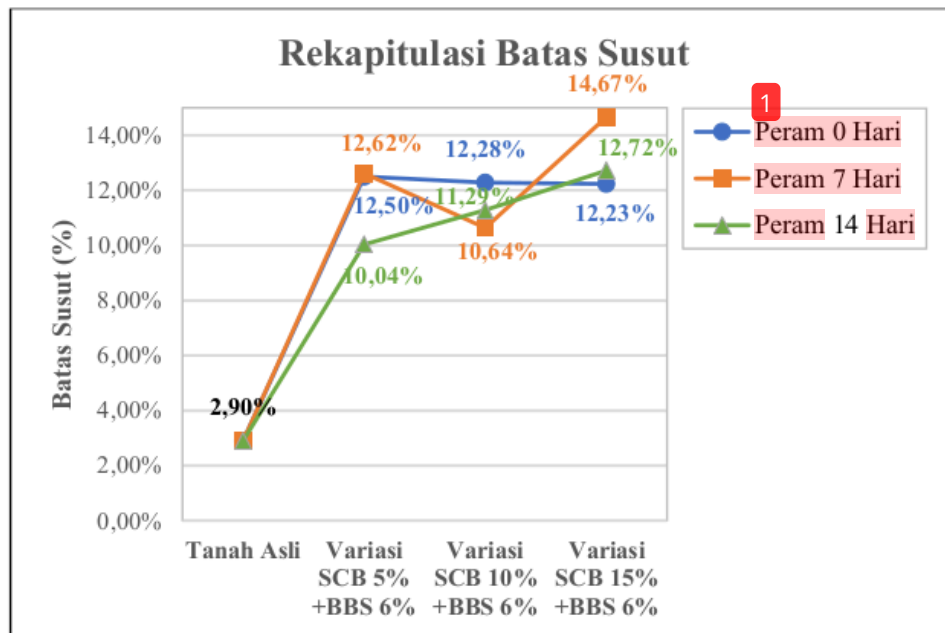
Grafik 4. 49 Rekapitulasi Pengujian *plastic limit*
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan rekapitulasi pengujian batas plastis (*plastic limit/PL*) pada pemeraman 0, 7, dan 14 hari, penambahan serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) menyebabkan nilai batas plastis tanah mengalami penurunan. Semakin besar persentase SCB yang ditambahkan, semakin besar pula penurunan nilai batas plastis yang terjadi. Penurunan optimum diperoleh pada variasi SCB 15% + BBS 6% dengan pemeraman 7 hari, yaitu sebesar 29,98%, sedangkan pada pemeraman 14 hari nilai penurunannya kembali sama dengan pemeraman 0 hari, yaitu sebesar 20,23%. Hal ini menunjukkan bahwa campuran SCB dan BBS paling efektif menurunkan batas plastis tanah pada pemeraman 7 hari.



Grafik 4. 50 Rekapitulasi Pengujian *Plasticity Index*
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan rekapitulasi pengujian *Plasticity Index* (PI) pada pemeraman 0, 7, dan 14 hari, penambahan serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) terbukti menurunkan nilai PI tanah. Semakin besar persentase SCB yang ditambahkan, semakin besar pula penurunan nilai PI yang terjadi. Penurunan terbesar diperoleh pada variasi SCB 15% + BBS 6% dengan pemeraman 14 hari, yaitu sebesar 29,08%. Hasil ini menunjukkan bahwa campuran SCB dan BBS mampu mengurangi tingkat plastisitas tanah sehingga tanah menjadi lebih stabil dan memiliki potensi pengembangan serta penyusutan yang lebih rendah.



Grafik 4. 51 Rekapitulasi Pengujian *shrinkage limit*
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

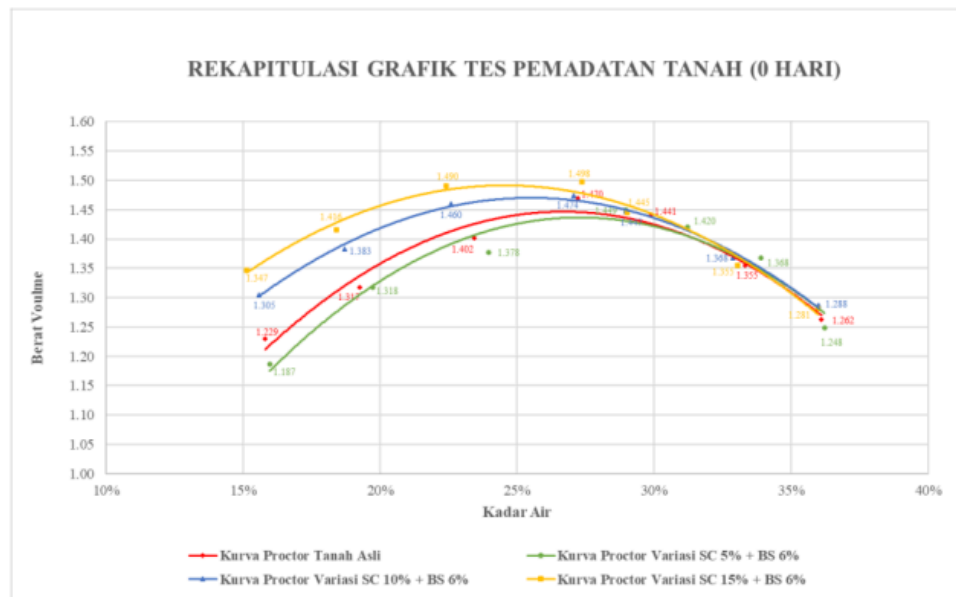
Berdasarkan rekapitulasi pengujian batas susut (*shrinkage limit*) pada pemeraman 0, 7, dan 14 hari, penambahan serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) menyebabkan nilai batas susut tanah mengalami peningkatan. Peningkatan terbesar diperoleh pada variasi SCB 15% + BBS 6% dengan pemeraman 7 hari, yaitu sebesar 14,67%. Hasil ini menunjukkan bahwa campuran SCB dan BBS mampu meningkatkan batas susut tanah, sehingga tanah menjadi lebih stabil dan memiliki potensi penyusutan yang lebih rendah akibat perubahan kadar air.

4.3.12 Grafik Rekapitulasi Pengujian Pemadatan Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*

Berdasarkan hasil pengujian pemadatan tanah yang telah dilakukan pada campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) bakteri *Bacillus subtilis* dengan masa pemeraman 0 hari, diperoleh data hubungan antara variasi kadar air terhadap nilai berat volume kering (ρ_d density) pada setiap variasi campuran. Pengujian pemadatan ini bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik kepadatan tanah akibat adanya penambahan bahan stabilisasi berupa serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis*. Parameter yang diamati dalam pengujian ini meliputi nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*), dimana kedua parameter tersebut menjadi indikator dalam menentukan kondisi pemadatan terbaik yang dapat dicapai oleh tanah.

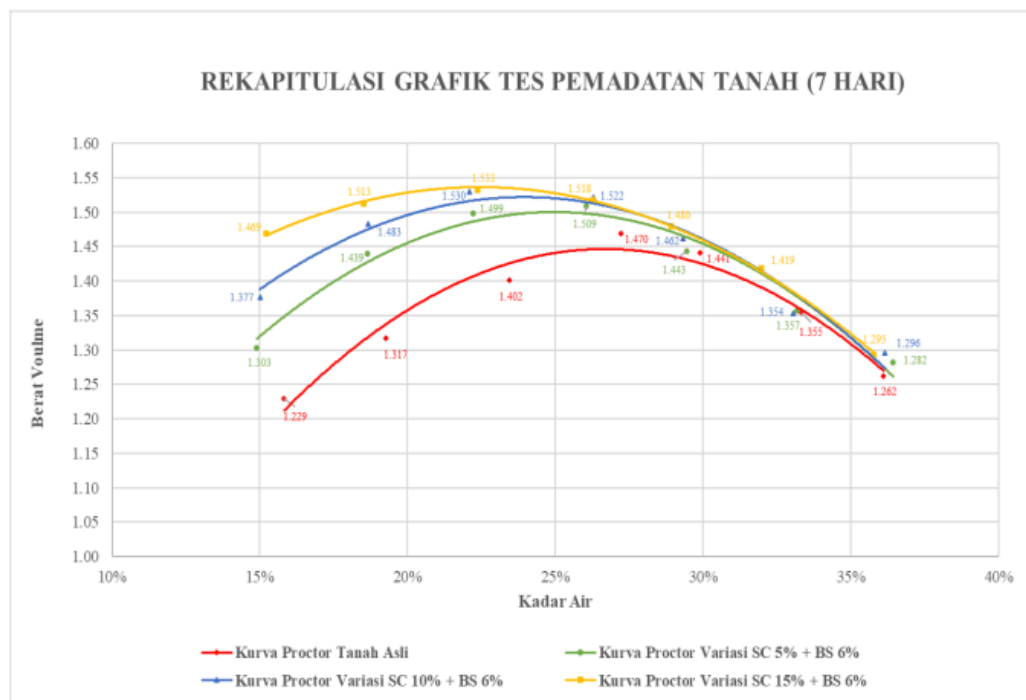
Penambahan serbuk cangkang bekicot yang memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) serta aktivitas biologis dari bakteri *Bacillus subtilis* diperkirakan dapat memberikan pengaruh terhadap susunan butiran tanah, proses pengikatan antar partikel, serta perubahan kebutuhan air selama proses pemadatan. Perubahan nilai berat volume kering pada setiap variasi campuran menunjukkan adanya perbedaan tingkat kepadatan yang dihasilkan dibandingkan dengan tanah asli. Sementara itu, perubahan kadar air optimum menunjukkan adanya perbedaan kebutuhan air untuk mencapai kondisi tanah yang paling padat akibat pengaruh penambahan bahan stabilisasi tersebut.

Pada kondisi pemeraman 0 hari, proses reaksi antara material stabilisasi dengan tanah masih berada pada tahap awal, sehingga perubahan yang terjadi lebih dominan dipengaruhi oleh sifat fisik dari campuran, seperti penambahan jumlah butiran, distribusi ukuran partikel, serta kemampuan material campuran dalam mengisi rongga pori tanah. Oleh karena itu, analisis terhadap kurva hubungan kadar air dan berat volume kering pada masing-masing variasi diperlukan untuk mengetahui kecenderungan perubahan nilai pemadatan akibat penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis*. Rekapitulasi hasil pengujian pemadatan tanah pada seluruh variasi campuran dengan masa pemeraman 0 hari dapat dilihat pada Grafik 4.67 berikut.



Grafik 4. 52 Rekapitulasi *Tes Pemadatan dengan Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri Bacillus subtilis Pemeraman 0 Hari*
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

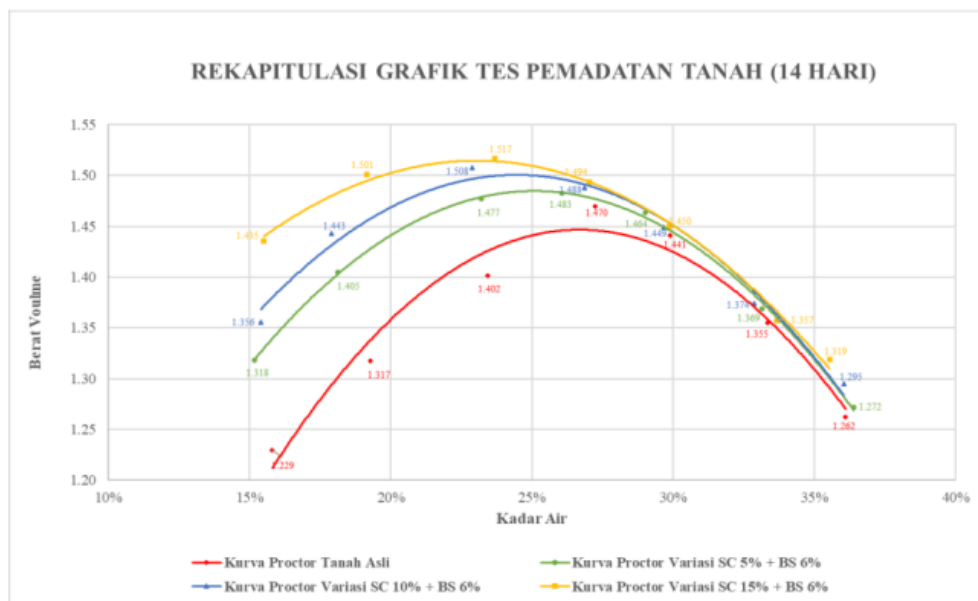
Berdasarkan hasil pengujian pemadatan tanah dengan metode Proctor pada masa pemeraman 0 hari, campuran serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* menunjukkan peningkatan nilai kepadatan kering maksimum serta penurunan kadar air optimum. Pada variasi campuran serbuk cangkang bekicot 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6%, diperoleh nilai *Maximum Dry Density* (MDD) sebesar 1,436 gr/cm³ dengan nilai *Optimum Moisture Content* (OMC) sebesar 28%. Pada variasi campuran serbuk cangkang bekicot 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6%, diperoleh nilai MDD sebesar 1,470 gr/cm³ dan OMC sebesar 26%. Sementara itu, variasi campuran serbuk cangkang bekicot 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% menghasilkan nilai MDD tertinggi sebesar 1,491 gr/cm³ dengan OMC sebesar 25%.



Grafik 4. 53 Rekapitulasi Pengujian Pemadatan Tanah dengan Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis* Pemeraman 7 Hari

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian pemadatan tanah dengan metode Proctor pada masa pemeraman 7 hari, campuran 50% bubuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* menunjukkan peningkatan nilai kepadatan kering maksimum serta penurunan kadar air optimum. Pada variasi campuran 1% serbuk cangkang bekicot 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6%, diperoleh nilai *Maximum Dry Density* (MDD) sebesar 1,505 gr/cm³ dengan nilai *Optimum Moisture Content* (OMC) sebesar 25%. Pada variasi campuran 49% serbuk cangkang bekicot 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6%, diperoleh nilai MDD sebesar 1,522 gr/cm³ dan OMC sebesar 24%. Sementara itu, variasi campuran serbuk cangkang bekicot 16% 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% menghasilkan nilai MDD tertinggi sebesar 1,536 gr/cm³ dengan OMC sebesar 22%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin besar persentase campuran serbuk cangkang bekicot yang digunakan, maka nilai kepadatan kering maksimum tanah meningkat, sedangkan kadar air optimum cenderung menurun.

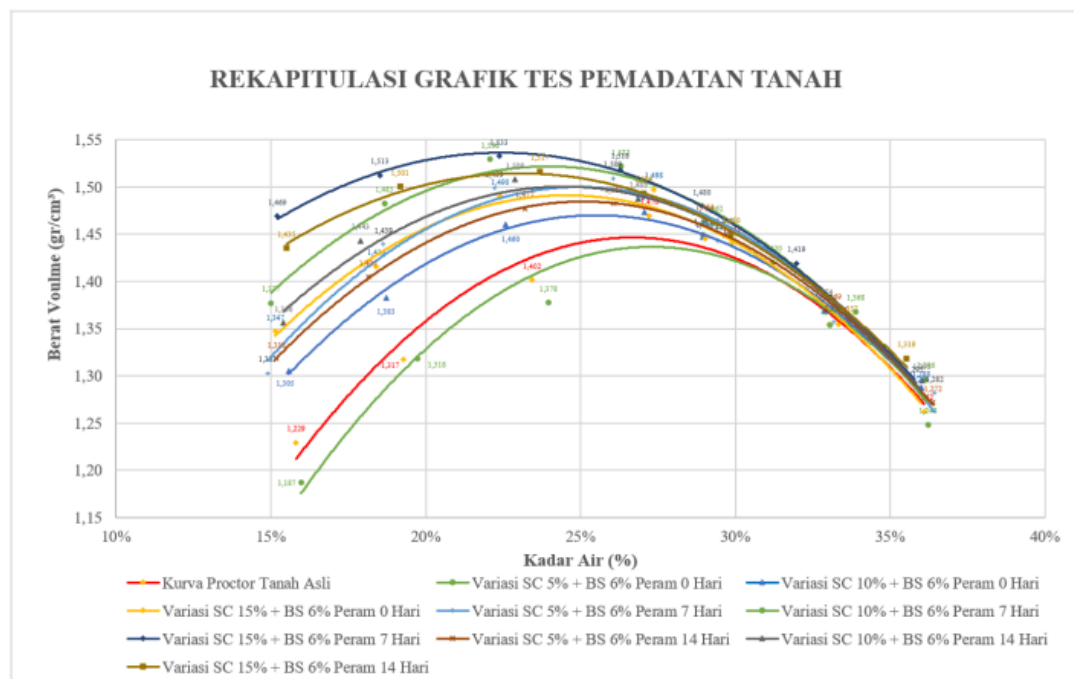


Grafik 4. 54 Rekapitulasi Tes Pemadatan dengan Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis* Pemeraman 14 Hari

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian pemadatan tanah dengan metode Proctor pada masa pemeraman 14 hari, campuran serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* menunjukkan peningkatan nilai kepadatan kering maksimum serta penurunan kadar air optimum. Pada variasi campuran serbuk cangkang bekicot 5% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6%, diperoleh nilai *Maximum Dry Density (MDD)* sebesar 1,485 gr/cm³ dengan nilai *Optimum Moisture Content (OMC)* sebesar 25%. Pada variasi campuran serbuk cangkang bekicot 10% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6%, diperoleh nilai MDD sebesar 1,500 gr/cm³ dan OMC sebesar 24%. Sementara itu, variasi campuran serbuk cangkang bekicot 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% menghasilkan nilai MDD tertinggi sebesar 1,515 gr/cm³ dengan OMC sebesar 23%.

Untuk mempermudah analisis pengaruh variasi campuran serbuk cangkang bekicot (SCB), bakteri *Bacillus subtilis* (BBS), dan waktu pemeraman terhadap hasil pengujian pemadatan, data yang telah diperoleh direkapitulasi dalam grafik gabungan berikut.



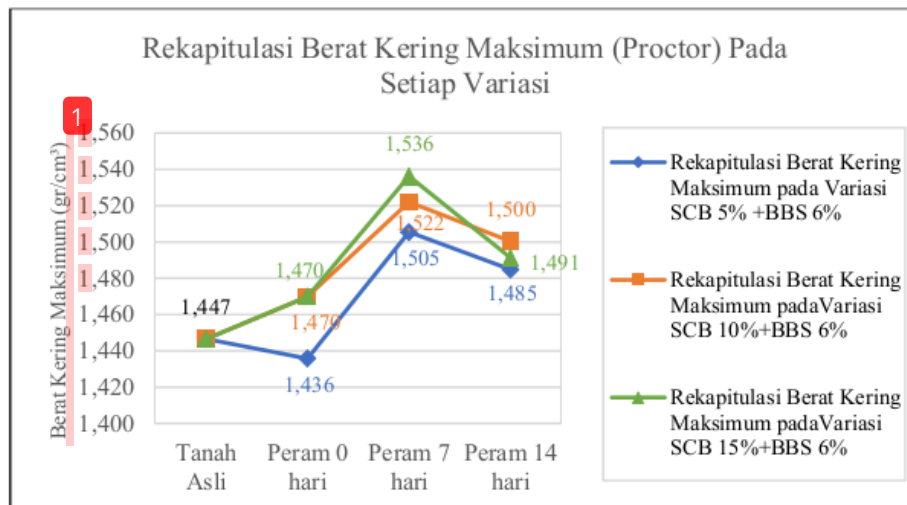
Grafik 4. 55 Rekapitulasi Pengujian Pemadatan Tanah

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian pemadatan metode Proctor pada pemeraman 0, 7, dan 14 hari, penambahan serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS) meningkatkan nilai *Maximum Dry Density* (MDD) dan menurunkan nilai *Optimum Moisture Content* (OMC). Hasil optimum diperoleh pada variasi SCB 15% + BBS 6% dengan pemeraman 7 hari, yaitu menghasilkan MDD sebesar 1,536 gr/cm³ dan OMC sebesar 22%. Hal ini menunjukkan bahwa variasi tersebut memberikan tingkat kepadatan tanah yang paling baik dibandingkan variasi lainnya.

a. Rekapitulasi Berat Kering Maksimum Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*

Setelah dilakukan pengujian proctor pada masing-masing variasi campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BBS), disajikan rekapitulasi data untuk mempermudah analisis pengaruh persentase campuran dan masa pemeraman terhadap perubahan berat kering maksimum tanah. Rekapitulasi ini bertujuan untuk membandingkan kecenderungan nilai berat kering maksimum pada seluruh variasi campuran sehingga dapat diketahui campuran yang memberikan kepadatan optimum. Hasil rekapitulasi berat kering maksimum pada setiap variasi campuran dan masa pemeraman disajikan pada Grafik 4.71.



Grafik 4. 56 Rekapitulasi Berat Kering Maksimum (Proctor) pada Setiap Variasi

(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Grafik 4.71, terlihat bahwa penambahan ⁸⁶serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* memberikan pengaruh ¹¹¹dap nilai berat kering maksimum tanah pada setiap masa pemeraman. Nilai berat kering maksimum tanah asli sebesar 1,447 gr/cm³. Pada pemeraman 0 hari, variasi SCB 10% + BBS 6% dan SCB 15% + BBS 6% menunjukkan nilai yang sama, yaitu sebesar 1,470 gr/cm³, sedangkan variasi SCB 5% + BBS 6% mengalami penurunan menjadi 1,436 gr/cm³.

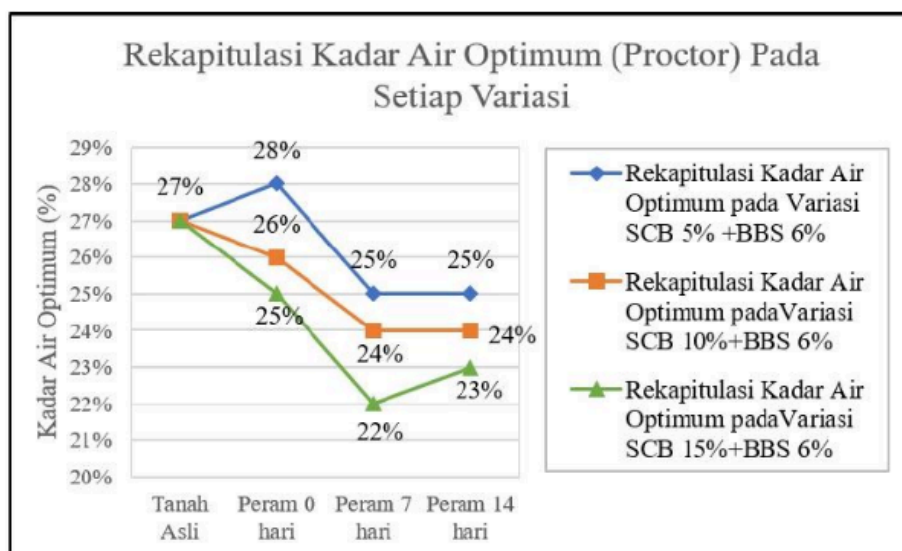
Seiring bertambahnya masa pemeraman hingga 7 hari, seluruh variasi mengalami peningkatan nilai berat kering maksimum. Nilai tertinggi diperoleh pada variasi SCB ²15% + BBS 6% sebesar 1,536 gr/cm³, diikuti variasi ²SCB 10% + BBS 6% sebesar 1,522 gr/cm³ dan variasi SCB ⁵% + BBS 6% sebesar 1,505 gr/cm³. Kondisi ini menunjukkan bahwa masa pemeraman 7 hari merupakan periode optimum dalam meningkatkan kepadatan tanah melalui proses stabilisasi yang terjadi akibat interaksi antara tanah, serbuk cangkang bekicot, dan aktivitas bakteri.

Pada pemeraman 14 hari terjadi penurunan nilai berat kering maksimum pada seluruh variasi campuran. Variasi SCB 10% + BBS 6% menghasilkan nilai tertinggi sebesar 1,500 gr/cm³, diikuti variasi SCB 15% + BBS 6% sebesar 1,491 gr/cm³ dan variasi SCB 5% + BBS 6% sebesar 1,485 gr/cm³. Meskipun mengalami penurunan dibandingkan pemeraman 7 hari, nilai yang diperoleh masih lebih tinggi daripada tanah asli.

Secara keseluruhan, peningkatan persentase serbuk cangkang bekicot yang dikombinasikan dengan bakteri *Bacillus subtilis* cenderung meningkatkan nilai berat kering maksimum tanah hingga mencapai kondisi optimum pada 11 pemeraman 7 hari. Variasi SCB 15% + BBS 6% memberikan hasil terbaik dengan nilai berat kering maksimum sebesar 1,536 gr/cm³, sehingga dapat disimpulkan bahwa campuran tersebut paling efektif dalam meningkatkan kepadatan tanah dibandingkan variasi lainnya.

b. Rekapitulasi Kadar Air Optimum Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*

Rekapitulasi kadar air optimum Serbuk Cangkang Bekicot 20 Bakteri *Bacillus subtilis* diperoleh berdasarkan hasil pengujian Proctor pada setiap variasi campuran 11 masa pemeraman. Nilai kadar air optimum diperoleh dari titik puncak kurva hubungan antara kadar air dan berat kering maksimum, yang menunjukkan kadar air paling optimum untuk mencapai tingkat kepadatan tanah maksimum.



Grafik 4. 57 Rekapitulasi Kadar Air Optimum (Proctor) Pada Setiap Variasi
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Grafik 4.72, terlihat bahwa penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* berpengaruh terhadap nilai kadar air optimum tanah pada setiap masa pemeraman. Pada kondisi tanah asli, kadar air optimum yang sama yaitu sebesar 27%.

Pada pemeraman 0 hari, variasi SCB 5% + BBS 6% mengalami peningkatan kadar air optimum menjadi 28%, sedangkan variasi SCB 10% + BBS 6% dan SCB 15% + BBS 6% mengalami penurunan masing-masing menjadi 26% dan 25%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar persentase serbuk cangkang bekicot yang ditambahkan, kebutuhan air untuk mencapai kepadatan maksimum cenderung menurun.

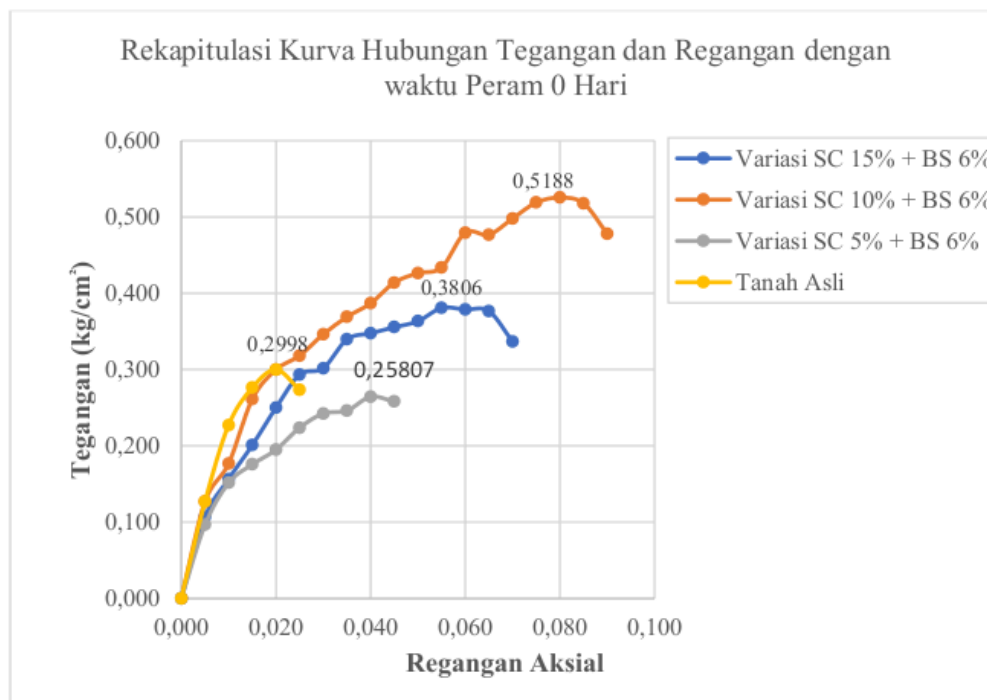
Pada pemeraman 7 hari, seluruh variasi mengalami penurunan kadar air optimum. Variasi SCB 5% + BBS 6% memiliki nilai sebesar 25%, variasi SCB 10% + BBS 6% sebesar 24%, dan variasi SCB 15% + BBS 6% sebesar 22%. Penurunan ini mengindikasikan bahwa proses pemeraman menyebabkan perubahan struktur tanah sehingga kebutuhan air untuk proses pemadatan menjadi lebih rendah.

Pada pemeraman 14 hari, kadar air optimum pada variasi SCB 5% + BBS 6% tetap sebesar 25%, variasi SCB 10% + BBS 6% tetap sebesar 24%, sedangkan variasi SCB 15% + BBS 6% mengalami sedikit peningkatan menjadi 23%. Meskipun demikian, nilai kadar air optimum pada seluruh variasi masih berada di bawah kondisi tanah asli.

Secara keseluruhan, hasil rekapitulasi menunjukkan bahwa penambahan serbuk cangkang bekicot yang dikombinasikan dengan bakteri *Bacillus subtilis* cenderung menurunkan kadar air optimum tanah. Nilai kadar air optimum terendah diperoleh pada variasi SCB 15% + BBS 6% dengan masa pemeraman 7 hari sebesar 22%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase serbuk cangkang bekicot yang lebih tinggi memerlukan kadar air yang lebih rendah untuk mencapai kepadatan maksimum, sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi proses pemadatan tanah.

c. Grafik Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah dengan Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*

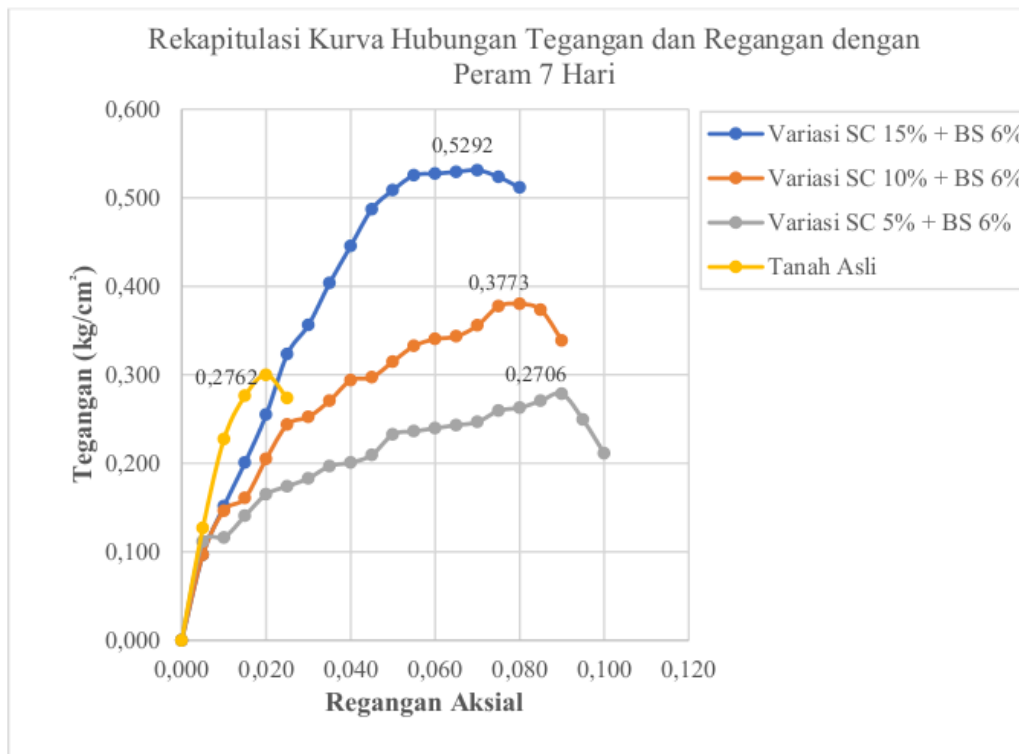
Grafik rekapitulasi pengujian kuat tekan bebas tanah dengan campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* menunjukkan perubahan nilai kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength/UCS*) pada setiap variasi campuran dan waktu pemeraman. Hasil rekapitulasi pengujian dapat dilihat pada grafik berikut.



Grafik 4. 58 Rekapitulasi Pengujian UCS Tanah Campuran SCB dan Bakteri *Bacillus subtilis* Pemeraman 0 hari
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

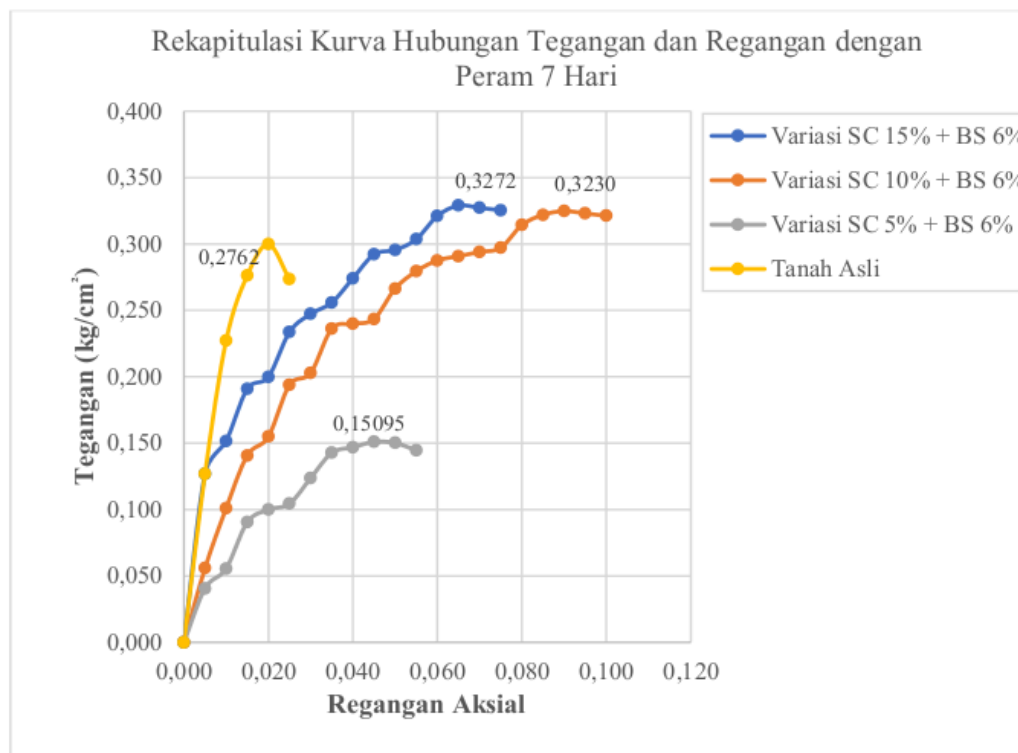
65

Berdasarkan hasil pengujian UCS pada campuran tanah dengan serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan masa pemeraman 0 hari, diperoleh peningkatan nilai kuat tekan bebas seiring bertambahnya kadar SCB. Nilai UCS pada variasi SCB 5% sebesar 0,26432 kg/cm², SCB 10% sebesar 0,52537 kg/cm², dan SCB 15% sebesar 0,38065 kg/cm².



Grafik 4. 59 Rekapitulasi Pengujian UCS Tanah Campuran SCB dan Bakteri *Bacillus subtilis* Pemeraman 7 hari
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

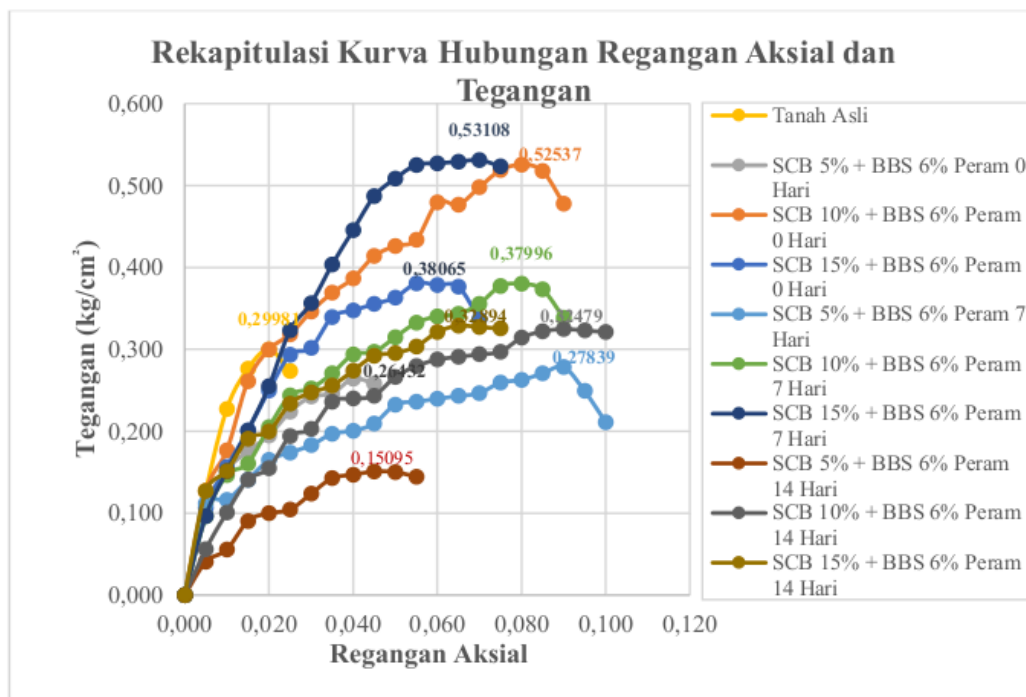
Berdasarkan hasil pengujian UCS pada campuran tanah dengan serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan masa pemeraman 7 hari, diperoleh peningkatan nilai kuat tekan bebas seiring bertambahnya kadar SCB. Nilai UCS pada variasi SCB 5% sebesar 0,27839 kg/cm², SCB 10% sebesar 0,37996 kg/cm², dan SCB 15% sebesar 0,53108 kg/cm². Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan SCB dan bakteri *Bacillus subtilis* mampu meningkatkan kekuatan tanah, dengan nilai UCS tertinggi diperoleh pada variasi SCB 15%.



Grafik 4. 60 Rekapitulasi Pengujian UCS Tanah Campuran SCB dan Bakteri *Bacillus subtilis* Pemeraman 14 hari
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian UCS pada campuran tanah dengan serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan masa pemeraman 14 hari, diperoleh peningkatan nilai kuat tekan bebas seiring bertambahnya kadar SCB. Nilai UCS pada variasi SCB 5% sebesar 0,15095 kg/cm², SCB 10% sebesar 0,32479 kg/cm², dan SCB 15% sebesar 0,32894 kg/cm². Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan SCB dan bakteri *Bacillus subtilis* mampu meningkatkan kekuatan tanah, dengan nilai UCS tertinggi diperoleh pada variasi SCB 15%.

Setelah dilakukan analisis nilai kuat tekan bebas (UCS) pada setiap variasi campuran serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* pada berbagai masa pemeraman, selanjutnya disajikan rekapitulasi kurva hubungan regangan aksial dan tegangan seluruh sampel pengujian. Rekapitulasi ini bertujuan untuk membandingkan perilaku deformasi tanah terhadap beban tekan yang diberikan, sehingga dapat diketahui pengaruh variasi campuran dan lama pemeraman terhadap peningkatan kekuatan tanah. Melalui perbandingan seluruh kurva, dapat diamati perubahan nilai tegangan maksimum serta karakteristik keruntuhan yang terjadi pada masing-masing variasi campuran



Grafik 4. 61 Rekapitulasi Pengujian UCS Keseluruhan Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*
(Sumber: Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Grafik 4.55, penambahan serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* (BS) meningkatkan nilai tegangan maksimum tanah dibanding tanah asli. Nilai optimum diperoleh pada variasi SCB 15% + BS 6% dengan pemeraman 7 hari, yaitu sebesar 0,53108 kg/cm². Namun, pada pemeraman 14 hari nilai tegangan maksimum cenderung menurun pada seluruh variasi campuran. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi SCB 15% + BS 6% dengan pemeraman 7 hari merupakan kondisi paling efektif dalam meningkatkan kekuatan tanah.

4.3.11 Hasil Rekapitulasi Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah dengan Campuran Serbuk Canggang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*

47 Tabel 4. 76 Rekapitulasi Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah dengan Campuran Serbuk Canggang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis*

No	Pengujian	Tanah Asli	0 Hari			7 Hari			14 Hari		
			Serbuk Cangkang Bekicot 5% dan Bakteri 6%	Serbuk Cangkang Bekicot 10% dan Bakteri 6%	Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri 6%	Serbuk Cangkang Bekicot 5% dan Bakteri 6%	Serbuk Cangkang Bekicot 10% dan Bakteri 6%	Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri 6%	Serbuk Cangkang Bekicot 5% dan Bakteri 6%	Serbuk Cangkang Bekicot 10% dan Bakteri 6%	Serbuk Cangkang Bekicot 15% dan Bakteri 6%
1.	Kadar Air (Wc)	53,17%	42,81%	37,77%	30,44%	29,12%	21,87%	15,73%	33,41%	25,66%	17,44%
2.	<i>Volumentry</i> (Angka Pori atau e)	0,954	0,951	0,925	0,843	0,821	0,737	0,679	0,850	0,761	0,691
	<i>Volumentry</i> (Derajat Kekenjutan atau SR)	50,039%	42,098%	38,069%	34,135%	32,739%	26,273%	21,679%	35,245%	30,157%	22,815%
3.	<i>Gravimetry</i> (Gs)	2,654	2,590	2,577	2,589	2,594	2,617	2,639	2,595	2,613	2,627
4.	<i>Liquid Limit</i> (LL)	76%	55,90%	45,30%	37,50%	30,80%	25,90%	18,40%	32%	27,80%	20,20%
5.	<i>Plastic Limit</i> (PI)	42,77%	34,31%	24,15%	22,47%	18,09%	15,46%	12,72%	16,32%	16,26%	13,62%
6.	<i>Plasticity Index</i> (PI)	33,33%	21,59%	21,15%	15,03%	12,71%	10,44%	5,68%	15,68%	11,54%	6,58%
7.	<i>Shrinkage Limit</i> (SL)	2,99%	12,50%	12,28%	12,23%	12,62%	10,64%	14,67%	10,04%	11,29%	12,72%
8	<i>Proctor</i>										
	(<i>γd max</i>)	1,447 <i>gr/cm³</i>	1,436 <i>gr/cm³</i>	1,470 <i>gr/cm³</i>	1,491 <i>gr/cm³</i>	1,505 <i>gr/cm³</i>	1,522 <i>gr/cm³</i>	1,536 <i>gr/cm³</i>	1,485 <i>gr/cm³</i>	1,500 <i>gr/cm³</i>	1,515 <i>gr/cm³</i>
9	<i>Optimum</i>	27%	28%	26%	25%	25%	24%	22%	25%	24%	23%
	Kuat tekan bebas (<i>qu</i>)	0,29981 <i>kg/cm²</i>	0,26432 <i>kg/cm²</i>	0,52537 <i>kg/cm²</i>	0,38065 <i>kg/cm²</i>	0,27839 <i>kg/cm²</i>	0,37996 <i>kg/cm²</i>	0,53108 <i>kg/cm²</i>	0,15095 <i>kg/cm²</i>	0,32479 <i>kg/cm²</i>	0,32894 <i>kg/cm²</i>

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4.4 Pembahasan

108

Analisis dan pembahasan dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan dengan tujuan untuk memberikan jawaban terhadap permasalahan yang diteliti. Pembahasan difokuskan pada pengaruh penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap karakteristik tanah lempung di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo. Adapun permasalahan yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi:

1. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap sifat fisis tanah lempung di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo?
2. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap sifat mekanis tanah lempung di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo?
3. Berapa persentase campuran serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* serta waktu pemeraman yang paling optimum dalam meningkatkan sifat tanah lempung di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo?

11

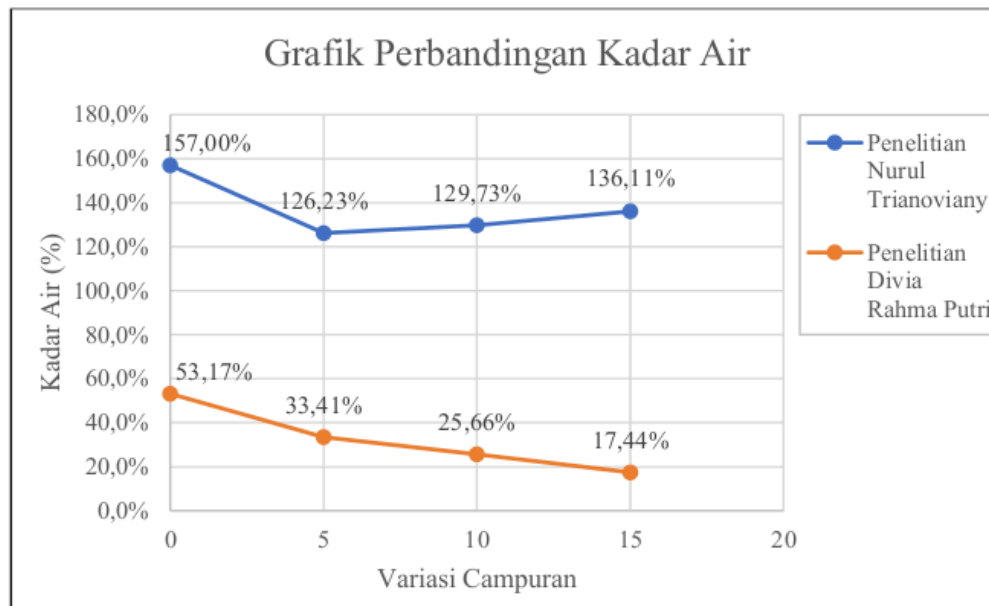
4.4.1 Pengaruh Penambahan Serbuk Cangkang Bekicot Dan Bakteri *Bacillus subtilis* Terhadap Sifat Fisis Tanah Lempung Di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo

Berdasarkan Grafik 33 perbandingan Kadar Air, terlihat bahwa penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan kadar air tanah lempung di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo. Pada penelitian ini, nilai kadar air menunjukkan penurunan yang konsisten seiring bertambahnya persentase campuran. Pada pemeraman 14 hari, kadar air turun dari kondisi tanah asli sebesar 53,17% menjadi 33,41% pada variasi SCB 5% dan BBS 6%, kemudian menjadi 25,66% pada variasi SCB 10% dan BCS 6%, dan mencapai nilai terendah sebesar 17,44% pada variasi SCB 15% dan BBS 6%.

Tabel 4. 77 Perbandingan Kadar Air dengan Peneliti Terdahulu

Keterangan	Tanah Asli	Variasi <i>Bacilus Subtillis</i> 5%	Variasi <i>Bacilus Subtillis</i> 10%	Variasi <i>Bacilus Subtillis</i> 15%
Penelitian Nurul Trianoviany (2021)	157%	126,23%	129,73%	136,11%
Penelitian Divia Rahma Putri	53,17%	33,41%	25,66%	17,44%

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Grafik 4. 62 Perbandingan Kadar Air dengan Peneliti Terdahulu
(Sumber : Data Olahan Peneliti,2026)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nurul Trianoviany (2021), pada tanah di Desa Triharj¹⁶ Bantul, hasil analisis ukuran butir oleh pengujian standar ASTM menunjukkan bahwa tanah yang digunakan termasuk dalam kategori tanah lanau (*silt*). Karakteristik tanah lanau yang didominasi butiran halus menyebabkan tanah memiliki kemampuan yang cukup tinggi dalam menyerap dan menahan air di dalam pori-porinya. Kondisi tersebut tercermin dari nilai kadar air tanah yang relatif tinggi sebelum dilakukan perlakuan stabilisasi.

Nilai kadar air pada penelitian tersebut relatif sangat tinggi, yaitu sebesar 157,00% pada kondisi awal dan berada pada rentang 126,23%–136,11% setelah perlakuan. Meskipun terjadi penurunan pada variasi 5%, nilai kadar air kembali meningkat pada variasi penambahan campuran bakteri *bacillus subtillis* 10% dan 15%. Namun peningkatan tersebut masih mengalami penurunan terhadap tanah aslinya.

Hasil tersebut²⁹ menunjukkan bahwa penggunaan campuran bakteri *Bacillus subtilis* efektif dalam mengurangi kadar air tanah. Penurunan kadar air terbesar pada penelitian ini diperoleh pada variasi campuran 15% yaitu sebesar 37,44% dari kondisi awal. Hasil ini mengindikasikan bahwa penamb¹⁴³ serbuk cangkang bekicot mampu memperbaiki sifat fisis tanah lempung dengan mengurangi kemampuan tanah dalam menyerap dan menahan air, sehingga tanah menjadi lebih stabil dibandingkan kondisi awal maupun hasil penelitian terdahulu.

11 4.4.2 Pengaruh penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap sifat mekanis tanah lempung di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo

Penambahan serbuk cangkang bekicot 5%, 10%, dan 15% dengan bakteri *Bacillus subtilis* 6% berpengaruh terhadap sifat mekanis tanah lempung di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo.

Pada waktu pemeraman 0 hari dengan variasi 5% nilai γ_d max 1,436 gr/cm³ dan nilai UCS adalah 0,26432 kg/cm², lalu pada variasi 10% γ_d max 1,470 gr/cm³ dan nilai UCS adalah 0,52537 kg/cm², sedangkan pada variasi 15% γ_d max 1,491 gr/cm³ dan nilai UCS adalah 0,38065 kg/cm².

1 Pada waktu pemeraman 7 hari dengan variasi 5% nilai γ_d max 1,505 gr/cm³ dan nilai UCS adalah 0,27839 kg/cm², lalu pada variasi 10% γ_d max 1,522 gr/cm³ dan nilai UCS adalah 0,37996 kg/cm², sedangkan pada variasi 15% γ_d max 1,536 gr/cm³ dan nilai UCS adalah 0,53108 kg/cm².

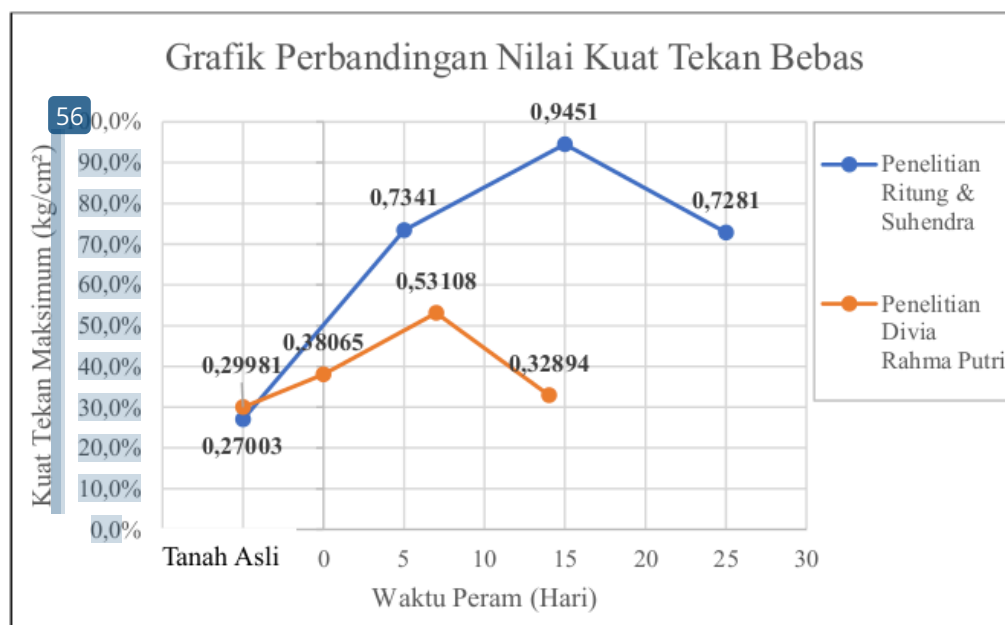
Pada waktu pemeraman 14 hari dengan variasi 5% nilai γ_d max 1,485 gr/cm³ dan nilai UCS adalah 0,15095 kg/cm², lalu pada variasi 10% γ_d max 1,500 gr/cm³ dan nilai UCS adalah 0,32479 kg/cm², sedangkan pada variasi 15% γ_d max 1,515 gr/cm³ dan nilai UCS adalah 0,32894 kg/cm².

Perbaikan tanah terbesar diperoleh pada variasi 15% dengan pemeraman 7 hari, yaitu meningkatkan nilai γ_d max menjadi 1,536 gr/cm³ dan nilai UCS menjadi 0,53108 kg/cm².

1 Tabel 4. 78 Perbandingan Nilai Kuat Tekan Bebas dengan Peneliti Terdahulu

Keterangan	Tanah Asli	Peram 0 hari	Peram 5 hari	Peram 7 hari	Peram 14 Hari	Peram 15 Hari	Peram 25 Hari
Penelitian Ritung & Suhendra (2025)	0,27003	-	0,7341	-	-	0,9451	0,7281
Penelitian Divia Rahma Putri	0,29981	0,38065	-	0,53108	0,32894	-	-

(Sumber : Data Olahan Peneliti,2026)



Grafik 4. 63 Perbandingan Nilai Kuat Tekan Bebas dengan Peneliti Terdahulu
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ritung dan Suhendra (2025), tanah yang digunakan dalam penelitian diklasifikasikan sebagai tanah lempung yang ditunjukkan oleh hasil pengujian karakteristik tanah yang meliputi *specific gravity*, batas Atterberg, dan distribusi ukuran butir.

Lalu nilai kuat tekan bebas, pada penelitian ini, yang ditunjukkan oleh kurva UCS biru memperlihatkan peningkatan kuat tekan bebas seiring bertambahnya waktu pemeraman hingga mencapai kondisi optimum. Nilai UCS pada tanah asli sebesar 0,29981 kg/cm², kemudian meningkat menjadi 0,73410 kg/cm² pada pemeraman 5 hari. Peningkatan tersebut terus berlanjut hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 0,94510 kg/cm² pada pemeraman 15 hari. Setelah melewati waktu pemeraman optimum, nilai UCS mengalami penurunan menjadi 0,72810 kg/cm² pada pemeraman 25 hari, meskipun nilainya masih lebih tinggi dibandingkan kondisi tanah asli.

Hasil kedua penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan bebas tertinggi pada penelitian terdahulu mencapai 0,94510 kg/cm², sedangkan pada penelitian ini mencapai 0,53108 kg/cm². Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh karakteristik tanah, komposisi campuran, kondisi pemeraman, serta mekanisme stabilisasi yang terjadi pada masing-masing penelitian. Walaupun demikian, hasil penelitian ini membuktikan bahwa penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kuat tekan bebas tanah

lempung di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo, dengan kondisi optimum diperoleh pada variasi campuran 15% dan pemeraman 7 hari yang menghasilkan nilai UCS sebesar 0,53108 kg/cm².

4.4.3 Persentase Campuran Serbuk Cangkang Bekicot Dan Bakteri *Bacillus subtilis* Serta Waktu Pemeraman Yang Paling Optimum Dalam Meningkatkan Sifat Tanah Lempung Di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo

Persentase campuran dan waktu pemeraman paling optimum dalam meningkatkan sifat tanah lempung di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo diperoleh pada variasi serbuk cangkang bekicot 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 7 hari. Variasi tersebut mampu menurunkan kadar air sebesar 37,44%, menurunkan angka porositasi menjadi 0,679, menurunkan derajat kejenuhan menjadi 21,679%, menurunkan nilai *Liquid limit* (LL) sebesar 57,60%, dan menurunkan nilai *Plasticity index* (PI) sebesar 27,65%, serta meningkatkan nilai *Shrinkage limit* (SL) menjadi 14,67%, nilai *Specific Gravity* (Gs) menjadi 2,639, nilai berat isi kering maksimum (γ_d max) menjadi 1,536 gr/cm³, dan nilai UCS menjadi 0,53108 kg/cm².

Berdasarkan jurnal Alkadri et al. (2022), sampel tanah yang digunakan dalam penelitian tersebut berasal dari Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. Hasil pengujian sifat fisik tanah menunjukkan bahwa tanah tersebut termasuk lanau berplastisitas rendah (ML) menurut sistem klasifikasi USCS (Unified Soil Classification System). Sementara itu, berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO, tanah tersebut termasuk ke dalam kelompok A-7-5, yaitu tanah lempung dengan kualitas sedang hingga buruk.

Pada penelitian pendahulu ini, memperlihatkan kondisi yang sejalan yang didalamnya menunjukkan bahwa penambahan larutan bakteri *Bacillus subtilis* 6% menghasilkan nilai kuat tekan optimum sebesar 19,96 kg/cm² pada pemeraman 13,8 hari, atau meningkat sekitar enam kali lipat dibandingkan tanah tanpa stabilisasi yang hanya memiliki nilai kuat tekan 3,02 kg/cm². Peningkatan kekuatan tanah tersebut terjadi karena aktivitas bakteri *Bacillus subtilis* yang menghasilkan presipitasi kalsit (*Microbially Induced Calcite Precipitation/MICP*) sehingga rongga-rongga tanah terisi dan ikatan antarpartikel tanah menjadi lebih kuat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Penambahan serbuk cangkang bekicot 5%, 10%, dan 15% dengan bakteri *Bacillus subtilis* 6% berpengaruh terhadap sifat fisis tanah lempung di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo. Semakin besar persentase campuran, nilai kadar air, *Liquid limit* (LL), dan *Plasticity index* (PI) semakin menurun, sedangkan nilai *Shrinkage limit* (SL) dan *Specific Gravity* (Gs) meningkat. Perbaikan terbesar diperoleh pada variasi 15% dengan pemeraman 7 hari, yaitu menurunkan kadar air sebesar 37,44%, nilai LL sebesar 57,60%, dan nilai PI sebesar 27,65%, serta meningkatkan nilai SL menjadi 14,67% dan nilai Gs menjadi 2,639.
2. Penambahan serbuk cangkang bekicot (SCB) 5%, 10%, dan 15% dengan bakteri *Bacillus subtilis* 6% berpengaruh meningkatkan kepadatan tanah lempung lunak Desa Ploso, Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan nilai *Maximum Dry Density* (MDD) dari 1,447 cm^3 pada tanah asli menjadi 1,536 gr/cm^3 pada campuran SCB 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 7 hari, serta penurunan nilai *Optimum Moisture Content* (OMC) dari 27% menjadi 22%. Kondisi optimum diperoleh pada campuran SCB 15% dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 7 hari.
3. Penambahan serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan bebas tanah lempung lunak. Nilai UCS optimum diperoleh pada campuran SCB 15% dan *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 7 hari sebesar 0,53108 kg/cm^2 meningkat 77,08% dibandingkan tanah asli sebesar 0,2998 kg/cm^2 . Namun, pada pemeraman 14 hari nilai UCS menurun menjadi 0,15095 kg/cm^2 (SCB 5%), 0,32479 kg/cm^2 (SCB 10%), dan 0,32894 kg/cm^2 (SCB 15%). Dengan demikian, kondisi optimum diperoleh pada campuran SCB 15% dan *Bacillus subtilis* 6% dengan pemeraman 7 hari.

5.2 Saran

1. Dapat dilakukan pengujian menggunakan skala besar dengan menggunakan metode *inject* pada tanah lempung lunak
2. Perlu dilakukan pengujian lanjutan seperti CBR, *permeabilitas*, dan SEM untuk mengetahui karakteristik tanah hasil stabilisasi secara lebih mendalam dan mendukung aplikasi di lapangan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Amran, Y., Sugiarto, S., Surandono, A., Penurunan, M., & Tanah, M. (2022). Analisis Stabilitas Tanah Berbutir Halus Berplastisitas Tinggi Menggunakan Difa Soil. *Tapak*, 11(2), 135–146.
- Hermansyah, & Zebua, F. (2020). Tinjauan Terhadap Sifat Plastisitas Tanah Lempung Yang Distabilisasi Dengan Limbah Cangkang Kerang. *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building, and Transportation)*, 4(1), 31–38.
- Ikhwan Ardi, Gusneli Yanti, & Muthia Angraini. (2023). Stabilitas Tanah Lempung Dengan Serbuk Cangkang Kerang Terhadap Nilai Kuat Geser. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 12(1), 1–7. <https://doi.org/10.22225/pd.12.1.5519.1-7>
- Jain, S., Fang, C., & Achal, V. (2021). A critical review on microbial carbonate precipitation via denitrification process in building materials. *Bioengineered*, 12(1), 7529–7551. <https://doi.org/10.1080/21655979.2021.1979862>
- Lim, A., Muhammad, D. A., & Lestari, A. S. (2019). Studi Eksperimental Kemampuan Biosementasi Bakteri Lokal pada Tanah Pasir Lepas. *Jurnal Teknik Sipil*, 26(2), 129–138. <https://doi.org/10.5614/jts.2019.26.2.5>
- Maitimu, A., Latar, S., Selfi Lorensa Tabakwan, Y., Teknik Sipil, J., & Negeri Ambon Yani Selfi Lorensa Tabakwan, P. (2023). *Prosiding National Seminar and Call for Paper Civil Days 2023 Diselenggarakan di Malang, 14 September 2023 e-ISSN (2964-772X) Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Arang Tempurung Kelapa Pada Tanah Dasar Perkerasan Jalan Ruas Ilngai-Aruidas*. 3(September).
- Nasution, D. W., Hastuty, I., & Iskandar, F. (2024). The Effect Of Clam Shell Powder And Fly Ash as Clay Stabilizier on California Bearing Ratio (CBR) And Unconfined Compression Test (UCT). *Simetrikal: Journal of Engineering and Technology*, 3(1), 40–48. <https://doi.org/10.32734/jet.v3i1.12810>
- Nasution, M. S., Purwana, Y. M., Setiawan, B., Program, M., Teknik, S., Maret, U. S., Program, P., Teknik, S., & Maret, U. S. (2017). Penurunan Permeabilitas Dan Peningkatan Kuat Geser Tanah Lanau Menggunakan Pengaruh Mikrobakteri *Bacillus Subtilis* Dan *Pseudomonas Sp* Muhammad. *Cived*, 1391–1398.
- Potorti, A. G., Messina, L., Licata, P., Gugliandolo, E., Santini, A., & Di Bella, G. (2024). Snail Shell Waste Threat to Sustainability and Circular Economy: Novel Application in Food Industries. *Sustainability (Switzerland)*, 16(2), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su16020706>

- Ritung, F. V., & Suhendra, A. (2025). Analisis Pengaruh Bakteri *Bacillus subtilis* Terhadap Parameter Kuat Geser Pada Tanah Lanau. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 8(3), 609–620. <https://doi.org/10.24912/jmts.v8i3.34210>
- Royan, N., Martini, R. A. S., Setiawati, M., & Yulianti, R. (2023). the Effect of Blood Clam Shell Powder Addition on Shear Strength Value of Clay Soil. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, 10(1), 35–45. <https://doi.org/10.29121/ijetmr.v10.i1.2023.1284>
- Sufa, I. ., Ardalli, J. ., & Soedarsono, S., & Fitriyana, L. (2022). Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Penambahan Bahan Silica Fume dan Limbah Gypsum. *Unissula (KIMU) Klaster Engineering*, 7(Kimu 7), 257–264.
- Tuflasa, S. I., Raidyarto, A., & Sitorus, P. H. (2024). Pemanfaatan Campuran Abu Cangkang Kerang Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Terhadap Nilai Kuat Geser. ... : *Seminar Nasional Teknik ...*, 201–212.
- Amran, Y., Sugiarto, S., Surandono, A., Penurunan, M., & Tanah, M. (2022). Analisis Stabilitas Tanah Berbutir Halus Berplastisitas Tinggi Menggunakan Difa Soil. *Tapak*, 11(2), 135–146.
- Hermansyah, & Zebua, F. (2020). Tinjauan Terhadap Sifat Plastisitas Tanah Lempung Yang Distabilisasi Dengan Limbah Cangkang Kerang. *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building, and Transportation)*, 4(1), 31–38.
- Ikhwan Ardi, Gusneli Yanti, & Muthia Angraini. (2023). Stabilitas Tanah Lempung Dengan Serbuk Cangkang Kerang Terhadap Nilai Kuat Geser. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 12(1), 1–7. <https://doi.org/10.22225/pd.12.1.5519.1-7>
- Jain, S., Fang, C., & Achal, V. (2021). A critical review on microbial carbonate precipitation via denitrification process in building materials. *Bioengineered*, 12(1), 7529–7551. <https://doi.org/10.1080/21655979.2021.1979862>
- Lim, A., Muhammad, D. A., & Lestari, A. S. (2019). Studi Eksperimental Kemampuan Biosementasi Bakteri Lokal pada Tanah Pasir Lepas. *Jurnal Teknik Sipil*, 26(2), 129–138. <https://doi.org/10.5614/jts.2019.26.2.5>
- Maitimu, A., Latar, S., Selfi Lorensa Tabakwan, Y., Teknik Sipil, J., & Negeri Ambon Yani Selfi Lorensa Tabakwan, P. (2023). *Prosiding National Seminar and Call for Paper Civil Days 2023 Diselenggarakan di Malang, 14 September 2023 e-ISSN (2964-772X) Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Arang Tempurung Kelapa Pada Tanah Dasar Perkerasan Jalan Ruas Ilngei-Aruidas*. 3(September).

- Nasution, D. W., Hastuty, I., & Iskandar, F. (2024). The Effect Of Clam Shell Powder And Fly Ash as Clay Stabilizier on California Bearing Ratio (CBR) And Unconfined Compression Test (UCT). *Simetrikal: Journal of Engineering and Technology*, 3(1), 40–48. <https://doi.org/10.32734/jet.v3i1.12810>
- Nasution, M. S., Purwana, Y. M., Setiawan, B., Program, M., Teknik, S., Maret, U. S., Program, P., Teknik, S., & Maret, U. S. (2017). Penurunan Permeabilitas Dan Peningkatan Kuat Geser Tanah Lanau Menggunakan Pengaruh Mikrobakteri *Bacillus Subtilis* Dan *Pseudomonas Sp* Muhammad. *Cived*, 1391–1398.
- Potorti, A. G., Messina, L., Licata, P., Gugliandolo, E., Santini, A., & Di Bella, G. (2024). Snail Shell Waste Threat to Sustainability and Circular Economy: Novel Application in Food Industries. *Sustainability (Switzerland)*, 16(2), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su16020706>
- Ritung, F. V., & Suhendra, A. (2025). Analisis Pengaruh Bakteri *Bacillus subtilis* Terhadap Parameter Kuat Geser Pada Tanah Lanau. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 8(3), 609–620. <https://doi.org/10.24912/jmts.v8i3.34210>
- Royan, N., Martini, R. A. S., Setiawati, M., & Yulianti, R. (2023). the Effect of Blood Clam Shell Powder Addition on Shear Strength Value of Clay Soil. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, 10(1), 35–45. <https://doi.org/10.29121/ijetmr.v10.i1.2023.1284>
- Sufa, I. . ., Ardalli, J. . ., & Soedarsono, S., & Fitriyana, L. (2022). Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Penambahan Bahan Silica Fume dan Limbah Gypsum. *Unissula (KIMU) Klaster Engineering*, 7(Kimu 7), 257–264.
- Tuflasa, S. I., Raidyarto, A., & Sitorus, P. H. (2024). Pemanfaatan Campuran Abu Cangkang Kerang Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Terhadap Nilai Kuat Geser. ... : *Seminar Nasional Teknik ...*, 201–212.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Divia Rahma Putri, biasa dipanggil Divia, lahir di Kediri pada 10 Januari 2003 sebagai anak tunggal dari pasangan Bapak Ahmad Saik Rifa'i dan Ibu Ida Rohana. Penulis menempuh pendidikan di SD Negeri Deyeng 2, SMP Negeri 1 Wates, dan SMA Negeri 1 Wates, Kabupaten Kediri. Pada tahun 2022, penulis melanjutkan pendidikan di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 (UNTAG) Surabaya. Selama perkuliahan, penulis memperoleh pengetahuan di berbagai bidang teknik sipil, khususnya geoteknik. Penulis juga melaksanakan Kerja Praktik pada proyek Sentral Tunjungan Heritage Surabaya yang dikerjakan oleh PT Solobhakti Trading & Contractor,

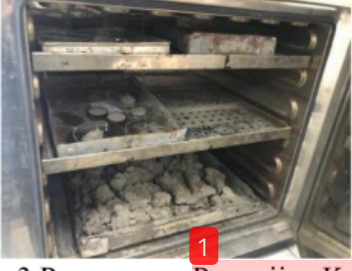
sehingga memperoleh pengalaman langsung mengenai pelaksanaan konstruksi di lapangan. Dalam penyusunan tugas akhir, penulis memilih bidang Geoteknik dengan judul penelitian **“Studi Eksperimental Perbaikan Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Lempung Lunak Menggunakan Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus subtilis* (Lokasi Studi: Desa Ploso, Kecamatan Wonoayu, Kabupaten Sidoarjo)”**. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas 17 Agustus 1945 (UNTAG) Surabaya dan Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemanfaatan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* terhadap peningkatan sifat fisis dan mekanis tanah lempung lunak sebagai alternatif stabilisasi tanah yang ramah lingkungan dan ekonomis. Selama penyusunan tugas akhir, penulis mendapat bimbingan dari Ir. Laily Endah Fatmawati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I dan Dr. Andi Patriadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II. Penulis berharap ilmu dan pengalaman yang diperoleh selama masa studi dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu geoteknik dan dunia konstruksi di Indonesia. Penulis dapat dihubungi melalui email diviarahmaputri@gmail.com atau nomor telepon 085749948807.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

9

L. 1 Dokumentasi Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah

No.	Pengujian	Dokumentasi
1.	Pengambilan Sampel Tanah Natural	 (a) (b) Gambar 1 a,b Pengambilan Tanah <i>Undisturb</i>  Gambar 2 Pengambilan Tanah <i>Disturb</i>
2.	Kadar Air	 Gambar 3 Proses oven Pengujian Kadar Air

2.	Berat Volume Tanah (Volumetry)	 (a) 1 (b) Gambar 4 a,b Pengujian Berat Volume Tanah
3.	Berat Jenis Tanah (Gravimetry)	 Gambar 5 Pengujian Berat Jenis Tanah
4.	Pengujian Konsistensi Tanah	 (a) (b) Gambar 6 a,b Pengujian Konsistensi Tanah

5.	Pengujian Pemasatan (<i>Proctor</i>)	  (a) 11 (b) Gambar 7a,b Pengujian Pemasatan Tanah
6.	Pengujian Kuat Tekan Bebas atau <i>Unconfined Compression Test (UCS)</i>	  4 (a) (b) Gambar 8 a,b Pengujian Kuat Tekan Bebas

L. 2 Form Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis Tanah



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH & BATUAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP-ITS.
 Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya (60111)
 Telp.: 031-5928601, 5994251-55 Psw. 1140, Fax. 031-5928601
 e-mail: tanah.its@gmail.com

BERAT VOLUME DAN SPECIFIC GRAVITY

NAMA : _____

N R P : _____

JURUSAN : _____

TITIK BOR : _____

LOKASI : _____

KEDALAMAN (m): _____

TANGGAL TEST : _____

BERAT VOLUME TANAH			1	2	3	KETERANGAN
1	No Cawan	gr				
2	Berat Cawan Kosong	gr				
3	Berat Cawan + Tanah Basah	gr				
4	Berat Cawan + Tanah Kering	gr				
5	Berat Cawan Peluboran	gr				
6	Berat Cawan peluboran + Hg luber	gr				
7	Berat Hg Luber (6 - 5)	gr				
8	Berat Tanah Basah (3 - 2)	gr				
9	Volume Tanah (7 / 13.6)	gr				
10	Berat Air (3 - 4)	gr				
11	Berat Tanah Kering (4 - 2)	gr				
12	Berat / Volume Tanah (8 / 9)	γt gr/cc				
13	Berat / Volume Kering (11 / 9)	γd gr/cc				
14	Kadar Air (10 / 11 * 100)	WC %				
15	Derajat Kejelutahan (14 * 29 / 17)	Sr %				
16	Kadar Pori (17 / (1 + 17) * 100)	n %				
17	Angka Pori (28 / 27)	e %				

SPECIFIC GRAVITY TANAH			1	2	3	RATA-RATA
18	No Pikno	gr				
19	Berat Pikno Kosong	gr				
20	Berat Pikno + Air Suling	gr				
21	Berat Pikno + Tanah Kering	gr				
22	Berat Pikno+Tanah+Air (20+26)	gr				
23	Berat Pikno+Tanah+Air (setelah difakum)	gr				
24	Temperatur					
25	Berat Air	gr				
26	Berat Tanah Kering (21 - 19)	gr				
27	Volume butir (11 / 29)	Vs cc				
28	Volume Pori (9 / 27)	Vv cc				
29	Specific Gravity (11 * α / (22 - 23))	Gs				

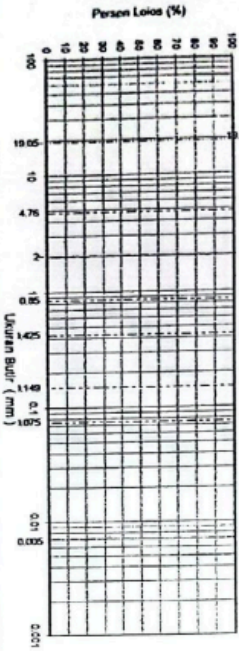
HAL - 4



PENGUJIAN GRADASI DAN HYDROMETER

NAMA :
NRP :
JURUSAN :

Kerikil	Pasir			Tanah	
	Kasar	Seang	Halus	Lempu	Lempung



KLASIFIKASI

KERIKIL : % LAYAU : %
PASIR : % LEMPUNG : %

LOLOS # 4 : % D 10 : mm
LOLOS # 10 : % D 30 : mm
LOLOS # 40 : % D 60 : mm
LOLOS # 100 : % Cu :
LOLOS # 200 : % Cc :
USCS :
ASTHO :

A. ANALISA GRADASI - METODA MEKALERK					B. ANALISA GRADASI - METODA HYDROMETER										
BERAT TANAH =		gr	BERAT TERTAMBAH =		gr		BERAT TANGKAI PAN =		gr	KORREKSI =					
AYAKAN (mm)	BERAT TERTAMBAH (gr)	%	TERTAMBAH	%	LOLOS	%	WAKTU MATUR	TEMPERATUR	Ra	Rd	L	U	K	%	D (mm)
75							0.5								
60							1								
25							2								
15							3								
0.8							4								
0.425							8								
2							15								
0.850							30								
0.425							60								
0.250							120								
0.150							180								
0.075							240								
0.075							300								
0.075							360								
0.075							420								

HAL. 8

LABORATORIUM MEKANIKA TANAH & BATUAN

JURUSAN TEKNIK SIPIL, FTSP-ITS,
Kampus ITS, Kepuli, Sukolilo, Surabaya (60111)
Telp: 031-5928601, 5994251-55 Psw: 1140, Fax: 031-5928601
e-mail: tanah.its@gmail.com

TITIK BOR :
KEDALAMAN :
TANGGAL TEST :



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH & BATUAN

JURUSAN TEKNIK SIPIL, FTSP-ITS,

Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya (60111)
Telp. 031-8258001, 8254251-45 Perek. 1140, Fax 031-822601
e-mail: tanah.its@gmail.com

UJI KONSISTENSI TANAH

NAMA : _____
N R P : _____
JURUSAN : _____

TTIK BOR : _____
KEDALAMAN : _____
TANGGAL TEST : _____

UJI BATAS CAIR (LIQUID LIMIT TEST)

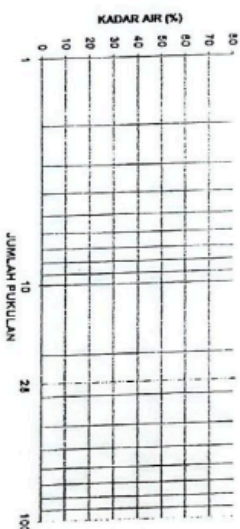
No. Cawan	Unit	I	II	III
Berat Cawan	(gr)			
Berat Cawan	W ₁	(gr)		
Berat Cawan + Tanah basah	W ₂	(gr)		
Berat tanah basah	W ₃ = W ₂ -W ₁	(gr)		
Berat cawan + tanah kering	W ₄	(gr)		
Berat tanah kering	W ₅ = W ₄ -W ₁	(gr)		
Berat air	W ₆ = W ₃ -W ₅	(gr)		
Kadar air	W ₆ = W ₃ -W ₅	(%)		
Jumlah Pukulan				

UJI BATAS PLASTIS (PLASTIC LIMIT TEST)

No. Cawan	Unit	I	II	III
Berat Cawan	W ₁	(gr)		
Berat Cawan + Tanah basah	W ₂	(gr)		
Berat tanah basah	W ₃ = W ₂ -W ₁	(gr)		
Berat cawan + tanah kering	W ₄	(gr)		
Berat tanah kering	W ₅ = W ₄ -W ₁	(gr)		
Berat air	W ₆ = W ₃ -W ₅	(gr)		
Batas Plastik, PL	PL = W ₆ /W ₅	(%)		

UJI BATAS KURUT (SHRINKAGE LIMIT TEST)

No. Cawan	Unit	I	II	III
Berat Cawan	W ₁	(gr)		
Berat Cawan + Tanah basah	W ₂	(gr)		
Berat tanah basah	W ₃ = W ₂ -W ₁	(gr)		
Berat cawan + tanah kering	W ₄	(gr)		
Berat tanah kering	W ₅ = W ₄ -W ₁	(gr)		
Kadar air mula-mula	W ₆ = W ₃ -W ₅	(gr)		
Berat air rasas dengan vol. = vol	W ₈	(gr)		
mangkok empuk				
Berat air rasas dengan vol. = vol	W ₇	(gr)		
tanah kering				
Volume tanah basah (W ₃ /13.6)	V ₁	(cm ³)		
Volume tanah kering (W ₅ /13.6)	V ₂	(cm ³)		
Batas Kurut, SL	SL =	(%)		



Batas Cair (Liquid Limit), LL = _____ %
Batas Plastik (Plastic Limit), PL = _____ %
Indeks Plastisitas (Plasticity Index), PI = _____ %
HAL. 7

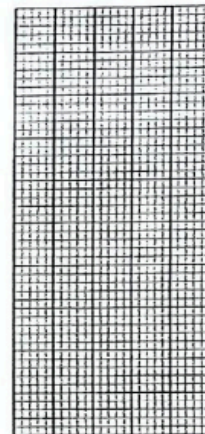


NAMA : _____
NRP : _____
JURUSAN : _____

SAMPEL NO : _____
LOKASI : _____
TANGGAL : _____

[illegible]

LOAD RING CALIBRATION (LRC) =

[illegible]

Regangan Aksial (%)

GAMBAR RUNTUHAN



HAL - 8

$6 \times 0.01 \text{ mm}$



LEMBAR KERJA PROKTOR STANDARD / MODIFIED TEST
(AASHTO T 99-90 ; PB.0112-76; GRI 03-1742-1989)

KUJEN								
PROYEK								
LOKASI MATERIAL								
JENIS MATERIAL								
Sample No.								
Diameter mold (ø)	cm	Berat Penumbuk : 10 / 5.5 lb						
Tinggi Mold (h)	cm	Tinggi Jatuh : 45.7 cm / 30 cm						
Volume Mold (V)	cm ³							
	unit	1	2	3	4	5	6	7
Berat Cawan	gr							
Berat cawan + tanah	gr							
Berat cawan + tanah kering	gr							
Berat tanah basah	gr							
Berat air	gr							
Berat tanah kering	gr							
Berat Mold + tanah	gr							
Berat Mold	gr							
Berat Tanah	gr							
Volume Mold	cm ³							
Berat volume tanah (γt)	gr/cm ³							
Kadar air (Wc)	%							
Berat Volume Kering (γd)	gr/cm ³							

LEMBAR KERJA CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) LAB.

LOKASI MATERIAL								
JENIS MATERIAL								
Sample No.								
- Diameter mold	15.20	cm	Berat = 6900					
- Tinggi mold	18.71	cm	Berat Mold = 11.055					
- Volume mold		cm ³						
			γd max : 27 gr/cm ³					
			CMC : 2%					
			Jumlah Tumbukan : 56 / 12.5 mm					
			Tinggi Jatuh : 45.7 cm					
			Kalibrasi Proving Ring : 2, 2 lb					
1. PENGAMATAN KADAR AIR (Wc)	Unit	Sebelum	Sesudah	3. PENGAMATAN CBR Lab.				Beban (Lb)
Nomor Cawan	5-1	Perendaman		Waktu	Penurunan Dial (Inch)		Pembacaan Proving Ring Atas	Bawah
Berat cawan kosong				0	0.0000			
Berat cawan + tanah basah			13,278	15"	0.0125	3	9	
Berat cawan + tanah kering			15,186	30"	0.0250	13	13	
Berat air				60"	0.0500	21	23	
Berat tanah kering				1.5'	0.0750	23	32	
Kadar Air (Wc)				2'	0.1000	29	40	
2. PENGAMATAN BERAT VOLUME CBR				3'	0.1500	35	46	
Berat Mold kosong	6900			4'	0.2000	36	49	
Berat mold + tanah	11.000			6'	0.3000	42	56	
Berat tanah dalam mold	4.100			8'	0.4000	45	60	
Volume mold				10'	0.5000	51	63	
Berat / volume tanah (γt)								
Berat / volume kering (γd)								
4. PENGAMATAN SWELLING								
Tanggal Pembacaan								
Waktu								
Pembacaan Dial Swelling								

L. 3 Letter Of Acceptance (LoA) Jurnal

Terbit online pada laman web jurnal : <https://journal.uac.ac.id/index.php/jutin>

**Jurnal Teknik Industri Terintegrasi
(JUTIN)**

Jl. Tuanku Tambusai No. 23 Bangkinang, Riau
| e-ISSN (Online) 2620-8962 |



LETTER OF ACCEPTANCE (LoA)
Nomor. 59109/JUTIN/TIN-FT/UPTT/V/2026

Dewan penyunting Jurnal JUTIN telah menerima artikel,

Nama : Aris Fiatno, M.T
Jabatan : Editor in Chief Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)
Institusi : Universitas Pahlawan Tuanku Tambusai
Terindeks : Google Scholar, Portal Garuda, Crossref, SINTA (Grade 5)

Dengan ini menerangkan bahwa artikel dengan judul :

**Studi Eksperimental Analisis Pengaruh Serbuk Cangkang
Bekicot dan Bakteri *Bacillus Subtilis* pada Tanah Lunak
Terhadap Nilai Kepadatan dan Kuat Tekan Tanah di
Kecamatan Wonoayu - Sidoarjo**

Nama : Divia Rahma Putri¹, Laily Endah Fatmawati¹, Andi Patriadi¹
Asal Instansi : ⁽¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Menyatakan bahwa artikel tersebut **telah diproses** sesuai Prosedur Penulisan dan **akan publish** pada **Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)** Volume 9 Nomor 3 Tahun 2026.

Demikian surat keterangan ini dibuat dan harap dipergunakan dengan sebaik-baiknya.

Bangkinang, 30 Mei 2026
Yang membuat pernyataan



Aris Fiatno, M.T

L. 4 Lembar Bimbingan & Persetujuan Dosen Pembimbing



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

LEMBAR BIMBINGAN & PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING
Periode Semester Genap 2025/2026

Nama	: Divia Rahma Putri	
NIM	: 1432200113	
Alamat Rumah/Kost	: Jl. Semolowaru Praja No 7	
Nomor HP/Whatsapp	: 085791205471	
Dosen Pembimbing 1	: Ir. Laily Endah Fatmawati, S.T., M.T	
Dosen Pembimbing 2	: Dr. Andi Patriadi, ST., MT	
Tanggal Pembekalan TA	: Kamis, 29 Januari 2026	
Publikasi Artikel Ilmiah		Paraf Koor TA 
Nama Jurnal/Seminar	: JUTIN : Jurnal Teknik Industri Terintegrasi	
Link Jurnal	:	
Tanggal Publish	:	

Judul Tugas Akhir:

STUDI EKSPERIMENTAL PERBAIKAN SIFAT FISIS DAN MEKANIS
MENGGUNAKAN TEKNIK BIOROUTINE SERBUK CANGKAM
BEKICOT DAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* DI KECAMATAN WONOREJO


 (Ir. Laily Endah Fatmawati, S.T., M.T)


 (Dr. Andi Patriadi, ST., MT)


 (Dr. Ir. Dika Ayu Safitri, ST., MT., Ph.D)

Keterangan :

1. Bimbingan **WAJIB** dilakukan minimal 2 minggu sekali
2. Mahasiswa **WAJIB** sudah melakukan bimbingan dan publikasi jurnal / seminar nasional / internasional yang terakreditasi
3. Segala bentuk pelanggaran dapat dikenakan sanksi dari Program Studi Teknik Sipil Untag Surabaya

Mengetahui,
Ka. Program Studi Teknik Sipil


 (Ir. Michella Beatrice, ST., MT.)



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

LEMBAR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Minggu	No	Tanggal	Uraian Perbaikan / Konsultasi	Paraf Dosen Pembimbing
Ke - 1 dan 2 Perkuliahan	1.	24 Feb 2026	Pengambilan tanah disturb dan Undisturb	
	2.	25 Feb 2026	Pengujian sifat fisis dan mekanis Volumetry, G_s , L_L , P_L , S_L , Proctor, UCS tanah asli	
Ke - 3 dan 4 Perkuliahan	3.	27 Feb 2026	Konsultasi Pengujian Proctor dan UCS	
	4.	05 Mar, 2026	Data Pengujian fisis tanah asli (Khucus Pengujian S_L diulang)	
Ke - 5 dan 6 Perkuliahan	5.	11 Mar 2026	Data Pengujian mekanis (Proctor, UCS)	
	6.	18 Mar 2026	Metode pengambilan tanah disturb	
Ke - 7 dan 8 Perkuliahan	7.	25 Mar 2026	Metode Pencampuran tanah dan limbah	
	8.	01 April 2026	Penyiaran limbah (Metode)	



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

LEMBAR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Minggu	No	Tanggal	Uraian Perbaikan / Konsultasi	Paraf Dosen Pembimbing
Ke - 9 dan 10 Perkuliahan	9.	08 April 2026	-Metode pengujian Fisis tanah campuran	
	10.	15 April 2026	- Pengujian sifat mekanis tanah campuran	
Ke - 11 dan 12 Perkuliahan	11.	29 April 2026	- Progres data fisis dan mekanis tanah campuran	
			- Menyusun jurnal	
	12.	05 Mei 2026	- Revisi jurnal, kurangi tabel dan grafik menyanya saja	
Ke - 13 dan 14 Perkuliahan	13.	13 Mei 2026	- Cek grafik rekapitulasi	
	14.	18 Mei 2026	Acc - Sidang TA.	
Ke - 15 Perkuliahan				



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

LEMBAR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Minggu	No	Tanggal	Uraian Perbaikan / Konsultasi	Paraf Dosen Pembimbing
1.	1.	24 Feb 2021	Metode Pengambilan tanah	
	2.	27 Feb 2021	Pengujian Sifat Fisis tanah asli	
	.		Mekanis tanah asli	
2	3.	03 Mar 2021	Revisi data batas susut	
	4	06 Mar 2021	Pengujian UCS dan Proctor tanah asli	
	5.	08 Mar 2021	Metode pencampuran tanah asli dengan limbah	
	6.	03 April	Pengujian Sifat fisis tanah campuran	
3				
	7.	17 April 2021	Data Pengujian proctor revisi	
	8.	21 Apr 2021	Data pengujian sifat fisis dan mekanis tanah campuran	
4	9.	16 Mei 2021		

L. 5 Perintah Revisi Sidang Tugas Akhir



PROGRAM STUDI SI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
Jl. Semolowaru No. 45, Surabaya 60118
Homepage : www.sipil.untag-sby.ac.id Email : sipil@untag-sby.ac.id

Lampiran 3

PERINTAH REVISI SIDANG TUGAS AKHIR (SESI 2)
TAHUN AKADEMIK GENAP 2025/2026

Yang bertandatangan di bawah ini, Dosen Penguji Sidang Tugas Akhir (TA) pada tanggal **Rabu, 03 Juni 2026** dari Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil :

Nama Mahasiswa : Divia Rahma Putri
NBI/NIM : 1432200113
Judul : Studi Eksperimental Perbaikan Sifat Fisis dan Mekanis Menggunakan Teknik Biogrouting Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus Subtilis* di Kecamatan Wonoayu - Sidoarjo

Memerintahkan untuk memperbaiki dokumen Tugas Akhir (TA) Sebagai berikut :

No	URAIAN PERBAIKAN	PARAF DOSEN (setelah perbaikan)
	Tambahkan plot nilai P_i pada diagram hubungan P_i . Buat grafik regresi P_i 0, 7 dan 14 hari pada setiap pengujian. Perbaiki struktur penulisan bab 4.	 22/ Juni 2026.

Dari Sidang Tugas Akhir yang telah dilakukan maka mahasiswa dinyatakan:

☐ : Lulus tanpa perbaikan
☒ : Lulus dengan perbaikan
☐ : Dilakukan Sidang TA ulang

(Dosen Penguji dapat memberikan tanda centang (✓) pada kotak yang tersedia)

Surabaya, 03 Juni 2026
Penguji,

(Ir. Laili Endah Fatmawati, S.T., M.T.)



PROGRAM STUDI SI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

Jl. Semolowaru No. 45, Surabaya 60118
Homepage : www.sipil.untag-sby.ac.id Email : sipil@untag-sby.ac.id

Lampiran 3

PERINTAH REVISI SIDANG TUGAS AKHIR (SESI 2)
TAHUN AKADEMIK GENAP 2025/2026

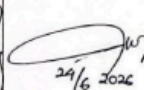
Yang bertandatangan di bawah ini, Dosen Penguji Sidang Tugas Akhir (TA) pada tanggal Rabu, 03 Juni 2026 dari Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil :

Nama Mahasiswa : Divia Rahma Putri

NBI/NIM : 1432200113

Judul : Studi Eksperimental Perbaikan Sifat Fisis dan Mekanis Menggunakan Teknik Biogrouting Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus Subtilis* di Kecamatan Wonoayu - Sidoarjo

Memerintahkan untuk memperbaiki dokumen Tugas Akhir (TA) sebagai berikut :

No	URAIAN PERBAIKAN	PARAF DOSEN (setelah perbaikan)
1.	Masukkan Perbaikan Buat Grafik komparasi antar %	 29/6 2026
2.	Gabungkan grafik antar jumlah dengan variabel yg berbeda	

Dari Sidang Tugas Akhir yang telah dilakukan maka mahasiswa dinyatakan:

- ☐ : Lulus tanpa perbaikan
☒ : Lulus dengan perbaikan
☐ : Dilakukan Sidang TA ulang

(Dosen Penguji dapat memberikan tanda centang (✓) pada kotak yang tersedia)

Surabaya, 03 Juni 2026
Penguji,



(Dr. Andi Patriadi, S.T., M.T.)



PROGRAM STUDI SI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

Lampiran 3

Jl. Semolowaru No. 45, Surabaya 60118
Homepage : www.sipil.untag-sby.ac.id Email : sipil@untag-sby.ac.id

PERINTAH REVISI SIDANG TUGAS AKHIR (SESI 2)
TAHUN AKADEMIK GENAP 2025/2026

Yang bertandatangan di bawah ini, Dosen Penguji Sidang Tugas Akhir (TA) pada tanggal Rabu, 03 Juni 2026 dari Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil :

Nama Mahasiswa : Divia Rahma Putri

NBI/NIM : 1432200113

Judul : Studi Eksperimental Perbaikan Sifat Fisis dan Mekanis

Menggunakan Teknik Biogrouting Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus Subtilis* di Kecamatan Wonoayu - Sidoarjo

Memerintahkan untuk memperbaiki dokumen Tugas Akhir (TA) Sebagai berikut :

No	URAIAN PERBAIKAN	PARAF DOSEN (setelah perbaikan)
1.	Perbaiki grafik 2. Diperjelas. Acc Jild 12/6/2026 	

Dari Sidang Tugas Akhir yang telah dilakukan maka mahasiswa dinyatakan:

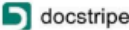
- ☐ : Lulus tanpa perbaikan
☒ : Lulus dengan perbaikan
☐ : Dilakukan Sidang TA ulang

(Dosen Penguji dapat memberikan tanda centang (✓) pada kotak yang tersedia)

Surabaya, 03 Juni 2026
Penguji,

(Dr. Ir. Faradlillah Saves, S.T., M.T.)

L. 6 Hasil Turnitin Tugas Akhir

 Plagiarism Report

Submission ID: 6a0a3921d92d263c9cec03c4

8%

Similarity

159

Matched Sources

Match Group

0% Internet sources

8% Publications

0% Submitted works (Student papers)

Top Sources

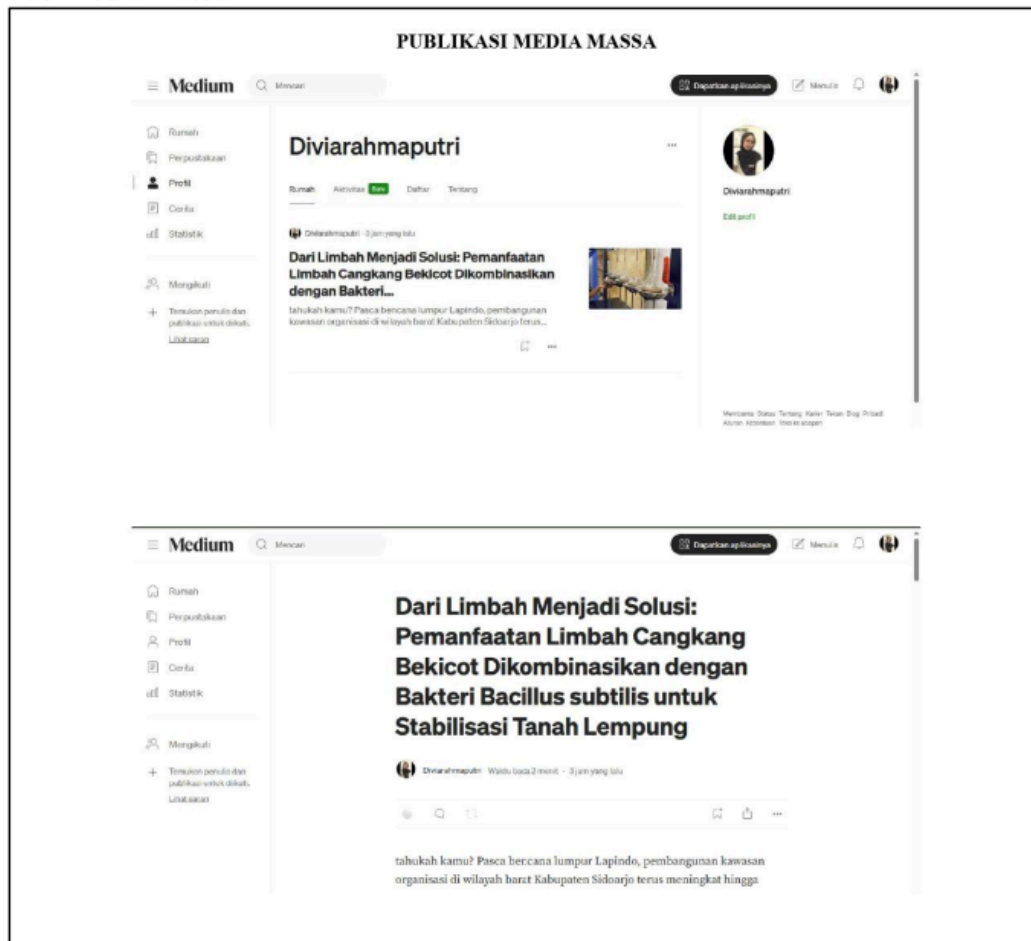
The sources with the highest number of matches within the submission.

1	Publication	<1%
iptek.its.ac.id		
2	Publication	<1%
jurnal.polban.ac.id		
3	Publication	<1%
jurnal.umpwr.ac.id		
4	Publication	<1%
journal.uib.ac.id		
5	Publication	<1%
e-jurnal.pnl.ac.id		
6	Publication	<1%
jurnal.umpwr.ac.id		
7	Publication	<1%
ejournal.uika-bogor.ac.id		
8	Publication	<1%
ejournal.stp-yds.ac.id		
9	Publication	<1%
journal.umpalangkaraya.ac.id		
10	Publication	<1%
jurnal.umk.ac.id		
11	Publication	<1%
spektrum.unram.ac.id		

 Plagiarism Report

Submission ID: 6a0a3921d92d263c9cec03c4

L. 7 Media Massa



Link : <https://medium.com/@diviarahmaputri/dari-limbah-menjadi-solusi-pemanfaatan-limbah-cangkang-bekicot-dikombinasikan-dengan-bakteri-3db6bd9af969>

L. 8 ST Panitia Prodi



Program Studi S1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Alamat : Jl. Semolowaru No. 45 Surabaya 60118

Homepage : www.sipil.untag-sby.ac.id

E-mail : sipil@untag-sby.ac.id

Nomor : 0166/K/TS/V/2026

Lamp. : 1 berkas

Perihal : *Permohonan Surat Tugas Panitia Kegiatan Civil Mini Expo*
Semester Genap 2025/2026

Kepada : Yth. Dekan Fakultas Teknik
Universitas 17 Agustus 1945
S u r a b a y a

Dengan Hormat,

Sehubungan dengan akan dilaksanakan Kegiatan Civil Mini Expo: *Together We Build, Together We Grow* Periode Genap 2025/2026 bagi Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya dengan tema: "*Together We Build, Together We Grow*", maka kami selaku Ka. Prodi Teknik Sipil ingin mengajukan Surat Tugas untuk Panitia dari kegiatan tersebut. Adapun jadwal pelaksanaan Kegiatan Civil Mini Expo: *Together We Build, Together We Grow* Periode Genap 2025/2026 sebagai berikut :

Hari/tanggal : Selasa, 09 Juni 2026
Waktu : 07.00 – 13.00 WIB
Tempat : Plaza Proklamasi Gedung Graha Wiyata
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Demikian surat permohonan ini kami buat, atas perkenan dan juga kerja samanya diucapkan terimakasih

Surabaya, 18 Mei 2026

Ka. Prodi Teknik Sipil

Ir. Michella Beatrix, ST., MT
NPP. 2043F.15.0660

Tembusan:

- Arsip

Lampiran 1
 Nomor : 0166/K/TS/V/2026
 Perihal : Permohonan Surat Tugas Panitia Kegiatan

**Daftar Nama Panitia Civil Mini Expo
 Periode Genap 2025/2026
 Program Studi Teknik Sipil
 Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya**

Periode/Tanggal : 09 Juni 2026

Nama	NPP/NBI	Struktur Panitia
Ir. Michella Beatrix, ST., MT	(2043F.15.0660)	Penanggungjawab Umum
Dr. Ir. Dika Ayu Safitri, ST., MT., Ph.D	(20430.15.0655)	Pembimbing HIMASIPTA
Mochamad Firmansyah, ST., MT	(20430.24.0894)	Dosen Pembimbing Kegiatan
Riska Carollina, SE	(23.8690)	Admin Pelaksana
Riki Saputra	(1432400071)	Penanggung Jawab
Andrian Vito Ramanda Mangambali	(1432400061)	Ketua Pelaksana
Franzeska Dekasi Tunti	(1432500037)	Sekretaris
Yulistiya Rafa Aurelia Cinta	(1432500074)	Bendahara
Azzahra Chelsea Putri Andhika	(1432400062)	Sie Acara
Sodiq Cahyo Utomo	(1432400112)	
Naela Deliva Putri Haydi	(1432400049)	
Frendy Ogul Prananta	(1432500112)	
Naufal Hidayattullah	(1432400047)	Sie Humas
Virgia Ayung Pratama	(1432400069)	Sie Pubdekdok
Ela Ruslina Nofita	(1432400030)	
Muchamad Noor Wahyu Alam	(1432400107)	Sie Perkap
Bimantara Muslim Murtadha Saraswo	(1432500014)	
Griya Grefitriatsyah	(1432500067)	
Rendy Putra Mangambali	(1432400060)	Sie Konsumsi
Rifdah Ajeng Fauziah	(1432500090)	
Aldi Bayu Winata	(1432500026)	Sie Keamanan
Ignasius Elfridi Voin	(1432400065)	
Nawfal Akbar Maulana	(1432500094)	
Erwansyah	1432200131	Presenter Bidang Transportasi
Brayen Okdevender	1432200124	
Adi Mas Cahyo	1432200025	
Mahmud Dwi Wardoyo	1432200041	Presenter Bidang Hidroteknik
Agus Sinario	1432200006	

Nama	NPP/NBI	Struktur Panitia
Eko Saputra Ramadhan	1432200028	Presenter Bidang Hidroteknik
Rendy Cahyo Utomo	1432200095	Presenter Bidang Struktur
Yusaq Bahyu Saputra	1432200102	
Fatih Nur Rahmawan	1432200077	
Muhammad Rizky Eko Yulianto	1432200091	
Moch Iqbal Arifqi Al Firdausyah	1432200035	Presenter Bidang Manajemen Konstruksi
Arif Wahyu Pratama	1432200098	
Divia Rahma Putri	1432200113	
Satria Jiro Jovian	1432200100	Presenter Bidang Geoteknik
Ahmad Choirun Nidak	1432200021	

Surabaya, 18 Mei 2026

Ka. Prodi Teknik Sipil



Ir. Michella Beatrix, ST., MT

NPP. 2043F.15.0660

L. 9 Bukti Korespondensi Artikel Jurnal

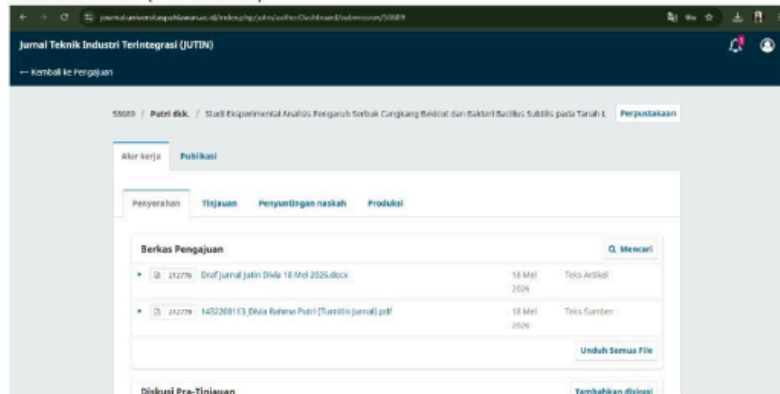
BUKTI KORESPONDENSI

ARTIKEL JURNAL NASIONAL BEREPUTASI

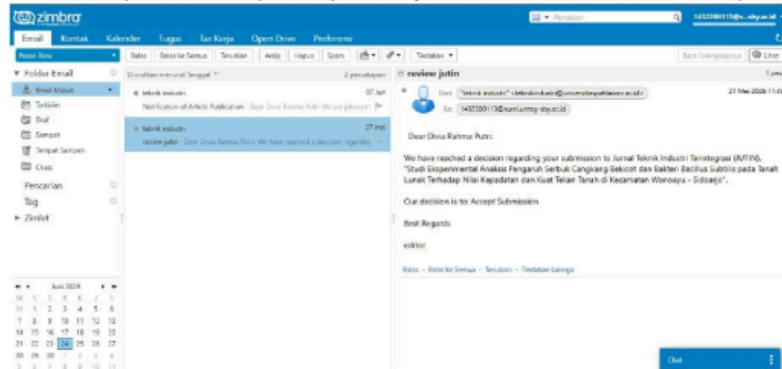
Judul Artikel	: Studi Eksperimental Analisis Pengaruh Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> pada Tanah Lunak Terhadap Nilai Kepadatan dan Kuat Tekan Tanah di Kecamatan Wonoayu - Sidoarjo
Jurnal	: Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)
Penulis (email)	: 1432200113@surel.untag-sby.ac.id : lailyendah@untag-sby.ac.id : andipatriadi@untag-sby.ac.id
Submission Files (Journal)	: 18 Mei 2026
Pemberitahuan Penerimaan Artikel	: 18 Mei 2026
Bukti konfirmasi review dan hasil review pertama	: 20 Mei 2026
Bukti konfirmasi dan submit revisi	: 29 Mei 2026
Bukti Accept Submitted Revision Article	: 29 Mei 2026
Bukti Pengiriman LoA	: 29 Mei 2026
Bukti konfirmasi artikel published	: 07 Juni 2026

LAMPIRAN KORESPONDENSI JURNAL

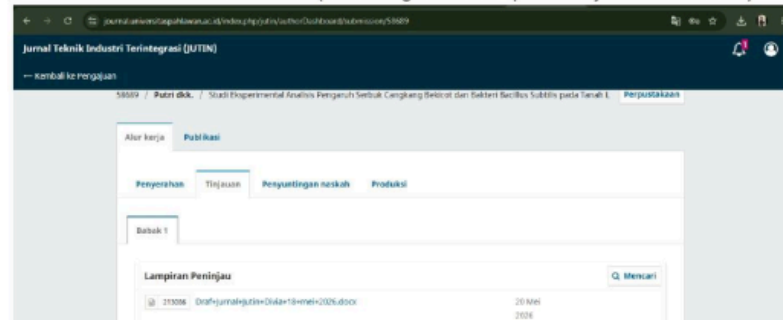
1. Bukti Submission (Submit Jurnal)



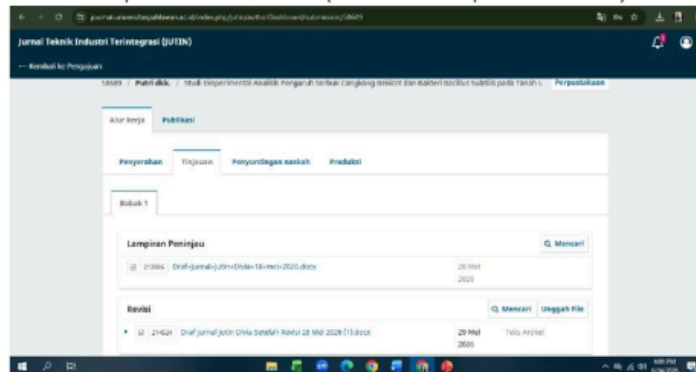
2. Notifikasi Accepted Submission (Bukti respon editor jurnal ter submit dan memberikan review)



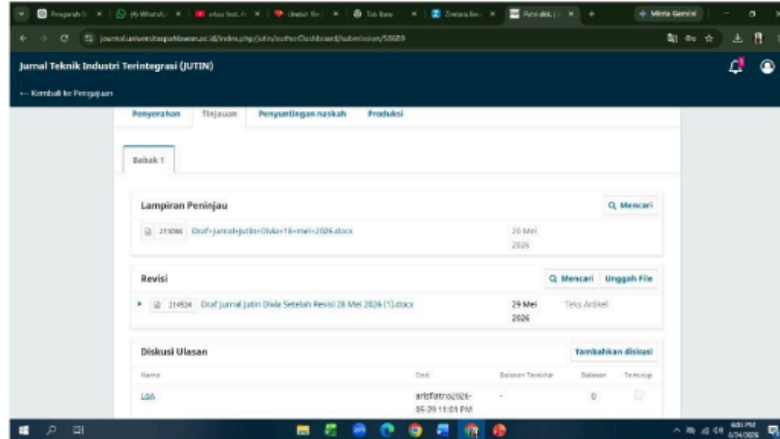
3. Notifikasi Resubmit Untuk Review (Bukti mengirimkan hasil perbaikan jurnal dari reviewer)



4. Notifikasi Accepted Submission Revision (Bukti submit hasil perbaikan diterima)



5. Review From Reviewer (bukti review final dari editor/reviewer)



6. LoA (FILE LoA)

Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)
Jl. Tuanku Tambusai No. 23 Bangkinang, Riau
e-ISSN 2828-1000

LETTER OF ACCEPTANCE (LoA)
Nomor: 59139/JUTIN/2026-071/PT/17/2026

Dear penyunting Jurnal JUTIN telah menerima artikel,
Nama : Ariy Fatinah, M.T
Jabatan : Editor in Chief Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)
Institusi : Universitas Palawan Tuanku Tambusai
Terindeks : Google Scholar, Portal Garuda, Crossref, SINTA (Grade 5)

Dengan ini menerangkan bahwa artikel dengan judul :

Studi Eksperimental Analisis Pengaruh Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus Subtilis* pada Tanah Lunak Terhadap Nilai Kepadatan dan Kuat Tekan Tanah di Kecamatan Wonoayu - Sidoarjo

Nama : Dwi Rahma Putri^(*), Laili Endah Fatmawati¹, Anis Fitriadi²
Afiliasi : ^(*)Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

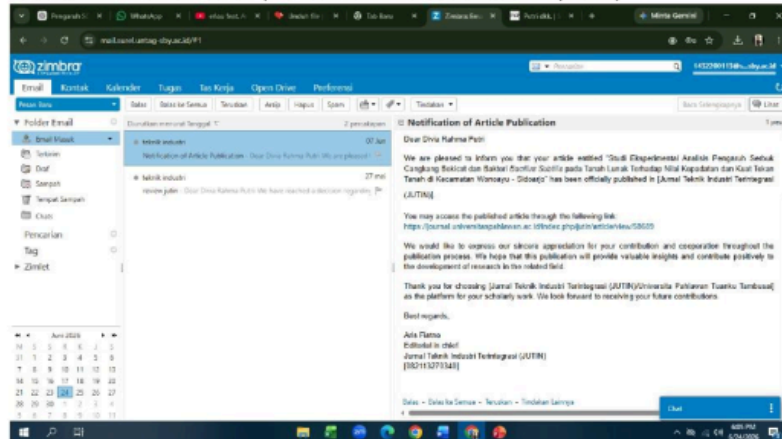
Menyatakan bahwa artikel tersebut telah diproses sesuai Prosedur Penilaian dan akan **publikasi** pada **Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN) Volume 9 Nomor 3 Tahun 2026**.

Demikian surat keterangan ini dibuat dan harus dipergunakan dengan sebaik-baiknya.

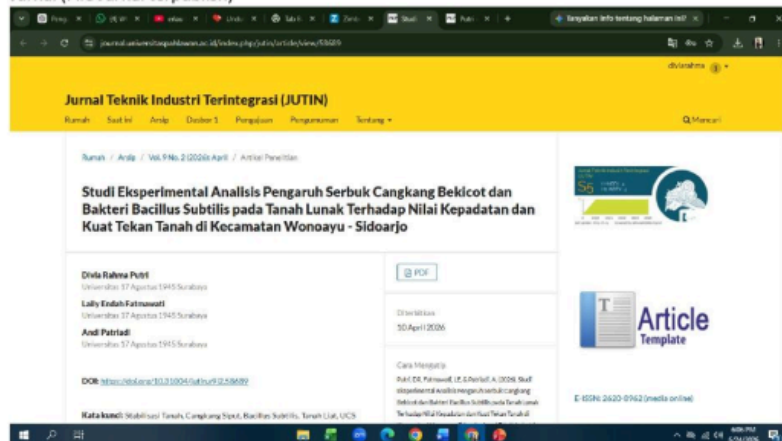
Bangkinang, 30 Mei 2026
Yang menandatangani


Ariy Fatinah, M.T

7. Bukti Konfirmasi Artikel Publish (File Bukti Konfirmasi Jurnal Sudah Terpublish)

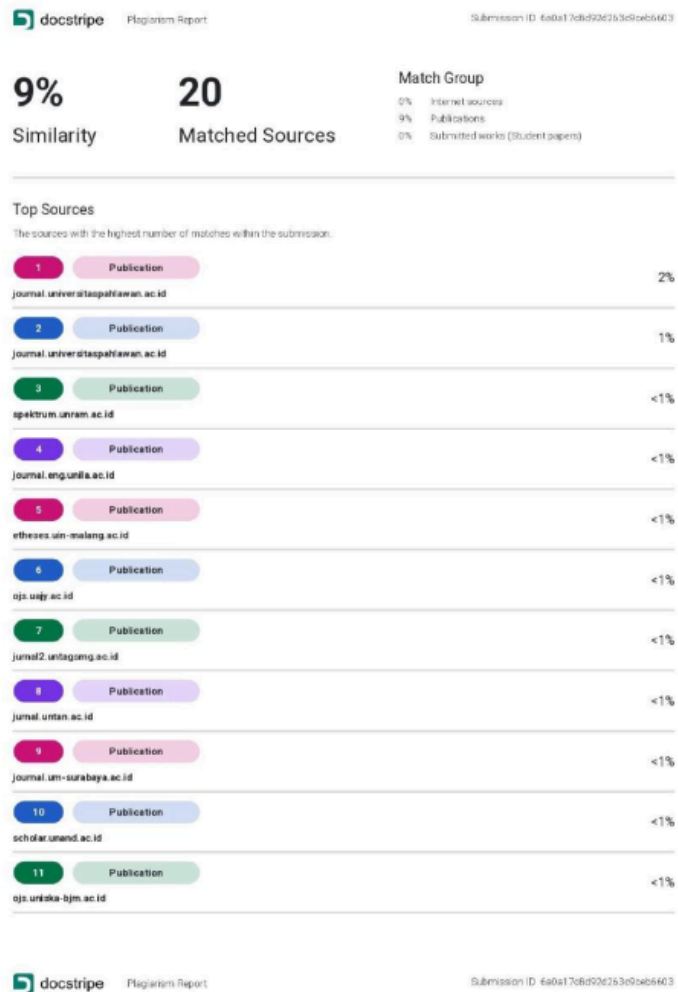


8. Jurnal (File Jurnal terpublish)



Link : <https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jutin/article/view/58689>

9. Bukti Turnitin (Max 20%)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

20%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	dspace.uui.ac.id Internet	2104 words — 4%
2	repository.its.ac.id Internet	509 words — 1%
3	repository.untag-sby.ac.id Internet	506 words — 1%
4	repository.unibos.ac.id Internet	485 words — 1%
5	repository.ub.ac.id Internet	367 words — 1%
6	eprints.uny.ac.id Internet	362 words — 1%
7	pdfcoffee.com Internet	301 words — 1%
8	digilib.unila.ac.id Internet	297 words — 1%
9	123dok.com Internet	295 words — 1%
10	repository.um-palembang.ac.id Internet	269 words — 1%

repositori.usu.ac.id

11	Internet	241 words — < 1 %
12	repository.ummat.ac.id Internet	228 words — < 1 %
13	repository.unhas.ac.id Internet	223 words — < 1 %
14	vdocuments.site Internet	217 words — < 1 %
15	eprints.itenas.ac.id Internet	188 words — < 1 %
16	text-id.123dok.com Internet	156 words — < 1 %
17	es.scribd.com Internet	136 words — < 1 %
18	repository.uhn.ac.id Internet	124 words — < 1 %
19	journal.um-surabaya.ac.id Internet	111 words — < 1 %
20	repository.ubb.ac.id Internet	106 words — < 1 %
21	ilmuteknik.org Internet	100 words — < 1 %
22	repository.unissula.ac.id Internet	84 words — < 1 %
23	repository.unbari.ac.id Internet	81 words — < 1 %

24	Internet	78 words — < 1 %
25	erepository.uwks.ac.id Internet	77 words — < 1 %
26	Muthia Anggraini, Pramudia Egy Saputra, Gusneli Yanti. "STABILISASI TANAH LEMPUNG MENGGUNAKAN SERBUK CANGKANG KERANG DITINJAU DARI NILAI CBR", Inersia: Jurnal Teknik Sipil, 2023 Crossref	75 words — < 1 %
27	idoc.tips Internet	73 words — < 1 %
28	repository.bunghatta.ac.id Internet	73 words — < 1 %
29	ejournal.unsrat.ac.id Internet	69 words — < 1 %
30	repositori.unibos.ac.id Internet	69 words — < 1 %
31	repository.unwira.ac.id Internet	69 words — < 1 %
32	eprints.ums.ac.id Internet	68 words — < 1 %
33	eprints.itn.ac.id Internet	63 words — < 1 %
34	repositori.uma.ac.id Internet	61 words — < 1 %
35	jurnal.uniyap.ac.id Internet	60 words — < 1 %

36	Internet	53 words — < 1 %
37	digilib.unhas.ac.id Internet	51 words — < 1 %
38	ejournal.unp.ac.id Internet	50 words — < 1 %
39	billyhariantoblogspot.com Internet	48 words — < 1 %
40	repo.unand.ac.id Internet	47 words — < 1 %
41	pt.scribd.com Internet	44 words — < 1 %
42	repository.uma.ac.id Internet	43 words — < 1 %
43	Ni Ketut Dewi Irwanti, I Made Bayu Wisnawa, Ni Putu Ardiyanti. "Pengaruh Dimensi Ergonomi terhadap Kenyamanan Wisatawan di Destinasi Wisata (Studi Kasus Kebun Raya Eka Karya Bedugul Bali)", Journal of Tourism and Interdisciplinary Studies, 2026 Crossref	42 words — < 1 %
44	eprints.unram.ac.id Internet	42 words — < 1 %
45	vdocuments.pub Internet	42 words — < 1 %
46	journal.eng.unila.ac.id Internet	40 words — < 1 %
47	publishing-widyagama.ac.id Internet	37 words — < 1 %

48	Indra Permana. "Evaluasi Kualitas Sistem Informasi Akademik Berbasis Web Ditinjau dari Aspek Usability dan Quality in Use Pengguna Menggunakan Model ISO/IEC 25010 di Politeknik Kepribadian Bangsa Indonesia Karawang", Jurnal Pendidikan Tambusai, 2026 Crossref	36 words — < 1 %
49	journals.itb.ac.id Internet	36 words — < 1 %
50	ojs.unimal.ac.id Internet	36 words — < 1 %
51	etheses.uin-malang.ac.id Internet	35 words — < 1 %
52	docplayer.info Internet	34 words — < 1 %
53	repository.binadarma.ac.id Internet	34 words — < 1 %
54	repository.umsu.ac.id Internet	33 words — < 1 %
55	fdocument.org Internet	32 words — < 1 %
56	jurnal.pnj.ac.id Internet	32 words — < 1 %
57	ejournal.lppm-unbaja.ac.id Internet	30 words — < 1 %
58	id.scribd.com Internet	30 words — < 1 %
59	jurnal.itpln.ac.id Internet	30 words — < 1 %

60	jurnal.abulyatama.ac.id Internet	29 words — < 1 %
61	repository.unej.ac.id Internet	29 words — < 1 %
62	core.ac.uk Internet	27 words — < 1 %
63	Carla Silva Martins, François Iv, Shashi Kumar Suman, Thomas C. Panagiotou et al. "Genetically encoded reporters of actin filament organization in living cells and tissues", Cold Spring Harbor Laboratory, 2024 Crossref Posted Content	25 words — < 1 %
64	jurnal.untan.ac.id Internet	25 words — < 1 %
65	journal.maranatha.edu Internet	24 words — < 1 %
66	journal.universitaspahlawan.ac.id Internet	24 words — < 1 %
67	repository.itpln.ac.id Internet	24 words — < 1 %
68	repository.ar-raniry.ac.id Internet	23 words — < 1 %
69	repository.uir.ac.id Internet	23 words — < 1 %
70	www.ejournal.warmadewa.ac.id Internet	23 words — < 1 %
71	Rizkan Maulidi Ansyari, Amelia Faradila, Noviyanthi Handayani, Norseta Ajie Saputra.	22 words — < 1 %

"Evaluasi Efektivitas Penambahan Polimer Dan Biopolimer Terhadap Tanah Lempung Bereng Bengkel Ditinjau Dari Kekuatan Geser Tanah", Media Ilmiah Teknik Sipil, 2025

Crossref

-
- | | | |
|-------|--|------------------|
| 72 | ojs.ummetro.ac.id
<small>Internet</small> | 22 words — < 1 % |
| <hr/> | | |
| 73 | jurnal.untad.ac.id
<small>Internet</small> | 21 words — < 1 % |
| <hr/> | | |
| 74 | www.slideshare.net
<small>Internet</small> | 20 words — < 1 % |
| <hr/> | | |
| 75 | qdoc.tips
<small>Internet</small> | 19 words — < 1 % |
| <hr/> | | |
| 76 | repo.bunghatta.ac.id
<small>Internet</small> | 19 words — < 1 % |
| <hr/> | | |
| 77 | Jeanely Rangkang, Fery Sondakh, Enteng Saerang. Jurnal Teknik Sipil Terapan (JTST), 2020
<small>Crossref</small> | 18 words — < 1 % |
| <hr/> | | |
| 78 | Rival Tanjung, Totoh Andayono. "Pengaruh Penambahan Limbah Keramik terhadap Nilai CBR pada Campuran Tanah Lunak (Studi Kasus: Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Betung (Simpang Sekayu) – Tempino – Jambi Seksi 2B)", MASALIQ, 2026
<small>Crossref</small> | 18 words — < 1 % |
| <hr/> | | |
| 79 | andicaiyyah.blogspot.com
<small>Internet</small> | 18 words — < 1 % |
| <hr/> | | |
| 80 | ft-sipil.unila.ac.id
<small>Internet</small> | 18 words — < 1 % |
| <hr/> | | |
| 81 | jurnal.uns.ac.id | |

82 ojs.uma.ac.id

Internet

18 words — < 1 %

83 Pangeran Holong Sitorus, Apriliyana H Woru,
Pangeran Sitorus, Reny Rochmawati et al.
"Stabilisasi Tanah Menggunakan Abu Batu Apung", Cyclops :
Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan, 2024

Crossref

17 words — < 1 %

84 eprints.untirta.ac.id

Internet

17 words — < 1 %

85 repo.undiksha.ac.id

Internet

17 words — < 1 %

86 Muhammad Furqan, Prof. Ir. Suryo Hapsoro Tri
Utomo, Ph.D, Ir. Latif Budi Suparma, M.Sc.,
Ph.D.. "STABILISASI TANAH LEMPUNG MENGGUNAKAN
LIMBAH KARBIT DAN SILICA FUME TERHADAP SUBGRADE
PERKERASAN JALAN", Jurnal TekLA, 2021

Crossref

16 words — < 1 %

87 Zaroh Irayani, Indra Permanajati, Aris Haryadi,
Wihantoro Wihantoro, Abdullah Nur Azis.
"Investigasi Bidang Gelincir Tanah Longsor Dengan Metode
Tahanan Jenis Dan Pengujian Sifat Plastisitas Tanah Di Bukit
Pawinihan Desa Sijeruk, Kecamatan Banjarmangu,
Kabupaten Banjarnegara", Dinamika Rekayasa, 2016

Crossref

16 words — < 1 %

88 idoc.pub

Internet

16 words — < 1 %

89 journal.uwks.ac.id

Internet

16 words — < 1 %

- 90 Internet 16 words — < 1 %
-
- 91 Anwar Muda. "Analisis Kuat Tekan Bebas Pada
Pebambahan Matos Terhadap Stabilisasi Tanah
Lempung Dengan Semen", Media Ilmiah Teknik Sipil, 2016
Crossref 15 words — < 1 %
-
- 92 mail.ojs.uma.ac.id Internet 15 words — < 1 %
-
- 93 repository.usbypkp.ac.id Internet 15 words — < 1 %
-
- 94 Mawardi Mawardi, Makmun R. Razali, Cyntia
Cyntia. "LAND SLIDE ANALYSIS USING DIGITAL
ELEVATION MODELS", Inersia, Jurnal Teknik Sipil, 2019
Crossref 14 words — < 1 %
-
- 95 ejurnal.itenas.ac.id Internet 14 words — < 1 %
-
- 96 Alvin Ardiniansyah, Reza Setiawan, Aa Santosa,
Bhisma Mahendra. "Perancangan Inkubator
Telur Puyuh Otomatis Berbasis IoT dengan Sistem
Pemantauan Jarak Jauh Menggunakan Spreedsheat",
ARMATUR : Artikel Teknik Mesin & Manufaktur, 2026
Crossref 13 words — < 1 %
-
- 97 Indrayani Indrayani ., Andi Herius, Alfin
Ashadiq, Egal Hardewo, Arpan Hasan, Norca
Praditya, Darma Prabudi. "PENGARUH PENAMBAHAN
SEMEN, ABU SEKAM, DAN SERAT FIBER TERHADAP
PENINGKATAN KUAT GESER TANAH LEMPUNG", FROPIL
(Forum Profesional Teknik Sipil), 2022
Crossref 13 words — < 1 %
-
- 98 johannessimatupang.wordpress.com Internet 13 words — < 1 %

99	repository.ppns.ac.id Internet	13 words — < 1 %
100	e-journal.uajy.ac.id Internet	12 words — < 1 %
101	jurnal.pnk.ac.id Internet	12 words — < 1 %
102	repository.poliupg.ac.id Internet	12 words — < 1 %
103	Purwanto, Guntur Dwi. "Inovasi Pendidikan Vokasi Pada Sekolah Menengah Kejuruan Berbasis Pesantren di Kabupaten Cilacap.", Universitas Islam Negeri Saifuddin Zuhri (Indonesia) ProQuest	11 words — < 1 %
104	Raihan Hilmy Annuru, Insani Abdi Bangsa. "OPTIMALISASI MANUEVER JARINGAN MENGGUNAKAN SUPERVISORY CONTROL AND DATA AQUISITION (SCADA) DALAM MENINGKATKAN KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI PT PLN (Persero) UP3 BEKASI", Aisyah Journal Of Informatics and Electrical Engineering (A.J.I.E.E), 2024 Crossref	11 words — < 1 %
105	Yayuk Apriyanti, Hidayatussa'diah Hidayatussa'diah, Ferra Fahriani. "PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH ABU CANGKANG SAWIT (POFA) TERHADAP NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) UNTUK STABILISASI TANAH LEMPUNG", FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil), 2021 Crossref	11 words — < 1 %
106	adoc.pub Internet	11 words — < 1 %
107	arsitektur.untag-sby.ac.id	

11 words — < 1 %

108 docobook.com

Internet

11 words — < 1 %

109 nurchang21.blogspot.com

Internet

11 words — < 1 %

110 repository.uin-malang.ac.id

Internet

11 words — < 1 %

111 www.jurnal.umsb.ac.id

Internet

11 words — < 1 %

112 www.neliti.com

Internet

11 words — < 1 %

113 zombiedoc.com

Internet

11 words — < 1 %

114 Ristianawati, Yuyun. "Islamic Agility Investment Sebagai Upaya Meningkatkan Kinerja Keuangan Bmt di Jawa Tengah", Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia), 2023

ProQuest

10 words — < 1 %

115 Andrianus Saputra, Budi Tjahjono. "Stabilitas Tanah Gambut dengan Tanah Non Organik dan Semen di Kabupaten Seruyan", Jurnal Minfo Polgan, 2026

Crossref

9 words — < 1 %

116 Hasriana, Lawalenna Samang, Tri Harianto, M.Natsir Djide. "Bearing capacity improvement of soft soil subgrade layer with Bio Stabilized Bacillus Subtilis", MATEC Web of Conferences, 2018

Crossref

9 words — < 1 %

117 Ichania Rizka Ramadhiyanty, Fitriyati Agustina, Santi Yatnikasari. "ANALISIS KAPASITAS SERAP

9 words — < 1 %

118 Yusuf Amran, Sigit Sugiarto, Agus Surandono.
"ANALISIS STABILITAS TANAH BERBUTIR HALUS
BERPLASTISITAS TINGGI MENGGUNAKAN DIFA SOIL
STABILIZER UNTUK MENCEGAH PENURUNAN MASSA
TANAH", TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi) : Jurnal
Program Studi Teknik Sipil, 2022

Crossref

9 words — < 1 %

119 9 words — < 1 %

cbkelompok1professionaldevelopment.blogspot.com

Internet

120 e-jurnal.pnl.ac.id 9 words — < 1 %

Internet

121 ejournal.ft.unsri.ac.id 9 words — < 1 %

Internet

122 ejurnal.poliban.ac.id 9 words — < 1 %

Internet

123 eproceeding.itp.ac.id 9 words — < 1 %

Internet

124 jatim.bpk.go.id 9 words — < 1 %

Internet

125 jurnal.ustjogja.ac.id 9 words — < 1 %

Internet

126 repository.poltekbangplg.ac.id 9 words — < 1 %

Internet

127 repository.ukwms.ac.id

9 words — < 1 %

128 repository.unair.ac.id
Internet

9 words — < 1 %

129 sipil.polimdo.ac.id
Internet

9 words — < 1 %

130 sipora.polije.ac.id
Internet

9 words — < 1 %

131 summarizetubevideo.com
Internet

9 words — < 1 %

132 vdocuments.net
Internet

9 words — < 1 %

133 www.ejournal.lppmunidayan.ac.id
Internet

9 words — < 1 %

134 www.mercadoimportados.com.br
Internet

9 words — < 1 %

135 Alfinda Threvanian Putri, Sigit Winarto, Ahmad Ridwan. "PENGARUH PENAMBAHAN ABU AMPAS TEBU & ARANG BATOK KELAPA TERHADAP STABILISASI DAYA DUKUNG TANAH", Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil, 2020
Crossref

8 words — < 1 %

136 Andi Marini Indriani, Gunaedy Utomo, Nurul Fitriyani. "Pengaruh Kultur Bakteri Pada Proses Biosementasi Tanah Laterit Terhadap Nilai CBR", Media Ilmiah Teknik Sipil, 2023
Crossref

8 words — < 1 %

137 Bambang Raharmadi. "Stabilisasi Tanah Manyawang untuk Meningkatkan Daya Dukung

8 words — < 1 %

(Cbr) Sebagai Lapis Pondasi Pakerasan Jalan Lungkuh Layang
- Buntok", Media Ilmiah Teknik Sipil, 2016

Crossref

138 Muhammad Alam Thoriq, Elsa Rati Hariza, Sazuatmo Sazuatmo. "Pengaruh Variasi Kandungan Air Terhadap CBR Tanah Berpasir (Studi Kasus : Tanah Berpasir Bentiring Seguring)", RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business, 2026

8 words — < 1%

Crossref

139 Mutia Novela Sari, Genny Gustina Sari, Lintang Arum Bagasati, Syahnaz Savitri. "Dinamika Resepsi Audiens Dalam Tayangan Stand-Up Comedy Mens Rea Oleh Pandji Pragiwaksono", Jurnal Ilmu Komunikasi dan Bisnis, 2026

8 words — < 1%

Crossref

140 Nova Juliana, Nor Faizah binti Bawadi. "Effects of Physical and Mechanical Properties of Soft Soil on Subgrades Performances in Lubuk Bayas Village, Serdang Bedagai Regency", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2023

8 words — < 1%

Crossref

141 Noviyanthi Handayani, Norseta Ajie Saputra. "Persamaan Nilai Korelasi Indeks Plastisitas (PI) Tanah Dengan California Bearing Ratio (CBR) Tanah Lempung Palangka Raya", Media Ilmiah Teknik Sipil, 2019

8 words — < 1%

Crossref

142 Siswanto, Markhaban. "Potensi dan Sebaran Sedimen di Kolam Retensi Dari Pelimpah Samping (Studi Kasus Rolak 70)", Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia), 2024

8 words — < 1%

ProQuest

143 a-research.upi.edu

Internet

8 words — < 1%

144	cived.ppj.unp.ac.id Internet	8 words — < 1 %
145	ejournal.unmus.ac.id Internet	8 words — < 1 %
146	eprints.umg.ac.id Internet	8 words — < 1 %
147	eprints.uns.ac.id Internet	8 words — < 1 %
148	etd.repository.ugm.ac.id Internet	8 words — < 1 %
149	journal.upgris.ac.id Internet	8 words — < 1 %
150	jurnal.unsyiah.ac.id Internet	8 words — < 1 %
151	mochammadikhsanudin.wordpress.com Internet	8 words — < 1 %
152	ojs.polinpdg.ac.id Internet	8 words — < 1 %
153	pratikumshampomotor.blogspot.com Internet	8 words — < 1 %
154	repository.pnj.ac.id Internet	8 words — < 1 %
155	repository.unpar.ac.id Internet	8 words — < 1 %
156	repository.unpkediri.ac.id Internet	8 words — < 1 %

157	repository2.unw.ac.id Internet	8 words — < 1 %
158	scholar.unand.ac.id Internet	8 words — < 1 %
159	tesis.usat.edu.pe Internet	8 words — < 1 %
160	www.coursehero.com Internet	8 words — < 1 %
161	www.researchgate.net Internet	8 words — < 1 %
162	Agape Isak Sitepu, Albert Royke Reo, Daisy Monika Makapedua, Helen Jenny Lohoo et al. "Kajian Mutu Ikan Kayu Serut Yang Dikemas Plastik Dengan Nitrogen Dan Tanpa Nitrogen", Media Teknologi Hasil Perikanan, 2020 Crossref	7 words — < 1 %
163	Arwan Apriyono, Sumiyanto Sumiyanto. "Pengaruh Variasi Jarak Kolom Kapur dalam Stabilisasi Tanah Lempung Lunak pada Tinjauan Nilai Indeks Pemampatan Tanah(Cc)", Dinamika Rekayasa, 2011 Crossref	7 words — < 1 %
164	Frandeka Frandeka, Elsa Rati Hariza, Sazuatmo Sazuatmo. "Pengaruh Penambahan Semen Terhadap Kuat Geser Tanah Berpasir (Studi Kasus :Seguring Bentiring)", RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business, 2026 Crossref	7 words — < 1 %
165	ejournal.unesa.ac.id Internet	7 words — < 1 %
166	jurnal.uisu.ac.id Internet	

7 words — < 1 %

167 repository.upi.edu
Internet

7 words — < 1 %

168 "Proceedings of the 5th International
Conference on Sustainable Civil Engineering
Structures and Construction Materials", Springer Science and
Business Media LLC, 2022
Crossref

6 words — < 1 %

169 A., A. Habibi. "Efektivitas Mediasi Dalam
Penyelesaian Sengketa Murābahah dan
Mudorobah Pada Koperasi Simpan Pinjam dan Pembiayaan
Syariah al Uswah Kota Banjar.", Universitas Islam Negeri
Saifuddin Zuhri (Indonesia)
ProQuest

6 words — < 1 %

170 B. Damara. "Pengaruh Pencampuran Serat
Serabut Kelapa Pada Tanah Lempung Terhadap
Nilai CBR dan Kuat Geser", REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil
Engineering Journal on Research and Development, 2025
Crossref

6 words — < 1 %

171 Berlin Bondan Pratama, Okrobianus Hendri,
Fatma Sarie. "ANALISIS PENINGKATAN NILAI
KUAT GESER TANAH GAMBUT DENGAN BAHAN STABILISASI
ABU AMPAS TEBU DAN KAPUR", Jurnal Kacapuri : Jurnal
Keilmuan Teknik Sipil, 2021
Crossref

6 words — < 1 %

172 Mahdi Karkush. "Engineering and Technology -
Volume 1", CRC Press, 2026
Publications

6 words — < 1 %

173 Satria Apta Mozza Pratama, Arya Kellyn
Yudhistira, Sayed Ahmad Fauzan. "Evaluasi
Kepadatan Tanah dengan Metode Penggantian Volume Air
pada Sumur Uji di Proyek Jalan Tol Probolinggo–Banyuwangi

6 words — < 1 %

Paket 3", RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business, 2025

Crossref

174	jurnal.umj.ac.id	6 words — < 1 %
Internet		

175	publikasiilmiah.ums.ac.id	6 words — < 1 %
Internet		

176	stitek-binataruna.e-journal.id	6 words — < 1 %
Internet		

EXCLUDE QUOTES	ON	EXCLUDE SOURCES	< 5 WORDS
EXCLUDE BIBLIOGRAPHY	ON	EXCLUDE MATCHES	OFF