

**STUDI ANALISIS KUAT GESER TANAH GAMBUT DESA BUANA
MAKMUR MENGGUNAKAN METODE *MICROBIALY INDUCE
CALCITE PRECIPITATION***

TUGAS AKHIR

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana Teknik
Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil
Universitas Islam Riau
Pekanbaru*



OLEH :

DHIFO PAKUWONDANA

163110203

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2021**

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Alhamdulillahirabbil'amin, segala puji dan rasa syukur yang sedalam-dalamnya atas ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, nikmat serta hidayah nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: **“STUDI ANALISIS KUAT GESER TANAH GAMBUT DESA BUANA MAKMUR MENGGUNAKAN METODE *MICROBIALLY INDUCE CALCITE PRECIPITATION*”**.

Banyak alasan yang ingin dikemukakan penulis dalam pengambilan judul ini, namun pada dasarnya penulis ingin dapat mengetahui seberapa besar pengaruh stabilisasi tanah gambut yang di tambahkan dengan larutan sementasi menggunakan metode *biogrouting* teknik dengan bantuan bakteri *bacillus subtilis* serta bagaimana pengaruh atau perubahan yang terjadi pada kuat geser tanah gambut.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih belum memenuhi dari kesempurnaan yang diharapkan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Akhir kata semoga penelitian tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca khususnya dan dunia pendidikan pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Pekanbaru, Juli 2021

Dhifo Pakuwondana

UCAPAN TERIMAKASIH

Assalamualaikum Wr.Wb.

Puji syukur alhamdulillahirobbil'alamin penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, nikmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Penulis menyadari bahwa penelitian ini tidak akan terwujud tanpa adanya dorongan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam penulisan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, S.H., M.C..L, Rektor Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim, MT, Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Ibu Dr. Mursyidah, M.Sc, Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dr. Anas Puri, ST., MT, Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Islam Riau dan Sebagai Dosen Penguji 1
5. Bapak Akmar Efendi, S.Kom., M.Kom, Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
6. Ibu Harmiyati, ST., M.Si, Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
7. Ibu Sapitri, ST., MT, Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
8. Bapak Firman Syarif, ST., M.Eng, sebagai dosen pembimbing.
9. Bapak Mahadi Kurniawan, ST., MT sebagai dosen penguji 2
10. Bapak dan Ibu Dosen pengajar di Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
11. Seluruh karyawan dan karyawanati Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

12. Penghargaan yang setinggi-tingginya kepada kedua orang tua tercinta ayahanda Herman dan ibunda Rina yang telah bersusah payah membesarkan, mendidik, serta memberikan kasih sayang dan dukungan baik material maupun spiritual.
13. Yang saya banggakan seluruh keluarga besar yang selalu mendorong agar dapat menyelesaikan pendidikan ini diwaktu yang tepat.
14. Seluruh teman dan sahabat khususnya Usman, Rachmat Syahputra, Fanesa Angeli yang memberikan semangat dan motivasinya.
15. Buat senior dan seluruh mahasiswa Teknik Sipil angkatan 2016 Universitas Islam Riau dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Terima kasih atas segala bantuannya, semoga penelitian ini bermanfaat bagi kita semua dan semoga segala Allah SWT memberikan balasan yang setimpal dan menjadi amal kebaikan, Amiiin Ya Rabbalalmin...

Wassalamu'alaikum Wr, Wb,

Pekanbaru, Juli 2021

Dhifo Pakuwondana

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
UCAPAN TERIMAKASIH.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR NOTASI.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
ABSTRAK.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Umum.....	5
2.2. Penelitian Terdahulu.....	5
2.3. Keaslian Penelitian.....	8
BAB III LANDASAN TEORI.....	7
3.1. Umum.....	11
3.2. Tanah Gambut.....	11
3.2.1. Faktor Yang Mempengaruhi Tanah Gambut.....	13
3.2.2. Klasifikasi Tanah Gambut.....	15
3.2.3. Sifat Fisik Tanah Gambut.....	18
3.3. Stabilisasi Tanah	20
3.4. <i>Biogrouting</i>	22
3.5. Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	23

3.5.1. Klasifikasi <i>Bacillus Subtilis</i>	23
3.5.2. Karakteristik <i>Bacillus Subtilis</i>	24
3.6. Pengujian Pemasakan Standar	24
3.7. Pengujian Kadar Air	25
3.8. Pengujian Berat Spesifik	26
3.9. Pengujian Gradasi Benda Uji	26
3.10. Kuat Geser Tanah	26
BAB IV METODE PENELITIAN	28
4.1. Umum	28
4.2. Lokasi Penelitian	28
4.3. Bahan Material Benda Uji.....	28
4.4. Alat-alat Yang Digunakan Dalam Penelitian	31
4.4.1. Peralatan Pengujian Pendahuluan.....	31
4.4.2. Peralatan Pengujian Utama.....	35
4.5. Tahapan Dan Prosedur Penelitian	36
4.5.1. Prosedur Pengujian Pendahuluan	36
4.5.1.1. Pengujian Pemasakan	36
4.5.1.2. Pengujian Berat Spesifik.....	37
4.5.1.3. Pengujian Kadar Air Tanah	39
4.5.1.4. Pengujian Gradasi Tanah	40
4.5.2. Pembuatan Sampel	41
4.5.3. Pembuatan <i>Reagen</i> Bakteri.....	42
4.5.4. Penetasan Benda Uji Dengan <i>Reagen</i> Bakteri.....	43
4.5.5. Pengujian Utama.....	44
4.6. Tahapan Penelitian	46
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	49
5.1. Umum.....	49
5.2. <i>Reagen</i> Bakteri	49
5.3. Pengujian Pendahuluan	49

5.3.1. Pengujian Pemadatan.....	50
5.3.2. Pengujian Berat Spesifik	51
5.3.3. Pengujian Kadar Air Asli (Tanah Gambut).....	51
5.3.4. Sifat-sifat Fisis Tanah Gambut	52
5.4. Pengujian Gradasi Benda Uji	52
5.5. Pengujian Kuat Geser Benda Uji.....	54
5.6. Analisa Kuat Geser.....	61
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	64
6.1. Kesimpulan.....	64
6.2. Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN.....	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1. Bahan Tanah Gambut.....	29
Gambar 4.2. Bahan Urea.....	30
Gambar 4.3. Bahan CaCl_2	30
Gambar 4.4. Bahan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	31
Gambar 4.5. Alat Uji Pemadatan Tanah	32
Gambar 4.6. Cawan.....	33
Gambar 4.7. Timbangan Digital.....	33
Gambar 4.8. Alat Oven	34
Gambar 4.9. Alat Piknometer.....	34
Gambar 4.10. Alat Botol Air Suling	35
Gambar 4.11. Alat Kuat Tekan Bebas UCS.....	35
Gambar 4.12. Pengujian Pemadatan Tanah	37
Gambar 4.13. Pengujian Berat Spesifik	39
Gambar 4.14. Pengujian Kadar Air Sampel Tanah Asli	40
Gambar 4.15. Pengujian Gradasi Benda Uji	41
Gambar 4.16. Proses Pembuatan Benda Uji Tanah Gambut	42
Gambar 4.17. Proses Penyaringan Campuran Reagen	43
Gambar 4.18. Proses Penetasan Reagen Bakteri Dan Benda Uji.....	41
Gambar 4.19. Proses Uji Kuat Geser Benda Uji.....	46
Gambar 4.20. Tahapan Penelitian	47
Gambar 5.1. Hubungan Berat Volume Kering Dengan Kadar Air	50
Gambar 5.2. Grafik Hubungan Persentase Lolos Saringan Agregat Dengan Diameter Benda Uji.....	53
Gambar 5.3. kurva hubungan Tegangan dan Regangan pada uji triaksial UU sampel tanah A.....	55
Gambar 5.4. Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel A	55
Gambar 5.5. kurva hubungan Tegangan dan Regangan pada uji triaksial UU	

sampel tanah B.....	56
Gambar 5.6. Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel B	56
Gambar 5.7. kurva hubungan Tegangan dan Regangan pada uji triaksial UU sampel tanah C.....	57
Gambar 5.8. Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel C	57
Gambar 5.9. kurva hubungan Tegangan dan Regangan pada uji triaksial UU sampel tanah D.....	58
Gambar 5.10. Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel D	58
Gambar 5.11. kurva hubungan Tegangan dan Regangan pada uji triaksial UU sampel tanah E.....	59
Gambar 5.12. Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel E.....	59
Gambar 5.13. kurva hubungan Tegangan dan Regangan pada uji triaksial UU sampel tanah F.....	60
Gambar 5.14. Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel F.....	60
Gambar 5.15. Grafik Hubungan Antara Nilai Kuat Geser dengan Persentase Bakteri.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Keaslian Penelitian.....	9
Tabel 3.1. Tipe Tanah berdasarkan Kadar organik	13
Tabel 3.2. Sifat Fisik Tanah Gambut Indonesia.....	18
Tabel 3.3. Sifat Teknik Tanah Gambut.....	19
Tabel 4.1. Material Campuran Reagen	42
Tabel 5.1. Pengujian Berat Jenis.....	47
Tabel 5.2. Diameter Ukuran Saringan.....	53
Tabel 5.3. Sudut Geser dan kohesi tiap sampel	49
Tabel 5.4. Perhitungan analisis kuat geser pada Uji Triakasial UU.....	59



DAFTAR NOTASI

%	= persen
A	= luas (cm ²)
Cm	= centimeter
Cm ²	= centimeter persegi
Cm ³	= centimeter kubik
gr	= gram
Gr/cm ³	= gram/centimeterkubik
Gs	= berat spesifik
Kg/cm ²	= kilogram / centimeter persegi
M ³	= meter kubik
Ml	= milliliter
Mm	= millimeter
Mol	= molekul
°C	= derajat celcius
OMC	= kadar air optimum (%)
P	= beban (kg)
Pt	= gambut (<i>peat</i>)
t/m ³	= ton / meterkubikn
v	= volume cetakan (cm ³)
w	= berat tanah yang dipadatkan dalam cetakan
w	= kadar air (%)
W1	= berat piknometer (gr)
W2	= berat piknometer dan bahan kering (gr)
W3	= berat piknometer + bahan + air (gr)
W4	= berat piknometer dan air (gr)
Ws	= berat tanah kering (gr)
Ww	= berat air (gr)

γ_d	= berat isi kering
γ_b	= berat volume basah (gr/cm^3)
γ_b	= berat volume tanah basah (gr/cm^3)
γ_d	= berat volume kering (gr/cm^3)
τ	= tegangan (kg/cm^2)
σ_3	= Tegangan Sel (kg/cm^2)
c	= kohesi (kg/cm^2)
φ	= sudut geser dalam ($^\circ$)
τ	= kuat Geser Tanah (kg/cm^2)
c	= kohesi tanah (kg/cm^2)
σ	= Tegangan normal pada bidang runtuh (kg/cm^2)



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A : Analisa Data
- Lampiran B : Dokumentasi Penelitian
- Lampiran C : Admistrasi Dalam Melakukan Penelitian



Dokumen ini adalah Arsip Milik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

**PERBAIKAN KUAT GESER TANAH GAMBUT DARI KABUPATEN SIAK
MENGUNAKAN METODE *MICROBIALY INDUCE CALCITE
PRECIPITATION***

**DHIFO PAKUWONDANA
163110203**

ABSTRAK

Dalam dunia konstruksi teknik sipil yang dibangun pada tanah gambut, banyak berbagai masalah yang harus dihadapi seperti kuat geser tanah gambut tersebut. Hal ini bisa membahayakan dan merugikan konstruksi bangunan yang ada di atasnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan varietas bakteri terhadap kuat geser tanah gambut dengan metode *Microbially Induce Calcite Precipitation*

Tanah gambut asli diambil di lokasi Desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun Kabupaten Siak, bahan bakteri berasal dari laboratorium Pertanian Universitas Islam Riau serta bahan tambahan yang digunakan untuk stabilisasi yaitu CaCl_2 dan Urea yang berasal dari produsen Bandung. Metode penelitian ini mengacu pada prosedur ASTM (*American Society for Testing and Material*) dan SNI. Benda uji dibuat dengan menggunakan alat modifikasi sondir dengan bentuk silinder dengan ukuran diameter 3,64 cm dan tinggi 10,75 cm², benda dibuat mengikuti pemadatan standar pada kadar air optimum 157%. Uji kuat geser dilakukan setelah benda uji ditambahkan *reagen* bakteri dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Data yang diperoleh dari hasil pengujian ini diolah dalam bentuk tabel dan grafik sesuai dengan variasi penambahan *reagen* bakteri.

Pengaruh dari penambahan *reagen* bakteri menghasilkan kuat geser yang lebih tinggi dari tanah asli, sehingga berkaitan dengan kuat dukung tanah gambut. Hasil pengujian sifat fisik tanah gambut asli diketahui bahwa tanah yang berasal dari lokasi Desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun Kabupaten Siak termasuk jenis tanah gambut dengan kadar air 407,5% dan berat spesifik (G_s) = 1,3. Dari hasil pengujian kuat geser benda uji tanah asli dengan variasi campuran *reagen* bakteri pada persentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, nilai kuat tekan bebas benda uji tanah asli + penambahan 0% *reagen* bakteri sebesar 0,71 kg/cm², sedangkan nilai kuat geser tertinggi terdapat pada penambahan *reagen* bakteri 5% sebesar 0,90 kg/cm².

Kata Kunci : *Bacillus Subtilis*. Bakteri, *Biogrouting*, Kuat Geser, Stabilisasi, Tanah Gambut

IMPROVEMENT OF PEAT SOIL SHEAR FROM SIAK DISTRICT USING THE MICROBIALLY INDUCE CALCITE PRECIPITATION METHOD

DHIFO PAKUWONDANA

163110203

ABSTRACT

In the world of civil engineering construction that is built on peat soil, there are many problems that must be faced, such as the shear strength of the peat soil. This can be dangerous and detrimental to the construction on it. This study aims to determine the effect of the addition of bacterial varieties on the shear strength of peat soil using the Microbially Induce Calcite Precipitation method

The original peat soil was taken at the location of Buana Makmur Village km 55 Dayun District, Siak Regency, the bacterial material came from the Agricultural Laboratory of the Islamic University of Riau and additional materials used for stabilization were CaCl_2 and Urea from Bandung producers. This research method refers to the ASTM (American Society for Testing and Materials) and SNI procedures. The test object was made using a modified sondir tool with a cylindrical shape with a diameter of 3.64 cm and a height of 10.75 cm², the object was made according to standard compaction at an optimum moisture content of 157%. The shear strength test was carried out after the test object was added with bacterial reagents with variations of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%. The data obtained from the results of this test are processed in the form of tables and graphs according to the variation of the addition of bacterial reagents.

The effect of the addition of bacterial reagents resulted in a higher shear strength than the original soil, so it was related to the bearing strength of the peat soil. The results of testing the physical properties of the original peat soil are known that the soil originating from the location of Buana Makmur Village km 55 Dayun District, Siak Regency belongs to the type of peat soil with a moisture content of 407.5% and specific weight (G_s) = 1.3. From the results of the shear strength test of the original soil test object with variations in the bacterial reagent mixture at the percentage of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%, the value of the free compressive strength of the original soil specimen + the addition of 0% bacterial reagent is 0.71 kg/cm², while the highest shear strength value was found in the addition of 5% bacterial reagent of 0.90 kg/cm².

Keywords: Peat Soil, Biogrouting, Stabilization, shear strength, Bacillus Subtilis Bacteria.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tanah gambut dibedakan berdasarkan kandungan seratnya yaitu tanah gambut berserat (*Fibrous Peat*) dengan kandungan serat (*Fibers Contents/Fc*) $\geq 20\%$ dan tanah gambut tidak berserat (*Granular Peat*) dengan kandungan serat $>20\%$ (MacFarlane,1959). Gambut Indonesia termasuk gambut berserat karena kandungan seratnya sekitar 50%. Tanah gambut terbentuk dari tumbuhan rawa pada daerah tropis sehingga serat-serat tumbuhan masih tampak (Yulianto dan Mochtar, NE, 2012).

Tanah gambut berserat mempunyai sifat fisik yang tidak baik, yaitu: kadar air yang sangat tinggi (500%-900%), angka pori yang cukup besar (7-15) dan berat jenis yang rendah (1.2 – 1.6) (Yulianto dan Mochtar, NE., 2010; Harwadi dan Mochtar, NE., 2010; Mochtar, NE, dkk, 2014). Akibatnya tanah gambut berserat mempunyai daya dukung yang rendah (5-7 kPa) dan mempunyai pemampatan yang besar dan tidak merata (Jelusic and Lappanen, 2001; Islam, 2009; Mochtar, NE ,dkk, 2014). Sehingga tanah gambut bermasalah jika dijadikan pondasi bagi bangunan sipil jika tidak dilakukan perbaikan tanah gambut tersebut.

Terdapat berbagai cara untuk memperbaiki kondisi tanah, tergantung dari kondisi tanah yang akan diperbaiki, salah satu cara perbaikan yaitu dengan bahan kimia, dengan metode *Microbially Induce Calcite Precipitation*. *Microbially Induced Calcite Precipitation* (MICP) secara signifikan dapat meningkatkan sifat mekanis pada tanah gambut. Endapan mineral karbonat pada partikel tanah dan pada permukaan partikel dapat meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan kekuatan geser tanah melalui proses sementasi (Montoya & DeJong, 2015). MICP bereaksi ketika mikroba mengubah lingkungan geokimia sehingga terjadi pengendapan mineral karbonat (DeJong et al, 2010). Pengendapan karbonat baik ketika karbonat dan kationnya (kalsium, magnesium, besi, dan kobalt) dalam jumlah yang banyak untuk membentuk

produk mineral karbonat (Ehrlich et al., 2015).

Metode *Microbially Induce Caclite Precipitation* ini memanfaatkan jalur metabolisme bakteri untuk membentuk kalsit (CaCO_3) yang mengikat partikel tanah bersama-sama, yang mengarah pada pengikatan kekuatan dan kekakuan tanah. Dengan cara *biogrouting* ini maka pemampatan dan penurunan tanah yang besar dapat dikurangi dengan metode ini, karena sifat bakteri MICP dapat mengikat partikel tanah yang dapat meningkatkan pengikatan kekuatan dan kekakuan pada tanah gambut serta meningkatkan kekuatan tekan bebas dari tanah yang diberi perlakuan MICP dengan peningkatan kalsit (CaCO_3). Oleh karena itu untuk mencari solusi perbaikan tanah gambut salah satunya yaitu dengan metode *biogrouting* dan bakteri *Bacillus subtilis* yang ramah terhadap lingkungan.

MICP mempunyai potensi untuk rekayasa geoteknik, salah satunya stabilisasi permukaan tanah. Meyer et al (2011) mengemukakan bahwa perlakuan tanah dengan bakteri ureolitik dan larutan MICP yang mengandung urea dan kalsium klorida menyebabkan penurunan massa tanah yang signifikan. Faktor yang berpengaruh terhadap peningkatan proses MICP adalah kelembaban, temperatur, waktu Perlakuan, kepadatan sel, volume perlakuan dan jenis tanah. Oleh karena itu untuk solusi perbaikan tanah bisa dilakukan dengan metode *biogrouting* dan menggunakan bahan bakteri *Bacillus Subtilis*

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian berikut adalah bagaimana pengaruh penambahan berbagai variasi bakteri dengan menggunakan metode *Microbially Induce Calcite Precipitation* (MICP) terhadap nilai kohesi, sudut geser dalam dan kuat geser tanah gambut

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan variasi bakteri dengan menggunakan metode *Microbially Induce Calcite Precipitation* (MICP) terhadap kuat geser tanah gambut.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan memberikan manfaat bagi berbagai pihak. Adapun manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu bukti bahwa beberapa varietas bakteri dapat dijadikan salah satu alternatif untuk stabilisasi tanah.
2. Untuk mengetahui pengaruh berbagai campuran larutan bakteri *bacillus subtilis* terhadap tanah gambut.
3. Untuk IPTEK lingkungan.

1.5 Batasan Masalah

Dalam hal ini, untuk memperjelas suatu penelitian agar dapat dibahas dengan baik dan tidak meluas, maka perlu direncanakan batasan masalah yang terdiri dari:

1. Penelitian yang dilakukan hanya melihat parameter kuat geser tanah gambut.
2. Pengujian dilakukan dalam skala laboratorium untuk dapat menentukan kuat geser tanah gambut pada saat sebelum dan sesudah pencampuran bakteri dengan berbagai variasi
3. Sampel tanah yang diambil dalam penelitian ini adalah tanah gambut dari desa Buana Makmur km 55
4. Penelitian ini menggunakan metode *Microbially Induce Calcite Precipitation*.
5. Penelitian ini tidak melihat reaksi dan efek kimia pada masing-masing bahan aditif tersebut.
6. Pengujian yang dilakukan yaitu uji kuat geser triaksial tipe UU
7. Pengujian tidak melihat kadar dari CaCO_3

8. Penelitian ini menggunakan varietas bakteri *Bacillus subtilis* dengan variasi 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka merupakan peninjauan kembali (*review of related literature*). Berdasarkan pengertian tersebut, suatu tinjauan pustaka berfungsi sebagai peninjauan kembali pustaka (laporan penelitian, dan sebagainya) tentang masalah yang berkaitan tidak selalu harus tepat identik dengan bidang permasalahan yang dihadapi termasuk pula yang seiring dan berkaitan (*collateral*). Fungsi peninjauan kembali pustaka yang berkaitan merupakan hal yang mendasar dalam penelitian

2.2 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

Syahputra (2021) telah melakukan penelitian dengan judul “Perbaikan Kuat Tekan Tanah Gambut dari Kabupaten Siak Menggunakan Metode *Microbially Induce Calcite Precipitation*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan bakteri dengan metode *Microbially Induce Calcite Precipitation (MICP)* terhadap kuat tekan bebas tanah gambut. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pengaruh penambahan reagen bakteri terhadap kuat tekan bebas tanah gambut didapat hasil sesuai dengan tujuan penelitian yaitu hubungan antara nilai kuat tekan (q_u) dengan campuran reagen bakteri terjadi kenaikan pada persentase 0%, 5% ,10% ,15% ,20%, dan 25%. Pada hasil kuat tekan tanpa perlakuan reagen bakteri 0% didapat nilai kuat tekan sebesar 0,30 kg/cm².

Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada penambahan *reagen* bakteri 25% sebesar 0,45 kg/cm². Sedangkan pada perlakuan 5% sebesar 0,33 kg/ cm², perlakuan 10% sebesar 0,36 kg/ cm², perlakuan 15% sebesar 0,40 kg/ cm², dan perlakuan 20% sebesar 0,43 kg/ cm². Berdasarkan dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan reagen bakteri pada tanah gambut memberikan pengaruh terhadap kuat tekan bebas

yang diberikan kepada benda uji, sebagaimana yang didapatkan terjadi kenaikan kuat tekan bebas pada tanah gambut yang terinjeksi reagen bakteri sesuai variasi persentase yang telah ditetapkan

Patma (2020) telah melakukan penelitian yang berjudul “Perbaikan Sifat Fisik Tanah Gambut Kecamatan Dayun Kabupaten Siak Menggunakan Metode *Biogrouting* dengan Konsep *Microbially Induce Calcite Precipitation* (MICP). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan bakteri dengan menggunakan konsep *Microbially Induced Calcite Precipitation* (MICP) menggunakan metode *Biogrouting* terhadap sifat fisik tanah gambut. Berdasarkan hasil penelitian didapat hasil yaitu tanah gambut yang distabilisasikan dengan penambahan reagen bakteri untuk pengujian kadar air mengalami penurunan yang signifikan di persentase 5% dengan nilai kadar air (W) = 122,91% dengan penurunan W = 34,09% dari nilai sampel uji tanpa perlakuan, dan tanah gambut yang distabilisasikan dengan penambahan reagen bakteri untuk pengujian berat jenis mengalami peningkatan nilai berat jenis di persentase 5% dengan nilai berat jenis (Gs) = 1,77 dengan kenaikan Gs = 0,28 gr dari nilai sampel benda uji tanpa Perlakuan

Syarif dkk (2020), melakukan penelitian mengenai “Penerapan Teknik *Biocementation* Oleh *Bacillus Subtilis* dan Pengaruhnya Terhadap Permeabilitas Pada Tanah Organik”. Pada jurnal ini di dalamnya membahas metode *Microbially Induced Calcite Precepitation* (MICP) / *Bio Grouting* sebagai teknik perbaikan tanah telah dipelajari sebagai metode peningkatan kekkuatan tekan bebas mulai dari 400 kPa hingga 1,6 Mpa tergantung pada jumlah kalsit diendapkan tercapai . Konsep metode *Bio Grouting* telah diterapkan pada tanah pasir dan dapat memperbaiki sifat fisik dan tanah pasir oleh karena itu akan dicoba diterapkan pada tanah gambut. Penerapan pengendapan kalsium karbonat bakteri telah digunakan dalam berbagai aplikasi rekayasa geoteknik, seperti : perbaikan retakan pada granit dan beton , meningkatkan daya dukung tanah, pengisian pori-pori dan pengikatan pori-pori, serta mengurangi permeabilitas tanah.

Syarif dkk (2019) melakukan penelitian tentang *microbially inducecalcite precipitation* Sebagai *bio grouting* oleh *bacillus subtilis* dalam parameter kuat geser pada tanah organik (gambut) dari kabupaten siak provinsi Riau Indonesia dengan menggunakan metode *bio grouting* dengan menggunakan material MICP. Yang digunakan untuk perbaikan tanah. Parameter yang dilihat adalah kuat geser tanah gambut dari kabupaten Siak

Antoni (2019), melakukan penelitian mengenai “ Biosementasi tanah pasir dengan cangkang telur ayam”, dari hasil yang dilakukan *Microbially Induced Carbonate Precipitation* (MICP) merupakan pengendapan mineral karbonat pada partikel tanah yang dapat meningkatkan kekuatan daya tahan tanah, kekakuan, dan kekuatan geser tanah melalui proses biosementasi (Montoya & DeJong, 2015). MICP terjadi ketika mikroba mengubah lingkungan geokimia yang menyebabkan pengendapan mineral karbonat. faktor-faktor yang dapat mempengaruhi peningkatan proses MICP adalah kelembaban, waktu perlakuan, kepadatan sel, temperatur, jenis tanah, dan volume perlakuan (Dejong et al., 2010). Penggunaan mikroorganisme pada proses biosementasi dapat memperbaiki dan memperkuat struktur tanah yang mendapatkan uji tahanan kekuatannya hingga 350-1300 kPa. Proses biosementasi berdasarkan hasil yang didapat memberikan hasil yang berbeda, yaitu terjadinya peningkatan kadar air dan memperkuat struktur tanah. Perbedaan tersebut dikarenakan rekayasa pengaturan tempat terjadinya proses biosementasi yang berbeda berupa tidak adanya saluran air pembuangan (Choi, et al., 2016). Saluran pembuangan air yang tidak ada menyebabkan peningkatan kadar air dari kontrol pasir. Kadar air yang meningkat pada proses biosementasi berbanding lurus dengan memperkecil ukuran pori dikarenakan CaCO_3 yang terbentuk dari proses biosementasi mengisi lubang antar pori tanah dan merekatkan butiran tanah (Breure, 2004; Widyati, 2013). CaCO_3 yang dihasilkan melalui metode MICP (*Microbially Induced Carbonate Precipitation*) mengakibatkan ruang pori dalam pasir terisi dan menjadi padat. Masa spesimen pasir meningkat setelah proses biosementasi dikarenakan kepadatan isi yang meningkat (Wang, 2018). Kerapatan

massa tanah dengan tekstur mempunyai kisaran 1,3-1,8 g/mL. Penentuan berat isi tanah sebelum diolah dapat digunakan sebagai indikasi lapisan padat. Semakin padat lapisan tanah maka berat isinya semakin besar. Berat isi tanah cenderung naik jika semakin dalam karena kandungan bahan organik yang semakin rendah, kurangnya agregasi dan terjadinya pemadatan (Sudaryono,2001).

2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan Syarif dkk, Antoni, Syahputra,Patma. penulis menyadari adanya persamaan baik prinsip pengerjaannya maupun dalam bentuk teori yang dilakukan, tetapi penulis mengetahui adanya perbedaan metode dalam penelitian.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah sebagai berikut:

1. Tidak menghitung permeabilitas tanah gambut seperti yang dilakukan syarif dkk (2020).
2. Tidak menggunakan pasir dan cangkang telur sebagai metode untuk stabilisasi tanah gambut seperti penelitian antoni (2019).
3. Penelitian ini menggunakan teknik *biogrouting* dengan bantuan campuran bakteri *bacillus subtilis*.
4. Lokasi penelitian dan variasi persentase *reagen* bakteri.

Tabel 2.1 Keaslian Penelitian

Peneliti / Tahun	Tujuan	Metode
Syahputra (2021)	untuk mengetahui pengaruh penambahan bakteri dengan metode <i>Microbially Induce Calcite Precipitation (MICP)</i> terhadap kuat tekan bebas tanah gambut.	Menggunakan Metode <i>Microbially Induce Calcite Precipitation</i>
Patma (2020)	bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan bakteri dengan menggunakan konsep <i>Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP)</i> menggunakan metode <i>Biogrouting</i> terhadap sifat fisik tanah gambut	Menggunakan Metode <i>Biogrouting</i> dengan Konsep <i>Microbially Induce Calcite Precipitation (MICP)</i>
Syarif dkk (2020)	Untuk Penerapan teknik <i>Biocementation</i> oleh <i>Bacillus Subtilis</i> dan pengaruhnya terhadap kuat geser tanah organik.	<i>Microbially induced calcite precipitation (MICP) / Biogrouting</i> sebagai teknik perbaikan tanah telah dipelajari sebagai metode peningkatan kekuatan kuat geser

Tabel 2.1 (Sambungan)

Peneliti / Tahun	Tujuan	Metode
Syarif dkk (2020)	Untuk Penerapan teknik <i>Biocementation</i> oleh <i>Bacillus Subtilis</i> dan pengaruhnya terhadap permeabilitas tanah organic	<i>Microbially induced calcite precipitation</i> (MICP) / <i>Biogrouting</i> sebagai teknik perbaikan tanah telah dipelajari sebagai metode peningkatan kekuatan tekan bebas hingga 1,6 Mpa tergantung pada jumlah kalsit diendapan tercapai
Antoni (2019)	Untuk mengetahui pengaruh biosementasi dengan menggunakan cangkang telur ayam	Penelitian ini menggunakan metode <i>Microbially induce calcite precipitation</i>

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Kuat Geser adalah Suatu beban yang dikerjakan pada suatu masa tanah akan selalu menghasilkan tegangan dengan intensitas yang berbeda – beda di dalam zona berbentuk bola lampu di bawah beban tersebut (Bowles,1993).

Kuat geser tanah sebagai perlawanan internal tanah terhadap persatuan luas terhadap keruntuhan atau pengerasan sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud (Das, 1994).

Dalam penelitian ini uji kuat geser di laboratorium dilaksanakan untuk melihat hasil besarnya kuat gesertanah gambut. Pengujian ini mengukur kekuatan tanah dapat menerima kuat tekan yang diberikan sampai tanah tersebut terpisah dari butir-butiran.

Dalam penelitian ini, uji kuat tekan dilakukan pada tanah yang dalam kondisi tidak asli atau dalam keadaan sudah tercampur bahan lainnya. Hal ini dapat mengukur kemampuan masing-masing benda uji tanah gambut yang sudah terinjeksi bakteri terhadap kuat geser. Kemudian pada akhirnya didapatkan hasil nilai kuat geseroptimum yang mewakili beberapa benda uji, dan hasilnya berupa nilai τ

3.2 Tanah Gambut

Tanah gambut adalah tanah yang memiliki kandungan organik >75% (ASTM, D-4427, 1984). Tanah gambut adalah tanah yang memiliki kadar organik lebih dari 70%. Tanah gambut di kategorikan sebagai tanah yang sangat lunak dengan daya dukung yang rendah dan pemampatan yang besar.

Gambut (*Peat*) adalah campuran dari fragmen-fragmen material organik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan dengan sifat kimia yang telah berubah dan telah menjadi fosil. Tanah gambut di Indonesia menempati area seluas $\pm 20,6$ juta hektar atau sekitar 11% luas daratan di Indonesia (Wetlands International, 2004).

Berdasarkan tingkat ketebalan gambutnya, daerah penelitian tergolong ke dalam gambut dangkal (50-100 cm) dan gambut sedang (100- 200 cm). Ketebalan gambut yang berbeda- beda dapat mempengaruhi tingkat kesuburan gambut. Semakin tebal gambut kesuburannya semakin menurun sehingga tanaman akan sulit mencapai lapisan mineral yang berada di lapisan bawahnya. Ketebalan gambut juga mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap produktivitas lahan, sehingga ketebalan gambut menjadi salah satu pertimbangan utama dalam pengelolaan lahan untuk pengembangan pertanian (Widjaja-Adhi et al., 1992)

Heru sanjaya (2003), tanah gambut di golongan kedalam dua kelompok besar yaitu :

1. *Fibrous Peat* (gambut berserat)
2. *Amorphous Granular Peat*.(gambut tidak berserat)

Amorphous Granular Peat memiliki partikel tanah yang sebagian besar berukuran *colloid* (< 2mm) dan sebagian besar air porinya terserap keseluruhan permukaan butiran, oleh sebab itu *Amorphous Granular Peat* memiliki perilaku yang menyerupai lempung. Jika mengandung serat kurang dari 20% maka termasuk *amorphous granular peat*, sedangkan tanah gambut yang mengandung serat lebih dari 20 % termasuk *fibrous peat*. *Fibrous peat* pada dasarnya mempunyai struktur tanah yang memiliki banyak rongga dimana rongga tersebut ditempati oleh serat-serat halus. Hubungan antara kadar organik dan kadar air pada tanah gambut adalah jika kadar organik rendah maka kadar air rendah, kadar air akan naik jika kadar organiknya naik. Keadaan ini menunjukkan bahwa material anorganik mengandung air lebih sedikit dibandingkan material organik.

Tanah gambut mempunyai kapasitas mengikat air (*water holding capacity*) yang relatif sangat tinggi atas dasar berat kering. Kapasitas mengikat air maksimum untuk gambut *fibrik* adalah 580 – 3000 %, untuk gambut *hemik* 450 – 850 % dan untuk gambut *saprik* < 450 %. Gambut akan berubah menjadi *hidrofob* (menolak air) kalau terlalu kering (Notohadiprawiro, 1997).

Kandungan serat gambut merupakan ukuran derajat dekomposisi yang mencerminkan struktur tanah, porositas dan distribusi porinya. Bahan yang relatif

belum terdekomposisi mempunyai porositas yang tinggi dengan proporsi pori-pori besar yang tinggi. Porositas total tanah gambut relatif tinggi, umumnya dalam kisaran 70–95%. Porositas total menurun dengan meningkatnya dekomposisi dan hal tersebut sangat menentukan besarnya pengikatan air oleh tanah gambut. Daya hantar air tanah gambut kearah vertikal sangat rendah, sedangkan kearah lateral relatif tinggi dan menurun dengan meningkatnya dekomposisi (Radjagukguk, 2000).

Tabel 3.1 Tipe Tanah Berdasarkan Kadar Organik

Jenis Tanah	Kadar Organik (%)
Lempung	<25
Lempung Organik	25-27
Gambut	>75

Sumber : Geoteknik, 2004

3.2.1 Faktor yang mempengaruhi tanah gambut

Beberapa faktor yang menyebabkan perilaku struktur tanah gambut adalah air mineral organik dalam urutan pembentukannya.

a. Berat Spesifik

Tanah gambut merupakan gabungan dari tanah mineral yang mempunyai berat spesifik sekitar 2,7 dan material organik memiliki berat spesifik 1,4 sesuai dengan apa yang telah dilakukan dan dibuktikan oleh Skempton dan Ptly (1970) di kawasan iklim sedang. Dalam kawasan Indonesia mempunyai kaitan yang sama seperti indikator dalam pengamatannya pada tanah yang mengandung berat spesifik tinggi mineral dan juga gambut.

Faktor yang mempengaruhi berat spesifik yaitu :

1. Tekstur tanah

Butiran tanah yang partikelnya kasar, memiliki nilai berat spesifik yang tinggi misalnya pasir, ukuran butiran pasir lebih besar dari pada ukuran butiran tanah liat sehingga berat spesifik pasir lebih tinggi dari liat dan sebaliknya (Darmawijaya,1997).

2. Bahan organik tanah

Bahan organik tanah merupakan tumpukan dari proses pelapukan sisa tanaman dan binatang yang sudah lama dan mengalami pembentukan kembali. Bahan organik yang telah mempunyai berat spesifik tanah, semakin banyak kandungan bahan organik yang ada di dalam tanah menyebabkan rendahnya berat spesifik pada tanah itu sendiri (Rahardjo,2001).

b. Batas cair (*liquid limit*)

Batas cair adalah batas pada kadar air diantara pada suatu keadaan cair dan dalam keadaan plastis. Untuk menentukannya dengan menggunakan alat batas cair *cassagrade*.

Perhitungan untuk mencari batas cair berdasarkan standar ASTM 4318:

Berat tanah basah

Berat tanah basah merupakan berat tanah asli yang di tambahkan dengan jumlah air, untuk mendapatkan hasil berat tanah basah di dalam penelitian ini dapat dilihat seperti persamaan 3.1 dibawah ini.

$$E = C - B \dots\dots\dots 3.1$$

Berat tanah kering

Berat tanah kering merupakan berat tanah yang sudah di oven selama 24 jam, untuk hasil berat tanah kering dapat dilihat seperti persamaan 3.2 dibawah ini.

$$F = D - B \dots\dots\dots 3.2$$

Berat air

Berat air merupakan berat tanah basah yang dikurangi dengan berat tanah kering, dapat dilihat seperti persamaan 3.3 dibawah ini.

$$G = E - F \dots\dots\dots 3.3$$

Kadar air

Untuk mendapatkan jumlah kadar air asal tanah gambut, bisa dilihat seperti persamaan 3.4 dibawah ini.

$$H = \frac{G}{F} \times 100 \dots\dots\dots 3.4$$

Dimana :

B = Berat cawan (gram)

C = Berat tanah basah + cawan (gram)

D = Berat tanah kering + cawan (gram)

E = Berat tanah basah (gram)

F = Berat tanah kering (gram)

G = Berat air (gram)

K = Kadar air (%)

3.2.2 Klasifikasi Tanah Gambut

ASTM D4427-92 (2002) mengklasifikasikan tanah gambut berdasarkan kandungan serat, kandungan abu (ASTM D2974), tingkat keasaman (ASTM D2976), tingkat absorpsinya (ASTM D2980), dan tanah gambut berdasarkan tingkat kandungan humus yang ada didalamnya (ASTM D5715-00).

a. Klasifikasi tanah gambut berdasarkan kandungan seratnya, yaitu:

1. *Fibric*, merupakan tanah gambut dengan kadar serat > 67%
2. *Hemic*, merupakan tanah gambut dengan kasar serat 33% sampai 67%
3. *Sapric*, merupakan tanah gambut dengan kadar serat <33%

b. Klasifikasi tanah gambut berdasarkan kandungan abunya, yaitu :

1. *Low ash*, merupakan tanah gambut dengan kadar abu < 5%
2. *Medium ash*, merupakan tanah gambut dengan kadar abu 5% dan 15%
3. *High ash*, merupakan tanah gambut dengan kadar abu > 15%

c. Klasifikasi tanah gambut berdasarkan tingkat asamnya, yaitu :

1. *Highly acidic*, merupakan tanah gambut dengan pH < 4,5

2. *Moderately acidic*, merupakan tanah gambut dengan pH antara 4,5 – 5,5
3. *Slightly acidic*, merupakan tanah gambut dengan pH antara 5,5 – 7
4. *Basic*, merupakan tanah gambut dengan $\text{pH} \geq 7$

d. Klasifikasi tanah gambut berdasarkan tingkat absorpsinya, yaitu :

1. *Extremely absorbent*, merupakan tanah gambut yang dapat menampung air > 1500%.
2. *Highly absorbent*, merupakan tanah gambut yang dapat menampung air 800% - 1500%.
3. *Moderately absorbent*, merupakan tanah gambut yang dapat menampung air 300 – 800%.
4. *Slightly absorbent*, merupakan tanah gambut yang dapat menampung air < 300%.

Gambut menurut penyusunan atau bahan asalnya, wilayah iklim, pembentukan, ketebalan lapisan, kematangan tingkat kesuburan, dan wilayah iklim (Agus dan Subiksa, 2008) antara lain:

1. Berdasarkan material penyusunannya tanah gambut dibedakan menjadi tiga golongan gambut yaitu :
 - a. Gambut lumutan (*sedimentary* atau *moss peat*) merupakan tanah gambut yang terdiri dari gabungan tanaman air (*family liliceace*) tanah ini berupa merupakan plankton yang sejenisnya.
 - b. Gambut seratan (*fibrous* atau *sedge peat*) merupakan tanah gambut yang terdiri dari gabungan tanah *sphagnum* dan rumputan.
 - c. Gambut kayuan (*wood peat*) merupakan rumputan yang berasal dari jenis pohon dan tanaman semak atau paku-pakuan dibawahnya.
2. Berdasarkan tingkat kesuburannya tanah gambut dibedakan tiga bagian yaitu:
 - a. Gambut *eutofik* merupakan tanah gambut yang mengandung mineral, khususnya kalsium karbonat, sebagian besar didaerah payau dan berasal dari vegetasi serat rumputan-rumputan bersifat netral atau alkalin.

- b. Gambut *oligotrofik* merupakan tanah gambut yang mengandung mineral sedikit, khusus magnesium dan kalsium yang bersifat dengan asam atau pH < 4.
 - c. Gambut *mesotrofik* merupakan tanah gambut yang berada antara gambut eutrofik dan tanah gambut *oligotrofik*.
3. Berdasarkan pada wilayah iklim, tanah gambut dibedakan menjadi dua antara lain :
 - a. Gambut *tropic* merupakan tanah gambut yang terletak pada kawasan *tropic* atau *sub tropic*.
 - b. Gambut iklim sedang merupakan tanah gambut yang terletak pada kawasan Eropa yang memiliki iklim empat musim.
 4. Berdasarkan urutan pembentukannya, gambut dibedakan menjadi yaitu:
 - a. Gambut *ombrogen* merupakan tanah gambut yang terbentuk dipengaruhi oleh curah hujan.
 - b. Gambut *topogen* merupakan tanah gambut yang terbentuk dipengaruhi oleh kondisi topografi dan air tanah.
 5. Berdasarkan lingkungan terbentuknya gambut dibedakan menjadi yaitu:
 - a. Gambut cekung (*basin peat*) ialah gambut yang terbentuk dikawasan cekungan rawat butir (*backswamps*) atau lembah sungai.
 - b. Gambut sungai (*river peat*) adalah gambut yang terbentuk dikawasan sungai ke arah lembah kurang lebih 1 km seperti sepanjang sungai Kapuas, Sungai Mentangai di Kalimantan dan sungai Barito.
 - c. Gambut daratan tinggi (*highland peat*) adalah gambut yang terbentuk di kawasan punggung bukit atau pegunungan seperti kawasan Tigi di provinsi Papua dan pegunungan Dien di provinsi Jawa Tengah.
 6. Berdasarkan sifat kematangannya (*ripeness*) gambut dibedakan tiga jenis yaitu:
 - a. Gambut *fabric* ialah gambut masih muda klasifikasinya mengandung sisa atau bahan jaringan tanaman yang dapat dilihat secara asli dan visual dengan ukuran diameter 0,15 mm sampai 2 cm.

- b. Gambut *hemik* ialah tanah gambut yang mengalami proses pembentukan dan bersifat separuh matang.
 - c. Gambut *saprik* adalah gambut yang sudah melapuk dan bahan asal tanah tersebut tidak dikenali, bewarna coklat tua sampai hitam.
7. Berdasarkan ketebalan lapisan organiknya gambut diklasifikasikan tiga kategori yaitu:
- a. Gambut dangkal merupakan daerah gambut yang memiliki ketebalan lapisan bahan organik 50-100 cm.
 - b. Gambut tengah merupakan daerah gambut yang memiliki ketebalan lapisan bahan organik 100-200 cm.
 - c. Gambut dalam merupakan daerah gambut yang memiliki ketebalan lapisan bahan organik 200-300 cm.

3.2.3 Sifat fisik tanah gambut

Sifat fisik tanah gambut memiliki kandungan organik yang sangat tinggi, dimana pada proses pembentukan tanah itu sendiri berasal dari tumbuhan. Kandungan air yang tinggi dan nilai angka pori yang besar menyebabkan harga koefisien rembesan tanah gambut menyerupai pasir, hal ini dikarenakan pori yang besar menyebabkan air dalam pori mudah keluar terutama apabila terdapat beban di atasnya. Angka volume tanah gambut yang kecil menunjukkan bahwa kepadatan tanah gambut tidak seperti tanah pada umumnya dan jika dihubungkan dengan kadar airnya yang tinggi, berat air yang terkandung dalam tanah gambut mempunyai 6 (enam) kali lebih berat dibandingkan berat butiran tanah gambut itu sendiri. Beberapa hal yang penting untuk diperhatikan pada sifat tanah gambut dapat dilihat pada Tabel 3.2 .

Tabel 3.2 Sifat Fisik Tanah Gambut Indonesia

No.	Sifat Fisik	Nilai
1	Kandungan Organik (Oc)	95 - 99%
2	Berat volume (t)	0,9 - 1,25 t/m ³

Tabel 3.2 (Lanjutan)

No.	Sifat Fisik	Nilai
3	Kadar air (W)	200% - 900%
4	Angka pori (e)	5 – 15
5	Ph	4 – 7
6	Kadar abu (Ac)	1 – 15%
7	Spesifik gravity (Gs)	1,38 – 1,95
8	Rembesan (k)	2^{-02} s/d $1,2^{-06}$

Sumber : Mochtar,2002

Pada umumnya sifat fisik suatu material akan sangat berpengaruh pada sifat teknis material itu sendiri, hal yang sama pula terjadi pada tanah gambut. Tabel 3.2 menunjukkan sifat teknis tanah gambut, dimana sifat teknis yang paling menjadi perhatian adalah daya dukungnya yang sangat rendah dengan tingkat kemampatannya yang tinggi seperti tertera pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Sifat Teknik Tanah Gambut

No	Sifat	Nilai	Keterangan
1	Kohesi tanah/kuat geser	0	non <i>cohesive</i>
2	<i>Compressibility</i> /kemampatan	Sangat tinggi	<i>Sensitif thd</i>
3	<i>Bearing capacity</i> /kapasitas dukung	5 – 7 kpa	<i>Skandinavia</i>
4	Sudut geser dalam	> 50 derajat	<i>Terutama fibrous</i>
5	Ko/koeffisien tek tanah at rest	Maks 0,5	Lebih kecil dari
6	Konsolidasi	Sangat lama	4

Sumber : Mochtar, 2002

Kemampuan tanah gambut untuk menyerap dan menyimpan air yang sangat tinggi akan berpengaruh pada sifat teknik tanah gambut, dimana semakin besar kadar air yang terkandung pada tanah gambut semakin kecil daya dukung kekuatannya.

Selain itu, tanah gambut mempunyai harga pemampatan yang tinggi (*High Compresibility*), yang dilakukan dengan perilaku terhadap beban yang bekerja di atasnya.

Tanah gambut mempunyai sifat fisik dan kimia (Mutalib,et al., 1991) yaitu:

1. Sifat fisik

Tanah gambut memiliki kadar air 100%-1.300%, mengakibatkan tanah gambut menjadi lunak dan menahan bebannya yang rendah. Lapisan atas tanah gambut *bulk density* 0,1 s/d 0.2 gr/cm³ sesuai tingkat pelapukannya atau dekomposisi *Bulk density* < 0,1 gr/cm³ dikategorikan gambut *fibrik* pada lapisan bawah. *Bulk density* > 0,2 gr/cm³ dikategorikan *saprik* disebabkan pengaruh mineral tanah.

2. Sifat kimia

Sifat kimia pada areal gambut di Indonesia khusus di Provinsi Riau ditentukan pada ketebalan, kandungan mineral, jenis mineral pada dasar gambut atau *substratum* dan tinngkat ketebalan pelapukan atau dekomposisi pada gambutnya. Gambut mengandung mineral pada umumnya < 5% dan selebih mengandung organik. Bahwa 10% sampai 20% merupakan senyawa humat seperti senyawa selulosa, hemiselulosa protein, resi, lignin dan sebagainya.

3.3 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan usaha perbaikan daya dukung (mutu) tanah yang tidak atau kurang baik. Dapat juga dikatakan bahwa stabilisasi tanah ialah usaha meningkatkan daya dukung (mutu) tanah yang sudah tergolong baik.

Apabila suatu tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan dan apabila ia mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitasnya yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan sehingga dapat memenuhi syarat-syarat teknis yang diperlukan.

Tujuan utama yang akan dicapai dari stabilisasi tanah itu sendiri adalah meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dalam menahan beban serta untuk meningkatkan kestabilan tanah.

Stabilisasi tanah dapat berupa suatu pekerjaan atau gabungan – gabungan pekerjaan berikut :

1. Secara dinamis yaitu pemadatan tanah dengan alat pemadat.
2. Perbaikan gradasi dengan cara menambah tanah pada fraksi tertentu yang dianggap kurang, sehingga tercapai gradasi yang rapat. Fraksi yang kurang biasanya adalah fraksi yang berbutir kasar, cara yang dilakukan adalah mencampur tanah dengan fraksi butir kasar seperti pasir, dan kerikil atau pasir saja.
3. Stabilisasi kimiawi, yaitu menambahkan bahan kimia tertentu, sehingga terjadi reaksi kimia. Bahan yang biasanya digunakan antara lain : portland semen, kapur tohor, atau bahan kimia lainnya. Stabilisasi ini dilakukan dengan dua cara yaitu : mencampur tanah dengan bahan kimia kemudian diaduk dan dipadatkan atau memasukkan bahan kimia kedalam tanah (*grouting*) sehingga bahan kimia bereaksi dengan tanah.
4. Pembongkaran dan penggantian tanah yang jelek. Tanah yang jelek mengandung bahan organik sehingga akan terjadi pembusukan di dalamnya. Selain itu apabila terkena tanah tersebut diberi beban maka akan mengalami penurunan yang tidak sama. Perbaikan tanah untuk jenis ini dilakukan dengan mengganti tanah jelek tersebut dengan tanah berkualitas baik, misalnya dengan tanah yang memiliki CBR yang lebih sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Menurut *Bowles (1986)*, stabilisasi dapat berupa :
 - a. Meningkatkan kerapatan tanah.
 - b. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul.

- c. Menambah material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan sifat fisik material tanah.
- d. Menurunkan muka air tanah.
- e. Mengganti tanah yang buruk.

3.4 *Biogrouting*

Biogrouting merupakan teknologi yang mensimulasikan proses diagenesis yaitu transformasi butiran pasir menjadi batuan pasir (*calcarenite* atau *sandstone*). Kristal kalsium karbonat (CaCO_3) yang terbentuk dari teknologi *biogrouting* akan menjadi jembatan antara butiran pasir sehingga menyebabkan proses sementasi, dan mengubah pasir menjadi batuan pasir. Secara alami, proses ini dapat terjadi tetapi memerlukan waktu hingga jutaan tahun. Oleh karena itu digunakan bakteri untuk mempercepat proses pembentukan kalsit dengan memanfaatkan proses presipitasi karbonat hasil aktivitas metabolisme bakteri (DeJong et al., 2006; Lee, 2003).

Proses ini membutuhkan tekanan injeksi tinggi yang dapat membuat tanah tidak stabil dan memiliki permeabilitas rendah. Beberapa tahun terakhir sedang dikembangkan teknologi *grouting* secara biologi yang dikenal dengan teknologi *biogrouting* melalui mekanisme pengendapan kalsium karbonat. Keuntungan utama dari *biogrouting* adalah pemberian substrat dapat dipindahkan dalam bentuk inaktif ke daerah yang jauh dari titik injeksi. (DeJong et al., 2006; Lee, 2003).

Teknologi ini sangat memungkinkan untuk dimanfaatkan dalam memperkuat struktur tanah, yaitu salah satunya tanah lempung lunak. Teknologi *biogrouting* termasuk dalam teknologi pendekatan lunak (*soft engineering*) pada kerusakan pantai karena memperkuat struktur tanah. Mekanisme pembentukan semen/sementasi pada proses *biogrouting* secara sederhana memanfaatkan proses presipitasi karbonat oleh bakteri. Pada mekanisme ini bakteri menghidrolisa urea dengan dikatalis oleh enzim urease yang dihasilkan oleh bakteri itu sendiri.

Teknologi *biogrouting* diaplikasikan dengan menginjeksikan bakteri urease, bersama dengan nutriennya (urea) dan bahan lain, yaitu CaCl_2 dengan komposisi dan tahapan tertentu. Enzim urease akan mengkatalis urea sehingga melepas ion karbonat,

yang selanjutnya akan terikat dengan ion kalsium dari CaCl_2 dan mempresipitasikan kalsium karbonat/kalsit (CaCO_3).

3.5 Bakteri *Bacillus Subtilis*

Bacillus adalah bakteri berbentuk batang gram positif dengan suhu optimal untuk pertumbuhan antara 25-35°C. Meskipun *bacillus* dianggap aerobik yang ketat, ditemukan kemudian bahwa mereka dapat hidup secara anaerob dalam kondisi yang ditentukan. *Bacillus* secara alami ditemukan di tanah, mereka berkoloni pada sistem akar dan bersaing dengan mikroorganisme lain seperti jamur. *Bacillus subtilis* dikenal aman diaplikasikan pada produk makanan sebagai probiotik dan bagian dari bahan makanan. Dalam kondisi yang keras, *Bacillus* dapat membentuk endospora yang tahan stres sebagai mekanisme pertahanan. Spora tahan terhadap paparan panas, radiasi, bahan kimia, dan tahan pengeringan.

Untuk mempelajari pengaruh jumlah *Bacillus subtilis*, 6 mL dan 12 mL biakan cair *Bacillus subtilis* diinjeksikan ke dalam spesimen tanah. Tanah menjadi lebih kuat karena jumlah *Bacillus subtilis* yang digunakan meningkat. Hasil menunjukkan bahwa semakin lama waktu *curing* dan jumlah *Bacillus subtilis* yang lebih tinggi mencerminkan perbaikan tanah yang lebih baik dalam hal kohesi, sudut gesekan dan tegangan geser. Setelah 28 hari waktu perawatan, injeksi 6 mL dan 12 mL *Bacillus subtilis liquid culture* meningkatkan nilai kohesi tegangan efektif masing-masing sebesar 180% dan 270%.

3.5.1 Klasifikasi *Bacillus Subtilis*

Menurut *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology 2nd edition* (2001) dalam Madigan, et al. (2003) *Bacillus* memiliki tingkat klasifikasi sebagai berikut:

<i>Kingdom</i>	: <i>Bacteria</i>
<i>Phylum</i>	: <i>Firmicutes</i>
<i>Class</i>	: <i>Bacilli</i>
<i>Order</i>	: <i>Bacillales</i>

Family : *Bacillaceae*

Genus : *Bacillus*

3.5.2 Karakteristik *Bacillus Subtilis*

Menurut Holt, *et al.* (2000), *Bacillus* termasuk kedalam kelompok bakteri batang dan kokus pembentuk endospora dengan ciri-ciri memiliki bentuk sel batang, motil karena memiliki satu *flagel*, gram positif, bersifat aerobik, membentuk endospora, memiliki habitat pada tanah, air, lingkungan akuatik, pencernaan hewan (termasuk manusia), beberapa spesies bersifat patogenitas terhadap manusia dan binatang lain.

Dalam *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology 9 th edition* genus *Bacillus* memiliki karakteristik yang berbeda apabila dibandingkan dengan bakteri pembentuk endospora dan genera sejenis.

3.6 Pengujian Pemadatan Standar

Uji pemadatan ini bertujuan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan (berat volume kering) tanah, sehingga akan diperoleh w_{opt} dan $\gamma_d max$. Pengujian pemadatan standar *proctor* ini berdasarkan ASTM D 698-78 dengan sampel tanah yang digunakan tanah gambut yang lolos saringan no.4 sebanyak \pm 3000 gram.

Uji kepadatan tanah biasanya diukur dengan menentukan berat isi kering adapun rumus berat isi kering yaitu :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_{wet}}{1+W} \dots\dots\dots 3.5$$

$$\gamma_{wet} = \frac{B}{V} \dots\dots\dots 3.6$$

Dimana : w = kadar air (%)

γ_{wet} = berat isi basah (gr/cm³)

B = berat benda uji (gram)

V = isi cetakan (cm³)

3.7 Pengujian Kadar Air

Kadar air yaitu suatu perbandingan antara berat air yang terkandung didalam tanah dengan berat butiran tanah kering yang dinyatakan di dalam persen (%). Pada pengujian kadar air menggunakan standar SNI 1965-2008, dalam menentukan besarnya kadar air yang terkandung di dalam tanah asli maka digunakan rumus :

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100\% \dots\dots\dots 3.7$$

Dimana :

W = kadar air (%)

W1 = berat cawan + tanah basah (gram)

W2 = berat cawan + tanah kering oven (gram)

W3 = berat cawan (gram)

(W1-W2) = berat air (gram)

(W2-W3) = berat tanah kering (partikel padat) (gram)

Pada pengujian kadar air ini relatif berbeda-beda tergantung pada jenis tanah dan keadaan daerah yang berkisar 20% - 100%, bila kadar air melebihi dari 100% maka tanah tersebut dapat dikatakan sebagai tanah yang jenuh air dan apabila kurang dari 20% maka tanah itu dapat dikatakan sebagai tanah yang kering, jumlah kadar air juga sangat mempengaruhi sifat dari suatu tanah. Beberapa sifat yang dipengaruhi oleh kadar air yaitu plastisitas tanah dan juga konsistensi dari tanah tersebut. Jumlah kadar air yang juga terlalu tinggi bisa menyebabkan campuran dari tanah dan air menjadi lembek dan akan menyebabkan memperlemahnya daya dukung serta kuat tekan dari tanah tersebut.

3.8 Pengujian Berat Spesifik

Berat spesifik tanah adalah suatu perbandingan antara berat butir tanah dengan volume tanah padat atau berat air dengan isi sama yang isi tanah padat tersebut pada suhu tertentu. Pengujian ini berdasarkan SNI 03-1964-2008 yang dilakukan untuk mengetahui berat jenis butiran tanah. Berat spesifik tanah (GS) bisa dihitung menggunakan rumus :

$$GS = \frac{c-a}{(b-a).T-(d-c)} \dots\dots\dots 3.8$$

Dimana :

Gs = berat jenis butir tanah

a = berat piknometer kosong (gram)

b = berat piknometer + air (gram)

c = berat piknometer + sampel + air (gram)

d = berat piknometer + sampel + air (gram)

3.9 Pengujian Gradasi Benda Uji

Pengujian Gradasi dilakukan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dan persentase tertahan dan lewat dengan menggunakan saringan. Pada pengujian ini tidak mempertimbangkan bentuk dari butiran tersebut.

Untuk persentase tertahan dan lewat bisa dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Persentase tertahan} : \frac{\text{jumlah berat tertahan}}{\text{benda uji}} \times 100\% \dots\dots\dots 3.9$$

$$\text{Persentase lewat} : 100 - e \dots\dots\dots 3.10$$

3.10 Kuat Geser Tanah

Menurut teori Mohr (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan

fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\tau = f(\sigma)$$

dimana :

τ = Tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan

σ = Tegangan normal pada saat kondisi tersebut

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan (Hary Cristady, 2002). Coulomb (1776) mendefinisikan $f(\sigma)$ seperti pada persamaan sebagai berikut :

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$$

Dimana :

τ = Kuat geser tanah (kN/m^2)

c = Kohesi tanah (kN/m^2)

ϕ = Sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek internal (derajat)

σ = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Pada penelitian tugas akhir kali ini menggunakan metode yang bersifat eksperimen (*research*). Dalam bab ini menjelaskan metode penelitian yang berisi lokasi, bahan, alat, tahap penelitian dan prosedur dari penelitian pengujian pendahuluan dan juga pengujian utama. Pada penelitian pengujian pendahuluan ini merupakan pengujian dari tanah gambut asli dan sedangkan pada pengujian utama merupakan pengujian tanah gambut yang telah ditambahkan bakteri *Bacillus subtilis* dengan menginjeksi bakteri tersebut kedalam tanah dengan menggunakan teknik *biogrouting*

4.2 Lokasi Penelitian

Lokasi pengambilan sampel tanah gambut ini sendiri diambil di Desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun Kabupaten Siak. Pada saat pengambilan sampel tanah gambut, tanah ini dalam kondisi yang basah. Sedangkan bakteri yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari laboratorium Fakultas Pertanian Universitas Islam Riau.

Pada pengujian yang dilakukan di penelitian kali ini bersifat eksperimen. Lokasi penelitian yang dilakukan berada di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Islam Riau.

4.3 Bahan Material Benda Uji

1. Tanah Gambut

Benda uji yang digunakan didalam penelitian ini adalah tanah gambut yang dalam kondisi basah dan dalam kondisi terganggu. Tanah gambut tersebut diambil menggunakan alat manual (cangkul) pada kedalaman ± 50 cm dari permukaan atas tanah, kemudian tanah gambut tersebut dibawa ke laboratorium, kemudian di jemur dibawah sinar matahari hingga kering kemudian tanah gambut yang telah dikeringkan lalu di saring menggunakan saringan no.4, penyaringan ini bertujuan untuk

memisahkan antara tanah dan akar-akar tanaman serta sampah organik maupun sampah anorganik yang terdapat di dalam tanah gambut tersebut



Gambar 4.1 Bahan Tanah Gambut

Tanah gambut yang digunakan dalam penelitian ini termasuk kedalam tanah gambut *saprik*, dikarenakan tanah gambut yang diambil sudah dalam keadaan melapuk dan bahan asal tanah gambut tidak dikenali, serta tanah gambut berwarna coklat tua.

2. Urea

Urea merupakan bahan kimia yang mengandung nitrogen (N) yang berkadar tinggi. Urea berbentuk butiran kristal yang berwarna putih. Dengan rumus kimia (CON_2H_4) urea merupakan pupuk yang mudah larut didalam air dan sifatnya yang juga mudah untuk mengisap air (higroskopis). Oleh karena ini sebaiknya urea dapat disimpan pada tempat yang kering dan juga tertutup rapat.

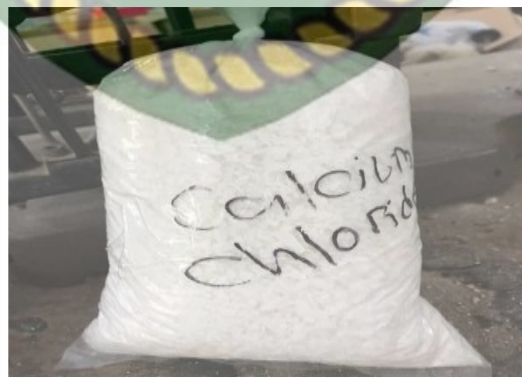


Gambar 4.2 Bahan Urea

Urea mengandung unsur hara sebesar 46%, setiap 100 kg mengandung 46 kg Nitrogen, Kadar Biuret 1%, Moisture 0,5%, ukuran 3,35 mm dan 90% Min serta berbentuk Prill. Dalam penelitian ini, urea digunakan sebagai campuran larutan sementasi dengan kuantitas sebesar 1000 gr.

3. CaCl_2 (*Calcium Chloride*)

CaCl_2 (kalsium Klorida) merupakan bahan kimia yang digunakan sebagai alat untuk stabilisasi tanah. Senyawa ini mudah larut dengan air dan mampu mengalirkan partikel tanah



Gambar 4.3 Bahan CaCl_2

Bahan CaCl_2 ini berbentuk seperti garam yang pipih yang digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan larutan sementasi pada penelitian ini.

4. Bakteri *Bacillus subtilis*

Bakteri yang digunakan sebagai campuran larutan sementasi berasal dari laboratorium Fakultas Pertanian Universitas Islam Riau. Bakteri ini digunakan untuk bahan campuran pada pengujian utama yaitu pengujian kuat tekan bebas pada benda uji yang sudah di injeksikan kedalam sampel tanah uji.



Gambar 4.4 Bahan Bakteri *Bacillus Subtilis*

5. Air

Air yang digunakan dalam pengujian eksperimen ini adalah air PDAM yang terdapat di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Islam Riau

4.4 Alat-alat yang digunakan didalam penelitian

Dalam penelitian ini peralatan yang digunakan untuk pengujian ini disesuaikan dengan ketersediaan peralatan dan kebutuhan pengujian yang ada di laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

4.4.1 Peralatan Pengujian Pendahuluan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut :

1. Proctor

Alat-alat yang digunakan yaitu :

- a. Mold pemadatan Ø 4"
- b. Palu pemadatan standar dengan berat 2,45 kg (5,5 lb)
- c. *Extruder mold*
- d. Pisau pemotong
- e. Palu karet
- f. Kantong Plastik
- g. Cawan
- h. Pan
- i. Gelas ukuran 1000 ml
- j. Saringan no.4



Gambar 4.5 Alat Uji Pemadatan Tanah

2. Kadar air tanah

Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut :

- a. cawan

Cawan merupakan wadah kecil berbahan alumunium yang digunakan sebagai tempat meletakkan sampel dalam tahap pengujian.



Gambar 4.6 Cawan

b. Timbangan

Timbangan merupakan alat yang digunakan untuk pengukuran berat atau beban pada suatu zat. Dalam pengujian ini timbangan digunakan untuk mengukur berat benda uji maupun berat cawan yang digunakan dalam tahap pengujian.



Gambar 4.7 Timbangan Digital

c. Oven dengan pengatur suhu

Oven merupakan alat berupa ruang termal terisolasi yang digunakan untuk mengeringkan benda uji dalam waktu yang sudah ditentukan. Pada penelitian ini oven pengatur suhu digunakan untuk pengujian kadar air benda uji. Suhu yang digunakan pada oven ini sudah ditetapkan sesuai prosedur yang ada didalam pengujian.



Gambar 4.8 Alat Oven

3. Berat Spesifik

Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut :

- a. Piknometer dengan ukuran minimum 100 ml digunakan sebagai wadah dalam pengujian berat jenis tanah yang lolos saringan no.40
- b. Timbangan digital digunakan untuk menentukan berat pada pengujian berat jenis.



Gambar 4.9 Alat Piknometer dan Timbangan Digital

b. Botol air suling.

Botol air Suling digunakan untuk menambahkan air kedalam piknometer pada saat melakukan pengujian berat jenis.



Gambar 4.10 Alat Botol Air Suling

- c. Timbangan.
 - d. Kompor Gas.
 - e. Cawan .
4. Peralatan bantu seperti spatula, pisau, nampan, dan lain-lain

4.4.2 Peralatan Pengujian Utama (kuat Geser)

Perlatan yang digunakan dalam pengujian adalah :

1. Alat Triaksial
2. silinder contoh
3. mold contoh
4. membran karet
5. pengatur ketinggian
6. pengatur hampa udara
7. timbangan



Gambar 4.11 Alat kuat tekan UCS

4.5 Tahapan dan Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini pengujian dibagi kedalam 2 tahap yaitu pengujian pendahuluan dan pengujian utama.

4.5.1 Prosedur Pengujian Pendahuluan

Pada pengujian pendahuluan benda uji tanah gambut yang sudah tersedia akan digunakan sesuai dengan keperluan pengujian. Adapun pengujian-pengujian yang dilakukan adalah :

1. Pengujian pemadatan standar (*proctor*) yang merujuk pada ASTM D 698-78.
2. Pengujian spesifik (*specific gravity*) yang merujuk pada ASTM D 854-00.
3. Pengujian kadar air yang merujuk pada ASTM D 2216-92.

4.5.1.1 Pengujian Pemadatan Standar (*proctor*) ASTM D 698-78

Pada pengujian pemadatan standar ini dilakukan untuk mengetahui jumlah kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering maksimum (*γ_{d maks}*). Pengujian ini berdasarkan ASTM D 698-78, benda uji yang digunakan yaitu tanah gambut yang telah lolos saringan no.4 sebanyak 3,0 kg. Langkah-langkah untuk pengujian pemadatan tanah gambut yang belum terinjeksi reagen bakteri sebagai berikut :

- a. Menyiapkan benda uji sebanyak 3,0 kg untuk 1 silinder pemadatan, kemudian mencampurkan air sesuai dengan takaran yang ditentukan. Supaya tidak berkurang, diamkan benda uji selama ± 24 jam, hal ini dilakukan supaya pori-pori tanah terisi dengan air.
- b. Keluarkan benda uji dari dalam plastik, letakkan pada nampan, selanjutnya bagi benda uji tanah menjadi 3 bagian, kemudian masukkan benda uji kedalam cetakan silinder dan dipadatkan per tiga lapis, dan setiap lapisan dipadatkan dengan sebanyak 25 tumbukan. Kemudian leher cetakan dibuka dan benda uji diratakan sampai bagian atas benda uji sejajar dan rata dengan permukaan atas cetakan, lalu cetakan dilepaskan dari alasnya dan kemudian di timbang. Selanjutnya keluarkan tanah dari dalam cetakan dengan

menggunakan dongkrak, kemudian ambil bagian tengah pada benda uji yang sudah dikeluarkan dari cetakan tersebut, lalu masukkan bagian tengah benda uji tadi kedalam cawan, untuk mengetahui kadar airnya. Selanjutnya cawan yang sudah terisi benda uji dimasukkan kedalam oven pengatur suhu selama 24 jam. Pemeriksaan kadar air ini dilakukan berulang kali dengan kadar air yang bervariasi. Data yang dihasilkan dalam pemeriksaan ini adalah berat volume basah, kadar air dan volume kering. Dari data tersebut kemudian dicari berat volume kering maksimum dan kadar air optimum.



Gambar 4.12 Pengujian Pematatan Tanah

4.5.1.2 Pengujian berat spesifik (*specific Gravity*) ASTM D 854-00

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya berat spesifik tanah yang merupakan perbandingan antara berat butiran tanah dengan berat air diudara dengan volume yang sama pada temperatur tertentu.

Prosedur kerja yaitu (laboratorium mekanika tanah,2016):

1. Benda Uji

- a. Benda uji dipersiapkan, kemudian dioven sampai kering dengan berat tidak boleh kurang dari 50 gram.
- b. Contoh yang didapatkan dilakukan dengan menyaring tanah dengan saringan No. 40
- c. Benda uji dikeringkan dengan oven pada suhu 105-110 °C

2. Cara kerja

- a. Piknometer dicuci dengan air suling dan dikeringkan. Piknometer dan tutupnya ditimbang dengan ketelitian 0,01 gram (W_1).
- b. Benda uji dimasukkan kedalam piknometer dan ditimbang bersama tutupnya dengan ketelitian 0,01 gram (W_2)
- c. Tambahkan air suling sampai piknometer terisi 2/3, untuk benda uji yang memiliki gelembung biarkan benda uji terendam kurang lebih selama 24 jam.
- d. Didihkan piknometer selama 10 menit, pada saat berlangsungnya pemanasan miringkan botol beberapa kali untuk mempercepat pengeluaran udara yang terkurung di dalam piknometer.
- e. Masukkan air suling kedalam piknometer, biarkan piknometer dan isinya mencapai suhu yang konstan di dalam bejana air atau di tempat yang aman selama 24 jam.
- f. Pada saat telah mencapai suhu yang konstan tambahkan air suling secukupnya sampai batas, kemudian tutup piknometer tersebut, keringkan bagian luar piknometer dan timbang dengan timbangan ketelitian 0,1 gram (W_3), ukur suhu pada piknometer dengan ketelitian 10 °C.
- g. Untuk menghilangkan udara dalam pori-pori tanah, benda uji dipanaskan diatas pasir dengan menggunakan kompor. Setelah udara di dalam pori tanah sudah menghilang, kemudian tambahkan air sampai ke bibir piknometer dan setelah itu ditimbang.



Gambar 4.13 Pengujian Berat Spesifik

4.5.1.3 Pengujian kadar air tanah (*Moisture Content*) ASTM D 2216-92

Tujuan dari pengujian kadar air yaitu untuk menentukan perbandingan antara berat air yang terkandung didalam tanah gambut dengan berat kering yang dinyatakan dalam persen.

Tahapan pelaksanaannya yaitu :

- a. Tanah gambut yang akan di uji di masukkan kedalam cawan yang sudah dibersihkan dan dalam keadaan kering yang telah diketahui beratnya.
- b. Tanah gambut yang sudah dimasukkan kedalam cawan di timbang dan beratnya catat.
- c. Cawan dan isinya kemudian dimasukkan kedalam oven pengatur suhu sampai benda uji tersebut mendapatkan berat yang konstan selama 24 jam.

- d. Cawan beserta isinya kemudian dikeluarkan dari oven pengatur suhu, selanjutnya didinginkan dan ditimbang lalu dicatat hasilnya.



Gambar 4.14 Pengujian Kadar Air Sampel Tanah Asli

4.5.1.4 Pengujian Gradasi tanah ASTM D-1140

Tujuan dari pengujian gradasi ini untuk menentukan pembagian butir (gradasi) antara agregat halus dan kasar.

Tahapan pelaksanaannya sebagai yaitu :

- a. Tanah gambut yang akan diuji dimasukkan kedalam cawan lalu di timbang.
- b. Setelah ditimbang benda uji dimasukkan kedalam oven pengatur suhu selama 24 jam.
- c. Setelah dioven, rendam benda uji selama 24 jam.
- d. Benda uji yang sudah direndam selama 24 jam, kemudian di cuci menggunakan saringan No.200
- e. Setelah benda uji disaringan menggunakan saringan No.200, kemudian dimasukkan kembali kedalam oven pengatur suhu selama 24 jam.

- f. Benda uji yang sudah dioven selama 24 jam, kemudian disaring menggunakan saringan No.4, 10, 20, 40, 80, 100 dan 200.



Gambar 4.15 Pengujian Gradasi Benda Uji

4.5.2 Pembuatan Sampel

Langkah kerja pada pembuatan benda uji kuat tekan (UCS) dilakukan sebagai berikut :

- a. Tanah gambut yang telah lolos saringan No.4 diambil sesuai berat yang sudah ditetapkan sebanyak 48,7 gram, kemudian tambahkan dengan kadar air optimum yang sudah di dapatkan sebesar 41,3 gram. Total dari berat benda uji menjadi 90 gram, kemudian benda uji diaduk hingga merata.
- b. Tanah gambut yang telah dicampurkan dengan air kemudian dibagi menjadi 3 sampel dengan masing-masing berat 30 gram, lalu benda uji yang telah ditimbang dan dibagi dimasukkan kedalam cawan. Kemudian masukkan benda uji yang telah dibagi tiga tersebut kedalam tabung silinder sebanyak 3 lapisan secara bertahap, kemudian benda uji dibentuk menggunakan alat sondir sampai dengan batas yang sudah ditentukan. Dan hasil benda uji tersebut berbentuk silinder/tabung.

- c. Sampel yang terdapat didalam tabung silinder kemudian dikeluarkan menggunakan alat yang telah tersedia.
- d. Setelah dikeluarkan, masukkan sampel tersebut kedalam plastik kedap udara untuk menjaga kadar air sampel tersebut, dan agar benda asing tidak masuk kedalam sampel tersebut.



Gambar 4.16 Proses Pembuatan Benda Uji Tanah Gambut

4.5.3 Pembuatan Reagen Bakteri

Pengujian ini menggunakan bahan CO (NH₂) urea, CaCl₂ dan bakteri *Bacillus subtilis* untuk digunakan sebagai bahan *grouting*. Sebelum pembuatan reagen bakteri, persiapkan dahulu alat-alat dan bahannya. Alat yang digunakan yaitu sendok, cawan, botol aqua, tabung piknometer, gelas ukur, cerocok, kertas saring dan timbangan digital. Sedangkan bahan yang digunakan untuk pengujian ini adalah bakteri *bacillus subtilis*, CaCl₂, urea, dan air. Berikut adalah jumlah konsentrat yang akan dibuat untuk reagen pada penelitian terdapat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Material Campuran *Reagen*

No	Bahan	Kuantitas
1	Bakteri	10 ml
2	Urea	1000 gr

Tabel 4.1 (Sambungan)

No	Bahan	Kuantitas
3	CaCl ₂	10 gr
4	Air	50 ml

Langkah kerja pembuatan reagen bakteri dilakukan sebagai berikut :

1. Larutkan 100 gram urea dengan campuran air sebesar 50 mL kedalam cawan A.
2. Larutkan 10 gram CaCl₂ dengan campuran air sebesar 50 mL kedalam cawan B.
3. Larutkan 10 ml bakteri dengan campuran air sebesar 50 mL kedalam cawan C.
4. Semua bahan dilarutkan, kemudian campurkan seluruh bahan tersebut kedalam cawan D dengan komposisi 10 ml setiap bahannya.
5. Semua bahan yang sudah dilarutkan diaduk hingga merata.
6. Saring campuran bahan menggunakan kertas saring dan dimasukkan kedalam gelas ukur yang sudah tersedia.
7. Bakteri yang tertinggal di kertas saring diambil dan ditimbang lalu dicampurkan dengan air kedalam botol sebanyak 50 ml air.



Gambar 4.17 Proses Penyaringan Campuran Reagen

4.5.4 Penetesan Benda Uji dengan *Reagen* Bakteri

Langkah-langkah penetesan benda uji dengan *reagen* bakteri dilakukan sebagai berikut :

- a. Ambil benda uji yang sudah dimasukkan kedalam plastik kedap udara, lalu benda uji di keluarkan dan timbang beratnya, kemudian masukkan kembali benda uji kedalam plastik.
- b. Dari hasil berat benda uji yang sudah ditimbang dikalikan dengan persen reagen bakteri. Dalam pengujian ini menggunakan campuran *reagen* bakteri (5%,10%,15%,20%,25%).
- c. Proses pencampuran benda uji dengan reagen bakteri dilakukan dengan cara teteskan *reagen* bakteri sesuai dengan hasil perkalian dari berat benda uji yaitu sebesar 90 gram dan variasi persentase (5% = 4,5 mL, 10% = 9 mL, 15% = 13,5 mL, 20 % = 18 mL, 25% = 22,5 mL) di atas benda uji tersebut, lalu biarkan benda uji hingga *reagen* bakteri meresap masuk kedalam tanah.
- d. Setelah ditetaskan tutup kembali plastik kedap udara tersebut, kemudian simpan dan diamkan benda uji yang sudah ditetaskan *reagen* bakteri selama 14 hari.



Gambar 4.18 Proses Ijeksi *Reagen* Bakteri dan Benda Uji

4.5.5 Pengujian Utama

Pengujian utama dilakukan setelah pengujian pendahuluan dan proses injeksi benda uji menggunakan *reagen* bakteri. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kuat geser tanah gambut yang telah terinjeksi dengan *reagen* bakteri. Pada pengujian

ini pencampuran *reagen* bakteri terhadap benda uji menggunakan variasi persenan 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% terhadap berat isi benda uji. Pada pengujian ini dimulai dari benda uji yang memiliki 0% *reagen* bakteri atau benda uji yang tidak terinjeksi sampai dengan benda uji yang terinjeksi *reagen* bakteri sebanyak 25%.

Berikut adalah langkah kerja pengujian kuat tekan benda uji :

- a. Diambil silikon karet dengan ukuran yang hampir sama dengan benda uji
- b. Silikon karet kemudian dimasukkan kedalam tabung pengencang silikon yang berukuran lebih besar dari benda uji, kemudian hisap dengan mulut, agar silikon menempel dengan tabung dengan baik,
- c. Kemudian masukkan benda uji kedalam tabung pengencang silikon yang telah diisi dengan silikon, pada saat proses memasukkan benda uji, tabung pengencang silikon tetap dihisap agar sampel bisa masuk kedalam silikon dengan baik
- d. Lalu masukkan benda uji kedalam alat triaksial, kemudian pada bagian dasar alat triaksial, benda uji diikant dengan karet agar air tidak dapat masuk kedalam benda uji, kemudian letakkan pelat diatas benda uji, kemudian ikat dengan karet
- e. Pasang tabung alat triaksial dan keraskan baut pengencangnya
- f. Isi tanki air dengan udara dengan cara menghubungkan dengan kompresor, dan atur tekanan tabung dengan tekanan yang diinginkan, kemudian buka kran yang menghubungkan tanki air dengan tabung triaksial, sehingga air mengalir masuk kedalam tabung triaksial
- g. Atur piston beban dengan pemutar tangan hingga menyentuh benda uji
- h. Atur pengatur tekanan dan regangan hingga menunjukkan angka nol (0)
- i. Hidupkan alat triaksial, kemudian baca hasilnya, dengan cara setiap hasil cincin tekanan kelipatan 35, catat hasilnya
- j. Hentikan pengujian setelah pengatur tekanan membaca angka yang sama atau turun



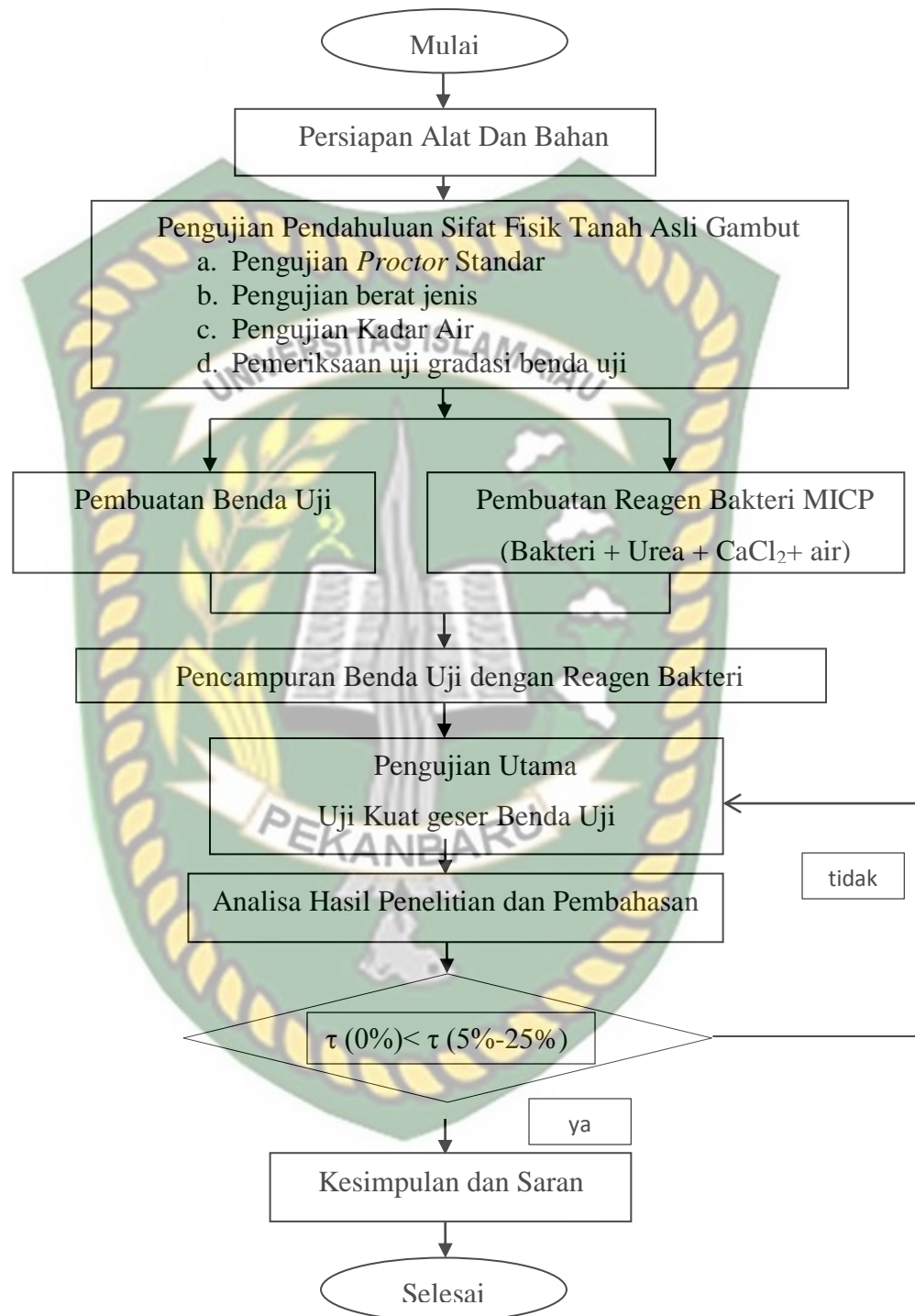
Gambar 4.19 Proses kuat geser benda uji

4.6 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa persiapan yang dilakukan pada saat pengujian sebagai berikut :

1. Persiapan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian
2. Pengujian pendahuluan, diantaranya:
 - a. Pengujian pemadatan standar
 - b. Pengujian berat spesifik
 - c. Pengujian kadar air
 - d. Pengujian gradasi benda uji
3. Proses pembuatan benda uji yang berbentuk silinder dan pembuatan *reagen* bakteri MICP.
4. Proses injeksi benda uji dengan *reagen* bakteri.
5. Proses pengujian utama yaitu pengujian uji kuat geser pada benda uji.
6. Menganalisa hasil penelitian dalam bentuk tabel dan grafik.
7. Membuat kesimpulan dan saran pada penelitian ini.

Adapun diagram alir pada penelitian ini berfungsi sebagai alur dalam penelitian, proses ini digambarkan seperti *flowchart* dibawah ini



Gambar 4.20 Tahapan Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Pada bab ini membahas hasil pengujian tanah gambut dan pengaruh penambahan reagen bakteri menggunakan metode *Microbially Induce Calcite Precipitation* terhadap kuat geser tanah gambut pada kondisi kadar air optimum. Pengujian ini dilakukan di laboratorium mekanika tanah fakultas teknik Universitas Islam Riau. Pengujian dilakukan menjadi dua bagian, yang pertama adalah pengujian pendahuluan, dan yang kedua adalah pengujian utama.

Adapun penelitian yang dilaksanakan pada pengujian pendahuluan adalah pengujian terhadap sampel tanah asli, yaitu pengujian pemadatan standar (*proctor*), pengujian berat jenis dan pengujian kadar air, sedangkan pengujian yang dilakukan pada bagian kedua adalah pengujian utama, yaitu uji kuat geser triaksial terhadap benda uji yang sudah terinjeksi oleh reagen bakteri.

5.2 Reagen Bakteri *Bacillus Subtilis*

Reagen bakteri *bacillus subtilis* merupakan larutan sementasi yang digunakan dalam penelitian ini, bakteri *bacillus subtilis* yang digunakan merupakan bakteri yang berasal dari laboratorium fakultas pertanian Universitas Islam Riau. Reagen bakteri *bacillus subtilis* terdiri dari beberapa campuran seperti CaCl_2 , Urea, air, dan bakteri *bacillus subtilis*. Reagen bakteri ini digunakan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan bebas pada tanah gambut. Jumlah reagen bakteri yang diinjeksikan ke benda uji disesuaikan dengan variasi persentase yang sudah ditetapkan dalam penelitian ini.

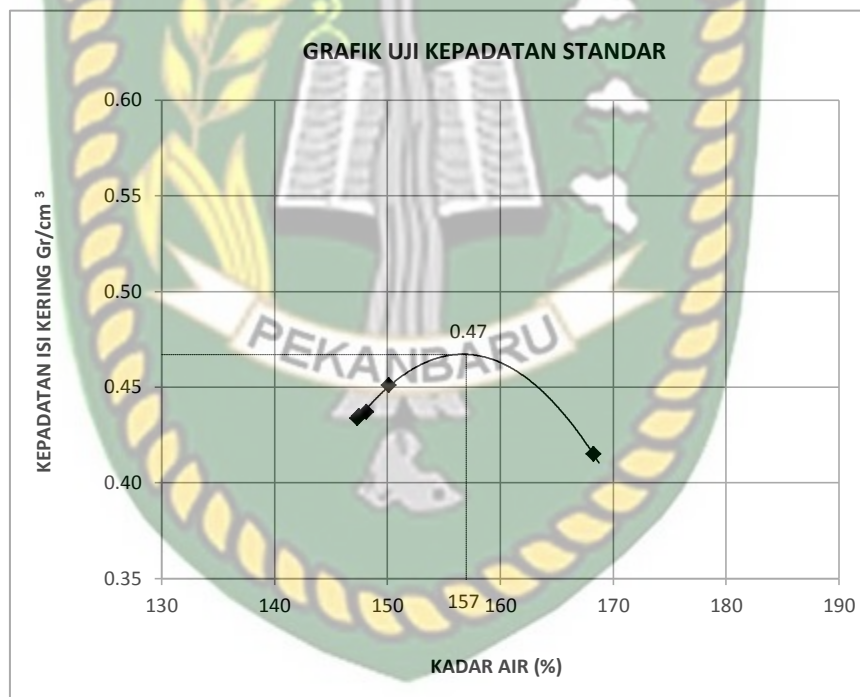
5.3 Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan dilakukan sebelum dilaksanakannya pengujian utama di laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau. Pengujian pendahuluan yang

dilakukan diantaranya adalah pengujian pemadatan (*Proctor Test*), pengujian berat spesifik (Gs), dan pengujian kadar air tanah asli (tanah gambut).

5.3.1 Pengujian Pemadatan / *Proctor Test*

Pengujian pemadatan dilakukan sesuai dengan prosedur standar ASTM D 698-78 dengan ketentuan pemadatan tanah yang dilakukan dilaboratorium untuk menentukan nilai kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum (γ_{maks}). Hasil pengujian pemadatan (*proctor test*) dapat dilihat dengan pengujian 5 (lima) buah benda uji yang tertera pada lampiran A-1. Untuk Grafik pengujian pemadatan dapat dilihat pada Gambar 5.1



Gambar 5.1 Hubungan berat volume kering dengan kadar air.

Pada gambar 5.1 menunjukkan hubungan antara kadar air optimum dan kepadatan isi kering. Hasil dari uji pemadatan (*proctor standart*) yang dilakukan terhadap 5 (lima) buah benda uji, didapatkan hasil untuk kadar air optimum yaitu

sebesar 157% dan berat volume kering maksimumnya (γ_{maks}) sebesar $0,467 \text{ gr/cm}^3$. Untuk hasil yang didapatkan bisa dilihat pada lampiran A-1. Berdasarkan hasil yang didapatkan dari pengujian pemadatan (*proctor test*), mengakibatkan tanah gambut menjadi lunak dan sangat lemah untuk menahan beban yang berada di atasnya. Tingginya nilai kadar air optimum (OMC) disebabkan karena besarnya pori-pori tanah yang terdiri dari serat-serat tumbuhan (organik) yang menyebabkan tanah menyerap banyak air untuk mendapatkan kepadatan yang optimum. Sesuai dengan berat volume kering yang didapatkan maka klasifikasi gambut berdasarkan berat volume kering pada tingkat pelapukannya atau dekomposisi $> 0,2 \text{ gr/cm}^3$ (Mutalib, et al., 1991). Tanah gambut yang berasal dari kabupaten Siak ini termasuk tanah gambut *saprik* disebabkan karena pengaruh dari mineral tanah yang terkandung didalamnya.

5.3.2 Pengujian Berat Spesifik (Gs)

Pengujian berat spesifik (*Specific Gravity*) dilakukan sesuai dengan prosedur ASTM D 854-02. Hasil dari pengujian yang telah dilakukan terhadap tanah asli, nilai berat spesifik (Gs) tanah yang didapatkan adalah sebesar 1,30. Hasil ini dapat dilihat pada lampiran A-2. Nilai berat spesifik (Gs) diakibatkan karena adanya kandungan bahan organik dan serat-serat kayu yang terkandung didalam tanah gambut.

5.3.3 Pengujian Kadar Air Asli (Tanah Gambut)

Pengujian kadar air ini dilakukan sesuai dengan prosedur pada ASTM D 2216- 98. Hasil dari pengujian kadar air yang telah dilakukan pada tanah gambut didapatkan nilai kadar air sebesar 407,5% dapat dilihat pada lampiran A-3. Hasil yang didapatkan dari pengujian kadar air ini disebabkan karena tanah gambut asli memiliki kandungan serat organik yang bisa menyerap air dengan jumlah yang banyak sehingga mengandung kadar air yang tinggi. Menurut Notohadiprawiro tanah gambut yang dapat mengikat air $< 450\%$ termasuk kedalam golongan tanah gambut *saprik*.

5.3.4 Sifat-sifat Fisis Tanah Gambut

Berdasarkan hasil dari pengujian-pengujian yang sudah dilakukan, dapat dirangkum sifat-sifat fisis tanah. Hasil sifat fisis tanah gambut yang didapat bisa dilihat pada lampiran.

Tabel 5.1 Sifat-sifat Fisis Tanah Gambut.

No	Sifat-sifat	besaran	Satuan
1	Berat Spesifik, G_s	1,30	-
2	Kadar Air, w	407,5	%
3	Berat Isi Kering Maksimum (γ_d maks)	0,467	Gr/cm ³
4	Kadar Air optimum (OMC)	157	%

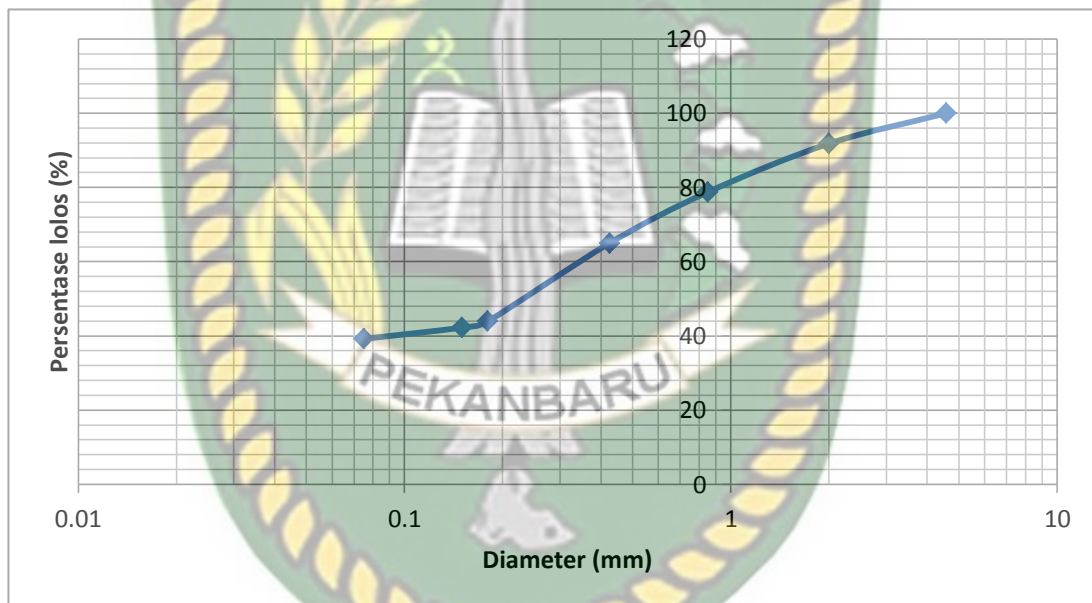
5.4 Pengujian Gradasi Benda Uji

Pemeriksaan gradasi benda uji ini dilakukan sesuai prosedur ASTM D-1140 untuk menentukan pembagian antara butir (gradasi) agregat halus dan kasar dengan menggunakan saringan. Pada pengujian ini berat benda uji yaitu 134,5 gr dapat dilihat pada lampiran A4.

Hasil dari pemeriksaan analisa saringan benda uji pada saringan No.4, No.10, No.20, No.40, No.80, No.100, dan No.200 didapatkan ukuran diameter butir sesuai dengan SNI 3423-2008. Pada tabel 5.2 dapat dilihat bahwa persentase terbesar jumlah tanah yang lewat dalam pengujian ini terdapat pada saringan no.4 yaitu sebesar 100%, sedangkan jumlah persentase yang paling besar tertahan tanah gambut terdapat pada saringan no.200 yaitu sebesar 3,05 %. Untuk hasilnya dapat dilihat pada tabel 5.2 dibawah ini.

Tabel 5.2 diameter ukuran saringan

Saringan (mm)	Diameter (mm)	persentase tanah lolos (%)
4	4,57	100
10	2	91,83
20	0,85	78,75
40	0,425	65
80	0,18	43,96
100	0,15	42,25
200	0,075	39,2

**Gambar 5.2** Grafik Hubungan Persentase Lolos Saringan Agregat Dengan Diameter Benda uji.

Hasil dari uji gradasi tanah gambut yang dilakukan terhadap tanah asli didapatkan nilai persentase lolos saringan yaitu 100% untuk saringan No.4 dengan ukuran diameter butiran 4,75 mm, 91,83 % untuk saringan No.10 dengan ukuran diameter butiran 2,00 mm, 78,75 % untuk saringan No.20 dengan ukuran diameter

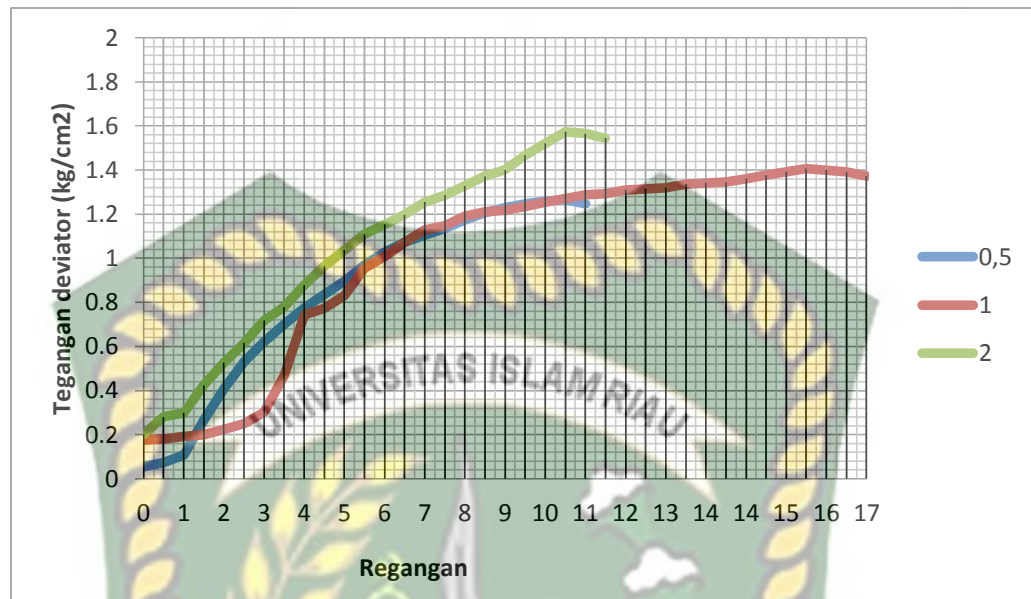
butiran 0,85 mm, 65 % untuk saringan No.50 dengan ukuran diameter butiran 0,425 mm, 43,96 % untuk saringan No.80 dengan ukuran diameter saringan 0,18 mm, 42,25% untuk saringan No.100 dengan ukuran diameter saringan 0,15 mm, 39,2 % untuk saringan No.200 dengan ukuran diameter saringan 0,075 mm.

5.5 Pengujian Kuat Geser *Reagen Bakteri*

Pengujian ini dilakukan menggunakan metode *biogrouting* dengan meninjeksikan bakteri *Bacillus Subtilis* yang dibuat menjadi larutan sementasi dengan tanah gambut. Berikut adalah persentase penambahan larutan sementasi terhadap benda uji, yaitu sebesar :

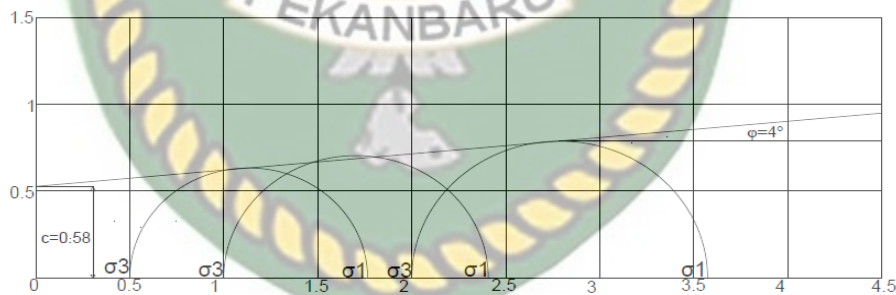
1. Sampel A = 0%
2. Sampel B = 5%
3. Sampel C = 10%
4. Sampel D = 15%
5. Sampel E = 20%
6. Sampel F = 25%

Pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* pada sampel dengan 1 sampel persentase sebanyak tiga buah, yaitu untuk tegangan sel (σ_3)=0,5kg/cm² , tegangan sel (σ_3)=1kg/cm², tegangan sel (σ_3)=2kg/cm². Pengujian triaksial bertujuan untuk mendapatkan nilai parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Hasil pengujian dapat dilihat sebagai berikut



Gambar 5.3 kurva hubungan Tegangan dan Regangan pada uji triaksial UU sampel tanah A

Kemudian dibuat lingkaran mohr dari tegangan pada saat sampel pecah dengan tegangan geser sebagai ordinat dan tegangan normal sebagai absis, seperti gambar 5.4

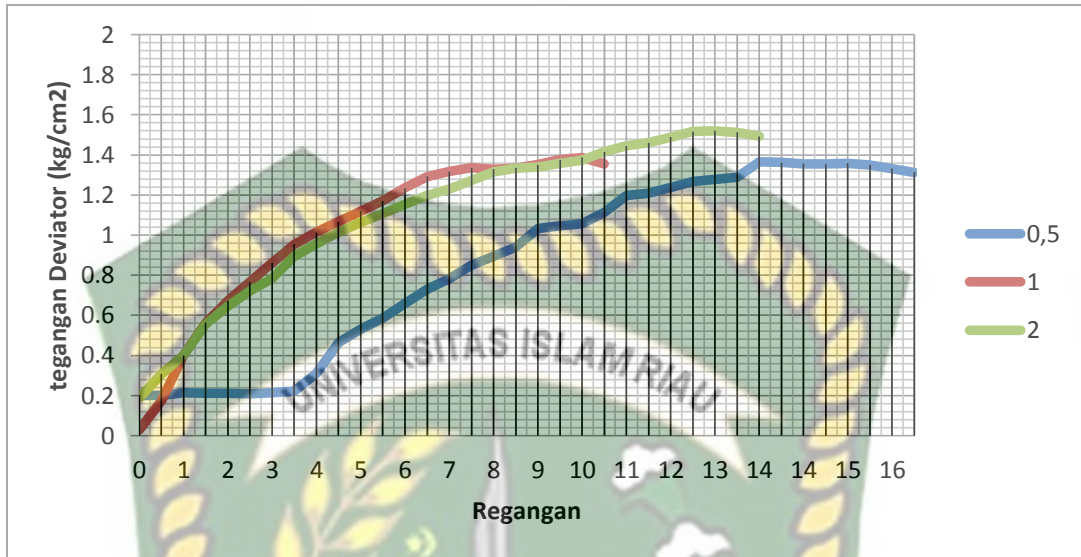


Gambar 5.4 Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel A

Dari pengujian triaksial UU pada sampel tanah A diperoleh sudut gesek dalam (ϕ) dan kohesi (c) yaitu :

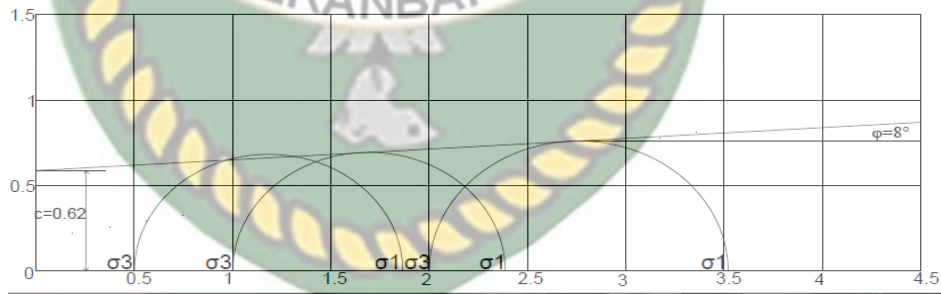
$$\text{Sudut gesek dalam}(\phi) = 4^\circ$$

$$\text{Kohesi} (c) = 0,58 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar 5.5 kurva hubungan Tegangan dan Regangan pada uji triaksial UU sampel tanah B

Kemudian dibuat lingkaran mohr dari tegangan pada saat sampel pecah dengan tegangan geser sebagai ordinat dan tegangan normal sebagai absis, seperti gambar 5.6

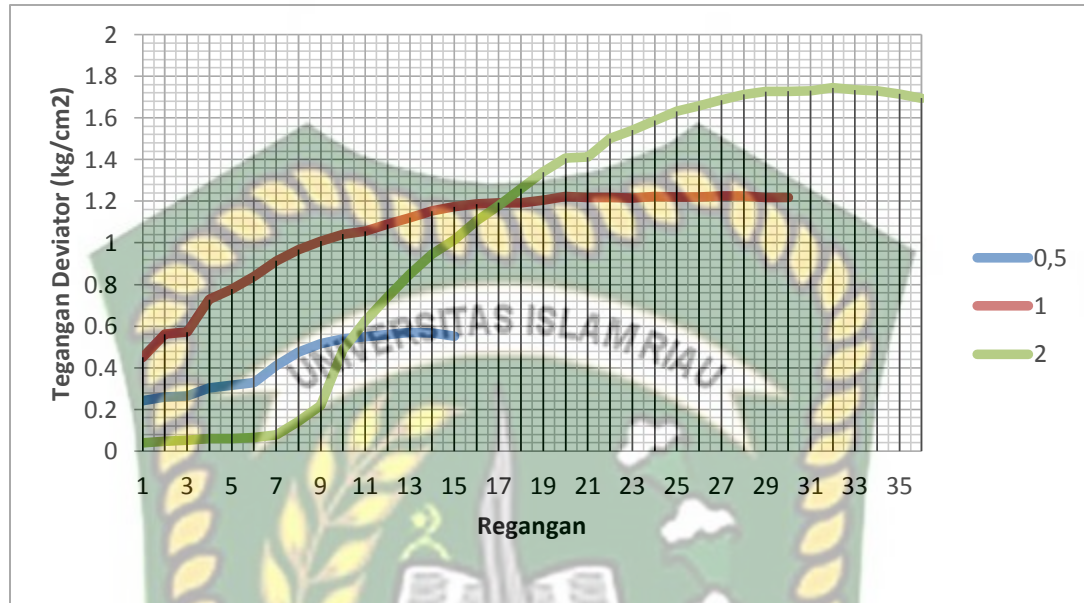


Gambar 5.6 Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel B

Dari pengujian triaksial UU pada sampel tanah B diperoleh sudut gesek dalam (ϕ) dan kohesi (c) yaitu :

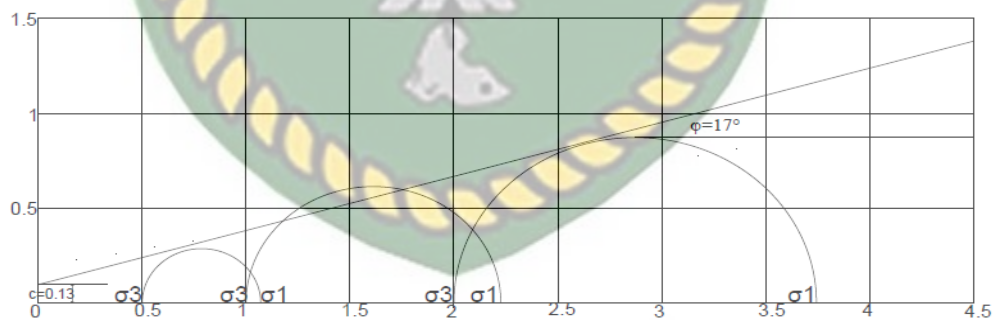
Sudut gesek dalam = 8°

Kohesi (c) = $0,62 \text{ kg/cm}^2$



Gambar 5.7 kurva hubungan Tegangan dan Regangan pada uji triaksial UU sampel tanah C

Kemudian dibuat lingkaran mohr dari tegangan pada saat sampel pecah dengan tegangan geser sebagai ordinat dan tegangan normal sebagai absis, seperti gambar 5.8

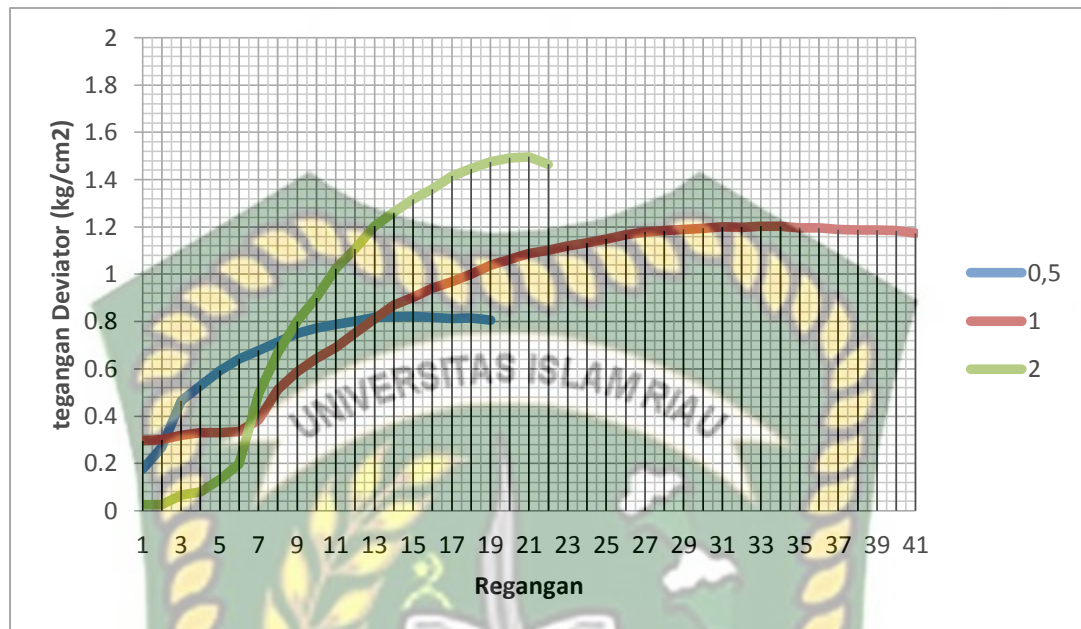


Gambar 5.8 Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel C

Dari pengujian triaksial UU pada sampel tanah C diperoleh sudut gesek dalam (ϕ) dan kohesi (c) yaitu :

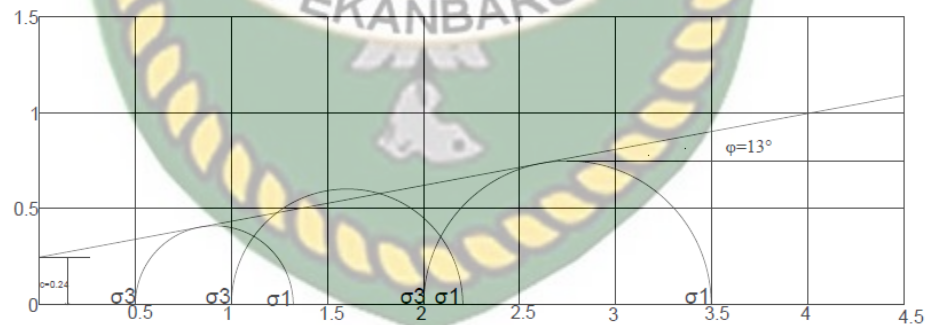
Sudut gesek dalam = 17°

Kohesi (c) = $0,13 \text{ kg/cm}^2$



Gambar 5.9 kurva hubungan Tegangan dan Regangan pada uji triaksial UU sampel tanah D

Kemudian dibuat lingkaran mohr dari tegangan pada saat sampel pecah dengan tegangan geser sebagai ordinat dan tegangan normal sebagai absis, seperti gambar 5.10

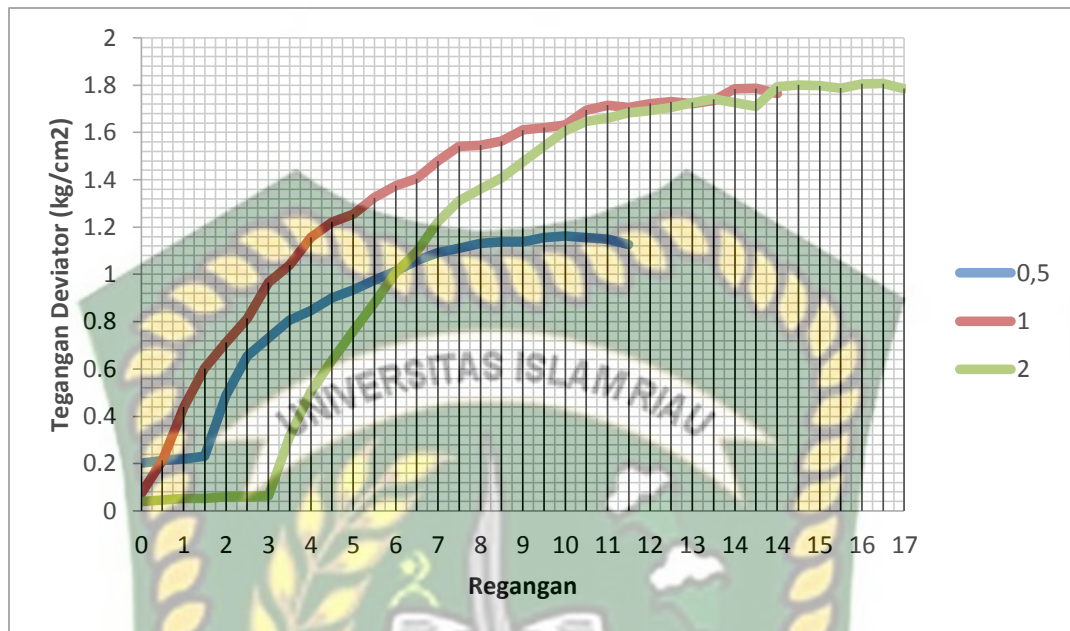


Gambar 5.10 Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel D

Dari pengujian triaksial UU pada sampel tanah D diperoleh sudut gesek dalam (ϕ) dan kohesi (c) yaitu :

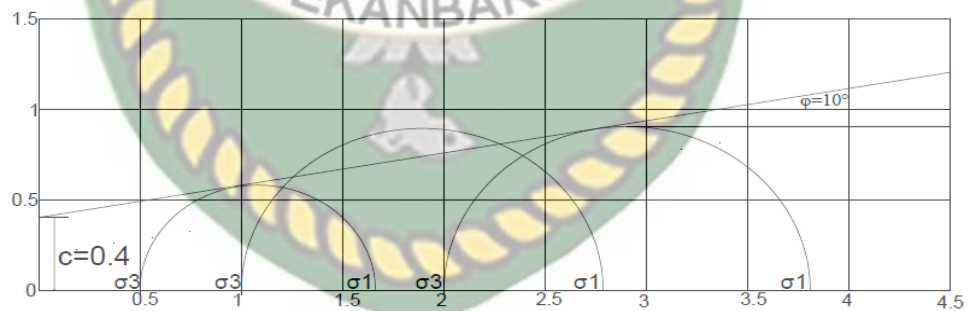
Sudut gesek dalam = 13°

Kohesi (c) = $0,24 \text{ kg/cm}^2$



Gambar 5.11 kurva hubungan Tegangan dan Regangan pada uji triaksial UU sampel tanah E

Kemudian dibuat lingkaran Mohr dari tegangan pada saat sampel pecah dengan tegangan geser sebagai ordinat dan tegangan normal sebagai absis, seperti gambar 5.12

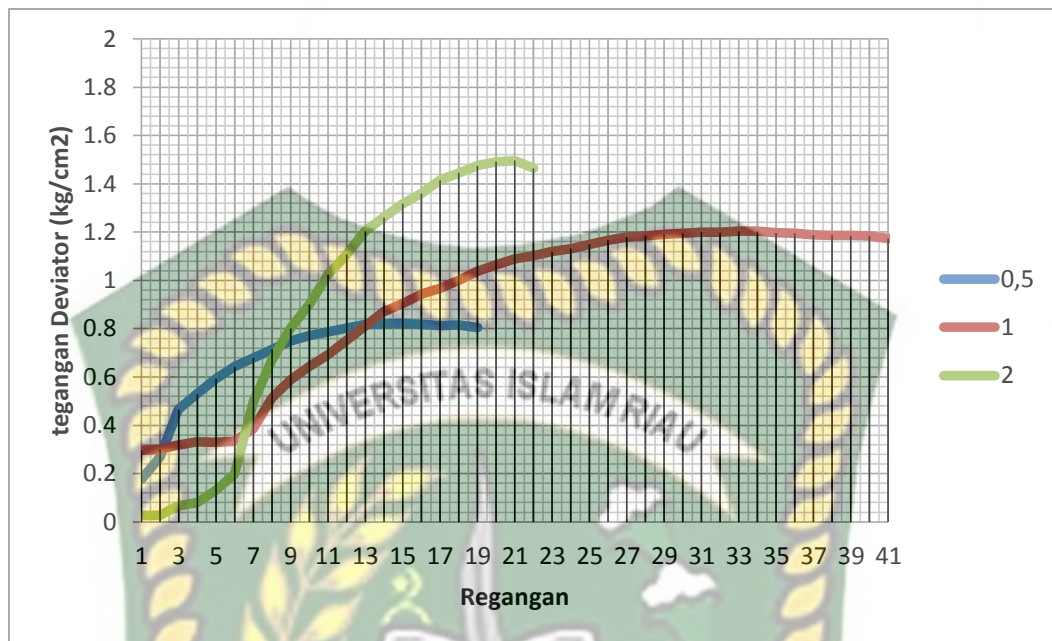


Gambar 5.12 Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel E

Dari pengujian triaksial UU pada sampel tanah A diperoleh sudut gesek dalam (ϕ) dan kohesi (c) yaitu :

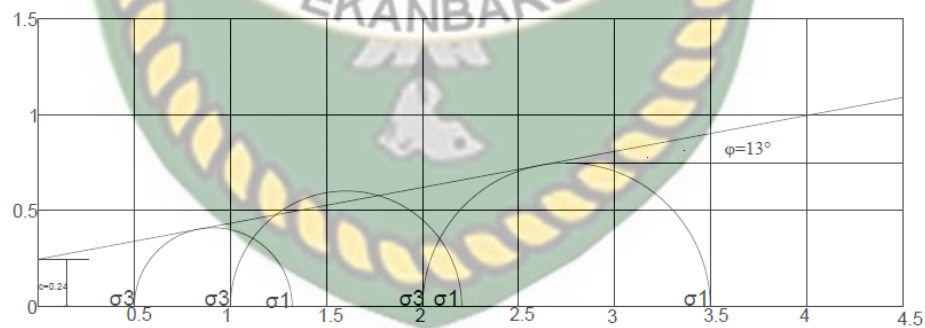
Sudut gesek dalam = 10°

Kohesi (c) = $0,40 \text{ kg/cm}^2$



Gambar 5.13 kurva hubungan Tegangan dan Regangan pada uji triaksial UU sampel tanah F

Kemudian dibuat lingkaran mohr dari tegangan pada saat sampel pecah dengan tegangan geser sebagai ordinat dan tegangan normal sebagai absis, seperti gambar 5.14



Gambar 5.14 Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel F

Dari pengujian triaksial UU pada sampel tanah F diperoleh sudut gesek dalam (ϕ) dan kohesi (c) yaitu :

Sudut gesek dalam = 13°

Kohesi (c) = $0,24 \text{ kg/cm}^2$

Dari hasil pengujian triaksial terhadap sampel tadi, didapat data sebagai berikut

Tabel 5.5 Sudut Geser dan kohesi tiap sampel

Sampel	Sudut geser dalam ϕ ($^{\circ}$)	Kohesi c (kg/cm^2)
A	4	0,58
B	8	0,62
C	17	0,13
D	13	0,24
E	10	0,40
F	13	0,24

Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa untuk tegangan normal yang berbeda menunjukkan perilaku yang sama, yaitu mobilisasi *stress* dimulai dari awal, dan mencapai puncak pada titik terkuat dan kemudian grafik menunjukkan penurunan

5.6 Analisa Kuat Geser

Analisa kuat geser dilakukan untuk formula coulomb dengan asumsi tegangan normal pada bidang runtuh (σ) konstan sebesar $2 \text{ kg}/\text{cm}^2$, adapun formula coulomb adalah sebagai berikut :

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots \dots \dots (5.2)$$

Dimana :

τ = kuat Geser Tanah (kg/cm^2)

c = kohesi tanah (kg/cm^2)

σ = Tegangan normal pada bidang runtuh (kg/cm^2)

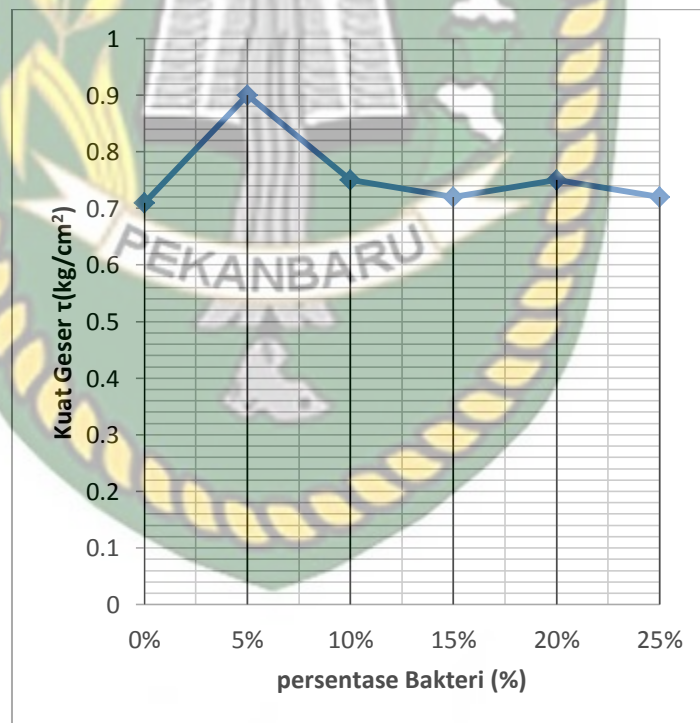
ϕ = Sudut Gesek dalam Tanah ($^{\circ}$)

Tabel hasil analisis kuat Geser tanah uji berdasarkan Uji Triaksial dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 5.6 tabel perhitungan analisis kuat geser pada Uji Triakasial UU

Sampel	c (kg/cm ²)	ϕ (°)	τ (kg/cm ²)
A	0,58	4	0,71
B	0,62	8	0,90
C	0,13	17	0,75
D	0,24	13	0,72
E	0,40	10	0,75
F	0,24	13	0,72

Dari hasil tabel 5.5, untuk hasil kuat geser terhadap penambahan *reagen* bakteri dapat dilihat dalam grafik berikut



Gambar 5.15 Grafik hubungan antara nilai kuat geser dengan persentase bakteri

Dari hasil analisis kuat geser yang didapatkan dalam penelitian ini, tanah gambut yang terinjeksi oleh bakteri mengalami kenaikan dibandingkan tanah asli. Nilai kuat geser tertinggi terdapat pada tanah gambut yang terinjeksi *reagen* bakteri 5% yaitu sebesar $0,90 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan pada tanah gambut yang tidak terinjeksi *reagen* bakteri mendapatkan hasil kuat geser sebesar $0,71 \text{ kg/cm}^2$.

Menurut patma (2020), Perbedaan naik turunnya nilai-nilai varian sampel ini disebabkan karna saat melakukan penelitian tidak menghitung berapa CaCO_3 yang masuk kedalam benda uji. Hal ini sejalan dengan pernyataan (dejong et al.2010) menyebutkan MICP dapat dipengaruhi oleh berbagai jenis sifat fisik, kimiawi, dan biologis, dari tanah asli itu sendiri. Penerapan MICP ureolitik via augmentasi hayati terbatas pada tanah yang mana pori kerongkongannya lebih besar dibandingkan sel bakterinya. (Foppen dan Schijiven, 2006) menyatakan distribusi ukuran partikel dan komposisi mineralogist juga dapat mempengaruhi adhesi dan transport dari sel bakteri. (Get et al, 2014) beranggapan bahawa adanya spesies bakteri non-ureolitik dalam tanah dapat mempengaruhi proses MICP serta garam yang terkandung dalam tanah asli mungkin dapat memepengaruhi mineralogy pada presipitasi kalsium karbonat. (Loste et al, 2013) Menyatakan bahawa beberapa ion seperti magnesium menghalangi terjadinya formasi Kristal kalsit.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, pengaruh penambahan *reagen* bakteri terhadap kuat geser tanah gambut didapat hasil yaitu terjadi kenaikan nilai kuat geser pada persentase bakteri 5%, dan setelahnya terjadi penurunan, namun nilai kuat geser pada persentase 10%, 15%, 20%, 25% lebih besar daripada 0% bakteri. Pada hasil kuat tekan tanpa perlakuan *reagen* bakteri 0% sebesar 0,30 kg/cm². Nilai kuat Geser tertinggi terdapat pada penambahan *reagen* bakteri 5% sebesar 0,90 kg/cm². Sedangkan pada perlakuan 10% sebesar 0,75 kg/ cm², perlakuan 15% sebesar 0,72 kg/ cm², perlakuan 20% sebesar 0,75 kg/ cm², dan perlakuan 25% sebesar 0,72 kg/ cm². Berdasarkan dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan reagen bakteri pada tanah gambut memberikan pengaruh terhadap kuat geser yang diberikan kepada benda uji, sebagaimana yang didapatkan terjadi kenaikan kuat geser pada tanah gambut yang terinjeksi reagen bakteri sesuai variasi persentase yang sudah ditetapkan.

6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah :

1. Untuk penelitian selanjutnya tambahkan lagi variasi persentase bakteri dan jumlah sampel benda uji untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan terukur pada pengujian kuat geser ini.
2. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilihat dan dianalisa kembali reagen bakteri yang digunakan
3. Untuk penelitian selanjutnya perlu dianalisa kembali perhitungan jumlah CaCO₃ yang digunakan untuk pencampuran bakteri.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, Fahmuddin, et al. "PENGELOLAAN BERKELANJUTAN LAHAN GAMBUT TERDEGRADASI: TRADE-OFF KEUNTUNGAN EKONOMI DAN ASPEK LINGKUNGAN." (2014).
- ASTM D 698-78 Pengujian Pemadatan Standar.
- Baharuddin, I. N. Z., Omar, R. C., & Devarajan, Y. (2013). Improvement of engineering properties of liquefied soil using Bio-VegeGrout. *Jurnal International Conference on Energy and Environmental*. Vol 16
- Chalid, S. Y., & Ridlo, A. *Biosementasi tanah pasir dengan cangkang telur ayam (gallus domesticus)* (Bachelor's thesis, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta).
- Febria, F. A., & Rahman Saputra, N. N. Bakteri Pada Ornamen Gua Baba Sumatera Barat Yang Memiliki Aktivitas Urease Sebagai Dasar Kajian Biogrouting. *Jurnal Semirata 2015*, Vol 4.No 1.
- ISSN: 2459-9727 Yuze Wang,dkk., (2017) "*Microbial induced carbonate precipitation (MICP) : the case for microscale perspective.*
- Kurniawan, D., & Adila, A. (2004). Stabilisasi Tanah Gambut dengan Cleanset Cement dan Perkuatan Tanah dengan Geotekstil.
- Mutaqin, R. (2019). Stabilisasi Tanah Lunak Dengan Metode *Biogrouting* Menggunakan Mikroorganisme *Bacillus Subtilis* (Uji Skala Laboratorium) (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Nasional).
- Ng, A. I., & Prihatiningsih, A. Penggunaan White Portland Cement Dan Portland Composite Cement Terhadap Kekuatan Tanah Ekspansif Dengan *Unconfined Compression Test*. *Jurnal Mitra Teknik Sipil 2018*, Vol 1. No1.
- Pham, V. P., Nakano, A., Van Der Star, W. R., Heimovaara, T. J., & Van Paassen, L. A. (2016). Applying MICP by denitrification in soils: a process analysis. *Environmental Geotechnics*, 5(2), 79-93.

- Sanjaya, H. (2003). Analisis Daya Dukung Tanah Gambut Ambarawa Distabilisasi Dengan Belerang.
- Setiawan, A., Iswan, I., & Setyanto, S. (2015). Pengaruh Kuat Tekan dan Kuat Geser pada Sampel Dry Side of Optimum (Optimum Kering) dan *Wet Side of Optimum* (Optimum Basah) Tanah Organik. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 3(2), 237-248.
- Setiawan, I. (2018). Pengaruh Waktu Pemeraman Dengan Penambahan Kapur Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Gambut Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah. *Density (Development Engineering of University) Journal*, 1(1), 7-12.
- Shabrina Aulia.,dkk, “ Pengaruh Campuran Geopolimer Sebagai Stabilisasi Pada Tanah Gambut Ditinjau Dari Pengujian Kuat Tekan Bebas”.
- SNI 1964-2008 Cara Uji Berat Jenis Tanah
- SNI 1965-2008 Cara Uji Penentuan Kadar Air Untuk Tanah dan Batuan Di Laboratorium
- Syahputra, R (2021), Perbaikan Kuat Tekan Bebas Tanah Gambut dari Kabupaten Siak Menggunakan Metode *Microbially Induce Calcite Precipitation*
- Syarif, F., Davino, G. M., & Ardianto, M. F. (2020). Penerapan Teknik Biocementation Oleh *Bacillus Subtilis* Dan Pengaruhnya Terhadap Permeabilitas Pada Tanah Organik. *JURNAL SAINTIS*, 20(01), 47-52.
- Wang, Y., Soga, K., & Jiang, N. J. (2017, January). Microbial induced carbonate precipitation (MICP): the case for microscale perspective. In *Proc., 19th Int. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* (pp. 1099-1102).