

**PERBAIKAN KUAT TEKAN BEBAS TANAH GAMBUT  
MENGUNAKAN CAMPURAN PASIR DAN  
BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* DENGAN  
TEKNIK *BIO-GROUTING***

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana S1  
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas Islam Riau  
Pekanbaru*



Oleh

**RUZIA HARMI PUTRA**

**133110275**

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

# HALAMAN PERSETUJUAN

## TUGAS AKHIR

PERBAIKAN KUAT TEKAN BEBAS TANAH GAMBUT  
MENGUNAKAN CAMPURAN PASIR DAN  
BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* DENGAN  
TEKNIK *BIO-GROUTING*

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

DISUSUN OLEH :

**RUZIA HARMI PUTRA**  
**NPM 133110275**

Diperiksa dan Disetujui oleh :

**Firman Syarif, S.T., M.Eng**  
**Dosen Pembimbing**

  
Tanggal : 25/01/2021

# HALAMAN PENGESAHAN

## TUGAS AKHIR


**PERBAIKAN KUAT TEKAN BEBAS TANAH GAMBUT  
MENGUNAKAN CAMPURAN PASIR DAN  
BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* DENGAN  
TEKNIK *BIO-GROUTING***

DISUSUN OLEH:

**RUZIA HARMI PUTRA  
NPM 133110275**

Telah Disetujui Didepan Dewan Penguji Tanggal 28 Desember 2020  
Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Untuk Diterima

### SUSUNAN DEWAN PENGUJI

  
**Firman Syarif, S.T.,M.Eng**  
Dosen Pembimbing I

  
**Dr. Anas Puri, S.T.,M.T**  
Dosen Penguji

  
**Roza Mildawati, S.T., M.T**  
Dosen Penguji

Pekanbaru, 28 Desember 2020  
UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
FAKULTAS TEKNIK  
TEKNIK SIPIL



## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademi (Strata Satu), baik di Universitas Islam Riau maupun diperguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan tidak kebenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelas yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku diperguruan tinggi.

Pekanbaru, Januari 2021

Yang Membuat Pernyataan,



**Ruzia Harmi Putra**

**133110275**

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh*

Alhamdulillah rabbil'alamin, 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: **“PERBAIKAN KUAT TEKAN BEBAS TANAH GAMBUT MENGGUNAKAN CAMPURAN PASIR DAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* DENGAN TEKNIK *BIO-GROUTING*”**.

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 *bio-grouting* teknik dengan bantuan bakteri *bacillus subtilis* serta bagaimana pengaruh atau perubahan yang terjadi pada kuat tekan 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, Januari 2021

penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

*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 I.
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. Ibuk Roza Mildawati, ST., MT, sebagai dosen penguji 2.
10. Bapak dan Ibu Dosen pengajar Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
11. Seluruh karyawan dan karyawan fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

12. Penghargaan yang setinggi-tingginya kepada kedua orang tua tercinta ayahanda Suharto dan ibunda Aliyus yang telah bersusah payah membesarkan, mendidik, serta memberikan kasih sayang dan dukungan baik material maupun spiritual
13. Yang tersayang istriku tercinta Lusi Liana dan sibuah hati kami Cahaya Arumi Almahyra yang telah memberi kasih sayang dan semangat kepada penulis.
14. Adikku Hersinta Delina dan Herlina Susanti serta keluarga besarku yang memberikan dorongan, semangat serta motivasi sehingga tugas akhir ini selesai.
15. Seluruh teman-teman teknik sipil UIR seperjuangan khususnya Andri Hartono, Indra Mazela Putra, Risky Amarullah, Yarsino Aryadi, Ulia Rahman, Muhamad Habibi, Yepi Rianto, Rahmad Ramadhan, James Imanta Sembiring, Nurkholis, Harmonis Emilwa, Zulpan Budiman, Dika Ibnu Handoyo

Terima kasih atas segala bantuanya, 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,

Januari 2020

Penulis



## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
UCAPAN TERIMA KASIH.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR NOTASI.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ABSTRAK.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Umum.....	4
2.2 Hasil Penelitian Terdahulu .....	4
2.3 Keaslian Penelitian .....	7
BAB III LANDASAN TEORI.....	8
3.1 Umum.....	8
3.2 Tanah Gambut .....	9
3.2.1 Klasifikasi Tanah Gambut .....	9
3.2.2 Faktor yang Mempengaruhi Perilaku Gambut.....	10
3.2.3 Sifat fisik tanah gambut .....	13
3.3 Kuat Tekan Bebas (UCS).....	16
3.4 Pasir.....	18



3.5	<i>Bio-Grouting</i> .....	18
3.6	Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> .....	20
3.6.1	Klasifikasi <i>Bacillus Subtilis</i> .....	20
3.6.2	Karakteristik <i>Bacillus Subtilis</i> .....	21
3.7	Keruntuhan .....	21
BAB IV METODE PENELITIAN .....		25
4.1	Umum.....	25
4.2	Lokasi Penelitian .....	25
4.3	Bahan Pengujian.....	26
4.4	Bahan Pembuatan Larutan Sementasi .....	28
4.5	Peralatan Pengujian Penelitian .....	28
4.5.1	Peralatan Pengujian Pendahuluan .....	28
4.5.2	Peralatan Pengujian Utama (kuat Tekan Bebas).....	32
4.6	Tahapan Penelitian .....	32
4.7	Prosedur Pengujian.....	35
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....		43
5.1	Umum.....	43
5.2	Hasil Pengujian Pendahuluan.....	43
5.2.1	Kadar Air Tanah Asli (Tanah Gambut) .....	43
5.2.2	Berat Spesifik (Gs).....	43
5.2.3	Pengujian Pemadatan / <i>proctor test</i> .....	44
5.2.4	Sifat-sifat Tanah Gambut .....	45
5.3	Pengujian Kuat Tekan Bebas Terstabilisasi Larutan Sementasi .....	45
5.4	Perbandingan Nilai Kuat Tekan Bebas Penelitian Ini Dari Stabilisasi <i>Bio-Grouting</i> Dengan Stabilisasi Lainnya. ....	49
5.5	Prilaku Keruntuhan.....	50
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....		53
6.1	Kesimpulan.....	53
6.2	Saran .....	53
DAFTAR PUSTAKA .....		54

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Fase-Fase Keruntuhan .....	22
Gambar 3.2 Keruntuhan Geser Umum.....	23
Gambar 3.3 Keruntuhan Geser Local.....	23
Gambar 3.4 Keruntuhan Penetrasi .....	24
Gambar 4.1 Denah Penelitian .....	25
Gambar 4.2 Tanah Gambut.....	26
Gambar 4.3 Pasir.....	26
Gambar 4.4 Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> .....	27
Gambar 4.5 Urea .....	27
Gambar 4.6 CaCl.....	28
Gambar 4.7 Alat Cawan.....	29
Gambar 4.8 Alat Timbangan.....	29
Gambar 4.9 Alat Open .....	29
Gambar 4.10 Alat Piknometer Dan Timbangan.....	30
Gambar 4.11 Alat Kompresor Gas .....	30
Gambar 4.12 Alat Timbangan.....	30
Gambar 4.13 Alat Botol Tempatkan Air Suling .....	31
Gambar 4.14 Alat Pengujian Pemadatan Tanah .....	32
Gambar 4.15 Bagan Alir Penelitian .....	33
Gambar 4.16 Proses Penyaringan .....	37
Gambar 4.17 Pengujian Kadar Air Tanah Asli .....	38
Gambar 4.18 Pengujian Berat Spesifik .....	38
Gambar 4.19 Pengujian Pemadatan / <i>Proctor Test</i> .....	39
Gambar 4.20 Pembuatan Sampel .....	41
Gambar 4.21 Pencampuran Sementasi Dengan Sampel .....	42
Gambar 4.22 Alat UCS .....	42
Gambar 5.1 Hubungan Berat Volume Kering Dengan Kadar Air .....	44

Gambar 5.2 kurva tanah asli + 0% pasir + 0% bakteri .....	46
Gambar 5. Kurva Tanah Asli + 5% Pasir Dan Setelah Dicampurkan Dengan Larutan Sementasi.....	47
Gambar 5.4 Hubungan Antara Persentase Dan Penambahan Larutan Sementasi Dengan Sampel Benda Uji Dengan Variasi Bakteri 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, Dan 25% .....	49
Gambar 5.5 Bentuk-Bentuk Keruntuhan Uji Kuat Tekan Bebas .....	51



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Sifat Fisik Tanah Gambut Indonesia (Mochtar,2002) .....	14
Tabel 3.2 Sifat Teknik Tanah Gambut (Mochtar, 2002).....	15
Tabel 5.1 Sifat-sifat Tanah Gambut .....	45
Tabel 5.2 Nilai hasil uji ucs dari benda uji tanah asli + % pasir + 0% bakteri .....	46
Tabel 5.3 Nilai hasil uji UCS dari sampel benda uji tanah asli + 5% pasir dengan yang telah dicampurkan dengan larutan sementasi.....	47
Tabel 5.4 Nilai $q_{umax}$ dari masing-masing sampel benda uji .....	48
Tabel 5.5 perbandingan nilai $q_{umax}$ stabilisasi <i>bio-grouting</i> dengan stabilisasi lainnya.....	50



## DAFTAR NOTASI

%	= persen
A	= luas (cm <sup>2</sup> )
Cm	= centimeter
Cm <sup>2</sup>	= centimeter persegi
Cm <sup>3</sup>	= centimeter kubik
gr	= gram
Gr/cm <sup>3</sup>	= gram/centimeterkubik
Gs	= berat spesifik
Kg/cm <sup>2</sup>	= kilogram / centimeter persegi
M <sup>3</sup>	= 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 <sup>3</sup>	= ton / meterkubik
v	= volume cetakan (cm <sup>3</sup> )
w	= berat tanah yang dipadatkan dalam cetakan
w	= kadar air (%)
W1	= berat piknometer (gr)
W2	= berat piknometer dan bahan kering (gr)

- $W_3$  = berat piknometer + bahan + air (gr)  
 $W_4$  = berat piknometer dan air (gr)  
 $W_s$  = berat tanah kering (gr)  
 $W_w$  = berat air (gr)  
 $\gamma_d$  = berat isi kering  
 $\gamma_b$  = berat volume basah ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )  
 $\gamma_b$  = berat volume tanah basah ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )  
 $\gamma_d$  = berat volume kering ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )  
 $\tau$  = tegangan ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )



## DAFTAR LAMPIRAN

### LAMPIRAN A

- Lampiran A-1 Hasil Uji Kadar Air Tanah Asli (Tanah Gambut)
- Lampiran A-2 Hasil Uji Berat Spesifik (Gs)
- Lampiran A-3 Hasil Uji Pengujian Pematatan / *Proctor Test*
- Lampiran A-4 Hasil Uji Kuat Tekan Bebas (UCS) Tanah Asli + 0% Pasir + 0% Bakteri
- Lampiran A-5 Hasil Uji Kuat Tekan Bebas (UCS) Dengan Campuran Pasir
- Lampiran A-6 Hasil Uji Kuat Tekan Bebas (UCS) Dengan Campuran Pasir Dan Larutan Sementasi Sebanyak 5%
- Lampiran A-7 Hasil Uji Kuat Tekan Bebas (UCS) Dengan Campuran Pasir Dan Larutan Sementasi Sebanyak 10%
- Lampiran A-8 Hasil Uji Kuat Tekan Bebas (UCS) Dengan Campuran Pasir Dan Larutan Sementasi Sebanyak 15%
- Lampiran A-9 Hasil Uji Kuat Tekan Bebas (UCS) Dengan Campuran Pasir Dan Larutan Sementasi Sebanyak 20%
- Lampiran A-10 Hasil Uji Kuat Tekan Bebas (UCS) Dengan Campuran Pasir Dan Larutan Sementasi Sebanyak 25%
- Lampiran A-11 Grafik Uji Kuat Tekan Bebas (UCS) Dengan Campuran Pasir Dan Larutan Sementasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, Dan 25%.
- Lampiran A-12 Grafik  $q_{umax}$  Dengan Campuran Pasir Dan Larutan Sementasi

### LAMPIRAN B

- Lampiran B-1 Dokumentasi Pekerjaan Uji Pematatan / *Proctor Test*
- Lampiran B-2 Dokumentasi Pekerjaan Uji Berat Jenis Tanah Asli, Kadar Air Tanah Asli, Dan Kadar Air Tanah Asli
- Lampiran B-3 Dokumentasi Pekerjaan Sampel Benda Uji Dan Pembuatan Larutan Sementasi
- Lampiran B-4 Dokumentasi Pekerjaan Kuat Tekan bebas Tanah Gambut

### LAMPIRAN C

- Surat-Surat Keterangan

**PERBAIKAN KUAT TEKAN BEBAS TANAH GAMBUT MENGGUNAKAN  
CAMPURAN PASIR DAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* DENGAN TEKNIK  
*BIO-GROUTING***

**RUZIA HARMI PUTRA**  
**133110275**

**ABSTRAK**

Dalam dunia konstruksi teknik sipil yang dibangun pada tanah gambut, banyak masalah yang harus dihadapi seperti kuat dukung tanah gambut tersebut. Hal ini bisa menyebabkan kerugian pada bangunan konstruksi yang ada di atasnya. Sehingga perlu perbaikan untuk mencapai kekuatan tanah yang diinginkan. Teknik *bio-grouting* merupakan salah satu metode yang sedang diterapkan sebagai stabilisasi pada tanah gambut. Penelitian ini bertujuan untuk mencari bagaimana pengaruh teknik *bio-grouting* terhadap kuat tekan bebas tanah gambut dengan bantuan bakteri *bacillus subtilis*.

Tanah asli diambil di lokasi Desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun Kabupaten Siak, bahan tambahan pasir, bakteri, dan  $\text{CaCl}_2$  serta urea produsen Bandung. Metode uji penelitian ini mengacu pada prosedur ASTM (*American Society for Testing and Material*) dan SNI. Benda uji dibuat dari tanah gambut dengan campuran + 5% pasir dari berat kering tanah gambut menggunakan alat modifikasi sondir dengan bentuk silinder dan ukuran diameter 3,64 cm dan tinggi 10,75 cm<sup>2</sup> dibuat mengikuti pemadatan standar pada kadar air optimum 157% dengan jumlah 12 buah benda uji. Uji kuat tekan bebas dilakukan setelah penambahan bakteri dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Data yang diperoleh dari hasil pengujian diolah dalam bentuk tabel dan grafik sesuai variasi penambahan bakteri.

Hasil pengujian sifat fisik tanah asli diketahui bahwa tanah lokasi Desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun Kabupaten Siak termasuk jenis tanah asli dengan kadar air 407,5 % dan berat spesifik (Gs) = 1,3. Dari hasil pengujian kuat tekan bebas sampel benda uji tanah asli + 5% pasir dengan variasi campuran larutan sementasi bakteri pada persentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Nilai kuat tekan bebas benda uji tanah asli + 5 % pasir sebesar 0,30 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan dengan penambahan variasi bakteri 5% = 0,31 kg/cm<sup>2</sup>, 10% = 0,31 kg/cm<sup>2</sup>, 15% = 0,42 kg/cm<sup>2</sup>, 20% = 41 kg/cm<sup>2</sup>, dan 25% = 0,33 kg/cm<sup>2</sup>. Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada penambahan larutan sementasi 15% sebesar 0,42 kg/cm<sup>2</sup> dari sampel benda uji tanah asli + 5% pasir yang nilai kuat tekan bebasnya sebesar 0,30 kg/cm<sup>2</sup>.

Kata Kunci : Tanah Gambut, *Bio-Grouting*, Stabilisasi, Kuat Tekan Bebas, Bakteri *Bacillus Subtilis*



# IMPROVEMENT OF PEAT-FREE SOIL STRENGTH USING MIXED SAND AND BACILLUS SUBTILIC BACTERIA WITH BIOGROUTING TECHNIQUES

**RUZIA HARMI PUTRA**  
**133110275**

## 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 strength of the peat soil. This can cause losses to the existing construction on it. So it needs improvement to achieve the desired soil strength. The bio-grouting technique is one of the methods currently being applied as stabilization of peat soils. This study aims to find out how the effect of bio-grouting techniques on the free compressive strength of peat soil with the help of the bacterium *Bacillus subtilis*.

The original soil was taken at the location of Buana Makmur Village km 55, Dayun District, Siak Regency, as additional material for sand, bacteria, and  $\text{CaCl}_2$  as well as uruea producers in Bandung. This research test method refers to the ASTM (American Society for Testing and Materials) and SNI procedures. The test specimen is made from peat soil with a mixture of + 5% sand from the dry weight of the peat soil using a modified sondir tool with a cylinder shape and a diameter of 3.64 cm and a height of 10.75 cm<sup>2</sup> made following standard compaction at an optimum moisture content of 157% with a total of 12 the test object. The free compressive strength test was carried out after the addition of bacteria with variations of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%. The data obtained from the test results are processed in tables and graphs according to variations in the addition of bacteria.

The results of testing the physical properties of the original soil show that the land in the village of Buana Makmur km 55, Dayun District, Siak Regency is the original soil type with a moisture content of 407.5% and specific weight (Gs) = 1.3. From the test results the free compressive strength of the sample of the original soil sample + 5% sand with variations in the mixture of bacterial cementation solutions at a percentage of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%. The value of the free compressive strength of the original soil test object + 5% sand is 0.30 kg/cm<sup>2</sup>, while with the addition of variations in bacteria 5% = 0.31 kg/cm<sup>2</sup>, 10% = 0.31 kg/cm<sup>2</sup>, 15% = 0, 42 kg/cm<sup>2</sup>, 20% = 41 kg/cm<sup>2</sup>, and 25% = 0.33 kg/cm<sup>2</sup>. The highest compressive strength value is found in the addition of 15% cementation solution of 0.42 kg/cm<sup>2</sup> of the original soil sample + 5% sand, which has a free compressive strength value of 0.30 kg/cm<sup>2</sup>.

**Keywords:** Peat Soil, Bio-Grouting, Stabilization, Compressive Strength, *Bacillus Subtilis* Bacteria

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tanah gambut merupakan permasalahan yang sering dihadapi dalam dunia konstruksi. Tanah gambut memiliki daya dukung yang rendah dan dapat menyebabkan penurunan tanah (*settlement*) yang besar saat terjadi pembebanan, Tanah gambut merupakan tanah yang sangat lunak (*very soft soil*) dengan daya dukung yang sangat rendah dan mempunyai sifat mudah mampat jika terdapat beban yang bekerja di atasnya (Parlan dkk., 2016)

Terdapat permasalahan mendasar yang timbul akibat pembebanan pada lapisan tanah gambut adalah semakin tinggi kandungan kadar organiknya, maka semakin rendah daya dukung dan kuat gesernya serta semakin besar pula pemampatannya (Wardana dan Widiarta, 2010). Pemampatan tanah gambut sangat berbeda dengan tanah lempung, dimana pemampatan yang terjadi pada tanah gambut merupakan proses pemampatan yang lama. Besar pemampatan akibat konsolidasi suatu lapisan tanah sangat bergantung pada besar beban yang diberikan serta tebal lapisan tanah yang dibebani (Fatnanta, 2014). Sehingga pada penelitian ini dilakukan penambahan bakteri *bacillus subtilis* pada tanah gambut dengan metode teknik *bio-grouting* untuk mengetahui pengaruh penambahan bakteri tersebut terhadap kuat tekan tanah gambut.

Teknik perbaikan ini menggunakan metode *biogrouting* dengan bakteri *Bacillus subtilis*. *Biogrouting* adalah teknik stabilisasi tanah yang melibatkan mikroorganisme yang diinduksi *calcium carbonat* ( $\text{CaCO}_3$ ) presipitasi. Pengendapan *calcium carbonat* bertindak sebagai pengikat kristal antar sel itu merangsang proses sementasi diantara butiran tanah. *Biogrouting* juga berarti injeksi perekat dalam tanah atau batuan yang lulus air dengan tujuan untuk menutup pori-pori dalam tanah, *biogrouting* juga berfungsi sebagai penetrasi atau penembus dan kompaksi atau pemadatan didalam tanah (Pangesti, 2005)

*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 subtilis* memiliki fisiologi yang relatif berbeda dari bakteri lain yang bukan patogen, yaitu relatif mudah dimanipulasi secara genetik dan mudah pula dibiakkan sehingga dapat dikembangkan pada skala industri (Soesanto, 2008).

Oleh sebab itu untuk mencari alternatif perbaikan tanah gambut dengan metode *biogrouting* dengan bakteri *bacillus subtilis* yang ramah lingkungan, yaitu pemanfaatan mikroorganisme yang berasal dari bakteri karena dapat menghasilkan kasil/Kristal *calcium carbonat* ( $\text{CaCO}_3$ ) yang dapat merubah butiran pasir menjadi batuan pasir. Sehingga pengendapan *calcium carbonat* bertindak sebagai pengikat kristal antar sel pada tanah gambut.

### 1.2 Rumusan Masalah

Terdapat rumusan masalah yang diangkat dari penelitian tugas akhir ini adalah bagaimana pengaruh campuran pasir dan bakteri *bacillus subtilis* dengan teknik *bio-grouting* dengan variasi campuran +5% pasir dan larutan sementasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% terhadap perbaikan kuat tekan bebas tanah gambut?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh campuran pasir dan bakteri *bacillus subtilis* dengan teknik *bio-grouting* dengan variasi campuran +5% pasir dan larutan sementasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% terhadap perbaikan kuat tekan bebas tanah gambut.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Dapat memberikan wawasan dan pengetahuan kepada para pembaca tentang perbaikan kuat tekan bebas tanah gambut dengan menggunakan campuran pasir dan bakteri *bacillus subtilis* dengan teknik *bio-grouting*.
2. Mengetahui bakteri *bacillus subtilis* dalam metode perbaikan tanah.



3. Merupakan kesempatan bagi peneliti lain untuk menambah wawasan tentang *biogrouting* dan bakteri *bacillus subtilis*.

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penulisan Tugas Akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan menggunakan campuran pasir dan bakteri *bacillus subtilis* dengan teknik *bio-grouting* dengan variasi campuran +5% pasir dan larutan sementasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%.
2. Penelitian ini menggunakan skala laboratorium.
3. Tanah gambut yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Desa Buana Makmur Km 55 Kecamatan Dayun Kabupaten Siak Propinsi Riau.
4. Untuk mengetahui kuat tekan bebas tanah gambut dilakukan perbaikan menggunakan campuran pasir dan bakteri *bacillus subtilis* dengan teknik *bio-grouting*.
5. Setelah benda uji dicampurkan dengan larutan sementasi dilakukan pemeraman selama 14 hari.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Umum

Tinjauan pustaka merupakan peninjauan kembali (*review of related literature*). Sesuai dengan arti tersebut suatu tinjauan pustaka berfungsi sebagai peninjauan kembali pustaka (laporan penelitian dan sebagainya) tentang masalah yang berkaitan tidak terlalu harus tepat identik dengan bidang permasalahan yang dihadapi, termasuk pula yang sering dan berkala (*collateral*).

### 2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Ada beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan kuat tekan bebas, kuat geser, tanah organik, dan penambahan pasir untuk peningkatan daya dukung tanah yang bisa digunakan sebagai acuan dalam pembahasan pada penelitian ini. Dalam penelitian ini disajikan penelitian terdahulu yaitu Syarif dkk (2020), Willy (2015), Llynda (2013), Waruwu (2013), Fadiyah dkk (2011), Afriani (2008).

**Syarif, dkk (2020)**, telah melakukan penelitian dengan judul “Penerapan Teknik *Biocementation* Oleh *Bacillus Subtilis* dan Pengaruhnya Terhadap Permeabilitas Pada Tanah Organik”. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh teknik *Microbially Induced Calcite Precipitation* (MICP) / *Bio-Grouting* dalam sifat permeabilitas gambut, dari hasil tes permeabilitas ditemukan bahwa sampel 1 (dengan Reagen) dengan waktu peram 1 hari memiliki waktu yang lama untuk mengeluarkan air dari tabung / permeabilitas lebih rendah dari pada sampel 2 (tanpa reagen). Hal ini disebabkan oleh penambahan bakteri *bacilus subtilis* yang dapat membuat pori-pori partikel tanah organik tertutup atau diisi bakteri sehingga tanah tidak mudah mengalir. Dari penelitian ini dapat diambil beberapa hasil yaitu dengan campuran konsentrat yang dibuat sebagai reagen ini, tingkat permeabilitas lebih rendah dari pada dengan perawatan atau reagen apa pun.

**Willy (2015)**, melakukan penelitian tentang pengujian kuat geser langsung dengan mencampurkan tanah lempung dengan pasir dengan persentase campuran

10%, 20%, 30% dan 40%. Dari hasil pengujian didapat nilai hubungan persentase campuran dan sudut geser. nilai sudut geser yang cenderung meningkat dari fraksi lempung 100% sampai 60%. Sudut geser terendah terdapat pada tanah lempung 100% yaitu sebesar 40,9361 dan yang tertinggi sebesar 63,7067 pada fraksi lempung 60%.

**Lynda (2013)**, telah melakukan penelitian dengan judul “Karakteristik Kuat Geser Tanah Dengan Metode Stabilisasi *Biogrouting* Bakteri *Bacillus Subtilis*”. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil stabilisasi tanah yang optimum dengan metode *biogrouting*, *biogrouting* yang dimaksud pada penelitian ini, yaitu ketika nilai parameter kuat geser tanah (kohesi dan sudut geser dalam ) yang diperoleh merupakan nilai terbesar dari semua perbandingan pencampuran sampel tanah dengan bakteri untuk waktu permanen selama 28 hari. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimen laboratorium berupa pengujian tanah pasir berlempung yang di *grouting* menggunakan larutan bakteri *bacillus subtilis*. Dari penelitian ini diperoleh hasil stabilisasi *biogrouting* bakteri *bacillus subtilis* yang optimum diperoleh pada sampel tanah dengan 3x injeksi (6cc larutan bakteri dan 6cc larutan sementasi). Dimana nilai kohesi yang diperoleh sebesar 1.192 dan nilai sudut geser dalam sebesar 35.07°. Untuk memperoleh hasil stabilisasi yang optimum dibutuhkan larutan bakteri *bacillus subtilis*, larutan sementasi dan tanah pasir berlempung dengan perbandingan 1:1:11, yaitu 1 cc larutan bakteri *bacillus subtilis* berbanding 1 cc larutan sementasi berbanding 11 cm<sup>3</sup> tanah pasir berlempung. Karakteristik mekanis tanah yang mengalami stabilisasi optimum mengalami perubahan pada parameter kuat gesernya, yaitu: Terjadi peningkatan nilai kohesi sebesar 297% terhadap nilai kohesi sampel tanah asli dan terjadi peningkatan nilai sudut geser dalam sebesar 6,86 % terhadap nilai sudut geser dalam tanah asli.

**Waruwu (2013)**, melakukan penelitian tentang peningkatan kuat tekan tanah gambut akibat *preloading*. Tujuan dari metode *preloading* adalah untuk mempercepat proses penurunan yang diharapkan serta meningkatkan daya dukung tanah. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian kuat tekan bebas pada sampel *undisturbed* dan *disturbed*, kemudian tanah gambut diberi beban awal (*preloading*) sebesar 10 kPa dan 20 kPa pada jangka waktu pemeraman selama 1 sampai 2 hari,

setelah itu dilakukan pengujian kuat tekan bebas dengan menggunakan alat *unconfined compression test*. Setelah dilakukan penelitian tanah gambut bagan siapiapi kab. Rokan hilir riau dapat diklasifikasikan sebagai tanah gambut dengan kadar abu rendah (*low ash-pead*) berkisar 6,28%. Diproleh kadar serat antara 33% - 67% (ASTM D 4427-78 1989) diklasifikasikan sebagai tanah gambut (*hemic pead*) berkadar organik tinggi, nilai kadar air optimum sebesar 623,33% dan berat isi kering  $0,160 \text{ gr/cm}^3$ . nilai kuat tekan bebas didapatkan untuk sampel *disturbed*  $0,0837 \text{ kg/cm}^3$ , *undisturbed* sebesar  $0,0872 \text{ kg/cm}^3$  mengalami peningkatan sebesar  $0.1055 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$  dengan *preloading* 10 kPa 1 hari dan  $0.1191 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$  untuk *Preloading* 10 kPa 2 (dua) hari. Sedangkan *preloading* 20 kPa 1 (satu) hari menghasilkan nilai  $q_u$  sebesar  $0.1343 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$  dan *preloading* 20 kPa 2 hari sebesar  $0.1381 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ . Beban awal berpotensi meningkatkan nilai daya dukung tanah gambut dengan waktu yang relatif lebih lama.

**Fadliah, dkk (2011)**, telah melakukan penelitian dengan judul “Eksperimental Stabilisasi *Bio-grouting Bacillus Subtilis* pada Tanah Lempung Kepasiran” Dalam penulisan ini digunakan proses *bio-grouting* untuk pencampuran bakteri dan tanah lempung kepasiran, untuk menganalisa digunakan percobaan kuat tekan bebas, permeabilitas dan geser langsung. Hasil dari penelitian ini adalah pengujian dapat di interprestasikan bahwa tanah tanpa injeksi bakteri mengalami penurunan sedangkan pada tanah yang telah terinjeksi bakteri mengalami kenaikan sebesar 60 % untuk percobaan kuat tekan bebas. Sementara untuk percobaan permeabilitas mengalami penurunan nilai koefisien sebesar 80 %, untuk percobaan geser langsung mengalami kenaikan sebesar 90 %. Dengan menggunakan volume injeksi bakteri 9 cc, 32 cc, dan 6 cc pada tanah dengan variasi pemeraman selama 28 hari dapat mencapai kenaikan hingga 80%. Dari hasil pengujian menerangkan bahwa dengan semakin lamanya pemeraman dan semakin besarnya volume bakteri yang diinjeksikan dalam tanah maka semakin besar kenaikan nilai kekuatan tanah.

**Afriani (2008)**, melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan tanah pasir pada tanah lempung. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan material pasir pada tanah lunak akan meningkatkan besarnya berat volume tanah campur pasir, dengan peningkatan rata-rata sebesar 5,94 %



Sedangkan nilai kohesi dari tanah lunak campur pasir akan menurun dibanding tanah lempung murni, dengan penurunan rata-rata sebesar 25,07 %. Peningkatan nilai sudut geser dalam dan lempung lunak yang dicampur dengan pasir rata-rata sebesar 67,03 %. Mengingat hasil diatas dapat disimpulkan bahwa nilai daya dukung tanah lunak akan semakin meningkat jika dilakukan penambahan campuran dengan pasir, hal ini terlihat dan meningkatnya sudut geser dalam yang signifikan. Nilai sudut geser-dalam tanah gambut berserat sangat besar yaitu  $>50^\circ$  tetapi hal tersebut sangat dipengaruhi oleh serat yang ada. Landva, 1982 menyatakan bahwa harga sudut geser-dalam untuk tanah gambut berserat sebenarnya berkisar antara  $27^\circ$ – $32^\circ$ .

### 2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan Syarif dkk, Willy, Lynda, Waruwu, Afriani. penulis menyadari bahwa ada kesamaan baik dalam bentuk teori-teori yang dipakai maupun prinsip pengerjaannya. Maka perbedaannya ialah tanah gambut yang digunakan, jumlah persentase penambahan variasi bakteri, dan tidak menghitung kuat geser langsung hanya menghitung kuat tekan bebas. Karena perbedaan-perbedaan tersebut penulis mengangkat tugas akhir ini.



## BAB III LANDASAN TEORI

### 3.1 Umum

Salah satu parameter yang dipakai adalah untuk menentukan kuat geser tanah adalah dengan penelitian pengujian kuat tekan bebas tanah (*unconfined compression strength*) atau lebih dikenal dengan pengujian UCS. Menurut ASTM D 2166-00, alat uji kuat tekan bebas yang biasa digunakan adalah berupa sebuah plat dengan skala beban (*a platform weighing scale*) yang dilengkapi dengan sistem pembebanan menggunakan dongkrak putar (*a screw-jack-activated load yoke*), alat dongkrak hidrolis, atau sistem pembebanan lainnya dengan kapasitas yang sesuai dengan peruntukannya, antara lain untuk mengatur kecepatan pembebanan.

Pada percobaan kuat tekan bebas dilaboratorium dilaksanakan untuk mengetahui besarnya kekuatan geser tanah gambut tersebut. Uji kuat tekan bebas adalah besarnya tekanan aksial yang diperlukan untuk menekan suatu selinder tanah sampai pecah atau besarnya tekanan yang memberikan perpendekan pada tanah sampai 20% apabila sampai pemendekan 20% tanahnya tidak pecah. Pada pengujian ini mengukur seberapa kuat tanah dapat menerima kuat tekan yang diberikan sampai tanah tersebut terpisah dari butir-butiran dan mengukur regangan tanah akibat tekanan tersebut. Cara melakukan pengujian ini adalah sama seperti uji triaksial tetapi pada pengujian kuat tekan bebas tidak terdapat tegangan sel.

Pada penelitan ini, uji kuat tekan dilakukan pada tanah kondisi tidak asli (*disturbed sample*) atau dalam keadaan sudah tecampur bahan lain nya. Namun untuk sampel tanah yang sudah diberi campuran larutan sementasi harus disimpan dalam waktu 14 hari. Hal ini agar dapat mengukur kemampuannya masing-masing sampel benda uji terhadap kuat tekan bebas. Dan pada akhirnya akan didapat nilai kuat tekan bebas optimum yang mewakili beberapa contoh tanah atau benda uji. Hasil atau ouputnya berupa nilai  $q_u$  ( $\text{kg/cm}^2$ ). Kuat tekan bebas ( $q_u$ ) adalah harga tegangan aksial maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji silindris (dalam hal ini sampel tanah) sebelum mengalami keruntuhan geser.

### 3.2 Tanah Gambut

Definisi tanah gambut berdasarkan ASTM D4427-92 (2002) adalah tanah yang memiliki kandungan organik tinggi yang terjadi atas dekomposisi material tumbuhan dan dibedakan dari material tanah organik lainnya dari kandungan abunya, <25% abu dari berat tanah keringnya. Ciri tanah gambut dapat dilihat dari visualnya yang berwarna coklat kehitaman. Hal ini disebabkan kandungan bahan organik yang ada pada tanah tersebut. Selain itu dapat diamati bahwa tanah gambut memiliki tekstur berserat, karena tanah gambut berasal dari sisa tumbuhan atau vegetasi yang mengalami pelapukan.

#### 3.2.1 Klasifikasi Tanah Gambut

Menurut ASTM D4427-92 (2002), tanah gambut diklasifikasikan dalam beberapa aspek yaitu berdasarkan kandungan serat, kandungan abu (ASTM D2974), tingkat keasaman (ASTM D2976), dan tingkat absorpsinya (ASTM D2980). Dan pada ASTM D5715-00 tanah gambut diklasifikasikan berdasarkan tingkat humifikasinya. Berdasarkan kandungan serat pada tanah gambut dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Fibric*, yaitu tanah gambut yang belum melapuk, bahan asalnya masih bisa dikenali, berwarna coklat hitam dengan kandungan serat > 75%,
2. *Hemic*, yaitu tanah gambut yang setengah lapuk, berwarna coklat dengan kandungan serat antara 15% dan 75%,
3. *Sapric*, yaitu tanah gambut yang sudah melapuk lanjut dan bahan asalnya tidak dikenali, berwarna coklat tua sampai hitam dengan kandungan serat < 15%.

Serat adalah material penyusun tanah gambut yang merupakan senyawa C, dapat berupa dalam bentuk lignin atau selulosa. Lalu berikut jenis tanah gambut diklasifikasikan berdasarkan kandungan abu :

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

Tanah gambut yang diklasifikasikan berdasarkan tingkat absorpsinya dapat dilihat sebagai berikut :

1. *Extremely absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air >1500%,
2. *Highly absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air antara 800% hingga 1500%,
3. *Moderately absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air antara 300% hingga 800%, dan
4. *Slightly absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air < 300%.

### 3.2.2 Faktor Yang Mempengaruhi Perilaku Gambut

Tanah gambut dan tanah lempung organik sangat berbeda, meskipun sama-sama memiliki kandungan organik. Yang menjadikan tanah-tanah tersebut berbeda dipengaruhi oleh jumlah material organik serta bagaimana proses terbentuknya tanah tersebut, meskipun dalam penglihatan kasat mata bisa dilihat perbedaannya. Dilihat juga dari karakteristik tanah seperti kadar air, berat jenis, batas cair, kompreibilitas, permeabilitas dan pematatannya.

#### 1. Kadar air

Tanah gambut merupakan jenis tanah yang dapat menampung air dalam jumlah besar, jumlah air yang diserap sangat bergantung pada derajat dekomposisi tanah itu sendiri. Adanya kandungan air yang cukup akan memperbesar daya dukung tanah, tetapi jika terlalu banyak akan mengakibatkan rembesan air tanah pada waktu diberi beban di atasnya. Kadar air ( $W$ ) merupakan perbandingan antara berat air dengan berat kering tanah.

$$W (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dimana:

$W$  = kadar air (%)

$W_w$  = berat air (gr)

$W_s$  = berat tanah kering (gr)

#### 2. Berat jenis/ berat spesifik (Gs)

Berat spesifik tanah gambut adalah lebih besar dari 1,0 dimana untuk menentukan harga berat jenis dengan menggunakan minyak korosin (akroyd 1957). Untuk besar berat spesifik dari setiap asal gambut di Indonesia berkisaran antara 1,0 – 2,0. Pada kawasan Indonesia mempunyai kaitan sama juga dengan



indicator dalam pematatannya pada tanah yang mengandung berat jenis tinggi pada mineral dan juga pada gambut.

Faktor yang mempengaruhi berat jenis ( $B_j$ ) yaitu :

a. Tekstur tanah

Partikel-partikel tanah yang ukuran partikelnya kasar, memiliki nilai berat jenis yang tinggi misalnya pasir, ukuran partikel pasir lebih besar dari pada ukuran partikel liat sehingga berat jenis pasir lebih tinggi dari pada liat dan sebaliknya. (Darmawijaya,1997)

b. Bahan organik tanah

Bahan organik tanah merupakan penimbunan dari sisa-sisa tanaman dan binatang yang sebagian telah mengalami pelapukan dan pembentukan kembali. Bahan organik telah memiliki berat jenis tanah. Semakin banyak kandungan bahan organik tanah, menyebabkan semakin rendahnya berat jenis tanah. (Rahardjo,2001)

Berat jenis tanah adalah angka perbandingan antara berat isi butir tanah dengan berat isi air suling pada volume yang sama dan temperature yang tertentu.

$$G_s = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (3.2)$$

Dimana:

$G_s$  = berat spesifik tanah

$W_1$  = berat piknometer (gr)

$W_2$  = berat piknometer dan bahan kering (gr)

$W_3$  = berat piknometer + bahan + air (gr)

$W_4$  = berat piknometer dan air (gr)

3. Batas cair (*liquid limit*)

Batas cair ialah batas pada kadar air diantara keadaan cair dan keadaan plastis. Dalam menentukannya dengan memakai alat batas cair *cassagrade*. Tanah sudah dicampur dengan air dan diletakkan di dalam cawan untuk dibuat alur dengan menggunakan alat spatel atau *growing tool*. Bentuk alur ini sebelum dan sesudah percobaan. Engkol alat diputar sehingga cawan dinaikkan dan dijatuhkan



pada dasar, dan banyaknya pukulan dibuang sampai kedua tepi alur tersebut berimpit sampai 13 mm.

Batas cair ialah kadar air tanah dalam 25 pukulan. Percobaan ini dilaksanakan pada beberapa contoh tanah dalam beberapa kadar air berbeda, dan banyaknya pukulan dihitung tiap-tiap kadar air. Dengan demikian dapat dibuat suatu grafik kadar air terhadap banyaknya pukulan. Dari grafik ini dapat dibaca kadar air pada 25 pukulan (Hardiyanto,2006).

#### 4. Kompresibilitas (*compressibility*) atau kemampuan memampatkan.

Kompresibilitas ialah perubahan volume suatu sifat material bila adanya tekanan, Farrell dkk, (1994) menjelaskan dikawasan tanah gambut Irlandia Kompresibilitas  $C_c$  yang korelasi dengan batas cair. Bahwa nilai-nilai  $k$  berkisar diantar 0,007 sampai dengan 0,009. Pada gambut yang berserat tidak bisa endapan gambut berbeda dan bervariasi satu sama lain. Bahwa sifat-sifat teknik pada gambut memiliki kadar air yang tinggi yang berkisaran 200% sampai dengan 900% pada sampel tidak terganggu.

Berhubungan dengan kepadatan air (*water density*) dengan berat jenis bahan organik yaitu berat isi total yang pada angka 1,5 sampai 2,0 tergantung pada kadar organik. Untuk angka pH relatif rendah pada angka 3 sampai 5 meenandakan terjadinya endapan di areal lingkungan asam. Besar kompresibilitas relatif tinggi sesuai dengan kompresio rangkak (*creep compression*) dan menunjukkan sifat isotropis. Dalam penelitian menjelaskan tidak menghasil data kuat geser yang tepat pada penggunaan sondir. Untuk pengujian baling-baling dilaksanakan di lapangan (*field vane test*) kebanyakan memberikan data tidak akurat bila kadar serat yang tinggi.

#### 5. Pemasatan / *proctor test*

Pemasatan tanah adalah suatu proses dimana udara pada pori-pori tanah dikeluarkan yang bertujuan untuk mengurangi permeabilitas, mengurangi sifat mudah mampat, menaikkan kekuatan tanah dan kuat geser tanah, memperkecil daya rembesan, dan memperbaiki pengaruh air terhadap tanah. Prinsip pemasatan yaitu tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan pada suatu tanah yang sedang dipadatkan, maka air tersebut berfungsi sebagai unsur pembasah dari partikel-partikel tanah. untuk usaha

pemadatan yang sama, berat volume kering dari tanah akan naik bila kadar air dalam tanah meningkat. Pada pemadatan tanah tersebut dilakukan dalam 3 lapisan dengan jumlah tumbukan 25 kali per lapis. Percobaan dapat diulang dalam 5 kali percobaan dengan kadar air yang berbeda-beda.

Untuk setiap percobaan, berat volume tanah basah ( $\gamma_b$ ) dari tanah yang dipadatkan dapat dihitung :

$$\gamma_b = \frac{w}{v} \quad (3.3)$$

Dimana :

$\gamma_b$  = berat volume tanah basah ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$w$  = berat tanah yang dipadatkan dalam cetakan (gr)

$v$  = volume cetakan ( $\text{cm}^3$ )

Hubungan berat volume kering dan berat volume basah dan kadar air dinyatakan dalam persamaan:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+W} \quad (3.4)$$

Dimana :

$\gamma_d$  = berat volume kering ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$\gamma_b$  = berat volume basah ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$W$  = kadar air (%)

Selanjutnya digambarkan sebuah grafik hubungan antara kadar air ( $w$ ) dengan berat volume air kering ( $\gamma_d$ ) serta kurva rongga udara ( $sr = 100\%$ ). Kurva rongga udara nol tidak pernah berpotongan dengan kurva hasil pemadatan, karena kurva ini menunjukkan posisi tingkat kepadatan tanah maksimal teoritis yang dapat dicapai jika tanah tersebut sangat padat dan tanpa rongga udara. Hal ini sulit diterapkan dalam praktik, karena rongga udara tidak mungkin dikeluarkan 100% ketika pemadatan dilakukan di laboratorium ataupun di lapangan. Namun kurva tersebut sangat berperan dalam aspek pemadatan yang kita lakukan. Puncak kurva menunjukkan posisi kepadatan maksimum ( $\gamma_{d_{maks}}$ ) dan kadar air optimum (OMC), yang sering digunakan dalam acuan pekerjaan pemadatan di lapangan.

### 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 3.1

**Tabel 3.1** Sifat Fisik Tanah Gambut Indonesia (Mochtar,2002)

NO	Sifat Fisik	Nilai
1	Kandungan Organik (Oc)	95 - 99%
2	Berat volume (t)	0,9 - 1,25 t/m <sup>3</sup>
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)	1,2 - 1,95
8	Rembesan (k)	$2^{-02}$ s/d $1,2^{-06}$

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 kemampuannya yang tinggi seperti tertera pada Tabel 3.2

**Tabel 3.2** Sifat Teknik Tanah Gambut (Mochtar, 2002)

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

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/cm<sup>3</sup> sesuai tingkat pelapukannya atau dekomposisi *Bulk density* < 0,1 gr/cm<sup>3</sup> dikategorikan gambut *fibrik* pada lapisan bawah. *Bulk density* > 0,2 gr/cm<sup>3</sup> 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 tingkat 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 Kuat Tekan Bebas (UCS)

Kuat tekan bebas merupakan pengujian yang umum dilakukan dan dipakai dalam proses penyelidikan sifat-sifat stabilisasi tanah. Pengujian secara *unconfined compression strength* sangatlah praktis, cepat serta akurat. Pengujian *sample* bersifat *undrained*, karena penekanan dilakukan relatif cepat, sehingga tidak ada air yang keluar dari pori *sample* tanah selama pengujian (Hardiyatmo, 2002).

Disamping pelaksanaannya yang praktis, sampel yang dibutuhkan juga tidak banyak. Dalam pembuatan benda uji sebagai dasar adalah kepadatan maksimum yang diperoleh dari percobaan pemadatan. Pengujian ini merupakan cara yang dilakukan dilaboratorium untuk menghitung kekuatan geser tanah. Uji kuat tekan bebas ini mengukur seberapa kuat tanah menerima kuat tekan yang diberikan sampai sampel tanah berbentuk silinder yang bebas bagian sampingnya tersebut terpisah dari butiran-butirannya (pecah) juga mengukur regangan tanah akibat tekanan. Pengujian kuat tekan bebas ini dilakukan pada tanah kondisi tidak asli atau tercampur bahan lainnya. Namun untuk tanah yang sudah diberi campuran lainnya, pengujian dilaksanakan pada waktu peram 14 hari. Pembacaan tegangan pada pengujian kuat tekan bebas ini dibatasi sampai regangan 20%.

Pada pengujian ini sampel benda uji yang berbentuk silinder akan diberi beban, sehingga mendapatkan nilai kekuatan maksimum tanah tersebut dalam keadaan kuat tekan bebas sampai mencapai keruntuhan dan juga mengukur regangan tanah tersebut akibat tekanan yang diberikan. Setiap material apabila dikenai beban, maka akan mengalami perubahan deformasi atau bentuk. Gaya atau tekanan persatuan luas disebut sebagai *stress* atau penekanan. Selain *stress*, perubahan bentuk dalam hal ini dibuktikan dengan perubahan dalam satuan panjang atau  $\Delta L$  yang dibanding dengan panjang semula, disebut sebagai *strain* atau regangan ( $\epsilon$ ). Pengujian ini menggunakan mesin tekan untuk menekan benda uji yang dibentuk silinder dari satu arah (uniaksial). Perbandingan antara tinggi dan diameter benda uji mempengaruhi nilai kuat tekan bebas benda uji (Gogot S. B., 2011). Untuk pengujian kuat tekan bebas secara umum digunakan perbandingan  $L= 2D$ .  $L$  adalah *length* atau panjang dari benda uji sedangkan  $D$  adalah diameter dari *sample* tanah yang akan diuji.

Sebagai standard pengujian berpedoman pada standar ASTM D 2166 mengenai *Unconfined Compressive Strength*.

$$\text{Kuat tekan bebas } (q_u) = \frac{K \times R}{A} \quad (3.5)$$

Dimana:

- $Q_u$  = kuat tekan bebas
- $k$  = kalibrasi proving ring
- $R$  = pembacaan maksimum – pembacaan awal
- $A$  = luas penampang contoh tanah pada saat pembacaan ( $\text{cm}^2$ )

Kohensi undrained atau regangan tanah akibat beban tersebut dapat dihitung dengan persamaan  $c_u$  (kuat geser undrained). Kuat geser undrained ( $c_u$ ) adalah didapat dari setengah hasil uji kuat tekan bebas.

$$C_u = \frac{q_u}{2} \quad (3.6)$$

Dimana :

- $c_u$  = kuat geser undrained
- $q_u$  = kuat tekan bebas

Kekuatan geser tanah dapat didefinisikan sebagai kemampuan maksimum tanah untuk bertahan terhadap usaha perubahan bentuk pada kondisi tekanan (*pressure*) dan kelambapan tertentu (head 1982). Kekutan geser tanah dapat diukur dilapangan maupun dilaboratorium. Data kekuatan geser tanah pada awalnya hanya digunakan untuk keperluan teknik bangunan dalam mengevaluasi kemampuan tanah menompang kontruksi bangunan, seperti gedung dan bendungan. Penggunaannya dalam bidang pertanian dikaitkan dengan waktu dan teknik yang tepat dalam pengolahan tanah.

Konsep kekuatan geser tanah teori geser maksimum yaitu bahwa keruntuhan pada nilai tekanan pada saat terjadinya perubahan bentuk tetap, terjadi jika tekanan yang diberikan mencapai nilai kritis dari kemampuan tanah. Hukum mohr-coulomb menyatakan bahwa kekuatan geser tanah ( $\tau$ ), mempunyai hubungan dengan kohesi tanah ( $c$ ), dan jika priksi antar partikel yang dikemukakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$\tau = c + \sigma n \tan \varphi \quad (3.7)$$

Dimana :

$\tau$  = kekuatan geser (kPa)

$c$  = kohesi tanah (kPa)

$\sigma n$  = tekanan normal (stress: kPa) tegak lurus bidang keruntuhan

$\varphi$  = sudut friksi internal partikel (derajat)

### 3.4 Pasir

Pasir merupakan agregat alami yang berasal dari letusan gunung berapi, sungai, dalam tanah dan pantai oleh karena itu pasir dapat digolongkan dalam tiga macam yaitu pasir galian, pasir laut dan pasir sungai.

Pada konstruksi bahan bangunan pasir digunakan sebagai agregat halus dalam campuran beton, bahan spesi perekat pasangan bata maupun keramik, pasir urug, *screed* lantai, dll. Menurut standar nasional indonesia (SK SNI-S-04-1989-F:) pasir yang baik untuk sebuah konstruksi adalah sebagai berikut :

1. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
2. Butir agregat halus harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
3. Agregat halus tidak mengandung lumpur lebih dari 5%, apabila melebihi agregat halus harus dicuci.
4. Agregat halus tidak banyak mengandung zat organik.
5. Modulus halus butir antara 1,5 – 3,8 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

### 3.5 Bio-Grouting

*Bio-grouting* adalah metode stabilisasi ramah lingkungan baru untuk menstabilkan tanah lunak dengan menerapkan mikro organisme. Mikro organisme menghasilkan *calcium carbonat*  $\text{CaCO}_3$ , yang mengisi kekosongan partikel tanah dan mengikat partikel. Dalam menerapkan teknologi *biogrouting*, itu perlu mempertimbangkan jenis tanah yang akan distabilkan dan jenis mikroorganisme yang digunakan sebagai *biogrouting*. Karya ini mempelajari bio-grouting dari tanah organik tropis plastisitas tinggi yang menggunakan bakteri *bacillus subtilis*.



Untuk mempelajari efektivitas *bio-grouting* menggunakan *bacillus subtilis*, uji triaksial dan geser langsung yang tidak dikonsolidasi dilakukan pada tanah yang tidak dirawat dan distabilkan. Waktu curing untuk spesimen tanah yang stabil adalah 7, 14 dan 28 hari sebelum tes dilakukan.

Beberapa tahun terakhir sedang dikembangkan teknologi *grouting* secara biologi yang dikenal dengan teknologi *biogrouting* melalui mekanisme pengendapan *calcium carbonat* ( $\text{CaCO}_3$ ). Keuntungan utama dari *biogrouting* adalah pemberian substrat dapat dipindahkan dalam bentuk inaktif ke daerah yang jauh dari titik injeksi. Teknologi *biogrouting* merupakan teknologi yang mensimulasikan proses diagenesis, yaitu transformasi butiran pasir menjadi batuan pasir (*calcarenite* atau *sandstone*).

Kristal *calcium carbonat* ( $\text{CaCO}_3$ ) 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 memerlukan waktu hingga jutaan tahun. Oleh karena itu digunakan bakteri untuk mempercepat proses secara in situ dengan memanfaatkan proses presipitasi karbonat hasil aktivitas metabolisme bakteri (DeJong et al., 2006; Lee, 2003).

Adanya peran bakteri dalam proses *biogrouting* berkaitan erat dengan kemampuan bakteri untuk bertahan dan toleran terhadap konsentrasi urea dan kalsium yang tinggi. Bakteri ini juga harus mampu menghasilkan enzim *urease* dengan aktivitas yang tinggi. Bakteri penghasil *urease* dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok berdasarkan respon terhadap amonium yaitu;

1. kelompok yang aktivitas enzim *urease* ditekan oleh keberadaan amonium seperti jenis *Pseudomonas aeruginosa*, *Alcaligenes eutrophus*, *Bacillus megaterium* (Kaltwasser et al., 1972) dan *Klebsiella aerogenes* (Friedrich dan Magasanik, 1977).
2. kelompok yang aktivitas enzim *urease* tidak dipengaruhi oleh amonium seperti *Sporosarcina pasteurii* (*Bacillus pasteurii*), *Helicobacter pylori*, *Proteus vulgaris* (Whiffin et al., 2007).

Pada proses *biogrouting*, karena konsentrasi urea yang tinggi dihidrolisa selama sementasi, maka hanya bakteri yang aktivitas enzim *urease* nya tidak



ditekan oleh amonium saja yang cocok untuk digunakan. Pada saat ini, bakteri dari genus *Sporosarcina* (*Bacillus*) telah mulai diaplikasikan pada proses *biogrouting* karena mempunyai aktivitas urease yang tinggi dan tidak patogen (Fujita et al., 2000; Mobley et al., 1995). Menurut Harkes et al (2009), bakteri *Sporosarcina pasteurii* (DSMZ 33) dapat melakukan presipitasi kalsit.

### 3.6 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%.

#### 3.6.1 Klasifikasi *Bacillus Subtilis*

Menurut *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology 2nd edition* (2001) dalam Madigan, et al. (2003) *bacillus* memiliki jenjang 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*

### 3.6.2 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.

### 3.7 Keruntuhan

keruntuhan (*failure*) adalah kondisi tegangan yang telah melampaui kekuatan maksimum material atau sampel benda uji, atau dengan kondisi yang telah terlampauinya besaran tegangan atau regangan batas yang telah direncanakan atau diperkirakan.

Jenis-jenis keruntuhan tanah ada beberapa fase yaitu:

#### a. Fase I

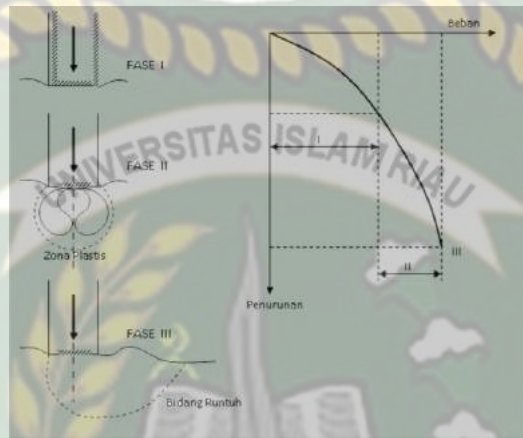
Awal pembebanan tanah dibawah pondasi turun, terjadi deformasi lateral dan vertikal kebawah. Penurunan yang terjadi sebanding dengan besarnya beban tanah dalam kondisi keseimbangan elastis. Masa tanah dibawah pondasi mengalami komresi sehingga kuat geser tanah naik, sehingga daya dukungnya bertambah (Gambar 3.1)

#### b. Fase II

Pada penambahan beban selanjutnya, penurunan tanah terbentuk tepat didasar pondasi dan deformasi plastis tanah menjadi dominan. Gerakan tanah pada kedudukan plastis dimulai dari tepi pondasi, dengan bertambah beban zona plastis berkurang, dan kuat geser tanah berkembang. Gerakan tanah kearah lateral semakin nyata, sehingga terjadi retakan geseran tanah disekeliling tepi pondasi (Gambar 3.1)

c. Fase III

Fase ini dikarakteristikan oleh kecepatan deformasi yang semakin bertambah sejalan dengan penambahan beban yang diikuti oleh gerakan tanah kearah luar sehingga permukaan tanah mengembung, sehingga tanah mengalami keruntuhan disebut bidang geser radial dan linier (Gambar 3.1)

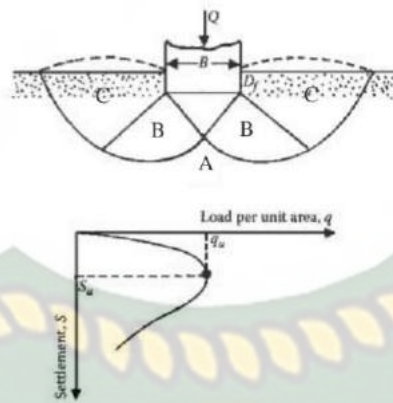


Gambar 3.1 fase-fase keruntuhan

Berdasarkan pengujian yang dilakukan oleh vesic (1963), membagi mekanisme keruntuhan menjadi tiga macam mekanisme yaitu: keruntuhan geser umum (*general shear failure*), keruntuhan geser lokal (*local shear failure*), dan keruntuhan penetrasi (*penetration failure*).

1. keruntuhan geser umum (*general shear failure*)

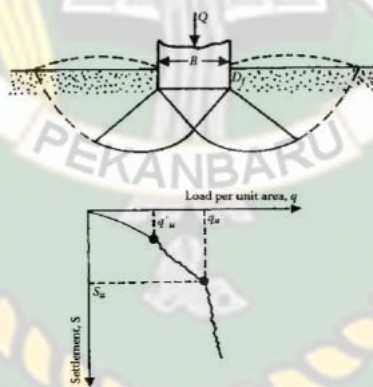
keruntuhan geser umum ialah keruntuhan yang terjadi pada tanah atau masa batuan pendukung jika kuat geser batas telah terlampaui pada seluruh permukaan bidang lonsor pada saat bangunan runtuh akibat pergerakan berlebihan. Pada umumnya kegagalan daya dukung terjadi pada keruntuhan geser umum akibat tegangan, puntiran, dan penurunan besar yang tiba-tiba. Setelah terjadi keruntuhan, adanya peningkatan tegangan sedikit saja akan menimbulkan penurunan tambahan fondasi yang besar dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 keruntuhan geser umum

## 2. Keruntuhan geser lokal (*local shear failure*)

Keruntuhan geser lokal adalah Pola keruntuhan terjadi pada tanah yang mudah mampat atau tanah yang lunak. Bidang gelincir tidak mencapai permukaan tanah tetapi berhenti di suatu tempat. Pondasi tenggelam akibat bertambahnya beban pada kedalaman yang relatif dalam sehingga tanah yang didekatnya mampat dapat dilihat pada gambar 3.3.

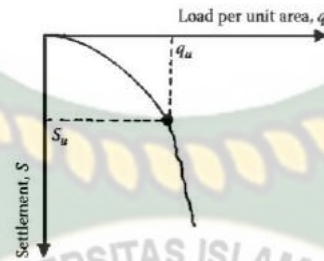
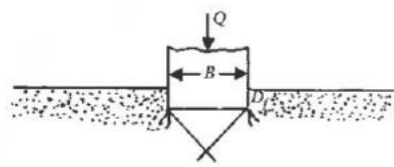


Gambar 3.3 keruntuhan geser lokal

## 3. Keruntuhan geser penetrasi (*penetration failure*)

Keruntuhan geser penetrasi adalah Pengembangan permukaan tanah tidak terjadi, akibat pembebanan pondasi bergerak kebawah arah vertikal dengan cepat dan menekan tanah kesamping sehingga terjadi pemampatan tanah dekat pondasi. Penurunan bertambah secara linier dengan penambahan beban dapat dilihat pada gambar 3.4





Gambar 3.4 keruntuhan penetrasi

Lapisan tanah yang mempunyai pola keruntuhan ini;

- a. Lapisan pasir yang sangat lunak
- b. Lapisan tanah yang mudah mampat
- c. Lapisan pasir yang terletak diatas lapisan tanah lunak
- d. Lapisan tanah lunak yang mendapat pembebanan perlahan dan memungkinkan tercapainya kondisi drainase.

Pola keruntuhan ini dapat juga terjadi apabila kedalaman pondasi sangat besar bila dibandingkan dengan lebarnya.

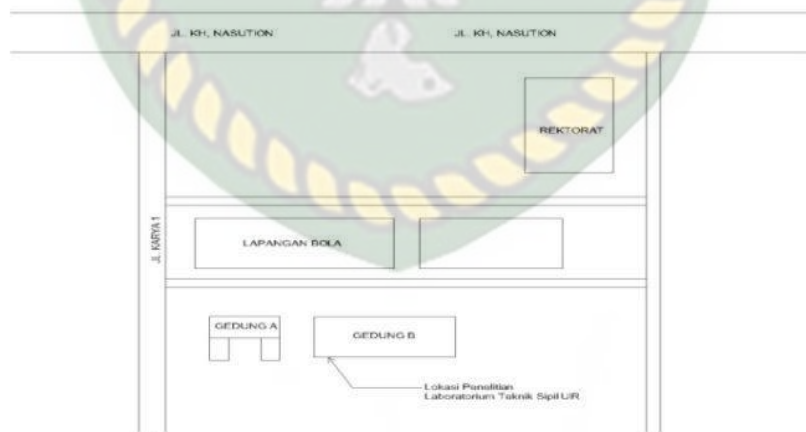
## BAB IV METODE PENELITIAN

### 4.1 Umum

Metode penelitian tugas akhir ini bersifat eksperimen (*research*). Pada bab ini dijelaskan metode penelitian yang mencakup lokasi, bahan, alat, tahapan penelitian, serta prosedur dari penelitian pengujian pendahuluan dan pengujian utama. Dimana pada penelitian pengujian pendahuluan merupakan pengujian dari tanah gambut dan pengujian utama juga merupakan pengujian pada tanah gambut yang telah ditambahkan dengan campuran pasir serta pengaplikasian *biogrouting* teknik dengan bantuan bakteri *bacillus subtilis*.

### 4.2 Lokasi Penelitian

Penelitian yang bersifat eksperimen ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau, Pekanbaru, Riau, baik pada penelitian pengujian pendahuluan maupun penelitian pengujian utama. Sedangkan pengambilan tanah gambut diambil di Kecamatan Dayun Kabupaten Siak Pekanbaru Riau. Adapun denah lokasi penelitian ini seperti pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 denah penelitian

### 4.3 Bahan Pengujian

Pada penelitian ini bahan – bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

#### 1. Tanah gambut

Sampel tanah yang akan digunakan peneliti dalam penelitian ini adalah tanah gambut yang kondisinya sudah terganggu, dimana tanah tersebut diambil pada kedalaman  $\pm 50$  cm dari permukaan tanah atas dengan menggunakan cangkul, kemudian tanah tersebut diangkut ke laboratorium untuk dikerikan dengan cara dijemur dibawah sinar matahari secara terbuka. Kemudian tanah tersebut diayak hingga lolos saringan no 4.



**Gambar 4.2** tanah gambut

#### 2. Pasir

Pasir yang digunakan peneliti untuk penelitian ini adalah pasir warna putih yang telah diayak hingga lolos menggunakan saringan nomor 40.



**Gambar 4.3** pasir

### 3. Bakteri *bacillus subtilis*



**Gambar 4.4** bakteri *bacillus subtilis*

### 4. Urea

Urea adalah senyawa kimia mengandung Nitrogen (N) berkadar tinggi. Unsur Nitrogen merupakan zat hara yang sangat diperlukan tanaman. Urea berbentuk butir-butir kristal berwarna putih. Urea dengan rumus kimia  $\text{NH}_2\text{CONH}_2$  merupakan produk yang mudah larut dalam air dan sifatnya sangat mudah menghisap air (higroskopis). Urea mengandung unsur hara N sebesar 46% dengan pengertian setiap 100 kg mengandung 46 kg Nitrogen, Moisture 0,5%, Kadar Biuret 1%, ukuran 3,35MM 90% Min serta berbentuk Prill. Standar urea SNI-02-2801-1998.

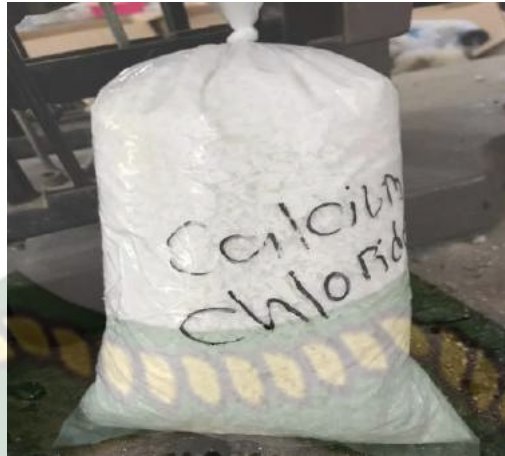


**Gambar 4.5** senyawa urea

### 5. CaCl

Merupakan senyawa kimia yang digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah yang mudah larut dalam air dan mampu mengalirkan arus listrik dengan cukup baik dan juga mampu mengikat partikel tanah.





Gambar 4.6 senyawa CaCl

#### 6. Air

Air yang digunakan peneliti untuk penelitian ini adalah air bersih yang berasal dari sumur bor Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Pekanbaru.

#### 4.4 Bahan Pembuatan Larutan Sementasi

Pada proses ini dilakukan pencampuran dengan bakteri *bacillus subtilis*. Bahan – bahan yang digunakan pada proses ini adalah sebagai berikut:

1. Bakteri *bacillus subtilis*
2. Urea
3. CaCl
4. Air

#### 4.5 Peralatan Pengujian Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan pada pengujian ini disesuaikan dengan ketersediaan peralatan yang di laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau.

##### 4.5.1 Peralatan Pengujian Pendahuluan

Berikut adalah peralatan – peralatan untuk uji sifat – sifat tanah:

1. Peralatan uji kadar air,

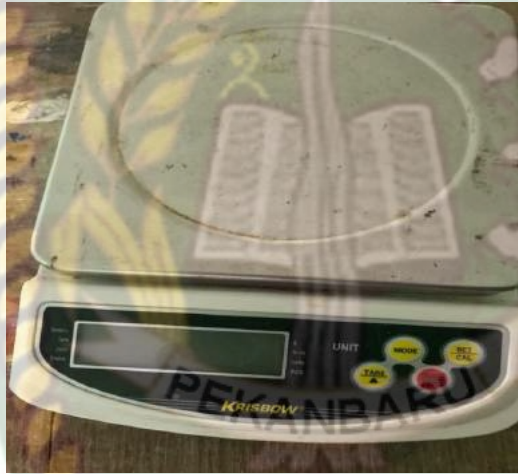
Alat-alat yang akan digunakan pada pengujian kadar air adalah :

- a. Cawan untuk wadah tanah gambut pengujian kadar air



**Gambar 4.7** Alat Cawan

- b. Timbangan untuk menimbang berat tanah dan lain-lainnya



**Gambar 4.8** Alat Timbangan

- c. Oven dengan pengatur suhu untuk pengeringan agar mendapatkan hasil kering maksimal.



**Gambar 4.9** Alat Oven

## 2. Peralatan uji berat spesifik (Gs),

Alat-alat yang akan digunakan pada pengujian berat jenis adalah :

- a. Piknometer kapasitas 100 ml untuk wadah pengujian berat jenis tanah yang lolos saringan no 40.
- b. Timbangan



**Gambar 4.10** Alat Piknometer dan Timbangan

- c. Kompor gas untuk memanaskan sampel uji agar bisa mengangkat udara dalam pori-pori tanah



**Gambar 4.11** Alat Kompor Gas

- d. Cawan untuk wadah tanah gambut sampel benda uji



**Gambar 4.12** Alat Cawan

- e. Botol tempat air suling untuk menambahkan air dalam pikno yang sedang dipanaskan



**Gambar 4.13** Alat Botol Air Suling

3. Peralatan uji pemadatan (*proctor test*),

Alat-alat yang digunakan adalah :

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



- a. Mold untuk wadah tanah gambut
- b. Palu standar untuk penumbuk tanah yang ada dalam mold



**Gambar 4.14** Alat Uji Pematatan Tanah

#### 4.5.2 Peralatan Pengujian Utama (kuat Tekan Bebas)

Adapun peralatan yang digunakan untuk penelitian Kuat Tekan Bebas adalah:

1. Timbangan
2. Cawan
3. Stopwatch
4. Oven
5. Satu set alat *unconfined compression strength test* (UCS)

#### 4.6 Tahapan Penelitian

Pada tahap pelaksanaan penelitian ini menjelaskan tentang tahapan - tahapan inti dari awal penelitian hingga akhir penelitian secara singkat. Secara umum tahapan penelitian ini diharapkan dapat memberi gambaran secara garis besar langkah-langkah pelaksanaan yang akan menuntun penelitian ini lebih terarah. Berikut adalah tahapan-tahapan pada penelitian ini sebagai berikut:

## 1. Bagan alir penelitian



Gambar 4.15 Bagan Alir Penelitian

## 2. Persiapan alat dan bahan

Sebelum dilakukannya penelitian, terlebih dahulu dilakukan proses persiapan, hal-hal yang perlu dipersiapkan terutama yang menjadi bahan dari pengujian adalah tanah gambut, bakteri *bacillus subtilis*, pasir, serta peralatan bantuan untuk pengujian.

## 3. Pembuatan larutan sementasi

Larutan sementasi adalah larutan campuran dari urea dan  $\text{CaCl}_2$  yang digunakan oleh bakteri untuk menghasilkan kalsit /  $\text{CaCO}_3$  (*calcium carbonat*). Pada penelitian ini digunakan larutan sementasi dengan komposisi Urea,  $\text{CaCl}_2$ , bakteri *bacillus subtilis* dan air.

## 4. Pengujian pendahuluan

Proses awal penelitian dilakukan pengujian pendahuluan yang merupakan pengujian untuk mendapatkan sifat-sifat fisis tanah. Pengujian ini bertujuan untuk mengecek kondisi tanah agar sesuai dengan kondisi tanah lapangan. Berikut adalah pengujian-pengujian pendahuluan pada penelitian ini:

- a. Pengujian kadar air (ASTM D 2216-98), pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan persentase berat air terhadap berat tanah kering.
- b. Pemeriksaan berat spesifik (ASTM D 854-02), pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan berat spesifik tanah yang merupakan perbandingan berat tanah terhadap berat air.
- c. Uji sifat mekanis tanah dilakukan dengan Uji Pemadatan / *Proctor test* (ASTM D 698), pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan kadar air optimum dan kepadatan maksimum, kemudian data tersebut digunakan sebagai pembanding terhadap kepadatan tanah dalam pengujian.

## 5. Pengujian Utama

Pengujian ini dilakukan setelah pembuatan larutan sementasi dan pengujian pendahuluan telah selesai dilaksanakan. Proses pengujian ini diawali dengan pencampuran larutan sementasi yang didalamnya sudah terdapat bakteri *bacillus subtilis* pada tanah gambut yang telah ditambahkan pasir. Larutan sementasi dan air disesuaikan dengan jumlah kadar air optimum, lalu kemudian dicampurkan dengan tanah gambut yang telah dicampurkan pasir untuk di uji

Kuat Tekan Bebasnya yang menjadi pengujian utama penelitian ini. Jumlah pasir yang ditambahkan pada sampel benda uji Kuat Tekan ini sebanyak 5% terhadap berat tanah. Adapun jumlah larutan sementasi yang dicampurkan pada sampel benda uji ini mempunyai 6 variasi, yaitu sampel 1 = 0%, sampel 2 = 5%, sampel 3 = 10%, sampel 4 = 15%, sampel 5 = 20%, sampel 6 = 25%. Persentase larutan sementasi tersebut adalah terhadap kadar air optimum pengujian kuat tekan bebas tanah gambut tersebut.

#### 6. Analisa Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pada tahap selesainya dilakukan seluruh pengujian, maka hasil penelitian yang didapat adalah sebagai berikut ini:

- a. Sifat – sifat fisis tanah, yaitu: kadar air pada tanah gambut, berat spesifik (Gs), kepadatan tanah gambut / *proctor test*, dan kadar air optimum tanah.
- b. Kuat Tekan Bebas tanah gambut dengan campuran pasir yang telah dicampurkan dengan larutan sementasi dengan metode *biogrouting*.

#### 7. Kesimpulan dan Saran

Kemudian tahap selanjutnya setelah dilakukan analisa hasil penelitian dan pembahasan, lalu diambil kesimpulan yang disesuaikan dengan tujuan penelitian. Peneliti dapat memberikan saran kepada peneliti selanjutnya yang ingin mengambil penelitian serupa.

#### 4.7 Prosedur Pengujian

Sebelum dilakukannya penelitian pengujian pendahuluan dan pengujian utama, langkah pertama yang dikerjakan adalah pembuatan larutan sementasi yang akan dicampurkan dengan bakteri *bacillus subtilis*. Pengujian dilakukan sesuai pada aturan – aturan standar seperti yang ditetapkan ASTM. Oleh sebab itu pada prosedur pengujian ini dijelaskan lebih rinci tentang prosedur penelitian pengujian pendahuluan serta pengujian utama. Pada penelitian ini, pengujian pendahuluan dilakukan sebagai acuan atau tolak ukur pada pengujian utama.



#### 4.7.1 Pembuatan Larutan Sementasi

Larutan sementasi ini merupakan larutan campuran dari Urea dan  $\text{CaCl}_2$  yang digunakan oleh bakteri untuk menghasilkan kalsit /  $\text{CaCO}_3$  (*calcium carbonat*). Berikut ini campuran pembuatan larutan sementasi tersebut:

1. larutan Urea.

Langkah pertama adalah air diambil dengan jumlah 50 ml dan dimasukkan kedalam wadah, kemudian Urea diambil dan ditimbang seberat 100 gram. Lalu urea yang telah ditimbang sebesar 100 gram tadi dimasukkan kedalam wadah yang sudah ada air sebanyak 50 ml, urea tersebut diaduk agar kemudian larut pada air tersebut.

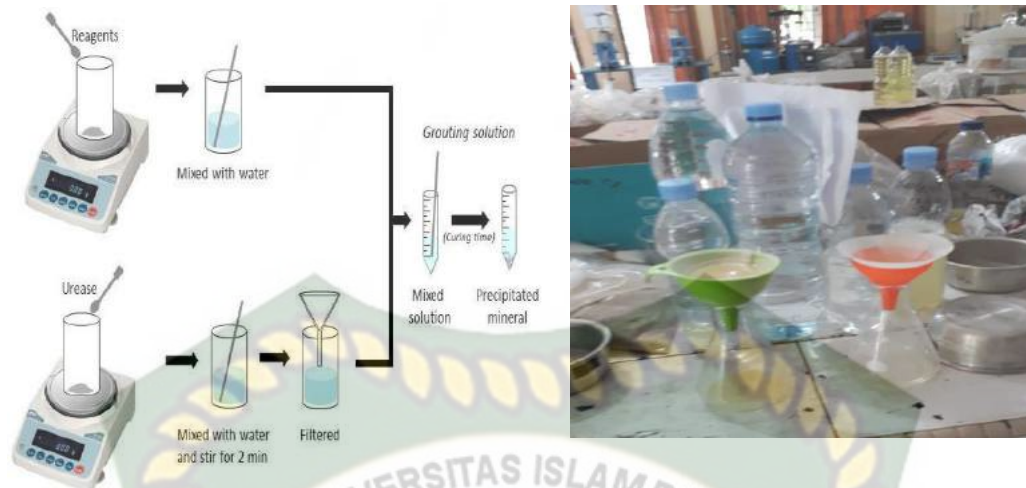
2. larutan  $\text{CaCl}_2$

Sama dengan proses pembuatan Urea, langkah pertama untuk pembuatan larutan  $\text{CaCl}_2$  adalah dengan mengambil air sebanyak 50 ml dan dimasukkan kedalam wadah, kemudian  $\text{CaCl}_2$  diambil dan ditimbang seberat 10 gram. Lalu  $\text{CaCl}_2$  yang telah ditimbang sebesar 10 gram tadi dimasukkan kedalam wadah yang sudah ada air sebanyak 50 ml,  $\text{CaCl}_2$  tersebut diaduk agar kemudian larut pada air tersebut.

3. Larutan bakteri *bacillus subtilis*

Pada proses ini disiapkan air sebanyak 50 ml dan dimasukkan kedalam wadah, kemudian bakteri *bacillus subtilis* diambil dan ditakar sebanyak 10 ml, lalu air sebanyak 50 ml dan bakteri sebanyak 10 ml ini dicampurkan dengan cara diaduk.

Tahap selanjutnya adalah larutan Urea, larutan  $\text{CaCl}_2$  dan larutan Bakteri kemudian dicampurkan dan atau diaduk didalam tabung erlemeyer. Setelah ketiga bahan tersebut dicampurkan dan menjadi sebuah larutan, lalu larutan ini disaring menggunakan kertas saringan.



**Gambar 4.16** proses pembuatan dan penyaringan

Setelah itu kertas saringan dikeringkan, kemudian ditimbang berat bersihnya agar mendapatkan berat larutan hasil saringan tersebut, larutan yang sudah disaring kemudian dicampurkan dengan air. Komposisinya adalah, pada setiap 250 ml air, dicampurkan 0,1 gram larutan yang sudah tersaring tersebut. Hasil dari pencampuran air sebanyak 250 ml dan larutan hasil saringan seberat 0,1 gram ini adalah larutan sementasi biogrouting tersebut.

#### 4.7.2 Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan ini dilakukan dengan mengambil sampel tanah gambut yang telah tersedia atau yang akan digunakan sesuai keperluan pengujian yang akan dilaksanakan. Berikut ini adalah prosedur pengujian pendahuluan:

1. Pengujian kadar air (ASTM D 2216-98). Tanah dalam kondisi yang basah dari lapangan dimasukkan ke dalam wadah, kemudian tanah tersebut ditimbang, lalu dimasukkan kedalam *oven* selama  $\pm 24$  jam dengan suhu  $80^{\circ}\text{C}$ . Setelah dibiarkan didalam *oven* untuk menunggu proses pengeringan, lalu tanah tersebut ditimbang lagi, tahap selanjutnya dilakukan proses membandingkan berat air dengan berat tanah kering.



**Gambar 4.17** pengujian kadar air tanah asli

2. Pengujian berat spesifik (ASTM D 854-2). Sampel tanah diambil secukupnya untuk dimasukkan kedalam *oven* selama  $\pm 24$  jam dengan suhu  $80^{\circ}\text{C}$ . Tanah yang sudah mengering akibat proses di *oven* tadi, lalu disaring menggunakan saringan no. 40 dan diambil secukupnya. Kemudian tanah diambil secukupnya dimasukkan kedalam piknometer 100 ml dan ditimbang beratnya. Pada piknometer tersebut ditambahkan air hingga tanah terendam. Untuk mengangkat udara dalam pori – pori tanah, sampel uji dipanaskan diatas pasir dengan menggunakan kompor. Setelah udara dalam pori tanah menghilang, lalu ditambahkan air hingga ke bibir piknometer, lalu ditimbang.



**Gambar 4.18** pengujian berat jenis



3. Uji sifat mekanis tanah dilakukan dengan Uji Pemadatan / *Proctor Test* (ASTM D 698). Sampel tanah yang sudah dikeringkan dengan dijemur panas matahari, ditimbang dengan berat 2,5 kg persampel, dibuat sebanyak 5 sampel. Kemudian ditambahkan air pada tanah dan diaduk rata, dicari kondisi tanah mendekati padat dengan cara menggenggam tanah tersebut. Setelah didapat perkiraan tambahan air tanah padat, sampel yang lain ditambah air dengan rentang 10%. Proses pemadatan dilakukan pada *mold proctor* dan ditumbuk 25 kali per lapisan, lapisan ini dibuat sebanyak 3 lapis menggunakan alat penumbuk. Setelah dipadatkan diambil sampel dari tanah yang padat untuk dicari kadar airnya. Kemudian setelah didapat kadar airnya, data kadar air dan kepadatan kering dimasukkan kedalam grafik kadar air vs kepadatan untuk mencari puncak optimumnya.



**Gambar 4.19** pengujian pemadatan / *proctor test*



### 4.7.3 Pengujian Utama

Pada pengujian utama ini adalah merupakan pengujian Kuat Tekan Bebas tanah gambut di Laboratorium, dilakukan setelah pembuatan larutan sementasi dan semua pengujian pendahuluan selesai agar mengetahui properties tanah gambut.

Di laboratorium Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Riau dilakukan pencampuran tanah dengan pasir untuk seluruh sampel sebanyak 5% dari berat tanah serta larutan sementasi yang didalamnya sudah terkandung larutan bakteri *bacilius subtilis*, dengan beberapa variasi persentase pencampuran dan variasi waktu peram yaitu sampel 1 = 0%, sampel 2 = 5%, sampel 3 = 10%, sampel 4 = 15%, sampel 5 = 20%, sampel 6 = 25% dengan pengujian kuat tekan, kemudian di peram dengan waktu peram selama 14 hari. Berikut ini adalah prosedur-prosedur dari pengujian utama atau pengujian Kuat Tekan Bebas:

1. Persiapan benda uji.

Tanah gambut yang kering udara diambil dan ditimbang sebanyak 48,7 gram + pasir sebanyak 5% dari berat tanah pada masing-masing benda uji + air sebanyak 41.3 ml. Untuk pengujian Kuat tekan bebas ini benda uji yang dibutuhkan adalah sebanyak 12 buah benda uji.

2. Pencetakan benda uji.

Setelah tanah ditimbang 48,7 gram + 5% pasir dari berat tanah dan air sebanyak 41.3 ml lalu diaduk. Kemudian dibagi menjadi 3 bagian kedalam cawan, lalu masukan tanah kedalam ring pencetak benda uji, setiap bagian diberi penekanan yang sama menggunakan alat modifikasi dari alat sondir sehingga diperoleh kepadatan yang merata dengan volume dan ukuran yang sama. Kemudian benda uji dikeluarkan dengan bentuk silinder dan ukuran benda uji dengan diameter 3,64 cm dan area 10,75 cm, kemudian dimasukan kedalam plastis kedap udara supaya kadar air nya tidak berkurang.



**Gambar 4.20** pembuatan sampel

3. Pencampuran benda uji dengan larutan sementasi.  
Langkah-langkah pencampuran benda uji dengan larutan sementasi dilakukan dengan cara sebagai berikut:
  - a. Ambil benda uji yang ada didalam plastik, lalu dikeluarkan dan ditimbang beratnya, kemudain dimasukan kembali benda uji kedalam plastik semula
  - b. Hasil dari benda uji yang sudah ditimbang tadi kemudian dikalikan persen larutan sementasi tadi, pada penelitian ini menggunakan campuran sementasi sebanyak (5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%), hal ini dilakukan untuk mendapatkan berapa ml larutan sementasi yang akan ditetaskan pada benda uji menggunakan pipet tetes khusus.
  - c. Untuk setiap persen campuran larutan sementasi digunakan 3 benda uji.
  - d. Setelah itu simpan dan peram benda uji yang telah ditetaskan larutan sementasi selama 14 hari.



**Gambar 4.21** pencampuran sementasi dengan benda uji

4. Prosedur pengujian
  - a. Contoh benda uji dipasang pada rangka beban alat uji UCS dan diatur hingga sentris terhadap dongkraknya.
  - b. Kemudian stel proving ring dial dan pengukur regangan pada nol stand. Tentukan kecepatannya.
  - c. Kecepatan regangan diambil 35 mm per 15 detik.
  - d. Mulai diadakan penekanan hingga terjadi keruntuhan sambil dikontrol atau dicatat pada setiap interval regangan tersebut.
  - e. Setelah runtuh contoh sampel benda uji difoto dan dikeluarkan dan digambar bentuk keruntuhannya.



**Gambar 4.22** alat *unconfined compression test*



## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Umum

Pada bab ini diuraikan hasil penelitian yang menjelaskan hasil pengujian pendahuluan berupa karakteristik sifat-sifat fisik tanah gambut dan sifat-sifat mekanik tanah gambut. Pengujian utama merupakan pengujian kuat tekan tanah gambut di Laboratorium.

#### 5.2 Hasil Pengujian Pendahuluan

Sebelum dilakukannya pengujian kuat tekan tanah gambut dilaboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau, terlebih dahulu dilakukan pengujian pendahuluan. Pengujian pendahulu yang akan dilaksanakan diantaranya adalah pengujian kadar air tanah asli (tanah gambut), berat spesifik (Gs), dan pengujian pemadatan / *proctor test*.

##### 5.2.1 Kadar Air Tanah Asli (Tanah Gambut)

Pengujian kadar air ini dilakukan sesuai dengan prosedur pada ASTM D2216-98. Hasil dari pengujian kadar air yang dilakukan pada tanah gambut didapatkan nilai kadar air sebesar 407,5 % dapat dilihat pada lampiran A-1. Hal ini disebabkan karena tanah asli yang diuji terdiri dari kandungan serat organik (gambut) yang dapat menyerap air sangat banyak sehingga mengandung kadar air yang tinggi, menurut (Mochtar 2002) kadar air tanah gambut berkisaran antara 200% hingga mencapai 900%.

##### 5.2.2 Berat Spesifik (Gs)

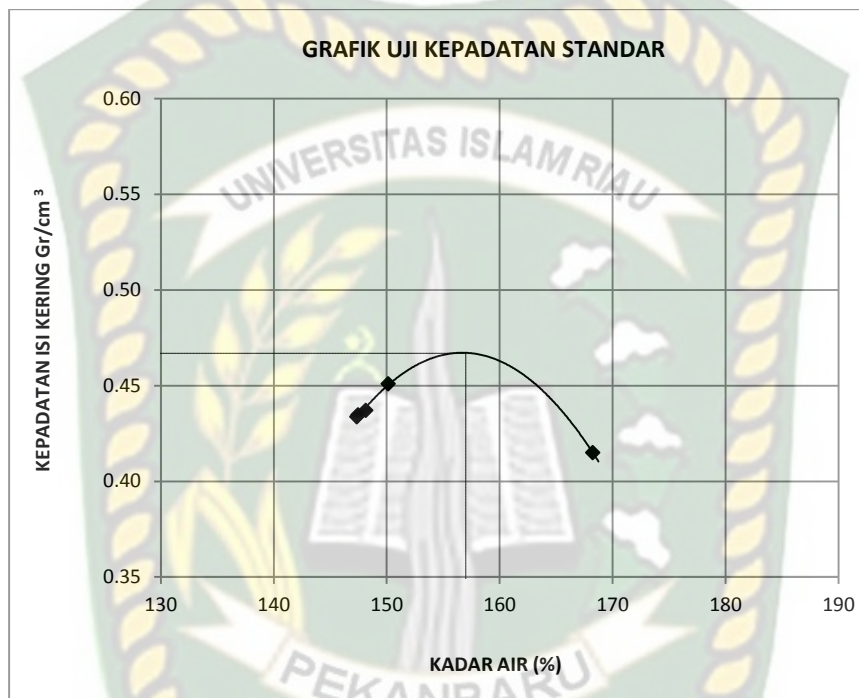
Pengujian Berat Spesifik (*Specific Gravity*) ini dilakukan sesuai dengan ASTM D 854-02. Dari pengujian yang telah dilakukan terhadap tanah asli, nilai berat spesifik (Gs) tanah yang digunakan adalah sebesar 1,30. Hal ini dapat dilihat pada lampiran A-2. Nilai berat spesifik (Gs) diakibatkan karena adanya serat-serat kayu dan kandungan organik lainnya yang terdapat pada tanah gambut.



### 5.2.3 Pengujian Pemadatan / *proctor test*

Pengujian pemadatan dilakukan untuk mendapatkan nilai berat isi kering maksimum ( $\gamma_d$  maks) tanah asli sebesar  $0,467 \text{ gr/cm}^3$  dan kadar air optimum (OMC) tanah asli sebesar 157 %, dapat dilihat pada Lampiran A-3.

Grafik pengujian pemadatan dapat dilihat pada Gambar 5.1.



**Gambar 5.1** Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air

Tingginya nilai kadar air optimum (OMC) disebabkan besarnya pori-pori tanah karena tanah terdiri dari serat-serat tumbuhan (organik) menyebabkan tanah menyerap banyak air untuk mencapai kepadatan yang optimum. Kadar air optimum (OMC) yang didapat dari pengujian pemadatan pada tanah asli ini dijadikan pembanding terhadap kondisi tanah yang digunakan pada pengujian permodelan. sesuai dengan berat volume kering yang didapat maka klasifikasi gambut berdasarkan berat volume kering pada tingkat pelapukannya atau dekomposisi  $> 0,2 \text{ gr/cm}^3$ . Berdasarkan sifat fisik dan kimia tanah gambut yang memiliki klasifikasi gambut berdasarkan berat volume pada tingkat pelapukannya  $> 0,2 \text{ gr/cm}^3$  maka tanah gambut berasal dari siak ini dikategorikan termasuk

gambut *saprik* hal ini karena disebabkan oleh pengaruh mineral tanah (Mutalib, et al., 1991)

#### 5.2.4 Sifat-sifat Tanah Gambut

Berdasarkan dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan, didapat nilai dari sifat-sifat fisis tanah gambut kabupaten siak provinsi riau.

**Tabel 5.1** Sifat-sifat Tanah Gambut (Mochtar, 2002)

Sifat-Sifat	Standar	Nilai	Satuan
Berat Spessifik, Gs	1,2 - 1,95	1,30	-
Kadar Air, w	200%-900%	407,5	%
Berat Isi Kering Maksimum ( $\gamma_d$ maks)	-	0,467	Gr/cm <sup>3</sup>
Kadar Air Optimum (OMC)	-	157	%

Dari tabel 5.1 diatas didapat sifat-sifat fisis tanah gambut yang didapat dari hasil pengujian pendahuluan yaitu kadar air, berat jenis dan pemadatan / *proctor test*.

#### 5.3 Pengujian Kuat Tekan Bebas Terstabilisasi Larutan Sementasi

Pengujian Kuat Tekan Bebas ini menggunakan metode *biogrouting* yaitu dengan cara mencampurkan bakteri *bacillus subtilis* yang dibuat menjadi sebuah larutan (larutan sementasi) dengan tanah gambut bercampur dengan pasir. Persentase pasir pada sampel benda uji ini adalah sebanyak 5% dari berat sampel tanah gambut. Pada penelitian ini, uji kuat tekan bebas dilakukan pada tanah kondisi tidak asli (*disturbed sample*) atau dalam keadaan sudah tecampur bahan lain nya. Namun untuk benda uji yang sudah diberi campuran larutan sementasi harus disimpan dalam waktu 14 hari. Hal ini agar dapat mengukur kemampuannya masing-masing sampel benda uji terhadap kuat tekan bebas.

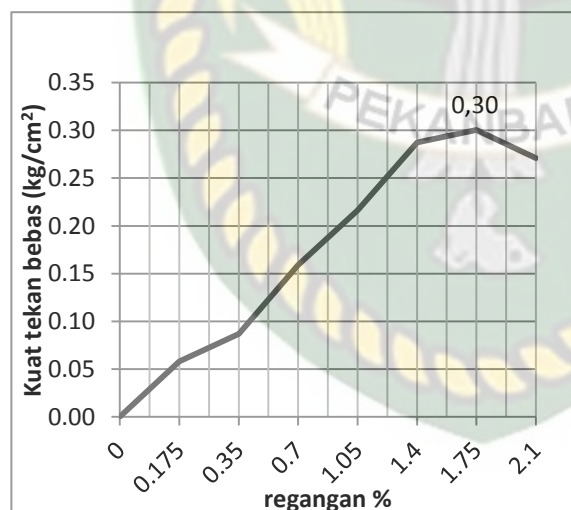
Adapun nilai uji Kuat Tekan Bebas pada sampel benda uji tanah asli + 0% pasir dan + 0% bakteri, kemudian dilanjutkan denga benda uji tanah asli + 5% pasir dan dengan yang telah dicampurkan penambahan larutan sementasi dengan

variasi persentase penambahan 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dapat dilihat dari tabel 5.2 dan tabel 5.3

**Tabel 5.2** Nilai hasil uji UCS tanah asli + 0% pasir + 0% bakteri.

No	Regangan %	Kuat tekan bebas (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,00	0,00
2	0,175	0,06
3	0,35	0,09
4	0,70	0,16
5	1,05	0,22
6	1,4	0,29
7	1,75	0,30
8	2,10	0,27

Dari tabel 5.2 nilai pengujian kuat tekan bebas (UCS) tanah asli (tanah gambut + 0% pasir + 0% bakteri) dijelaskan pada grafik berikut ini.



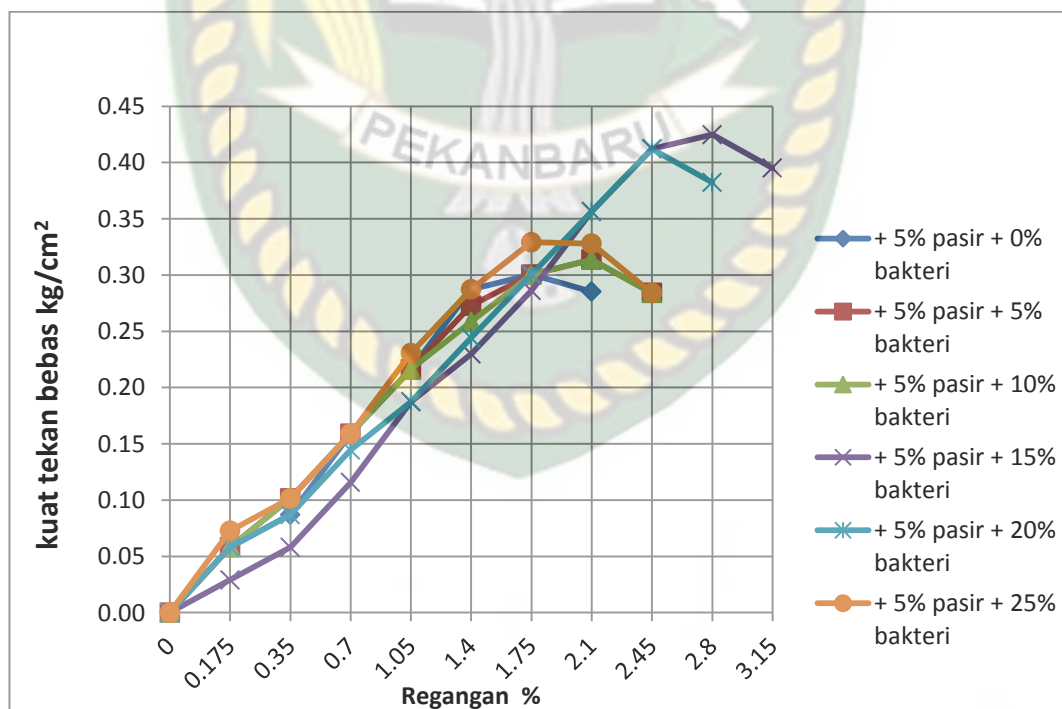
Gambar 5.2 grafik tanah asli + 0% pasir + 0% bakteri

Hasil dari grafik 5.2 pada pengujian tanah asli +0% pasir + 0% bakteri didapat nilai kuat tekan bebas ( $q_{umax}$ ) sebesar 0,30 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabel 5.3** Nilai hasil uji UCS dari sampel benda uji tanah asli + 5% pasir dengan yang telah dicampurkan dengan larutan sementasi.

No	Regangan %	Penekanan (kg/cm <sup>2</sup> )					
		0%	5%	10%	15%	20%	25%
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,175	0,06	0,06	0,06	0,03	0,06	0,07
3	0,35	0,09	0,10	0,10	0,06	0,09	0,10
4	0,70	0,16	0,16	0,16	0,12	0,14	0,16
5	1,05	0,22	0,22	0,22	0,19	0,19	0,23
6	1,40	0,29	0,27	0,26	0,23	0,24	0,29
7	1,75	0,30	0,30	0,30	0,29	0,30	0,33
8	2,10	0,29	0,31	0,31	0,36	0,36	0,33
9	2,45		0,28	0,28	0,41	0,41	0,28
10	2,80				0,42	0,38	
11	3,15				0,40		

Dari tabel 5.3 hasil nilai uji UCS terhadap penambahan larutan sementasi dari 0% sampai dengan 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dapat dijelaskan pada grafik berikut ini .



**Gambar 5.3** kurva tanah asli + 5% pasir dan setelah dicampurkan dengan larutan sementasi



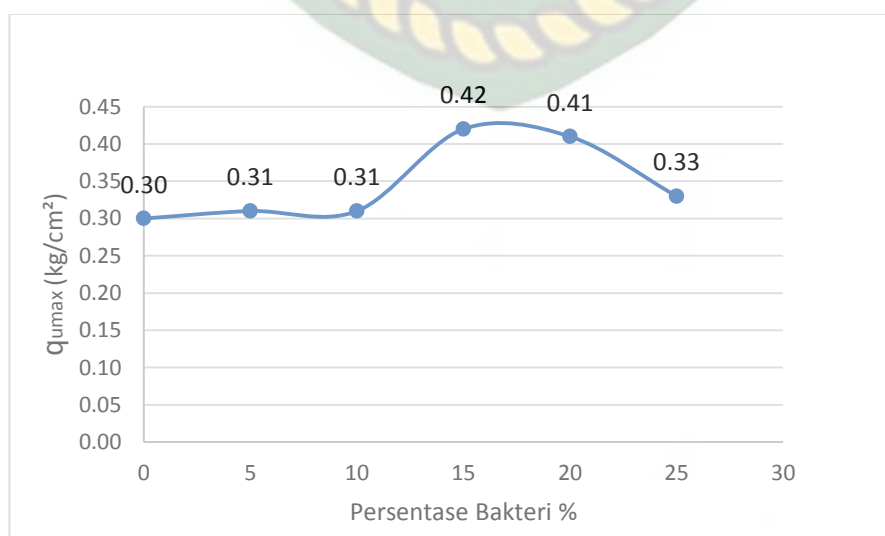
Dari gambar 5.3 diatas terjadi kenaikan kekuatan nilai kuat tekan bebas tanah gambut dari sampel benda uji tanah asli + 5% pasir dengan yang sudah tercampur larutan sementasi bakteri dengan variasi penambahan 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% . Dalam hal ini dengan penambahan bakteri terjadi kekuatan daya dukung tanah gambut tersebut.

Kemudian dari grafik 5.3 didapat pula nilai tertinggi dari masing-masing sampel benda uji yaitu nilai  $q_{umax}$  (kg/cm<sup>2</sup>) dan dapat dilihat pada tabel 5.4

**Tabel 5.4** Nilai  $q_{umax}$  dari masing-masing sampel benda uji

Penambahan sementasi	Regangan saat runtuh %	$q_{umax}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0%	2,10	0,30
5%	2,45	0,31
10%	2,45	0,31
15%	3,15	0,42
20%	2,80	0,41
25%	2,45	0,33

Hasil dari tabel 5.4 nilai kuat tekan bebas ( $q_{umax}$ ) terhadap pada penambahan larutan sementasi dari 0% sampai dengan 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dapat dijelas pada gambar grafik berikut ini.



**Gambar 5.4** hubungan antara persentase dan penambahan larutan sementasi dengan sampel benda uji dengan variasi bakteri 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%.

Hasil dari gambar 5.4 pada grafik hubungan antara nilai kuat tekan bebas ( $q_{\text{umax}}$ ) sampel benda uji tanah asli + 5% pasir dengan variasi campuran larutan sementasi bakteri terjadi kenaikan dan penurunan pada persentase 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Nilai kuat tekan bebas benda uji tanah asli + 5% pasir sebesar  $0,30 \text{ kg/cm}^2$ , sedangkan dengan penambahan variasi bakteri 5% =  $0,31 \text{ kg/cm}^2$ , 10% =  $0,31 \text{ kg/cm}^2$ , 15% =  $0,42 \text{ kg/cm}^2$ , 20% =  $41 \text{ kg/cm}^2$ , dan 25% =  $0,33 \text{ kg/cm}^2$ . Nilai kuat tekan bebas tertinggi terdapat pada penambahan larutan sementasi 15% sebesar  $0,42 \text{ kg/cm}^2$  dari sampel benda uji tanah asli + 5% pasir yang nilai kuat tekan bebasnya sebesar  $0,30 \text{ kg/cm}^2$ .

Dari hasil tes kuat tekan bebas sampel uji tanah gambut menggunakan alat UCS dengan penambahan variasi penambahan + 5% pasir dan bakteri 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% terdapat kenaikan dan penurunan pada kekuatan tanah gambut tersebut. Hal ini dikarenakan oleh penambahan larutan sementasi *bakteri subtilis* yang dapat membuat pori-pori partikel tanah gambut tertutup atau terisi oleh bakteri sehingga tanah gambut tidak mudah terjadi penurunan.

#### **5.4 Perbandingan Nilai Kuat Tekan Bebas Penelitian Ini Dari Stabilisasi Bio-Grouting Dengan Stabilisasi Lainnya.**

1. Prabowo .A (2018)

Tanah yang digunakan adalah tanah gambut dari desa semurep kecamatan Tuntang kabupaten semarang yang merupakan gambut matang sedang dengan distabilisasi 10% kapur ditambah 8% matos.

Dari hasil pengujian sifat fisik tanah gambut didapat hasil dengan kadar air sebesar 551,12% , berat spesifik 1,12, berat volume kering sebesar  $0,158 \text{ gm/cm}^3$  dan kadar air optimum sebesar 127,5%

## 2. Waruwu .A (2013)

Tanah yang digunakan adalah tanah gambut bagan siapiapi kabupaten rokan hilir provinsi riau yang merupakan peningkatan nilai kuat tekan tanah gambut akibat preloading.

Dari hasil pengujian sifat fisik tanah gambut didapat nilai kadar abu rendah berkisaran 6,28%, kadar serat diantara 33% - 67%, kadar air optimum sebesar 623,33%, dan berat isi kering 0,160 gr/cm<sup>3</sup>.

Perbandingan antara stabilisasi *bio-grouting* dengan stabilisasi dan material lainnya dapat dilihat pada tabel 5.5

**Tabel 5.5** perbandingan  $q_{umax}$  stabilisasi *bio-grouting* dengan stabilisasi lainnya

No	10% Kapur + 8% Matos Prabowo. A (2018)		Pasir dan <i>Bio-grouting</i> Penelitian ini		Akibat <i>Preloading</i> Waruwu. A (2013)	
	Beban	$q_{umax}$	Persentase	$q_{umax}$	Waktu	$q_{umax}$
1	1 kg	1,1 kg/cm <sup>2</sup>	0%	0,30 kg/cm <sup>2</sup>	10 kpa 1 hari	0,09 kg/cm <sup>2</sup>
2	2 kg	1,6 kg/cm <sup>2</sup>	5%	0,31 kg/cm <sup>2</sup>	20 kpa 1 hari	0,11 kg/cm <sup>2</sup>
3	3 kg	1,8 kg/cm <sup>2</sup>	10%	0,31 kg/cm <sup>2</sup>	10 kpa 2 hari	0,12 kg/cm <sup>2</sup>
4			15%	0,42 kg/cm <sup>2</sup>	20 kpa 2 hari	0,14 kg/cm <sup>2</sup>
5			20%	0,41 kg/cm <sup>2</sup>		
6			25%	0,33 kg/cm <sup>2</sup>		

Dari perbandingan tabel 5.4 diatas, nilai kuat tekan bebas maksimal ( $q_{umax}$ ) tertinggi pada tanah gambut dengan stabilisasi 10% kapur + 8% matos sementara nilai ( $q_{umax}$ ) terendah pada akibat *preloading*, dan ternyata pada penambahan pasir dan *bio-grouting* dengan variasi penambahan bakteri 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% terjadi peningkatan nilai kuat tekan bebas tanah gambut tersebut.

## 5.5 Prilaku Keruntuhan

Analisis bentuk keruntuhan pada pengujian kuat tekan bebas pada sampel benda uji dilakukan dengan mengamati sketsa bentuk keruntuhan pada benda uji.



Bentuk keruntuhan yang terjadi pada benda uji sangat bervariasi pada setiap sampel benda uji.

Pada pengujian ini, sampel benda uji diletakkan pada alat kuat tekan bebas (UCS). Pada pembebanan sampel benda uji terdesak turun kebawah dan ukuran benda uji akan berubah. Semakin bertambah bebannya, maka semakin mendesak pulak tanah dan pasir pada sampel benda uji. Hal ini disebabkan karena tanah dan pasir pada sampel benda uji mengalami desakan yang turun akibat pembebanan.



**Gambar 5.5** bentuk keruntuhan uji kuat tekan bebas

Pada pengujian ini sampel benda uji yang terletak ditengah alat yang akan mendapatkan beban. Dikiri kanan sampel benda uji terlihat pergeseran dengan jelas disebabkan karena pembebanan yang diberikan. Tetapi penurunan yang



terjadi sebelum keruntuhan cukup besar dan bidang runtuh yang kontinu tidak berkembang, karena penambahan beban belum maksimal. Model benda uji yang kecil bila dibandingkan dengan pengujian lainnya menjadi kendala dalam pengujian ini, sehingga tidak bisa memberikan hasil yang maksimal, tetapi sudah menunjukkan kecenderungan terjadinya keruntuhan geser umum (*general shear failure*). hal yang demikian juga ditandai pada saat keruntuhan akibat beban secara bertahap turun kebawah dan selanjutnya tanah dan pasir pada sampel benda uji mengembang kesamping. Kemudian terjadi retakan dan gerakan pada sampel benda uji. Karena pembebanan hanya dibatasi sampai dengan penurunan kekuatan sampel benda uji dan tidak terjadi penggulingan. Meskipun pola keruntuhan tidak terlihat dengan jelas tetapi sudah menunjukkan gejala terjadi keruntuhan geser umum.

Efek dari *bakteri subtilis* pada rekayasa tanah gambut belum sepenuhnya ditemukan. Karena tanah gambut memiliki kandungan organik yang sangat tinggi, sehingga semakin besar kadar air yang terkandung pada tanah gambut semakin kecil daya dukung kekuatannya. Selain itu, tanah gambut mempunyai harga pemampatan yang tinggi yang dilakukan dengan perilaku terhadap beban yang bekerja di atasnya. Dilihat dari karakteristik tanah gambut tersebut, dikhawatirkan konstruksi akan mengalami kegagalan karena daya dukung tanah gambut yang sangat rendah.

## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian kuat tekan tanah gambut dengan menggunakan campuran pasir dan *bio-grouting* teknik dengan bantuan bakteri *bacillus subtilis* didapat hasil sesuai dengan tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

hubungan antara nilai kuat tekan ( $q_{umax}$ ) sampel benda uji tanah asli + 5% pasir dengan variasi campuran larutan sementasi bakteri pada persentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Nilai kuat tekan bebas benda uji tanah asli + 5% pasir sebesar  $0,30 \text{ kg/cm}^2$ , sedangkan dengan penambahan variasi bakteri 5% =  $0,31 \text{ kg/cm}^2$ , 10% =  $0,31 \text{ kg/cm}^2$ , 15% =  $0,42 \text{ kg/cm}^2$ , 20% =  $41 \text{ kg/cm}^2$ , dan 25% =  $0,33 \text{ kg/cm}^2$ . Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada penambahan larutan sementasi 15% sebesar  $0,42 \text{ kg/cm}^2$  dari sampel benda uji tanah asli + 5% pasir yang nilai kuat tekan bebasnya sebesar  $0,30 \text{ kg/cm}^2$ .

### 6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah :

- a. Kedepannya tambah jumlah variasi sampel yang lebih banyak untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.
- b. Kedepannya perlu dihitung jumlah  $\text{CaCO}_3$

## DAFTAR PUSTAKA

- Afriani, 2008, Pengaruh Penambahan Tanah Pasir Pada Tanah Lempung.
- Browles, 1989, Sifat-Sifat Fisik Dan Geoteknis Tanah, Edisi Ke-2, Erlangga, Jakarta.
- Craig, R, F, 1987, Mekanika Tanah, Edisi Ke Empat, Erlangga, Jakarta.
- Dass, 2008, *Advanced Soil Mechanics, Third Edition, Publishing By Taylor And Francis*, New York, U.S.A
- Dass, Braja M., 1995, Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis), Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- DeJong, J.T. 2006. Teknologi *Grouting* Secara Biologi Yang Di Kenal Dengan Teknologi *Biogrouting* Melalui Mekanisme Pengendapan Kalsium Karbonat.
- Fatnanta, 2014, Pengaruh Kadar Lempung dan Kadar Air Pada Sisi Basah Terhadap Nilai CBR Pada Tanah Lempung Kepasiran.
- Junaidi., Dkk, 2018, Potensi Likulfaksi Tanah Pasir Diatas Tanah Lunak Dengan Variasi Tebal Penimbunan Pasir Melalui Uji Model Laboratorium, JOM. FTEKNIK, 5(1) Univesitas Riau, Pekanbaru.
- Karol, R, H, 2003, *Cemical Grouting and Soil Stabilization*, New York. P558
- Lee, Young Nam., 2003, *Calcite Production By Bacillus. Jurnal Of Microbiology*. Volume 4, Nomor 4.
- Lynda, 2013, Karakteristik Kuat Geser Tanah dengan Metode Stabilisasi *Biogrouting* Bakteri *Bacillus Subtilis*.
- Pangesti, D. R, 2005, Pedoman *Grouting* Untuk Bendungan, Dapertemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Sumber Daya Air, Direktorat Sungai, Danau dan Waduk, Jakarta.
- Parlan, 2016, Pengaruh Jumlah Plat *Helical* Terhadap Daya Dukung Pondasi Tiang *Helical* Pada Tanah Gambut. JOM. FTEKNIK 3(2) Universitas Riau, Pekanbaru.

- SK SNI-5-04-1989-F. Pasir Yang Baik Digunakan Untuk Sebuah Konstruksi
- SNI 1964-2008 Cara Uji Berat Jenis Tanah
- SNI 1965-2008 Cara Uji Penentuan Kadar Air Untuk Tanah dan Batuan Di Laboratorium
- SNI 8460-2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik
- SNI-02-2801-1998. Standar Urea
- Soesanto, L, 2008, Pengantar Pengendalian Hayati Penyakit Tanaman, PT Raja Grafindo Persada, Jakarta 574 hlm
- Syarif, F, Dkk., 2020, Penerapan Teknik *Biocementation* Oleh *Bacillus Subtilis* dan Pengaruhnya Terhadap Permeabilitas Pada Tanah Organik.
- Terzaghi, 1987, Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa, Erlangga, Jakarta
- Van Passen, La, 2009, *Bio-Grouting, Ground Improvement By Microbial Indured Carbonate Precipitation*, Delft University Of Technology, Pp 202.
- Wardana IGN., Wardata I., 2010, Korelasi Strain Rate dengan Kadar Organik Pada *Test* Konsolidasi Metode *Constant Rate Of Strain*, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Volume 14, Nomor 1 : 43-56.
- Waruwu, A, 2013, Peningkatan Kuat Tekan Tanah Gambut Akibat *Preloading*.
- Willy, 2015, Pengujian Kuat Geser Langsung Dengan Mencampurkan Tanah Lempung Dengan Pasir Dengan Persentase Campuran 10%, 20%, 30% dan 40%.