

**STUDI EKSPERIMENTAL PENERAPAN TEKNIK *MICROBIALLY
INDUCED CALCITE PRECIPITATION* TERHADAP SIFAT
PERMEABILITAS TANAH GAMBUT**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Sipil
Universitas Islam Riau
Pekanbaru*



OLEH

DWIRA PANDIANGAN

153110568

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

2021

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Alhamdulillah rabbil'alamin, segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat-Nya berupa akal, pikiran serta kesehatan jasmani dan rohani kepada penulis sehingga tetap semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini sesuai harapan. Salawat dan salam senantiasa tercurah kepada nabi besar Muhammad SAW karena berkat perjuangan beliau kita bisa menikmati ilmu pengetahuan hingga saat ini.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini merupakan sebuah tanggung jawab sebagai seorang mahasiswa yang akan menyelesaikan studinya dibangku perkuliahan. Melalui proses yang panjang akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul "**Studi Eksperimental Penerapan Teknik *Microbially Induced Calcite Precipitation* Terhadap Sifat Permeabilitas Tanah Gambut**". Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh metode MICP dan berapa besar permeabilitas tanah gambut.

Harapan untuk tugas akhir ini agar bisa bermanfaat mahasiswa/i Teknik Sipil, masih terdapat kekurangan dalam menyusun tugas akhir ini, maka dari itu kritik dan saran sangat diharapkan dari pembaca agar kedepannya bisa lebih baik lagi.

Pekanbaru, Maret 2021

Dwira Pandiangan

UCAPAN TERIMA KASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan 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. 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, S.Si.,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.
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 dan Dosen Penguji.
7. Ibu Sapitri, ST.,MT, Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
8. Bapak Firman Syarif, ST., M.Eng, sebagai Dosen Pembimbing dan Ka. Lab Mekanika Tanah
9. Bapak Mahadi Kurniawan, ST.,MT., sebagai Dosen penguji.
10. Bapak dan Ibu Dosen pengajar Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

11. Seluruh karyawan dan karyawan fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
12. Teristimewa Ayahanda Lamhot Pandiangan dan Ibunda Tercinta Ny Pandiangan, sebagai Orang Tua yang selalu memberikan support dan mendo'akan yang terbaik serta sangat berperan dalam proses pendewasaan penulis.
13. Teruntuk Saudara-Saudaraku Tersayang Kak Sania, Adek Okta dan Jeremy yang memberikan dorongan serta semangat kepada penulis.
14. Teruntuk sahabat saya Muhammad Ridho Firdaus, Wahyudi Gultom, Daniel Sihombing, Yoki Indra, dan Sella yang menemani dan membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini..

Terima kasih atas segala bantuanya, semoga penelitian ini bermanfaat bagi kita semua dan semoga segala amal baik kita mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT. Amin...

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Pekanbaru, Juni 2021

Penulis
Dwira Pandiangan

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR NOTASI.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penulisan.....	3
1.4. Manfaat Penulisan.....	3
1.5. Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Umum	4
2.2. Penelitian Terdahulu	4
2.3. Keaslian Penelitian.....	7
BAB III LANDASAN TEORI.....	8
3.1. Umum	8
3.2. Tanah Gambut.....	9
3.3. Bio-Grouting dan Bakteri Bacillus Subtilis	10
3.4. Permeabilitas.....	10
3.5. MICP (MICROBIAL INDUCED CALCITE INDUCED).....	12
3.6. Bakteri Bacillus Subtilis.....	13
3.6.1. Klasifikasi Bacillus Subtilis	14
3.6.2. Karakteristik Bacillus Subtilis	15

BAB IV METODE PENELITIAN	16
4.1. Umum	16
4.2. Pengujian <i>Falling Head</i>	16
4.3. Pengujian dan Lokasi Pengambilan Sampel Tanah Gambut.....	16
4.4. Bahan Pengujian	16
4.4.1. Tanah Gambut.....	16
4.4.2. Bakteri.....	17
4.4.3. Urea.....	18
4.4.4. CaCl ₂ (Kalsium Kloride).....	19
4.5. Peralatan Pengujian.....	19
4.5.1. Peralatan Pengujian Pendahuluan	19
4.5.2. Peralatan pengujian utama (Pengujian Permeabilitas).....	22
4.6. Tahapan Penelitian.....	23
4.6.1. Mulai	23
4.6.2. Persiapan	23
4.6.3. Pengujian Pendahuluan.....	24
4.6.4. Pembuatan Larutan Sementara.....	27
4.6.5. Prosedur Pengujian Utama.....	29
4.6.6. Analisa Data.....	31
4.6.7. Bagan Alir	Error! Bookmark not defined.
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	33
5. 1. Umum	33
5. 2. Pendahuluan.....	33
5.2.1. Kadar air tanah asli	33
5.2.2. Berat Jenis (Gs).....	34
5.2.3. Pengujian pepadatan / <i>proctor test</i>	35
5.2.4. Pengujian gradasi	35
5.2.5. Sifat-sifat Tanah Gambut.....	37

5. 3. Pengujian Permeabilitas Tanah Gambut Dengan Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	38
---	----

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN..... 47

6.1. Kesimpulan	47
6.2. Saran	47



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR NOTASI

%	= persen
A	= luas (cm ²)
a	= luas buret
Cm	= centimeter
Cm ²	= centimeter persegi
Cm ³	= centimeter kubik
gr	= gram
Gr/cm ³	= gram/centimeterkubik
Gs	= berat spesifik
Kg/cm ²	= kilogram / centimeter persegi
M ³	= meter kubik
Ml	= milliliter
Mm	= millimeter
Mol	= molekul
°C	= derajat celcius
OMC	= kadar air optimum (%)
P	= beban (kg)
Pt	= gambut (<i>peat</i>)
t/m ³	= ton / meterkubik
v	= volume cetakan (cm ³)
w	= berat tanah yang dipadatkan dalam cetakan
w	= kadar air (%)
h1	= ketinggian pada saat t=0
h2	= ketinggian pada saat t diperhitungkan
W1	= berat piknometer (gr)
W2	= berat piknometer dan bahan kering (gr)
W3	= berat piknometer + bahan + air (gr)
W4	= berat piknometer dan air (gr)

W_s = berat tanah kering (gr)

W_w = berat air (gr)



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. variasi nilai $\mu T^{\circ}c/\mu 20^{\circ}c$	12
Tabel 3.2. Kelas laju permeabilitas tanah	12
Tabel 4.1 Material campuran larutan sementasi	28
Tabel 5.1. Data pengujian kadar air (ASTM D2216-98).....	34
Tabel 5.2. Pengujian berat jenis (ASTM D 854-02).....	34
Tabel 5.3. Pemeriksaan Analisa Saringan Benda Uji.....	36
Tabel 5.4. Diameter ukuran saringan	36
Tabel 5.5. Sifat-sifat Tanah Gambut.....	38
Tabel 5.6. Data jumlah air per 2 menit awal sampel tanpa campuran atau 0%.....	38
Tabel 5.7. Data jumlah air per 2 menit awal campuran <i>bacillus subtilis</i> 5%	39
Tabel 5.8. Data jumlah air per 2 menit awal campuran <i>bacillus subtilis</i> 15%	39
Tabel 5.9. Data jumlah air per 2 menit awal campuran <i>bacillus subtilis</i> 25%	40
Tabel 5.10. koefisien permeabilitas sampel uji suhu air 26 ^o c.....	43
Tabel 5.11. koefisien permeabilitas 20 ^o c standar suhu air pengujian	45
Tabel 5.12. Perbandingan koefisien suhu air 26 ^o c dan 20 ^o c	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1	Tanah gambut.....	17
Gambar 4.2	Bahan bakteri bacillus subtilis	18
Gambar 4.3	Bahan Urea.....	18
Gambar 4.4	Bahan CaCl ₂	19
Gambar 4.5	Alat cawan.....	19
Gambar 4.6	Alat Timbangan Digital	20
Gambar 4.7	Alat oven dengan pengatur suhu	20
Gambar 4.8	Piknometer dan timbangan digital	21
Gambar 4.9	Kompur gas	21
Gambar 4.10	Alat cawan.....	21
Gambar 4.11	Alat botol air suling.....	22
Gambar 4.12	Alat uji pemadatan (<i>proctor</i>).....	23
Gambar 4.13	Alat Permeabilitas	24
Gambar 4.14	Pengujian kadai air sampel tanah asli	26
Gambar 4.15	Pengujian berat jenis	27
Gambar 4.16	Pengujian pemadatan (<i>proctor</i>).....	29
Gambar 4.17	Proses penyaringan larutan sementasi.....	30
Gambar 4.18	Skema alat permeabilitas <i>falling head</i>	30
Gambar 4.19	Diagram alir penelitian.....	32
Gambar 5.1	Hubungan Berat Volume Kering dan Kadar Air	35
Gambar 5.2	Grafik Hubungan Persentase Lolos Saringan Agregat Dengan Diameter Benda uji.....	37
Gambar 5.3	Tanah asli lolos air per 2 menit awal	41
Gambar 5.4	Tanah dengan campuran 5% lolos air per 2 menit awal ...	42
Gambar 5.5	Tanah dengan campuran 15% lolos air per 2 menit awal.....	42
Gambar 5.6	Tanah dengan campuran 25% lolos air per 2 menit awal.....	43
Gambar 5.7	Grafik koefisien permeabilitas suhu air 26 ^o c	44
Gambar 5.8	grafik koefisien permeabilitas suhu air 20 ^o c	45

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN A** : Analisa Data
LAMPIRAN B : Dokumentasi Penelitian
LAMPIRAN C : Administrasi Dalam Melakukan Penelitian



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

STUDI EKSPERIMENTAL PENERAPAN TEKNIK MICP TERHADAP SIFAT PERMEABILITAS TANAH GAMBUT

DWIRA PANDIANGAN
153110568

ABSTRAK :

Gambut adalah jenis tanah jenis tanah yang terbentuk dari akumulasi sisa-sisa tumbuhan yang setengah membusuk, oleh sebab itu, kandungan bahan organik nya tinggi. Mikroba pengendapan karbonat (MICP) yang diinduksi oleh denitrifikasi sebagai metode perbaikan tanah untuk mengetahui pengaruh permeabilitas tanah gambut. Dengan mencampurkan bakteri bertujuan untuk membuat koefisien permeabilitas menjadi lebih baik.

Metode pengujian penelitian dengan mengacu pada prosedur ASTM (American Society for Testing and Material) dan SNI, pengujian pendahuluan yaitu pengujian kadar air tanah asli, pengujian berat jenis tanah asli dan pengujian pemadatan standar (proctor test), untuk pengujian permeabilitas menggunakan metode falling head. Lokasi pengambilan tanah untuk sampel di Desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun Kabupaten Siak. Bakteri bacillus subtilis, CaCl₂ serta urea merupakan bahan pencampuran untuk sampel tanah gambut. Lokasi pengujian di lakukan di labor Teknik Sipil Universitas Islam Riau, pengumpulan data dilakukan sesuai standar laboratorium mekanika tanah.

Sifat fisik tanah gambut di Desa Buana Makmur km 55 ini termasuk jenis tanah asli dengan kadar air 407,5% dan berat spesifik (Gs) 1,3 gr. Kemudian dari hasil uji permeabilitas dengan penambahan bakteri 5%, 15% dan 25% memiliki nilai koefisien permeabilitas yang lebih baik dari pada sampel tanah asli dimana data 5% $K_{20}^{\circ}=5,109 \times 10^{-3}$, 15% $K_{20}^{\circ}=7,942 \times 10^{-3}$, 25% $K_{20}^{\circ}=8,855 \times 10^{-3}$ sedangkan koefisien tanah asli $K_{20}^{\circ}=2,546 \times 10^{-3}$ cm/detik.

Kata Kunci : Teknik *Biogrouting*, koefisien permeabilitas, *Bacteri Bacillus Subtili*

EXPERIMENTAL STUDY OF THE APPLICATION OF MICP TECHNIQUE ON THE PERMEABILITY PROPERTIES OF PEAT

DWIRA PANDIANGAN
153110568

ABSTRACT :

Peat is a type of soil type of soil that is formed from the accumulation of half-decayed plant remains, therefore, the content of organic matter is high. Microbial carbonate deposition (MICP) induced by denitrification as a soil improvement method to determine the effect of peat soil permeability. By mixing the bacteria aims to make the coefficient of permeability better.

The research testing method refers to the ASTM (American Society for Testing and Materials) and SNI procedures, preliminary testing is testing the original soil moisture content, testing the original soil density and testing standard compaction (proctor test), for permeability testing using the falling head method. The location for taking the soil for the sample was in Buana Makmur Village km 55 Dayun District, Siak Regency. *Bacillus subtilis* bacteria, CaCl_2 and urea are mixing materials for peat soil samples. The location of the test was carried out at the Civil Engineering laboratory of the Islamic University of Riau, data collection was carried out according to soil mechanics laboratory standards.

The physical properties of the peat soil in the village of Buana Makmur km 55 include the original soil type with a water content of 407.5% and a specific weight (Gs) of 1.3 g. Then from the results of the permeability test with the addition of 5%, 15% and 25% bacteria, the permeability coefficient value is better than the original soil sample where the data is 5% $K_{20^\circ} = 5,109 \times 10^{-3}$, 15% $K_{20^\circ} = 7,942 \times 10^{-3}$, 25% $K_{20^\circ} = 8.855 \times 10^{-3}$ while the original soil coefficient $K_{20^\circ} = 2.546 \times 10^{-3}$ cm/second.

Keywords: technique *Biogrouting*, permeability coefficient, *Bacillus Subtili*

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tanah gambut merupakan tanah yang berbahan induk dari sisa tumbuhan dengan proses dekomposisi *anaerobic* terhambat, hanya sedikit (<5%) mengandung tanah mineral yang berkrystal. Rangkaian penyusunnya berupa bahan karbon, yang mana bahan organik ini adalah rantai karbon yang sebagian besar berupa lignin, hemiselulosa dan humik. Tanah gambut juga bersifat sarang (porous) dan sangat ringan, sehingga mempunyai kemampuan menyangga sangat rendah, kandungan hara relative rendah dan banyak mengandung asam-asam organik yang menyebabkan pH gambut sangat rendah (pH antara 2,7 – 5,0). Kualitas tanah gambut dipengaruhi oleh bahan penyusun gambut, ketebalan, tingkat dekomposisi dan tata air serta lingkungan gambut tersebut (Wibowo, 2010).

Di Indonesia sebaran gambut terluas terdapat di tiga pulau besar (Sumatera, Kalimantan dan Papua) mencapai luas 14,9 juta hektar, tidak termasuk lahan gambut di pulau lainnya (Ritung *et al.*, 2011). Di pulau Sumatera, Provinsi dengan lahan gambut terluas yaitu, Provinsi Riau dengan luas \pm 4,04 juta Ha atau 56,1 % dari luas total lahan gambut di Sumatera. Siak merupakan salah satu Kabupaten di Riau yang memiliki daerah gambut yang cukup luas. Keberadaan daerah gambut ini menyebabkan pengembangan infrastruktur di Kabupaten Siak menjadi terhambat karena tingkat kesulitan yang tinggi dalam proses konstruksi di daerah rawa. Beberapa metode perbaikan tanah telah diterapkan pada tanah gambut berupa perbaikan tanah secara fisik, mekanis maupun kimia.

Inovasi yang sedang dikembangkan pada saat ini adalah teknologi *Biogrouting*. *Bio grouting* merupakan upaya perbaikan tanah dengan menggunakan bantuan metabolit sekunder bakteri. *Biogrouting* ini dapat meningkatkan sifat mekanik (kekuatan, kekakuan, kohesi, gesekan), menurunkan permeabilitas bahan berpori, memperkuat atau memperbaiki bahan semen dan memodifikasi sifat tanah atau pasir. Sistem kerja *Bio Grouting* adalah

pengendapan *calcite* oleh induksi *microbially, microbially induced calcite precipitation* (MICP).

Permeabilitas adalah tanah yang dapat menunjukkan kemampuan tanah meloloskan air. Tanah dengan permeabilitas tinggi dapat menaikkan laju infiltrasi sehingga menurunkan laju air larian. Pada ilmu tanah, permeabilitas didefinisikan secara kualitatif sebagai pengurangan gas-gas, cairan-cairan atau penetrasi akar tanaman atau lewat (Syarif dkk 2020).

Permeabilitas juga merupakan pengukuran hantaran hidraulik tanah. Hantaran hidraulik tanah timbul akibat adanya pori kapiler yang saling bersambungan dengan satu dengan yang lain. Secara kuantitatif hantaran hidraulik jenuh dapat di artikan sebagai kecepatan Bergeraknya suatu cairan pada media berpori dalam keadaan jenuh. Dalam hal ini sebagai cairan adalah air dan sebagai media pori adalah tanah. Penetapan hantaran hidraulik didasarkan pada hukum Darcy.

Bacillus adalah bakteri berbentuk 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 genetic dan muda pula dibiakkan sehingga dapat di kembangkan pada skala industri (Soesanto, 2008).

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian berikut adalah:

1. Bagaimana pengaruh metode MICP terhadap tanah gambut?
2. Berapa besar permeabilitas tanah gambut ?

1.3. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penulisan berikut adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh metode MICP terhadap permeabilitas tanah gambut.
2. Untuk mengetahui berapa besar permeabilitas tanah gambut.

1.4. Manfaat Penulisan

Manfaat penulisan yang dapat diambil yaitu:

1. Manfaat yang didapat yaitu mendalami ilmu teknik sipil tentang perbaikan tanah.
2. Bagi para pelaku usaha konstruksi untuk member pengetahuan baru penerapan teknik *bio grouting*.

1.5. Batasan Masalah

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

1. Menghitung berapa persen pengaruh menggunakan metode *MICP* terhadap permeabilitas tanah gambut
2. Penelitian ini dibatasi pada skala laboratorium.
3. Hanya membahas permeabilitas tanah gambut yang berasal dari daerah Siak.
4. Penelitian ini menggunakan bakteri *bacillus subtilis*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Tinjauan pustaka memuat tentang hasil-hasil penelitian yang didapat oleh peneliti terdahulu serta memiliki hubungan yang erat dengan penelitian yang sedang dilakukan yang dapat membantu memberikan solusi untuk pemecahan masalah pada penelitian yang sedang dilakukan. Beberapa referensi diantaranya yang melakukan penelitian terkait dengan perbaikan tanah dan permeabilitas tanah.

2.2. Penelitian Terdahulu

Beberapa hasil penelitian yang pernah dilakukan pada pondasi antara lain sebagai berikut ini:

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) memiliki waktu yang lama untuk mengeluarkan air dari tabung / permeabilitas lebih rendah dari pada sampel 2 (tanpa reagen). Hal ini disebabkan oleh penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* yang dapat membuat pori-pori partikel tanah organik tertutup atau diisi bakteri sehingga air tidak mudah mengalir.

Vinh Pham (2013) telah melakukan penelitian yang berjudul “*Mikroba pengendapan karbonat (MICP) yang diinduksi oleh denitrifikasi sebagai metode perbaikan tanah - Kontrol proses dalam kolom pasir percobaan*” Curah hujan kalsit yang disebabkan oleh mikroba telah terbukti efisien dalam menstabilkan tanah granular, khususnya dengan hidrolisis urea, seperti yang telah berhasil ditunjukkan dalam aplikasi percontohan 2010. Namun, sebagai produk sampingan larutan amonium klorida (NH_4Cl) yang sangat pekat diproduksi, yang harus dihilangkan dan dibuang membentuk kelemahan signifikan dari teknik yang

membuat proses alternatif seperti denitrifikasi lebih disukai. Bukti prinsip pengendapan kalsit yang diinduksi mikroba (MICP) dengan denitrifikasi telah ditunjukkan oleh Van Paassen et al (2010) yang menyarankan bahwa alih-alih menghasilkan limbah sebagai produk sampingan, berbeda pra-pengolahan aliran limbah dapat digunakan sebagai substrat untuk pertumbuhan in situ bakteri denitrifikasi dan sementasi simultan tanpa menghasilkan limbah untuk dibuang. Dalam penelitian ini eksperimen kolom pasir dilakukan di mana kalsium karbonat berhasil diendapkan oleh mikroorganisme denitrifikasi asli, yang disuplai setiap minggu dengan pulsa larutan substrat yang mengandung kalsium asetat dan kalsium nitrat. Selain itu produksi kalsit dan pertumbuhan bakteri dalam biofilm, reduksi nitrat menghasilkan produksi gas (nitrogen). Hasil ini menunjukkan hal itu ada penurunan permeabilitas yang cukup besar - faktor reduksi hingga 18 - untuk pasir dengan partikel rata-rata ukuran 0,1 mm. Pasir kasar dengan D50 0,25 mm menghasilkan pengurangan permeabilitas yang lebih rendah. Yang diamati pengurangan permeabilitas dan gambar CT scan meningkatkan pemahaman proses biokimia di dalam media berpori pada skala kolom dan akan membantu meningkatkan proses ini untuk aplikasi komersial.

Vin Pham, Van Paassen, Nakano, Kanayama, dan Heimovaara (2015) telah melakukan penelitian yang berjudul "*Model transport-reaktif generik untuk mensimulasikan pengendapan mineral yang dipengaruhi secara mikroba dalam media berpori*" Distribusi spasial dan temporal dari mineral endapan adalah salah satu faktor kunci yang mengatur berbagai proses dalam lingkungan bawah permukaan, termasuk korosi yang dipengaruhi secara mikro (MIC), bio-sementasi (van Paassen et al., 2010) dan diagenesis sedimen (Paraska et al., 2014). Curah hujan mineral tidak hanya mempengaruhi jaringan reaksi keseluruhan, tetapi juga secara fisik saling berhubungan dengan sifat-sifat transportasi dari lingkungan bawah permukaan (Pintelon et al., 2012). Kehadiran bakteri di bawah permukaan sangat mempengaruhi proses presipitasi mineral. Kami menerapkan pemodelan matematika untuk menyelidiki proses presipitasi mineral yang dipengaruhi secara mikroba di bawah berbagai kondisi lingkungan. Konsentrasi batas zat terlarut

yang berbeda dan jarak antara batas dianggap memiliki efek dominan pada besarnya dan posisi dan lebar mineral yang diendapkan. Kami mempelajari presipitasi mineral yang diinduksi oleh MICP, sebuah proses yang dapat diartikan sebagai proses presipitasi mineral pencampuran difusi ganda seperti yang ditunjukkan pada. Terjadinya biokorosi melepaskan ion logam dari permukaan logam dan menciptakan gradien konsentrasi ion logam menuju daerah reaksi. Ion logam yang dilepaskan bereaksi dengan anion yang ada, misalnya karbonat, dan menginduksi gradien konsentrasi anion dari batas yang jauh ke daerah reaksi. Konsentrasi anion di batas jauh terus diisi ulang oleh air tanah. Sementara itu, konsentrasi ion logam pada permukaan logam dipertahankan oleh korosi logam. Gradien konsentrasi menyebabkan difusi molekuler dari permukaan logam dan batas jauh ke arah daerah reaksi, dan menghasilkan presipitasi mineral. Dua fungsi bakteri dibedakan dalam endapan mineral yang diinduksi MICP pengaruh biokorosi dan pembentukan biomassa. Efek bakteri dalam konfigurasi difusi ganda secara implisit termasuk dalam batas korosi besi, dan pembentukan biomassa secara eksplisit digunakan di daerah reaksi. Dalam hal pengisian lahan tidak bergaris, kebocoran polutan anorganik dan organik dapat diartikan sebagai batas difusi sementara pengisian air tanah diperlakukan sebagai batas difusi lainnya. Demikian pula, konfigurasi difusi ganda yang sama dapat diterapkan untuk menyelidiki curah hujan mineral terkait lindi yang terkait dengan dimasukkannya kegiatan mikroba. Penghapusan logam berat melalui pengendapan mineral, di satu sisi, membantu memurnikan air tanah dan tanah yang terkontaminasi; di sisi lain, akumulasi massa padat dapat berfungsi sebagai mekanisme penyumbatan untuk mengurangi aliran lindi. Dengan bantuan model kami, kami memperoleh wawasan yang lebih komprehensif tentang hubungan antara pengembangan presipitasi mineral yang dipengaruhi secara mikroba dan kondisi lingkungan.

Penelitian yang berjudul "*Karakterisasi bahan semen mikroba*" Semen generasi baru, semen mikroba, telah dikembangkan sebagai tanggapan terhadap kesadaran yang semakin meningkat akan perlindungan lingkungan. Semen

mikroba adalah bahan penguatan baru berdasarkan pengendapan kalsium karbonat yang diinduksi secara mikrobiologis. Makalah ini mengkonfirmasi kelayakan mengikat partikel pasir longgar menggunakan semen mikroba dan merinci mekanisme sementasi semen mikroba. Kami juga telah menyiapkan bahan semen mikroba (biosandstones). Kekuatan tekan bio-sandstone, yang tergantung pada kandungan kalsium karbonat yang dihasilkan oleh presipitasi yang diinduksi secara mikroba dan ukuran kristal kalsit yang dimediasi-bio, bisa mencapai 12 MPa pada usia 20 hari. Dengan meningkatkan kandungan kalsit yang diendapkan, kekuatan tekan dan struktur mikro bio-sandstone dapat ditingkatkan.

2.3. Keaslian Penelitian

Judul yang diajukan oleh peneliti dalam penelitian Tugas Akhir ini memang terdapat kesamaan dengan judul-judul peneliti terdahulu tetapi memiliki perbedaan-perbedaan seperti lokasi penelitian, kondisi tanah, dan campuran. Maka dari itu seluruh penelitian ini adalah benar hasil penelitian penulis dan penelitian ini belum pernah diteliti sebelumnya sebagai obyek penelitian Tugas Akhir.

BAB III LANDASAN TEORI

3.1. Umum

Tanah merupakan suatu sistem terpadu yang saling terkait dalam berbagai kondisi fisik, kimia serta proses biologi yang secara nyata dipengaruhi oleh factor lingkungan. Tanah juga merupakan habitat, kompleks yang dinamis dan hidup untuk sejumlah besar organisme, termasuk wakil-wakil dari semua kelompok mikroorganisme, alga, dan hampir semua filum hewan. Seperti yang kita ketahui bahwa mikroorganisme dalam tanah memiliki peranan penting dalam mempertahankan kualitas tanah dan keseimbangan ekosistem, dan berpotensi sebagai indikator biologis yang sensitif dalam perubahan lingkungan. Mikroorganisme tanah menyediakan keterkaitan biologi dengan lingkungan fisik dan kimia tanah, mempengaruhi lingkungan, dan pada gilirannya terpengaruh oleh lingkungan itu sendiri (Rai et al., 2010).

Kriteria kesuburan tanah ditentukan oleh kombinasi tiga faktor yang saling berinteraksi, yaitu faktor fisis, khemis dan biologis. Karakteristik fisis dan khemis tanah dapat dipahami lebih sempurna daripada karakteristik biologis-nya. Oleh karenanya lebih banyak diketahui status fisis dan khemis tanah, dan sedikit informasi tentang status biologis tanah. Memang ada sedikit kesulitan dalam menentukan status biologis tanah, karena substansinya bersifat hidup, dinamis dan dapat mengalami perubahan pada ruang dan waktu. Sifat dinamis pada status biologis tanah ini memberikan peluang besar dalam pengelolaannya. Status biologis tanah dapat memberikan peringatan dini adanya degradasi tanah, sehingga memungkinkan untuk menerapkan praktek-praktek pengelolaan lahan yang lebih berkelanjutan.

Tanah dihuni oleh bermacam-macam mikroorganisme, mikroorganisme tanah seperti bakteri dan jamur sangat mempengaruhi kesuburan tanah, oleh karena itu mikroorganisme merupakan salah satu aspek penting yang berperan dalam pembentukan suatu ekosistem. Mikroorganisme tanah juga bertanggung

jawab atas pelapukan bahan organik dan pendauran unsur hara, dengan demikian mikroorganisme mempunyai pengaruh terhadap sifat kimia dan fisik tanah.

Enzim Tanah adalah sekelompok enzim yang biasa dalam tanah dan peran penting dalam mempertahankan ekologi tanah, sifat fisik dan kimia, kesuburan dan kesehatan tanah. Enzim-enzim ini berfungsi biokimia dalam keseluruhan proses dekomposisi bahan organik dalam sistem tanah.

Aktivitas enzim dalam tanah adalah terutama dari mikroba, berasal dari intraseluler, sel yang terkait atau enzim bebas. Keseimbangan yang unik dari komponen kimia, fisika, dan biologi (termasuk mikroba terutama aktivitas enzim) berkontribusi untuk menjaga kesehatan tanah. Dengan demikian untuk melakukan evaluasi kesehatan tanah memerlukan indikator dari semua komponen tersebut (Das and Ajit, 2011).

Kadar C-organik berpengaruh nyata terhadap aktivitas enzim dehidrogenase, semakin tinggi kadar C-organik tanah semakin tinggi aktivitas enzim dehidrogenase. Dari hasil pengamatan aktivitas aktivitas dehidrogenase serta produksi CO₂-tanah terlihat ada sedikit perbedaan tingkat kadar C-organik terhadap aktivitas mikroba tanah. Pengukuran aktivitas mikroba tanah berdasarkan produksi CO₂ memberikan hasil kadar C-organik yang lebih rendah dibanding dengan berdasarkan aktivitas dehidrogenase. Hal ini disebabkan CO₂ merupakan produk akhir dari proses respirasi mikroba aerob sedangkan aktivitas dehidrogenase untuk pengukuran aktivitas mikroba tanah secara keseluruhan.

3.2. Tanah Gambut

Tanah gambut adalah bahan organik setengah lapuk berserat atau suatu tanah yang mengandung bahan organik berserat dalam jumlah besar. Gambut mempunyai angka pori yang sangat tinggi dan sangat kompresibel (Dunn dkk, 1980). Tanah gambut umumnya berwarna coklat tua sampai dengan hitam karena terbentuk dari proses pelapukan dan pembusukan tumbuh tumbuhan, maka tanah gambut memiliki bau yang khas.

Proses pembentukan tersebut menyebabkan tanah gambut mempunyai sifat fisik maupun sifat teknis yang tidak menguntungkan untuk bangunan sipil yang berada di atas tanah gambut. Sifat fisik tersebut antara lain kadar air (W_c) yang mencapai 900%, berat volume tanah yang cukup kecil ($0,8 - 1,04 \text{ gr/cm}^3$), angka pori yang besar berkisar antara 5-15, dan kandungan organik yang tinggi $>75\%$ (Mochtar, NE., 2010, 2012, 2014, 2015).

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

Berdasarkan tingkat ketebalan gambutnya, daerah penelitian tergolong ke dalam gambut dangkal (50-100 cm) dan gambut sedang (100- 200 cm). Ketebalan gambut yang berbeda- beda dapat mempengaruhi tingkat kesuburan gambut. Semakin tebal gambut kesuburannya semakin menurun sehingga tanaman akan sulit mencapai lapisan mineral yang berada di lapisan bawahnya.

3.3. Bio-Grouting

Bio-grouting adalah metode stabilisasi ramah lingkungan baru untuk menstabilkan tanah lunak dengan menerapkan mikro organisme. Mikro organisme menghasilkan CaCO_3 , yang mengisi kekosongan partikel tanah dan mengikat partikel. 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.

3.4. Permeabilitas

Permeabilitas ini merupakan suatu ukuran kemudahan aliran melalui suatu media poros. Secara kuantitatif permeabilitas diberi batasan dengan koefisien

permeabilitas. Beberapa faktor yang mempengaruhi permeabilitas di antaranya tekstur tanah, bahan organik tanah, kerapatan massa tanah (bulk density), kerapatan partikel tanah (particle density), porositas tanah, dan kedalaman efektif tanah.

Di dalam sifat tanah, sifat aliran mungkin laminar atau turbulen. Tahanan terhadap aliran bergantung pada jenis tanah, ukuran butiran, bentuk butiran, rapat massa, serta bentuk geometri rongga pori. Tempertur juga sangat mempengaruhi tahanan aliran. Walalupun secara teoritis, semua jenis tanah mempunyai rongga pori, dalam kenyataannya istilah untuk tanah yang mudah meloloskan air (permeable) dimaksudkan untuk tanah yang memang benar-benar mempunyai sifat meloloskan air. Sebaliknya, tanah disebut kedap air (*impermeable*), bila tanah tersebut mempunyai kemampuan meloloskan air yang sangat kecil (Hardiyatmo, 2012). Tanah adalah granulasi struktur yang membentuk pori-pori yang saling berhubungan. Kemampuan air untuk menembus tanah media dilambangkan sebagai koefisien permeabilitas (k). Untuk menentukan koefisien permeabilitas, yaitu metode dengan *constant head* dan *falling head*.

Debit rembesan dapat dihitung dengan persamaan :

$$q = k \frac{h}{L} A = -a \frac{dh}{dt} \quad (1)$$

$$dt = \frac{a L}{A k} \left(- \frac{dh}{h} \right) \quad (2)$$

Hasil integral dari persamaan tersebut:

$$t = \frac{a L}{A k} \log \frac{h_1}{h_2} \quad (3)$$

$$K = 2,303 \frac{a L}{A t} \log \frac{h_1}{h_2} \quad (4)$$

Suhu air yang digunakan pada pengujian permeabilitas ini yaitu menggunakan suhu ruangan 26°. Untuk data hasil pengujian permeabilitas dapat interpretasikan dengan menggunakan tabel interpretasi sebagai berikut:

Suhu air harus sesuai dengan standar ketetapan, biasanya dinyatakan dalam suhu 20°C dan berat volume air selama percobaan dianggap tetap ($\gamma_w(T1) \approx \gamma_w(T2)$), sehingga persamaannya menjadi $k_{20^\circ C} = \frac{\eta_{T^\circ C}}{\eta_{20^\circ C}} k_{T^\circ C}$

Tabel 3.1 variasi nilai $\eta_{T^\circ C}/\eta_{20^\circ C}$ (Uhland dan O'Neil (1951))

Temperature, T (°C)	$\eta_{T^\circ C}/\eta_{20^\circ C}$	Temperature, T (°C)	$\eta_{T^\circ C}/\eta_{20^\circ C}$
15	1.135	23	0.931
16	1.106	24	0.910
17	1.077	25	0.889
18	1.051	26	0.869
19	1.025	27	0.850
20	1.000	28	0.832
21	0.976	29	0.814
22	0.953	30	0.797

Berikut adalah tabel untuk menentukan keterangan dan simbol angka kelas laju permeabilitas.

Tabel 3.2 Kelas laju permeabilitas tanah (Uhland dan O'Neil (1951)).

Keterangan	Laju Permeabilitas cm/jam	Simbol Angka
Sangat Lambat	<0,13	1
Lambat	0,13 – 0,51	2
Agak Lambat	0,52 – 2,00	3
Sedang	2,00 – 6,35	4
Agak Cepat	6,35 – 12,70	5
Cepat	12,70 – 25,40	6
Sangat Cepat	>25,40	7

Banyak faktor yang mempengaruhi tingkat permeabilitas tanah, terutama tekstur, struktur, stabilitas agregat, porositas, distribusi ukuran pori dan kandungan bahan organik.

3.5. MICP (MICROBIAL INDUCED CALCITE INDUCED)

Sifat tanah yang tidak mampu memberikan dukungan fisika-mekanis yang diperlukan seringkali menjadi kendala dalam pemanfaatannya baik untuk pertanian maupun konstruksi. Cara-cara yang umum adalah dengan aplikasi bahan kimia yang tidak saja mahal, tetapi meningkatkan sifat-sifat tanah untuk keteknikan, seperti kekuatan, daya tahan beban, dan permeabilitas. Perbaikan sifat

geoteknik tanah dapat dicapai dengan memanfaatkan proses biologi alami (DeJong., 2009)

Pemikiran tentang pemanfaatan mikroba untuk perbaikan sifat mekanis tanah didasarkan pada kenyataan bahwa beberapa jenis mikroba mampu memantapkan agregat melalui perekatan partikel tanah oleh ekstrapolisakarida yang diproduksinya. Disisi lain ada mikroba sejenis yang mampu mengendapkan senyawa kalsium karbonat (CaCO_3) atau kalsit (mineral liat CaCO_3). Masing-masing proses tersebut yang pertama disebut dengan istilah *microbial induced calcite precipitation (MICP)* (DeJong, 2009)

3.6. Bakteri *Bacillus Subtilis*

Bacillus merupakan 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 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 tingkat klasifikasi sebagai berikut:

<i>Kingdom</i>	: <i>Bacteria</i>
<i>Phylum</i>	: <i>Firmicutes</i>
<i>Class</i>	: <i>Bacilli</i>
<i>Order</i>	: <i>Bacillales</i>
<i>Family</i>	: <i>Bacillaceae</i>
<i>Genus</i>	: <i>Bacillus</i>



3.6.2. Karakteristik *Bacillus Subtilis*

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 patogenesitas terhadap manusia dan binatang lain (holt, et al, 2000).

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.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1. Umum

Metode penelitian tugas akhir ini bersifat eksperimen (*research*). pada bab ini di jelaskan metode penelitian yang mencakup lokasi, alat, bahan, tahapan penelitian, serta prosedur dari pengujian pendahuluan dan pengujian utama. Dimana pengujian pendahuluan merupakan pengujian pada tanah gambut serta pengaplikasian biogrouting menggunakan bakteri *bacillus subtilis*, dan pengujian utama adalah permeabilitas tanah gambut.

4.2. Pengujian Falling Head

Falling Head test bertujuan untuk menentukan nilai koefisien permeabilitas tanah berbutir. Tanah terdiri dari butir-butir padat dan pori-pori (rongga) yang saling berhubungan satu sama lain. Melalui pori-pori tersebut, air didalam tanah dapat mengalir dengan mudah dari tempat yang mempunyai energi lebih tinggi ketempat yang mempunyai energi lebih rendah. Uji permeabilitas dengan tinggi energi turun (*falling head*) cock ini digunakan pada tanah gambut. Menunjukkan prinsip uji permeabilitas dengan metode *falling head* tersebut. Tanah benda uji dimasukkan ke dalam tabung, pipa pengukur didirikan diatas benda uji. Air dituangkan melalui pipa pengukur dan dibiarkan mengalir melawati benda uji.

4.3. Bahan Penelitian

Pada penelitian ini bahan-bahan yang digunakan adalah :

- a. Tanah gambut
- b. Bakteri *bacillus subtilis*
- c. Urea
- d. CaCl
- e. Air

4.4. Lokasi Penelitian

Penelitian yang bersifat eksperimen ini dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau, Pekanbaru, Riau, baik pada pengujian awal maupun

pengujian utama. Sedangkan pengambilan sampel tanah gambut diambil di Kec.Dayun, Kab. Siak, Riau.

4.4.1. Tanah Gambut

Sampel tanah gambut yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel tanah gambut dalam kondisi terganggu, disebabkan sampel tanah gambut diambil pada kedalaman $\pm 50 \text{ cm}$ dari permukaan tanah atas dengan menggunakan cangkul dan sekop, setelah itu sampel tanah gambut dibawa ke laboratorium untuk dikeringkan dengan cara menjemur dengan bantuan sinar matahari, kemudian sampel tanah gambut diayak hingga lolos saringan no.4.



Gambar 4.1 Tanah gambut

4.4.2. Bakteri

Bacillus merupakan 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.



Gambar 4.2 Bahan bakteri bacillus subtilis

4.4.3. Urea

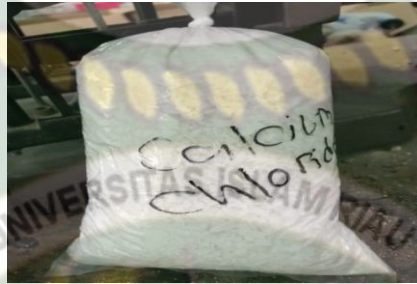
Urea merupakan senyawa kimia mengandung Nitrogen (N) berkadar tinggi. Unsur Nitrogen merupakan zat hara yang sangat diperlukan tanaman. Urea berbentuk butir-butir kristal berwarna putih. Urea dengan rumus kimia NH_2CONH_2 merupakan produk yang mudah larut dalam air dan sifatnya sangat mudah menghisap air (*higroskopis*), karena itu sebaiknya disimpan ditempat yang kering dan tertutup rapat. 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 4.3 Bahan Urea

4.4.4. CaCl_2 (Kalsium Kloride)

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 4.4 Bahan CaCl_2

4.5. Peralatan Penelitian

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

4.5.1. Peralatan Pengujian Pendahuluan

Berikut adalah alat-alat yang digunakan untuk pengujian sifat tanah:

a. Peralatan uji kadar air (*moisture concent*)

1. Cawan

Cawan merupakan alat yang biasa digunakan untuk membantu sebagai wadah pengujian.



Gambar 4.5 Alat cawan

2. Timbangan

Timbangan Digital adalah timbangan yang dapat menimbang sekaligus menghitung dengan cepat, akurat dan mudah digunakan di dalam maupun di luar ruangan.



Gambar 4.6 Alat Timbangan Digital

3. Oven dengan pengatur suhu

Oven listrik adalah oven yang menggunakan sumber panas dari tenaga listrik. Umumnya alat yang digunakan untuk menghasilkan panas tersebut dinamakan elemen.

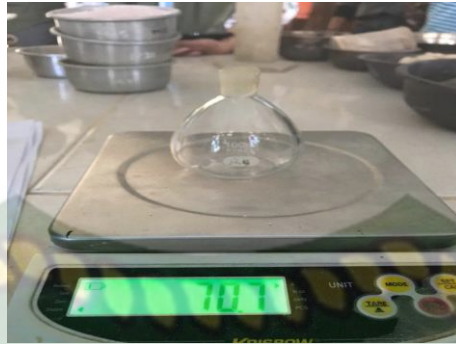


Gambar 4.7 Alat oven dengan pengatur suhu

b. Peralatan uji berat jenis

1. *Piknometer* dengan kapasitas minimal 100ml

2. Timbangan digital



Gambar 4.8 Piknometer dan timbangan digital

3. Kompor gas

Kompor gas adalah alat yang digunakan untuk memanaskan suatu benda padat menjadi cair, atau juga bisa digunakan untuk mematangkan suatu benda.



Gambar 4.9 Kompor gas

4. Botol air suling

Kegunaan botol air suling biasanya dipakai oleh peneliti untuk meneteskan air dan menyemprotkan air ke bahan atau benda yang akan di uji.



Gambar 4.10 Alat botol air suling

c. Peralatan uji pemadatan (*proctor*)

Alat-alat yang digunakan adalah :

1. Mold pemadatan \varnothing 4"
2. Palu pemadatan standar dengan berat 2,45 kg (5,5 lb)
3. Extruder mold
4. Pisau pemotong
5. Palu karet
6. Kantong plastic
7. Cawan
8. Pan
9. Gelas ukuran 1000 ml
10. Saringan no.4



Gambar 4.11 Alat uji pemadatan (*proctor*)

d. Alat-alat bantu lainnya seperti spatula, timbangan, penampang, oven, dan lain-lain.

4.5.2. Peralatan pengujian utama (Pengujian Permeabilitas)

- a. Stopwatch
- b. Pipet tetes
- c. Air 100ml
- d. Alat permeabilitas



Gambar 4.12 Alat Permeabilitas

4.6. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan suatu rangkaian penelitian yang dilakukan bertahap oleh peneliti dari awal hingga selesainya penelitian. Tahapan penelitian ini menunjukkan secara garis besar tahapan-tahapan pelaksanaan yang membuat peneliti melakukan penelitian secara teratur dan terarah. Berikut tahapan pelaksanaan penelitian dalam penyusunan tugas akhir ini :

1. Mulai

Tahapan awal sebelum melakukan persiapan dalam penelitian. Tahapan ini berupa pencarian data-data terhadap penelitian yang akan dilakukan.

2. Persiapan

Tahapan persiapan merupakan langkah utama yang dilakukan yaitu, mempersiapkan gambaran tentang skripsi yang akan dilakukan serta memilih masalah yang pantas untuk diteliti melalui studi literatur. Kemudian mencari lokasi proyek penelitian yang sesuai.

3. 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:

a. **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 ± 24 jam dengan suhu 80°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.

Prosedur pelaksanaannya yaitu (Laboratorium Mekanika Tanah, 2016) :

- a. Tanah yang akan diperiksa di tempatkan dalam cawan yang bersih, kering yang telah diketahui beratnya
- b. Cawan dan isinya kemudian ditimbang dan beratnya dicatat
- c. Cawan dimasukkan kedalam oven pengering hingga berat contoh tanah konstan (24 jam) oven suhu 80°C
- d. Cawan dan isinya kemudian didinginkan
- e. Setelah dingin, ditimbang dan beratnya dicatat.



Gambar 4.13 Pengujian kadar air sampel tanah asli

b. **Pengujian berat jenis (ASTM D 854-2).**

Sampel tanah diambil secukupnya untuk dimasukkan kedalam *oven* selama ± 24 jam dengan suhu 80°C . Tanah yang sudah mengering akibat proses di *oven* tadi, lalu disaring menggunakan saringan no. 4 dan diambil secukupnya. Kemudian tanah diambil secukupnya dimasukkan kedalam piknometer 50 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 listrik. Setelah udara dalam pori tanah menghilang, lalu ditambahkan air hingga ke bibir piknometer, lalu ditimbang.

Prosedur pelaksanaan (laboratorium mekanika tanah, 2016) :

a. Benda uji

1. Benda uji dipersiapkan dan dioven sampai kering dengan berat tidak boleh kurang dari 50 gram
2. Contoh didapat dengan menyaring tanah dengan saringan no.40
3. Benda uji dikeringkan dengan oven pada suhu 105-1100 C

b. Cara melakukan

1. Cuci piknometer dengan air suling dan keringkan. Timbang piknometer dan tutupnya dengan ketelitian 0,01 gram (W_1)
2. Masukkan benda uji kedalam piknometer dan timbang bersama tutupnya dengan ketelitian 0,01 gram (W_2)
3. Tambahkan air suling sehingga piknometer terisi 2/3 untuk bahan yang mengandung lebung diamkan benda uji terendam selama sedikitnya 24 jam.
4. Didihkan piknometer dengan hati hati selama minimal 10 menit, ketika pemanasan sedang berlangsung miringkan botolsekali kali untuk mempercepat pengeluaran udara yang tersekap
5. Isi piknometer dengan air suling,biarkan piknometer beserta isinya untuk mencapai suhu konstan (24 jam) didalam bejana air atau dalam kamar.
6. Sesudah suhu konstan tambahkan air suling seperlunya smapai batas,tutuplah piknometer, keringkan bagian luarnya dan timbang dengan ketelitian 0,1 gram (W_3),ukur suhu dan piknomter dengan ketelitian 10 celcius
7. Bila isi piknometer belum diketahui maka tentukan isi sebagai berikut kosongkan piknometer dan bersihkan,isi piknometer dengan air suling

yang suhunya sama dengan suhu pada C dengan ketelitian 10 C dan pasang tutupnya, keringkan bagian lurarnya dari piknometer dan timbang dengan ketelitian 0,01 gram dan koreksi terhadap suhu.



Gambar 4.14 Pengujian berat jenis

c. 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 3 kg per sampel, dibuat sebanyak 5 sampel. Kemudian ditambahkan air pada tanah dan diaduk rata, lalu tanah tersebut di diamkan selama 24jam guna untuk air meresap rata keseluruh tanah. 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 pada bagian atas, tengah dan bawah sampel lalu letakkan di dalam cawan. Lalu cawan yang berisi sampel tanah ditimbang terlebih dahulu, lalu masukkan kedalam oven dan didiamkan selama 24jam. Setelah 24jam sampel dikeluarkan dari oven lalu ditimbang kembali. Perbedaan berat sampel sebelum dan sesudah di oven adalah kadar air yang terkandung di dalam sampel. Pemeriksaan ini diulang dengan kadar air yang bervariasi. Data yang diperoleh adalah berat volume basah, kadar air dan volume kering. Dari data tersebut kemudian dicari kadar air optimum dan berat volume kering maksimum.



Gambar 4.15 Pengujian pemadatan (*proctor*)

d. Pengujian Gradasi (ASTM D-1140)

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

4. Pembuatan Larutan Sementasi

Larutan sementasi ini merupakan larutan campuran dari Urea dan CaCl_2 yang digunakan oleh bakteri untuk menghasilkan kalsit / CaCO_3 (Kalsium Karbonat).

Untuk pembuatan larutan sementasi harus disiapkan alat-alat dan bahannya, alat –alat yang dipakai yaitu, cawan, sendok, timbangan digital, wadah botol aqua, tabung piknometer, gelas ukur, cerocok dan kertas saring. Sedangkan untuk bahannya adalah bakteri, CaCl_2 , urea, dan air.

Tabel 4.1 Material campuran larutan sementasi

NO	BAHAN	JUMLAH
1	Bakteri	10 ml
2	Urea	1000 gr
3	CaCl ₂	10 gr
4	Air	50 ml

1. Pembuatan larutan Urea.

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

2. Pembuatan larutan CaCl₂

Sama dengan proses pembuatan Urea, langkah pertama untuk pembuatan larutan CaCl₂ adalah dengan mengambil air sebanyak 50 ml dan dimasukkan kedalam wadah, kemudian CaCl₂ diambil dan ditimbang seberat 10gr. Lalu CaCl₂ yang telah ditimbang sebesar 10gr tadi dimasukkan kedalam wadah yang sudah ada air sebanyak 50 ml, CaCl₂ 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 CaCl₂ 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. Kertas saringan ini lalu 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.



Gambar 4.16 Proses penyaringan larutan sementasi

5. Prosedur Pengujian Utama

Pada pengujian utama ini adalah pengujian permeabilitas. Dilakukan setelah seluruh pengujian pendahuluan dan pembuatan larutan sementasi telah selesai dilakukan.

Dilaboratorium Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Riau dilakukan pencampuran tanah dan larutan sementasi didalamnya sudah terkandung larutan bakteri *Bacillus subtilis*, dengan persentase sampel 1= 0%, sampel 2=5%, sampel 3=15%, sampel 4=25%

1. Persiapan bahan sampel uji

- a. Tanah gambut yang kering udara dan lolos saringan no.4
- b. Air
- c. Bakteri *Bacillus Subtillis*

Untuk pengujian permeabilitas ini, sampel tanah gambut yang dibutuhkan adalah sebanyak 4 sampel.

2. Pencetakan sampel dan Pencampuran Bakteri

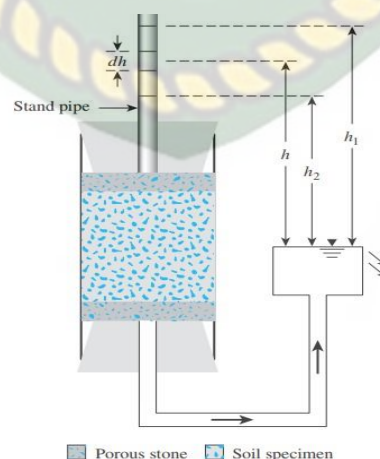
Sampel tanah gambut yang lolos saringan no.4 diambil sesuai dengan hasil berat isi kering, kemudian ditambah air sesuai dengan kadar air optimum yang diperoleh dari percobaan pemadatan standar, kemudian ditambahkan larutan bakteri *bacillus subtilis*. Pencampuran bakteri *bacillus subtilis* dicampurkan sesuai dengan persentase pencampuran yang telah ditetapkan. Sampel yang telah diaduk rata tersebut dimasukkan kedalam cetakan silinder sebanyak 3 lapisan. Setiap lapisan ditekan dengan alat proctor. Setelah sampel selesai dicetak kemudian didiamkan selama 24 jam dan direndam agar mencapai titik jenuh air.

- (1) sampel 1= 0%
- (2) sampel 2= 5%
- (3) sampel 3= 15%
- (4) sampel 4= 25%

3. Pengujian permeabilitas

Pada pengujian ini merupakan pengujian permeabilitas *falling head* (ASTM D5084). Pengujian dilakukan setelah pengujian pendahuluan dan pembuatan sampel yang telah dicampurkan dengan *bacillus subtilis*.

Dilaboratorium Fakultas Teknik Sipil dilakukan pengujian permeabilitas *falling head* sampel uji tanpa campuran, sampel campuran bakteri 5%, sampel campuran bakteri 15%, sampel campuran bakteri 25% .



Gambar 4.17 Skema alat permeabilitas *falling head*

(Sumber: publikasiilmiah.ums.ac.id)

6. Analisa Data

1. Pengolahan Data

Hasil data yang diperoleh dan didapatkan dari penelitian yang dilakukan diolah, kemudian hasil dari penelitian ditampilkan dalam bentuk tabel dan dibuat grafik.

2. Analisis Data

Dari rangkaian pengujian-pengujian yang dilaksanakan dilaboratorium, maka :

- a. Dari pengujian kadar air sampel tanah, diperoleh nilai kadar air tanah dalam persentase.
- b. Dari pengujian berat jenis sampel tanah, diperoleh berat jenis tanah.
- c. Dari pengujian batas-batas Atterberg, diperoleh nilai batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastis limit*), dan indeks plastisitas (*plastis indeks*) yang digunakan untuk mengklasifikasikan tanah dengan Sistem Klasifikasi *Unified*.
- d. Dari pengujian analisis saringan (*sieve analysis*), diperoleh persentase pembagian ukuran butiran tanah, yang akan digunakan untuk mengklasifikasikan tanah dengan Sistem Klasifikasi *Unified*.

Tahapan pelaksanaan penelitian, dapat dilihat pada bagan alir gambar.



Gambar.4.18 Diagram alir penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Umum

Bab ini menjelaskan hasil penelitian pengujian pendahuluan berupa pengujian kadar air tanah asli dengan standar (ASTM D 2216-98), berat spesifik (Gs) dengan standar (ASTM D 854-02), pengujian pemadatan / *proctor test* (ASTM D 698) dengan skala Laboratorium Mekanika Tanah Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau dan pengaruh larutan sementasi bakteri dengan menggunakan metode *bio-grouting* pada pengujian permeabilitas tanah gambut dengan metode *falling head* (ASTM D 5084).

5.2. Pendahuluan

Sebelum dilaksanakannya pengujian utama permeabilitas tanah gambut, maka dilakukan pengujian pendahuluan diantaranya adalah pengujian kadar air tanah asli, berat spesifik (Gs), dan pengujian pemadatan / *proctor test*. Setelah dilakukan pengujian, maka dapat diketahui sifat-sifat fisik tanah gambut antara lain kandungan bahan organik yang tinggi karena sampel tanah gambut berasal dari tanaman mati dalam keadaan lembab sehingga penggenangan permanen dan berat isi atau bulk desity sangat rendah sehingga dalam keadaan kering konsistensinya sangat lepas. Berdasarkan lokasi lingkungannya termasuk gambut sungai, pengambilan tanah gambut asli yang telah diuji diklasifikasi gambut secara iklim termasuk gambut tropis, dan berdasarkan urutan pembentukan termasuk gambut topogen.

5.2.1. Kadar air tanah asli

Pengujian kadar air dilakukan sesuai dengan prosedur pada ASTM D2216-98. Hasil dari pengujian kadar air yang dilakukan pada tanah uji didapatkan nilai kadar air sebesar 407,5%. 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 Pusat Litbang Prasarana Transportasi adapun nilai kadar air gambut berkisar antara 200% hingga mencapai 900%. Berikut adalah tabel pengujian kadar air.

Tabel.5.1 Data pengujian kadar air (ASTM D2216-98)

Huruf	Keterangan	Satuan	M7	M21
A	Berat Cawan	gr	63,2	62,7
B	Berat Cawan+Tanah Basah	gr	167,1	155,9
C	Berat Cawan+Tanah Kering	gr	84,1	80,7
D	Berat Air (B-C)	gr	83	75,2
E	Berat Tanah Kering (C-A)	gr	20,9	18
F	Kadar Air	%	397,129	417,778
G	Kadar Air Rata-Rata		407,453	

5.2.2. Berat Jenis (Gs)

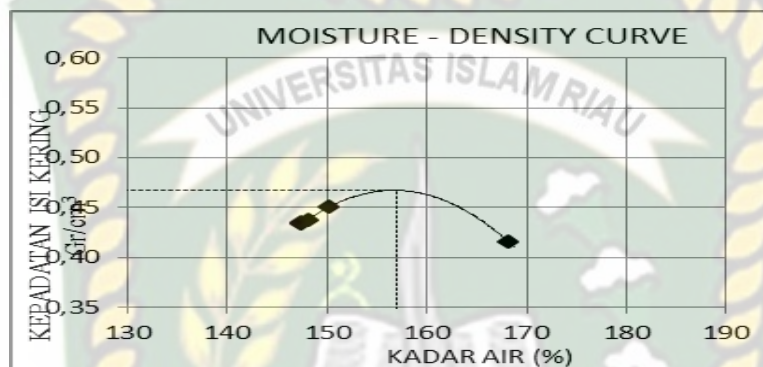
Pengujian Berat Spesifik (*Specific Gravity*) dilakukan berdasarkan ASTM D 854-02. Hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap tanah asli, nilai berat spesifik (Gs) tanah yang digunakan adalah sebesar 0,544. Nilai berat spesifik (Gs) diakibatkan karena adanya serat-serat kayu maupun kandungan organik lainnya pada tanah gambut. Berikut adalah tabel pengujian berat jenis.

Tabel.5.2 Pengujian berat jenis (ASTM D 854-02)

1	Piknometer No.	A9
2	Mass of picnometer M_1 gram	70,7
3	Mass of dry soil + picnometer M_2 gram	78
4	Mass of dry soil + water + picnometer M_3 gram	169
5	Mass of water + picnometer M_4 gram	167,3
6	Temperature t°C	
7	$A = M_2 - M_1$	7,3
8	$B = M_3 - M_4$	1,7
9	$C = A - B$	5,6
10	Spesific Gravity, $G_1 = A/C$	1,30

5.2.3. Pengujian pemadatan / proctor test

Pengujian ini berdasarkan (ASTM D 1557) pemadatan ini dilakukan untuk mendapatkan nilai berat isi kering maksimum (γ_d maks) tanah asli sebesar $0,467 \text{ gr/cm}^3$ dan kadar air optimum (OMC) tanah asli sebesar 157 %. Grafik Hubungan berat volume kering dan kadar air dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Hubungan Berat Volume Kering dan 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 pembandingan 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 $> 0,2 \text{ gr/cm}^3$ tanah gambut yang berasal dari Siak ini dikategorikan termasuk gambut *saprik* karena disebabkan pengaruh mineral tanah.

5.2.4. Pengujian gradasi

Pengujian ini berdasarkan ASTM D-1140 untuk menentukan gradasi tanah menggunakan saringan. Pada pengujian ini berat benda uji yaitu 134,5 gr dan dapat dilihat pada lamiran A1.

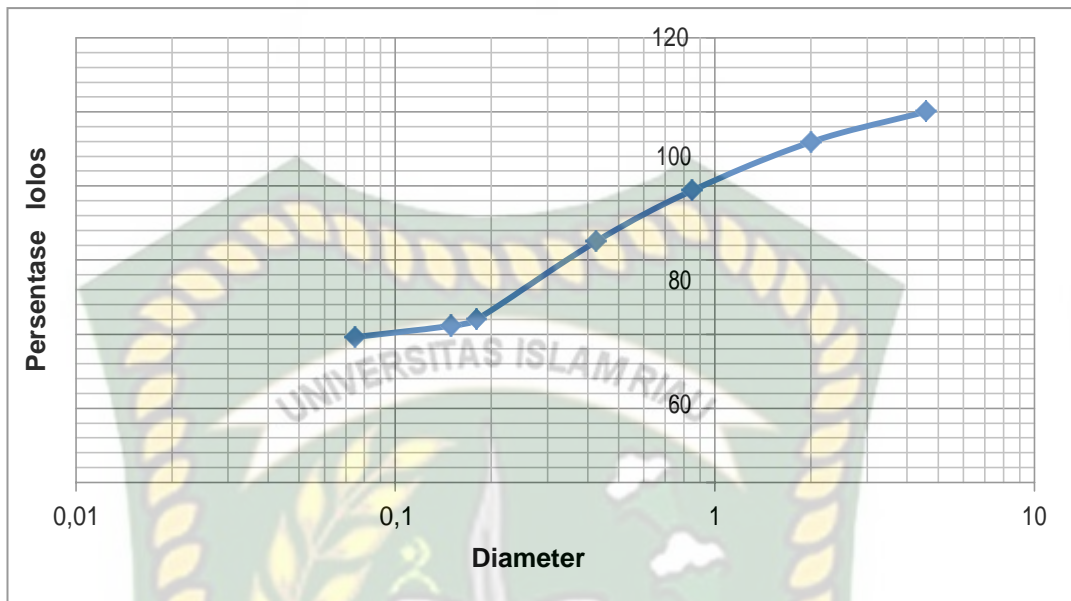
Tabel 5.3 Pemeriksaan Analisa Saringan Benda Uji

Saringan	Berat Cawan (gr)	Berat cawan + Berat Tertahan (gr)	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Berat Tertahan (gr)	Persentasi (%)	
					Tertahan	Lewat
No. #4	29,6	0	0	0	0	100
No. #10	29,6	40,6	11	11	8,17	91,83
No. #20	29,6	48,4	18,4	29,4	13,68	78,75
No. #40	29,6	48,1	18,5	47,9	13,75	65
No. #80	29,6	57,9	28,3	76,2	21,04	43,96
No. #100	29,6	31,9	2,3	78,5	1,71	42,25
No. #200	29,6	33,7	4,1	82,6	3,05	39,2

Hasil dari pemeriksaan analisa saringan benda uji pada saringan No.4, No.10, No.20, No.40, No.80, No.100, dan No.200 didapatkan ukuran diameter butir sesuai dengan SNI 3423-2008 dapat dilihat pada tabel 5.3 diatas.

Tabel 5.4 Diameter ukuran saringan (Mekanika Tanah, Braja Das)

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



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

Hasil dari uji gradasi tanah gambut yang dilakukan terhadap tanah asli didapatkan nilai persentase lolos saringan yaitu 100% untuk saringan No.4 dengan ukuran diameter butiran 4,75 mm, 91,83 % untuk saringan No.10 dengan ukuran diameter butiran 2,00 mm, 78,75 % untuk saringan No.20 dengan ukuran diameter butiran 0,85 mm, 65 % untuk saringan No.50 dengan ukuran diameter butiran 0,425 mm, 43,96 % untuk saringan No.80 dengan ukuran diameter saringan 0,18 mm, 42,25% untuk saringan No.100 dengan ukuran diameter saringan 0,15 mm, 39,2 % untuk saringan No.200 dengan ukuran diameter saringan 0,075 mm.

5.2.5. Sifat-sifat Tanah Gambut

Berdasarkan dari pengujian yang telah dilakukan, dapat dirangkum sifat-sifat fisis tanah. Berikut tabel sifat fisis tanah gambut yang didapat dari hasil pengujian pendahuluan. Berikut adalah tabel dari sifat-sifat tanah gambut.

Table 5.5 Sifat-sifat Tanah Gambut

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

5.3. Pengujian Permeabilitas Tanah Gambut Dengan Bakteri *Bacillus Subtilis* (ASTM D 2434 – 68).

Pada pengujian Permeabilitas ini menggunakan metode *falling head* dengan cara mencampurkan bakteri *bacillus subtilis* yang telah dibuat menjadi sebuah larutan (larutan sementasi) dengan tanah gambut. Sampel yang akan di uji berjumlah 4 sampel, yaitu sampel tanah dengan campuran larutan sementasi bakteri 0%, 5%, 15%, 25% yang telah di jenuhkan sebelumnya sebelum pengujian. Tujuan penjenuhan sampel untuk mengeluarkan pori-pori udara yang ada di dalam sampel.

Setelah pengujian permeabilitas ini selesai dilaksanakan, didapatkan data jumlah air yang diloloskan per 2 menit awal sampel uji dari masing masing sampel, dan lama durasi waktu air menetes. Untuk data jumlah air per 2 menit awal tiap sampel dapat di lihat pada tabel 5.6 berikut ini :

Tabel 5.6 Data jumlah air per 2 menit awal sampel tanpa campuran atau 0%

NO	Waktu (menit)	Jumlah air lolos (ml)
1	2	1,8
2	2	4,8
3	2	2
4	2	3,2
5	2	3,2

Data tabel 5.6 sampel tanpa campuran dalam waktu 10 menit mengalirkan air sebesar 15ml, lama waktu untuk sampai penetasan puncak sampel tanpa campuran membutuhkan waktu selama 23 jam 50 menit.

Tabel 5.7 Data jumlah air per 2 menit awal campuran *bacillus subtilis* 5%

NO	Waktu (menit)	Jumlah air lolos (ml)
1	2	9,2
2	2	4,5
3	2	3,7
4	2	3,2
5	2	2,7

Data tabel 5.7 sampel dengan campuran dalam waktu 10 menit mengalirkan air sebesar 23,3ml, untuk sampai penetesan puncak sampel dengan campuran pasir membutuhkan waktu selama 22 jam 45 menit.

Tabel 5.8 Data jumlah air per 2 menit awal campuran *bacillus subtilis* 15%

NO	Waktu (menit)	Jumlah air lolos (ml)
1	2	12,9
2	2	6,9
3	2	5,2
4	2	5,5
5	2	4,8

Data tabel 5.8 sampel dengan campuran bakteri dalam waktu 10 menit mengalirkan air sebesar 35,8ml, untuk sampai penetesan puncak sampel dengan campuran bakteri 15% membutuhkan waktu selama 21 jam 30 menit.

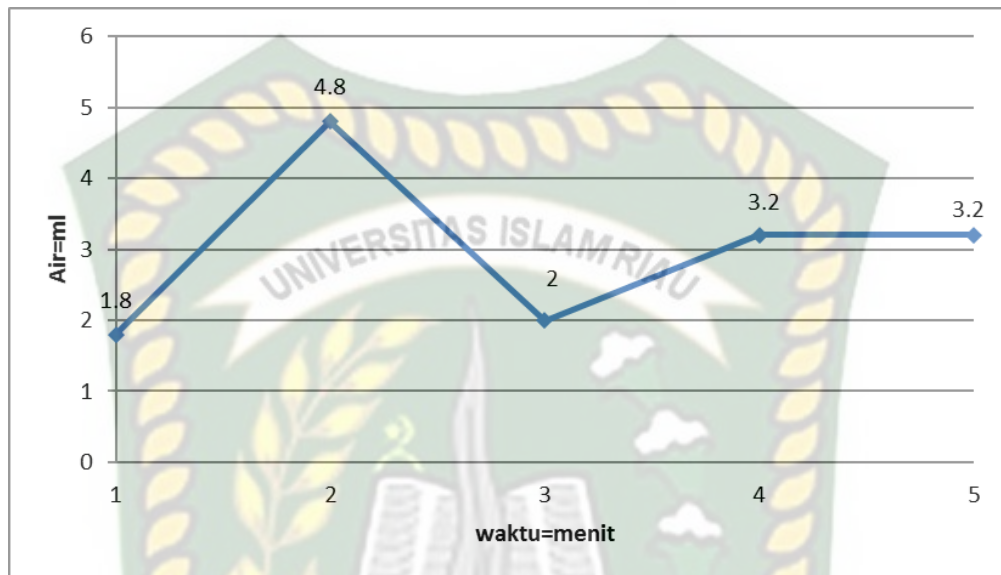
Tabel 5.9 Data jumlah air per 2 menit awal campuran *bacillus subtilis* 25%

NO	Waktu (menit)	Jumlah air lolos (ml)
1	2	14
2	2	7,4
3	2	6,2
4	2	5,6
5	2	5,7

Data tabel 5.9 sampel dengan campuran bakteri dalam waktu 10 menit mengalirkan air sebesar 38,9 ml, untuk sampai penetasan puncak sampel dengan campuran bakteri 25% membutuhkan waktu selama 20 jam 45 menit.

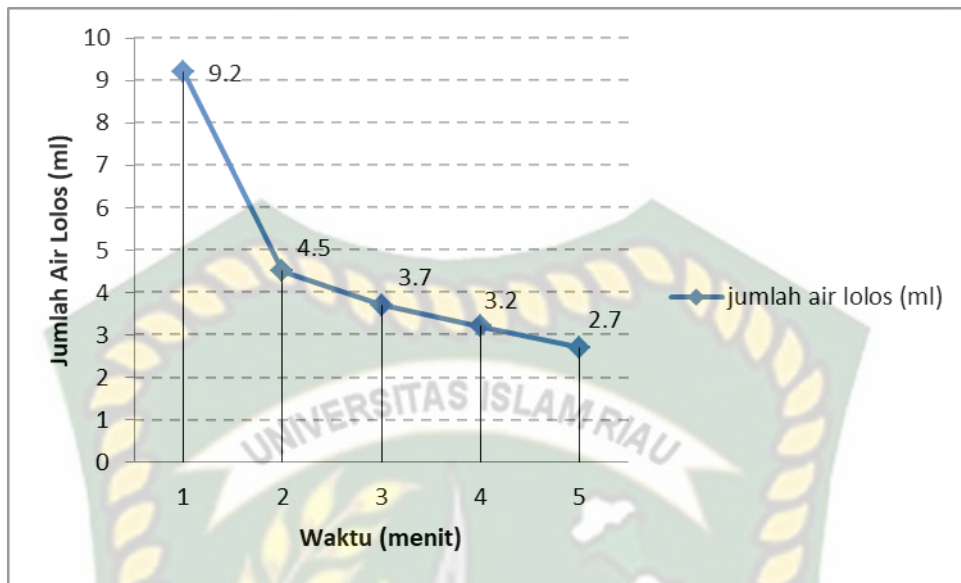
Pada tabel 5.9 dapat dilihat bahwa sampel tanpa campuran, campuran 5% *bacillus subtilis*, campuran 15% *bacillus subtilis* dan campuran 25% *bacillus subtilis* memiliki data yang berbeda, dimana data jumlah air per 2 menit awal sampel tanpa campuran memiliki durasi waktu menetes permukaan selama 23 jam 50 menit, data jumlah air per menit sampel campuran 5% bakteri memiliki durasi waktu menetes permukaan selama 22jam 45menit, data jumlah air per 2 menit awal sampel dengan campuran 15% bakteri memiliki durasi waktu menetes permukaan selama 21jam 30menit, data jumlah air per 2 menit awal sampel dengan campuran 25% bakteri memiliki durasi waktu menetes permukaan selama 20jam 45menit.

Untuk perbedaan jumlah air lolos pada setiap 2 menit awal dapat pada tiap sampel dilihat pada gambar grafik berikut ini.



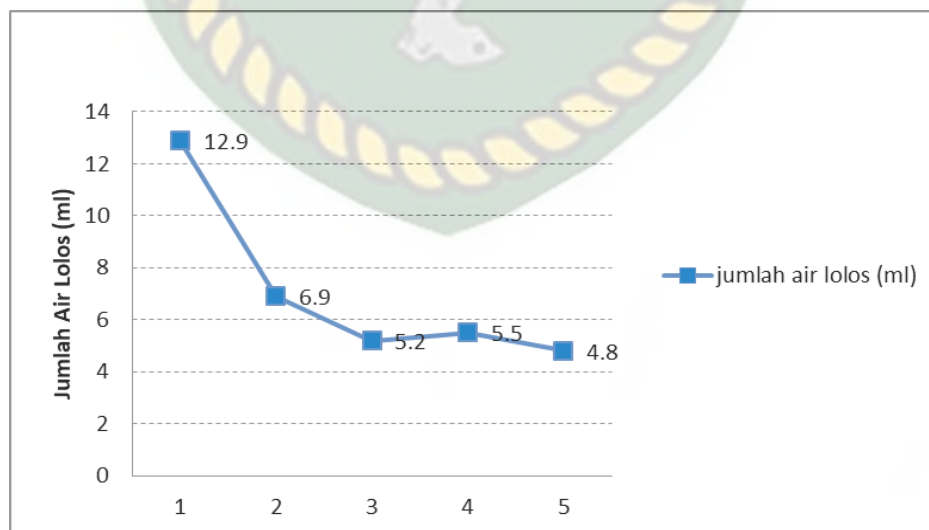
Gambar 5.3 Tanah asli lolos air per 2 menit awal

Pada gambar 5.3 grafik di atas dapat dilihat bahwa, pada 2 menit awal pada sampel tanah asli, jumlah lolos airnya sebesar 1,8ml, 2 menit berikutnya jumlah lolos air sebesar 4,8ml, 2 menit berikutnya jumlah lolos airnya 2ml, 2 menit berikutnya jumlah lolos air sebesar 3,2ml dan 2 menit berikutnya jumlah lolos air sebesar 3,2ml.



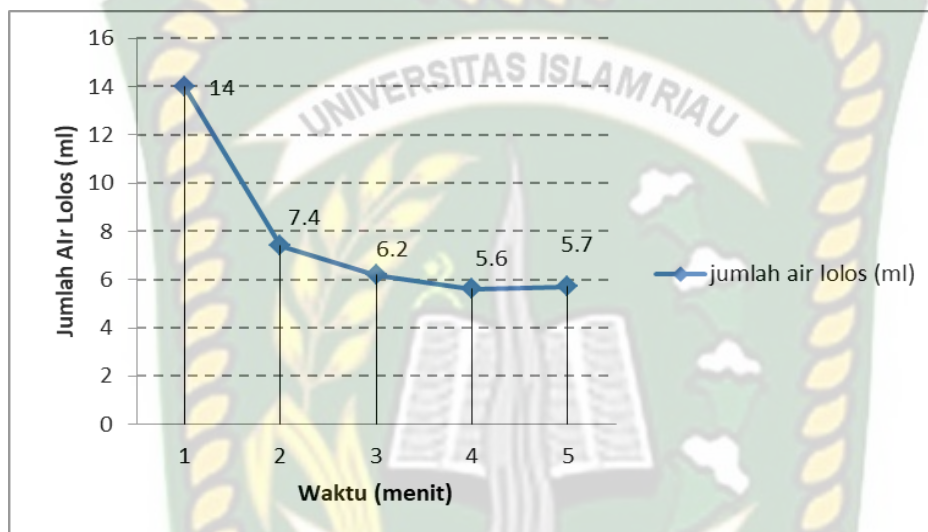
Gambar 5.4 Tanah dengan campuran 5% lolos air per 2 menit awal

Pada gambar 5.4 grafik di atas dapat dilihat bahwa, pada 2 menit awal pada sampel tanah dengan campuran 5%, jumlah lolos airnya sebesar 9,2ml, 2 menit berikutnya jumlah lolos air sebesar 4,5ml, 2 menit berikutnya jumlah lolos airnya 3,7ml, 2 menit berikutnya jumlah lolos air sebesar 3,2ml dan 2 menit berikutnya jumlah lolos air sebesar 2,7ml.



Gambar 5.5 Tanah dengan campuran 15% lolos air per 2 menit awal

Pada gambar 5.5 grafik di atas dapat dilihat bahwa, pada 2 menit awal pada sampel tanah dengan campuran 15% bakteri, jumlah lolos airnya sebesar 12,9 ml, 2 menit berikutnya jumlah lolos air sebesar 6,9ml, 2 menit berikutnya jumlah lolos airnya 5,2ml, 2 menit berikutnya jumlah lolos air sebesar 5,5ml dan 2 menit berikutnya jumlah lolos air sebesar 4,8ml.



Gambar 5.6 Tanah dengan campuran 25% lolos air per 2 menit awal

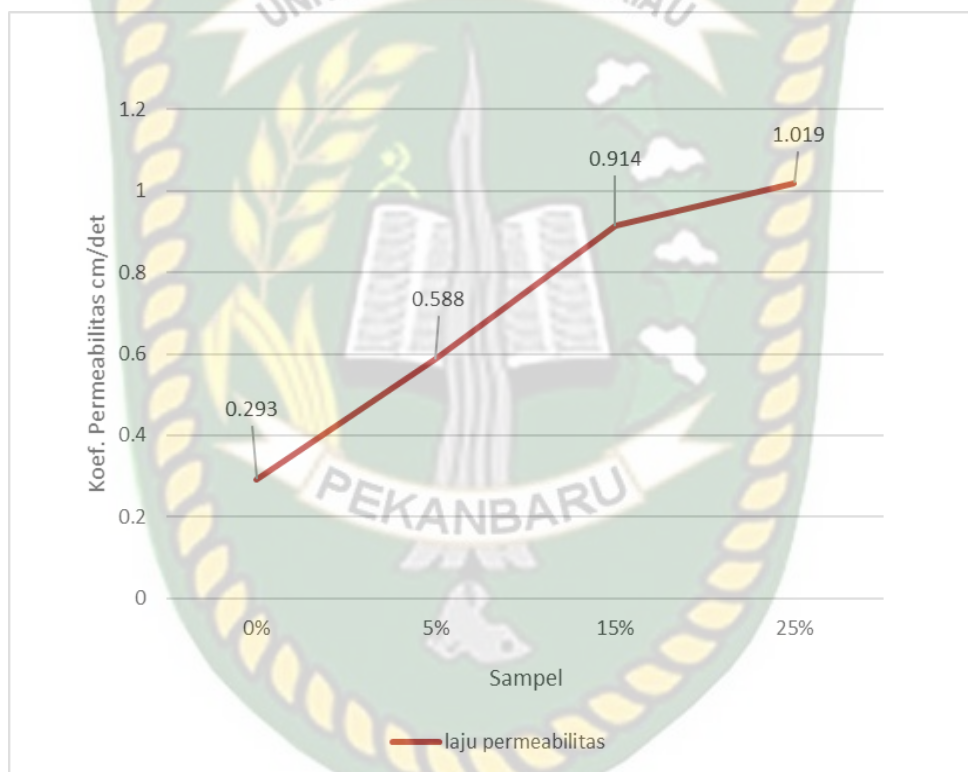
Pada gambar 5.6 grafik di atas dapat dilihat bahwa, pada 2 menit awal pada sampel tanah dengan campuran 25% bakteri, jumlah lolos airnya sebesar 14 ml, 2 menit berikutnya jumlah lolos air sebesar 7,4ml, 2 menit berikutnya jumlah lolos airnya 6,2ml, 2 menit berikutnya jumlah lolos air sebesar 5,6ml dan 2 menit berikutnya jumlah lolos air sebesar 5,7ml.

Tabel 5.10 koefisien permeabilitas sampel uji suhu air 26°C

NO	Sampel	Laju permeabilitas (cm/detik)
1	Campuran bakteri 0%	$0,293 \times 10^{-3}$
2	Campuran bakteri 5%	$0,588 \times 10^{-3}$
3	Campuran bakteri 15%	$0,914 \times 10^{-3}$
4	Campuran bakteri 25%	$1,019 \times 10^{-3}$

Pada tabel 5.10 nilai laju permeabilitas dari masing-masing sampel yang diuji menggunakan alat uji *falling head*. Pada sampel tanah asli diketahui memiliki laju permeabilitas sebesar $0,293 \times 10^{-3}$ cm/detik, sampel campuran bakteri 5% sebesar $0,588 \times 10^{-3}$ cm/detik, sampel campuran 15% bakteri sebesar $0,914 \times 10^{-3}$ cm/detik dan sampel campuran bakteri 25% sebesar $1,019 \times 10^{-3}$ cm/detik

Berikut adalah gambar grafik untuk uji permeabilitas suhu air 26°C



Gambar 5.7 Grafik koefisien permeabilitas suhu air 26°C

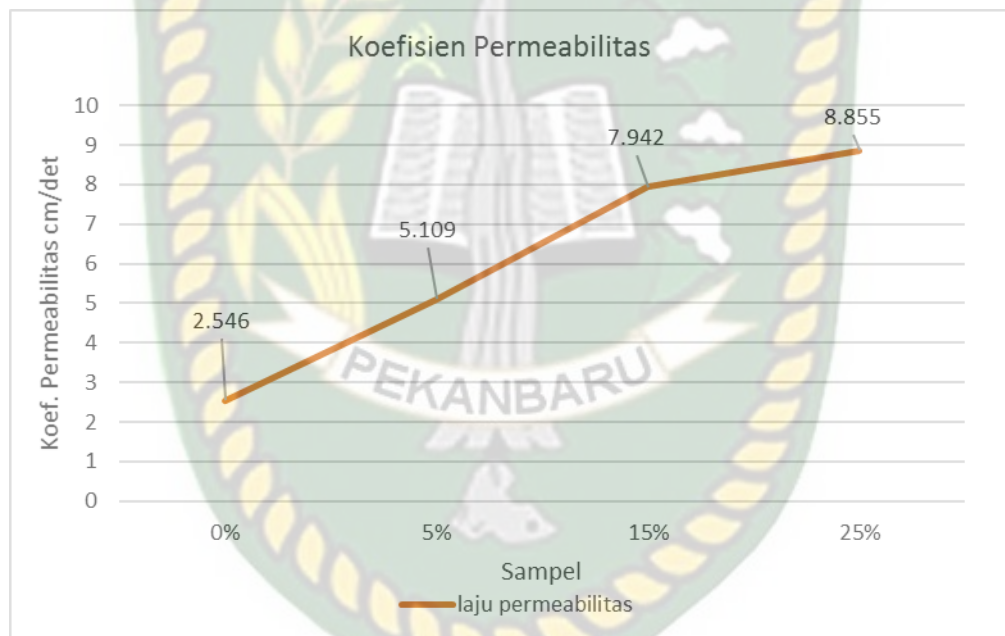
Hasil dari gambar 5.7 pada grafik nilai permeabilitas campuran bakteri suhu air 26°C terjadi kenaikan kecepatan laju permeabilitas sebesar $1,342 \times 10^{-3}$ cm/detik. Sedangkan pada sampel tanah asli memiliki kecepatan laju permeabilitas sebesar $0,293 \times 10^{-3}$ cm/detik.

Keterangan laju permeabilitas dapat di lihat pada tabel 3.2 kelas laju permeabilitas. Untuk keterangan kecepatan dan simbol angka tiap sampel sama yaitu dengan keterangan kecepatan “agak lambat” di simbol kan dengan angka 3.

Tabel 5.11 koefisien permeabilitas 20°C standar suhu air pengujian

NO	Sampel	Laju permeabilitas (cm/detik)
1	Campuran bakteri 0%	$2,546 \times 10^{-4}$
2	Campuran bakteri 5%	$5,109 \times 10^{-4}$
3	Campuran bakteri 15%	$7,942 \times 10^{-3}$
4	Campuran bakteri 25%	$8,855 \times 10^{-3}$

Pada tabel 5.11 dapat dilihat koefisien permeabilitas setelah dihitung dengan standar pengujian 20°C air pada pengujian.

**Gambar 5.8** grafik koefisien permeabilitas suhu air 20°C

Adapun perbedaan koefisien permeabilitas pengujian utama sebelum menggunakan standar suhu air pengujian yaitu dengan suhu 26°C dan setelah standar pengujian suhu air 20°C.

Tabel 5.12 Perbandingan koefisien suhu air 26°c dan 20°c

NO	Sampel	Koefisien permeabilitas cm/detik	
		26°c	20°c
1	Campuran 0%	0,293	2,546
2	Campuran 5%	0,588	5,109
3	Campuran 15%	0,914	7,942
	Campuran 25%	1,019	8,855

Pada tabel 5.12 dapat dilihat perbedaan koefisien permeabilitas sebelum dan sesudah dihitung dengan suhu air standar yaitu 20°c.

Efek *Bacillus subtilis* pada sifat rekayasa lumpur organik masih belum sepenuhnya ditemukan. Lumpur organik dan tanah liat berpasir menunjukkan karakteristik yang berbeda. Secara umum, tanah organik adalah tanah bermasalah yang terkait dengan berat unit rendah, karakteristik kekuatan tidak memuaskan dan kompresibilitas tinggi. Sifat-sifat tanah organik yang tidak diinginkan ini dapat menyebabkan masalah fondasi yang serius. Oleh karena itu, tanah organik perlu distabilkan sebelum infrastruktur sipil dibangun di atasnya.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini sesuai dengan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Nilai koefisien K pada tanah gambut campuran bakteri *bacillus subtilis* terjadi peningkatan koefisien dengan masing-masing campuran.
2. Nilai K pada tanah gambut tanpa campuran bakteri $2,546 \times 10^{-4}$ dan untuk nilai K pada tanah campuran bakteri mengalami peningkatan koefisien, pada tanah campuran bakteri 5% $5,109 \times 10^{-4}$ pada tanah campuran bakteri 15% $7,942 \times 10^{-3}$, pada tanah campuran bakteri 25% $8,855 \times 10^{-3}$

Pada penelitian ini pengaruh bakteri *bacillus subtilis* dengan menggunakan metode *MICP* pada tanah gambut dapat meningkatkan koefisien tanah gambut sehingga diharapkan kandungan air pada tanah gambut bisa meloloskan lolos dengan lebih cepat dan berkurang agar daya dukung tanah gambut lebih baik dan dapat dibangun konstruksi di atasnya.

6.2. Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah:

1. Untuk Penelitian selanjutnya lebih berinovasi untuk pembuatan larutan sementasi.
2. Untuk menghitung jumlah *Calcium Carbonat* (CaCO_3) yang terinjeksi pada sampel
3. Untuk mengamati perubahan fisik pada sampel setelah pencampuran bakteri *bacillus subtilis*.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D 5084 *Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter*
- DeJong, J.T. 2006. Teknologi *Grouting* Secara Biologi Yang Di Kenal Dengan Teknologi *Biogrouting* Melalui Mekanisme Pengendapan Kalsium Karbonat
- Dunn dkk, 1980 *Dasar-Dasar Analisis Geoteknik*
- Fadli Ahmad. 2013. *Studi Metode Infiltrasi Falling Head Dan Constant Head Pada Beberapa Variasi Ketinggian Genangan Air*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor
- Mochtar, dkk. 2014. Pengaruh Usia Stabilisasi Tanah Gambut Beserta yang Distabilisasi dengan Campuran CaCO_3 . *Jurnal Teknik Sipil*. Surabaya. 21(1): 50-64
- Notohadiprawiro, 1997 *Etika Pengembangan Lahan Gambut*
- Noname. 2017. Laporan Pratikum Permeabilitas. Laboratorium Fisika Tanah Dan Lingkungan Prodi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Syiah
- Pangesti. 2017. *Pengenalan bio-grouting*
- Parlan, dkk. 2016. Pengaruh jumlah plat *helical* terhadap daya dukung pondasi tiang Helical pada tanah gambut. *Jom .FTEKNIK Universitar Riau*. Pekanbaru
- Pintelon et al., 2012. Sifat-sifat transportasi dari lingkungan bawah permukaan.
- Ritung *et al.*, 2011 *Pembentukan, Sebaran Dan Kesesuaian Lahan Gambut Indonesia*
- Rusia Davy 1913 *Pengertian 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. 2008. *Pengenalan Bacilluss*

- Soesanto, 2005 *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Penerbit Kanisus. Jakarta 67 hal.
- Syarif, dkk. 2020. Penerapan Teknik *Biocementation* Oleh *Bacillus Subtilis* dan Pengaruhnya Terhadap Permeabilitas Pada Tanah Organik. *Jurnal Saintis*. Vol. 20, No. 01
- Van De Meene. 1984. Geological Aspects of Peat Formation in The Indonesian Malyasin Lowlands, *Bulletin Geological Research and Development Centre*, 9, 20-31.
- Van Paassen, LA, Biogrout, ground improvement by microbial induced carbonate precipitation, 2009, Delft University of Technology, pp 202.
- Vinh Pham. 2013. Microbially Induced Carbonate Precipitation.(MICP)
- Wibowo, 2010 Laju Infiltrasi pada lahan gambut yang dipengaruhi air tanah
- Waruwu. 2013. Peningkatan Kuat Tekan Tanah Gambut Akibat *Preloading*

