

**PENGARUH PENGGUNAAN KONSEP *ENZYME INDUCED CALCITE
PRECIPITATION* (EICP) DALAM PERBAIKAN SIFAT FISIK TANAH
GAMBUT SIAK DENGAN METODE *BIOGROUTING***

TUGAS AKHIR

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



Oleh

NURUL TRIANOVIANY

163110326

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

2021

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Alhamdulillahirabbil'alam, segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini mengenai **“PENGARUH PENGGUNAAN KONSEP *ENZYME INDUCED CALCITE PRECIPITATION* (EICP) DALAM PERBAIKAN SIFAT FISIK TANAH GAMBUT SIAK DENGAN METODE *BIOGROUTING*”**.

Banyak alasan yang ingin dikemukakan penulis dalam penelitian ini, pada dasarnya penulis ingin mengetahui seberapa besar pengaruh stabilisasi tanah gambut yang di tambahkan dengan reagen enzim *urease* menggunakan metode EICP serta bagaimana pengaruh atau perubahan yang terjadi untuk sifat fisik pada tanah gambut.

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

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

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Pekanbaru, 2021

Penulis

Nurul Trianoviany

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Wr.Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat 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. 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.
5. Bapak Akmar Efendi, S.Kom., M.Kom, Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
6. Ibu Harmiyati, ST., M.Si, Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
7. Ibu Sapitri, ST., MT, Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
8. Bapak Firman Syarif, ST., M.Eng, sebagai dosen pembimbing.
9. Bapak Dr. Anas Puri, ST., MT, sebagai dosen penguji 1.
10. Bapak Mahadi Kurniawan ST., MT sebagai dosen penguji 2.
11. Bapak dan Ibu Dosen pengajar Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

12. Seluruh karyawan dan karyawan fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
13. Pimpinan dan seluruh staff Lembaga Aplikasi Teknis UIR beserta karyawan yang telah memberikan data-data, serta izin untuk melakukan penelitian.
14. Ayahanda Jumardhy Umar dan ibunda Zubaidah, S.Pd sebagai Orang Tua yang selalu memberikan seluruh kasih sayang, membimbing, selalu mendukung dan mendo'akan yang terbaik kepada penulis.
15. Abang Dicky Darmadhy dan Kakak Kartini Ramadhani, S.Pd yang selalu memberikan segala kasih sayang, motivasi dan selalu memberikan semangat kepada penulis,
16. Suami tercinta Farijal Hammy, ST yang selalu memberikan motivasi, dan semangat kepada penulis.
17. Rekan-rekan dan sahabat Mahasiswa/i Teknik Sipil Universitas Islam Riau Angkatan 2016

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, 2021

Nurul Trianoviany

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR NOTASI	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
ABSTRAK	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Umum	6
2.2 Penelitian Terdahulu	6
2.3 Keaslian Penulisan	8
BAB III LANDASAN TEORI	9
3.1 Tanah Gambut	9
3.1.1 Faktor Yang Mempengaruhi Perilaku Tanah Gambut	10
3.1.2 Klasifikasi Tanah Gambut	13
3.2 Sifat Fisik Tanah Gambut	17
3.3 Stabilisasi Tanah	21
3.4 <i>Biogrouting</i>	22
3.5 <i>Enzyme induced Calcite Precipitation (EICP)</i>	23

3.6	Pengujian Sifat Fisik Tanah	24
3.6.1	Pengujian Kadar Air (<i>Water Content</i>)	24
3.6.2	Pengujian Berat Spesifik [<i>Specific Gravity (GS)</i>]	25
BAB IV METODE PENELITIAN		26
4.1	Umum	27
4.2	Lokasi Pengambilan Sampel Tanah	27
4.2.1	Lokasi penelitian	27
4.3	Material Benda Uji	28
4.4	Peralatan Yang Digunakan	30
4.5	Tahapan Pengujian	34
4.5.1	Pengujian Pendahuluan	34
4.5.2	Pembuatan Benda Uji	35
4.5.3	Pembuatan Reagen Enzim	36
4.5.4	Penetesan Benda Uji dengan Reagen Enzim <i>Urease</i>	37
4.5.5	Pengujian Utama	38
4.6	Diagram Alir Penelitian	39
4.7	Prosedur Pengujian	40
4.7.1	Prosedur Pengujian Pendahuluan	40
4.7.2	Prosedur Pengujian Utama	42
4.8	Variasi Campuran Benda Uji Sifat Fisik Tanah Gambut	44
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		46
5.1	Umum	46
5.2	Sifat-Sifat Fisik Tanah Gambut	46
5.2.1	Kadar Air Tanah Asli	46
5.2.2	Berat Spesifik Tanah Asli.....	47
5.2.3	Kepadatan Maksimum Tanah	47
5.2.4	Pebandingan Sifat Fisik Tanah Gambut	48
5.3	Sifat-Sifat Fisik Tanah Gambut Terstabilisasi Reagen Enzim <i>Urease</i>	48
5.3.1	Kadar Air Gambut Terstabilisasi Reagen Enzim <i>Urease</i> ..	48

5.3.2 Berat Spesifik Gambut Terstabilisasi Reagen Enzim <i>Urease</i>	50
5.4 Perbandingan Sifat Fisik Tanah Gambut dari Beberapa Metode ..	53
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	55
6.1 Kesimpulan	55
6.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Skema Proses Presipitasi dan Mekanisme Grouting	23
Gambar 4.1. Denah Lokasi Penelitian	28
Gambar 4.1 Material Tanah Gambut	29
Gambar 4.2 Bahan Pengujian Urea	29
Gambar 4.3 Bahan Pengujian CaCl_2	30
Gambar 4.4 Bahan Pengujian Enzim <i>Urease</i>	31
Gambar 4.5. Alat Uji Pemadatan Tanah	32
Gambar 4.6 Alat Cawan	32
Gambar 4.7 Alat Timbangan Digital	33
Gambar 4.8 Alat Oven dengan pengatur suhu	33
Gambar 4.9 Alat Piknometer dan Timbangan ketelitian 0,01 gram	34
Gambar 4.10 Alat Cawan	35
Gambar 4.11 Botol Air Suling	35
Gambar 4.12 Proses Pembuatan Benda Uji Tanah Gambut	36
Gambar 4.13 Proses Pembuatan Reagen Enzim <i>Urease</i>	38
Gambar 4.14 Proses Pencampuran Reagen ke dalam Sampel Benda Uji	39
Gambar 4.15 Bagan Alir Penelitian	39
Gambar 5.1 Grafik Hubungan Kadar Air terhadap penambahan Reagen Enzim Urease	48
Gambar 5.2 Grafik Hubungan Berat Jenis (G_s) terhadap penambahan varian Reagen Enzim <i>Urease</i>	50
Gambar 5.3 Hubungan berat volume kering dengan kadar air	52
Gambar 5.4 Korelasi antara nilai Berat Jenis dan Kadar Air Gambut Terstabilisasi Enzim <i>Urease</i>	54

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tipe Tanah Tipe Tanah Berdasarkan Kadar Organik	10
Tabel 3.2 Sifat Fisik Tanah Gambut Indonesia	17
Tabel 3.3 Sifat Teknik Tanah Gambut	19
Tabel 4.1 Material yang digunakan Dalam Reagen	36
Tabel 4.2 Jumlah Sampel Sifat Fisik Tanah Gambut	45
Tabel 5.1 Nilai Perbandingan Sifat Fisik Tanah Gambut	49
Tabel 5.2 Nilai Kadar Air terhadap Varian Penambahan Reagen	
Enzim <i>Urease</i>	50
Tabel 5.3 Persentase G_s terhadap pencampuran Tanah Asli dan Reagen	
Enzim <i>Urease</i>	51
Tabel 5.4 Berat Spesifik Tanah	52
Tabel 5.5 Perbandingan Nilai Sifat Fisik Tanah Gambut dengan Beberapa	
Metode Stabilisasi	53

DAFTAR NOTASI

a	= berat cawan kosong (gram)
B	= berat benda uji (gram)
cm	= Centimeter
m ³	= Meter Kubik
b	= Berat cawan+tanah basah (gram)
c	= Berat cawan+tanah kering oven (gram)
cm ³	= Centimeter Kubik
%	= Persen
gr	= Gram
Gs	= Berat spesifik
V	= Volume (cm ³)
W	= Berat (gram)
w	= Kadar air (%)
γ	= Berat volume butir tanah
γ_{wd}	= Berat isi kering (gr/cm ³)
Pt	= <i>Peat</i> (gambut)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

A-1. Hasil Uji Percobaan Pemadatan (<i>Proctor Test</i>)	1
A-2. Hasil Uji Pemeriksaan Kadar Air Tanah	2
A-3. Hasil Uji Berat Spesifik	3
A-4. Hasil Uji Pemeriksaan Kadar Air Benda Uji Tanpa Perlakuan	4
A-5. Hasil Uji Pemeriksaan Kadar Air Benda Uji Perlakuan	
Reagen Enzim 5%	5
A-6. Hasil Uji Pemeriksaan Kadar Air Benda Uji Perlakuan	
Reagen Enzim <i>Urease</i> 10%	6
A-7. Hasil Uji Pemeriksaan Kadar Air Benda Uji Perlakuan	
Reagen Enzim <i>Urease</i> 15%	7
A-8. Hasil Uji Pemeriksaan Kadar Air Benda Uji Perlakuan	
Reagen Enzim <i>Urease</i> 20%	8
A-9. Hasil Uji Pemeriksaan Kadar Air Benda Uji Perlakuan	
Reagen Enzim <i>Urease</i> 25%	9
A-10. Hasil Uji Pemeriksaan Kadar Air Rata-rata Benda	
Uji Terstabilisasi Reagen Enzim <i>Urease</i>	10
A-11. Hasil Uji Pemeriksaan Berat Spesifik Benda Uji Tanpa Perlakuan ..	11
A-12. Hasil Uji Pemeriksaan Berat Spesifik Benda Uji Perlakuan	
Reagen Enzim <i>Urease</i> 5%	12
A-13. Hasil Uji Pemeriksaan Berat Spesifik Benda Uji Perlakuan	
Reagen Enzim <i>Urease</i> 10%	13

A-14. Hasil Uji Pemeriksaan Berat Spesifik Benda Uji Perlakuan	
Reagen Enzim <i>Urease</i> 15%	14
A-15. Hasil Uji Pemeriksaan Berat Spesifik Benda Uji Perlakuan	
Reagen Enzim <i>Urease</i> 20%	15
A-16. Hasil Uji Pemeriksaan Berat Spesifik Benda Uji Perlakuan	
Reagen Enzim <i>Urease</i> 25%	16
A-17. Hasil Uji Pemeriksaan Berat Spesifik Rata-rata Benda	
Uji Perlakuan Reagen Enzim <i>Urease</i>	17

LAMPIRAN B

B-1. Dokumentasi Pekerjaan Uji Pemadatan Standart	18
B-2. Dokumentasi Pekerjaan Uji Berat Spesifik Tanah Asli,	
Kadar Air Tanah Asli, dan Kadar Air untuk Sampel	19
B-3. Dokumentasi Pekerjaan Pembuatan Sampel Benda Uji dan	
Pembuatan Campuran Reagen	20
B-4. Dokumentasi Pekerjaan Uji Kadar Air dan Berat Jenis	
Sampel Yang Diberikan Perlakuan Reagen Bakteri	21

LAMPIRAN C

Kumpulan surat-surat

**PENGARUH PENGGUNAAN KONSEP *ENZYME INDUCED
CALCITE PRECIPITATION (EICP)* DALAM PERBAIKAN
SIFAT FISIK TANAH GAMBUT SIAK DENGAN METODE
*BIOGROUTING***

NURUL TRIANOVIANY

163110326

ABSTRAK

Tanah gambut merupakan tanah dengan kandungan organik yang tinggi (>75 %) dan kandungan abu yang kecil. Oleh sebab itu, tanah gambut mempunyai sifat fisik dan teknis yang merugikan bagi bangunan sipil yang berada di atasnya seperti pemampatan yang besar dan daya dukungnya yang rendah. Beberapa metode perbaikan tanah telah banyak diterapkan pada tanah gambut maupun stabilisasi tanah. Namun, metode perbaikan yang telah diterapkan tersebut memiliki keuntungan dan kerugian masing-masing. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh stabilisasi tanah gambut menggunakan metode Biogrouting dengan Konsep *Enzyme Induced Calcite Precipitation* EICP terhadap sifat fisik tanah gambut seperti kadar air dan berat spesifiknya.

Tanah asli diambil di lokasi Desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun, Kabupaten Siak, Propinsi Riau. Bahan stabilisasi yang digunakan yaitu enzim *urease* berasal dari Laboratorium Pertanian Universitas Islam Riau dan bahan stabilisasi tambahan seperti CaCl serta Urea. Metode penelitian dengan mengacu pada prosedur ASTM (*American Society for Testing and Material*) dan SNI. Uji pemeriksaan kadar air dan berat spesifik dengan variasi pencampuran reagen enzim *urease* dengan variasi 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dan dilakukan pemeraman selama 14 hari. Benda uji untuk kadar air dan berat spesifik dibuat mengikuti hasil pemadatan standar pada kadar air optimum dan berat isi kering maksimum. Hasil penelitian sifat fisik tanah asli diketahui bahwa tanah Gambut di Desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun Kabupaten Siak termasuk jenis tanah sangat lembek dengan kadar air lapangan 396,34 % dan $G_s = 1,3$. Dari pengujian kadar air yang dilakukan dengan penambahan reagen enzim *urease* 5% menjadi kadar air terendah dengan nilai $w = 126,23$ %. Untuk pengujian berat spesifik yang dilakukan penambahan reagen enzim *urease* 5% menjadi berat spesifik tertinggi dengan nilai $G_s = 1,65$ dengan kenaikan 0,35 dari nilai G_s asli.

Kata Kunci : Metode Perbaikan Tanah, Stabilisasi, EICP, Urea, CaCL

**THE EFFECT ON THE USE OF ENZYME INDUCED CALCITE
PRECIPITATION (EICP) CONCEPT IN IMPROVING THE
PHYSICAL PROPERTIES OF SIAK PEAT SOIL WITH
METHOD BIOGROUTING**

NURUL TRIANOVIANI

163110326

ABSTRACT

Peat soil is soil with high organic content ($> 75\%$) and low ash content. Therefore, peat soil has physical and technical characteristics that are detrimental to the civil structures above it, such as large compression and low bearing capacity. Several soil improvement methods have been widely applied to peat soils and soil stabilization. However, the repair methods that have been applied have their respective advantages and disadvantages. Therefore, this study aims to determine the effect of peat soil stabilization using the Biogrouting method with the concept of Enzyme Induced Calcite Precipitation EICP on the physical properties of peat soil such as moisture content and specific weight.

The original land was taken at the location of Buana Makmur Village km 55 of Dayun District, Siak Regency, Riau Province. The stabilization material used is the enzyme urease from the Riau Islamic University Agricultural Laboratory and additional stabilization materials such as CaCl and Urea. The research method refers to ASTM (procedures American Society for Testing and Materials) and SNI. The water content and specific weight test were by mixing the enzyme reagent urease carried out with variations of 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% and were cured for 14 days. The specimens for moisture content and specific weight were made following the standard compaction results at optimum moisture content and maximum dry bulk weight. The results of the research on the physical properties of the original soil showed that the land in the village of Buana Makmur km 55, Dayun District, Siak Regency was very soft with a moisture content of 396.34% and $G_s = 1.3$. From the water content test carried out by the addition of enzyme reagent urease 5% to the lowest water content with a value of $w = 126.23\%$. For specific weight testing, the addition of enzyme reagent was carried out urease 5% to the highest specific weight with a G_s value = 1.65 with an increase of 0.35 from the original G_s value.

Keywords: Soil Improvement Method, Stabilization, EICP, Urea, CaCl

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relative lepas, yang terletak diatas batuan dasar. Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel- partikel. Ruang diantara partikel partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di permukaan bumi membentuk suatu tanah (Hardiyatmo, 1995).

Gambut adalah bahan organik yang melapuk atau suatu tanah yang mengandung bahan organik berserat dalam jumlah besar. Gambut mempunyai angka pori yang sangat tinggi dan sangat kompresibel (Dunn dkk, 1992). Lapisan tanah gambut adalah tipe lapisan tanah lempung atau lanau yang bercampur dengan serat-serat flora dari tumbuhan tebal di atasnya. Pada kondisi tanah dengan serat yang melapuk atau fauna yang membusuk maka tanah tersebut menjadi tipe lapisan tanah organik. Menurut terzaghi dan peck (1967) gambut adalah agregat agak berserat yang berasal dari serpihan makroskopik dan mikroskopik tumbuh-tumbuhan.

Tanah gambut merupakan tanah dengan kandungan organik $> 75 \%$ (ASTM D-4427, 1984) dan terbentuk dari pelapukan tumbuh-tumbuhan dengan usia sekitar 1800 tahun (Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2001). Di Indonesia

tanah gambut menapati areal seluas $\pm 20,6$ juta hektar atau sekitar 10,8 % luas daratan Indonesia (Wetlands International, 2004).

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 yang tinggi, berat volume tanah yang cukup kecil, angka pori yang besar, dan kandungan organik yang tinggi (Mochtar, NE., dkk, 2014).

Tanah gambut mempunyai sifat fisik dan sifat teknis yang tidak menguntungkan bagi bangunan sipil yang berada di atas tanah gambut akibat proses pembentukan tanah gambut tersebut. 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, 1998).

Sifat fisik yang tidak menguntungkan tersebut mempengaruhi perilaku teknis tanah gambut, tanah gambut mempunyai daya dukung yang sangat rendah (Jelusic dan Lappanen, 2002) dan pemampatan yang besar dan tidak merata sehingga banyak bangunan sipil rusak akibat perilaku tersebut (Mochtar, NE., dkk., 2014).

Karena alasan tersebut maka dikembangkan metode stabilisasi tanah dengan menggunakan bahan aditif seperti campuran kapur-abu terbang, semen atau campuran kapur-abu sekam, Jelusic dan Lappanen (2001), Hebib dan Farrel (2003), Ilyas, dkk (2008), Said dan Taib (2009) menjelaskan bahwa penggunaan bahan silica sudah mampu memperbaiki sifat fisik tanah gambut.

Usaha stabilisasi tanah yang biasa dilakukan pada tanah berbutir adalah dengan menambahkan bahan senyawa kimia pada tanah sehingga terjadi reaksi kimia yang mengakibatkan ikatan antara butir-butir tanah tersebut menjadi satu ikatan. Salah satu proses penambahan bahan kimia ke dalam tanah yaitu dengan metode grouting. Namun metode grouting yang selama ini dilakukan pada umumnya tidak ramah lingkungan karena menggunakan bahan berupa suspense (semen, lempung-semen, pozzolan, bentonite, dsb) atau emulsi (aspal, dsb) (Xanthakos et al., 1994; Karol, 2003). Padahal semua bahan kimia untuk grouting, kecuali sodium silikat adalah toksik dan atau berbahaya. (Karol, 2003; van Paassen, 2009).

Enzim adalah protein yang berkombinasi dengan substratnya dalam sebuah bentuk khusus dan bekerja sebagai katalisator pada reaksi-reaksi biokimia (Tate III, 2000). Prinsip kerja enzim sebagai katalisator adalah bekerja secara spesifik (*key-lock*). Tiap jenis tanah memungkinkan memiliki karakteristik tersendiri dari enzim spesifik dan tingkat aktivitas enzim tertentu yang dihasilkan oleh organisme tanah berbagai enzim dapat berada dalam bentuk yang berbeda, memiliki karakteristik yang tidak seragam dan bekerja dalam selang kondisi lingkungan mikro yang mempengaruhi daya katalisnya (Gianfreda dan Bollag, 1996).

Oleh sebab itu penulis mencari alternatif metode grouting yang ramah lingkungan. Salah satunya dengan pemanfaatan enzim, yaitu enzim yang dapat menghasilkan kalsit atau kristal kalsium karbonat sehingga merubah butiran tanah

pasir menjadi batuan pasir bila diinjeksikan kedalam tanah dengan perbandingan dan dengan proses yang tepat. Enzim tersebut adalah enzim *urease*.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh penambahan enzim *urease* dengan konsep *Enzyme Induced Calcite Precipitation* (EICP) menggunakan metode *Biogrouting* terhadap sifat fisik tanah gambut ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh penambahan enzim *urease* dengan konsep *Enzyme Induced Calcite Precipitation* (EICP) menggunakan metode *Biogrouting* terhadap sifat fisik tanah gambut.

1.4 Manfaat Penelitian

Di samping tujuan dan rumusan masalah yang telah di bahas, tentunya ada manfaat dari penelitian yang dilakukan antara lain :

1. Hasil Penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu bukti bahwa enzim *urease* dapat dijadikan sebagai salah satu alternative untuk stabilisasi tanah gambut.
2. Untuk mengetahui pengaruh pencampuran larutan enzim *urease* terhadap tanah gambut.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian pengujian peningkatan sifat fisik tanah ini dibuat untuk menghindari cakupan penelitian yang lebih luas agar penelitian dapat

berjalan efektif, serta dapat mencapai sasaran yang diinginkan. Adapun yang di bahas adalah hal-hal sebagai berikut :

1. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah Gambut yang berasal Desa Buana Makmur, Kecamatan Dayun, Kabupaten Siak.
2. Penelitian ini hanya menggunakan campuran reagen enzim *urease*.
3. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah UIR untuk dapat menentukan sifat fisik tanah gambut sebelum dan sesudah terstabilisasi reagen enzim *urease*.
4. Penelitian hanya terbatas pada sifat-sifat fisik tanah gambut, tidak menganalisis unsur kimia tanah gambut.
5. Benda uji dibuat berdasarkan nilai kadar air optimum dan berat isi kering maksimum yang didapat pada pengujian pemadatan standar.
6. Evaluasi karakteristik sifat-sifat fisik tanah gambut hanya menggunakan enzim *urease*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Perbaikan tanah (*soil improvement*) adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan menggunakan bahan *additive* (kimiaawi), pencampuran tanah (*re-gradation*), pengeringan tanah (*dewatering*) atau melalui penyaluran energy statis atau dinamis kedalam lapisan tanah (fisik) (Darwis, 2017).

Adapun metode yang digunakan dalam meningkatkan kestabilan tanah yaitu metode *grouting*. Akan tetapi metode *grouting* memiliki beberapa kekurangan, yaitu harga bahan kimia yang digunakan mahal dan hanya dapat diaplikasikan pada titik injeksi terdekat pada struktur tanah yang diperbaiki (Hammers & Verstaete, 2002)

2.2 Penelitian Terdahulu

Beberapa hasil penelitian yang pernah dilakukan mengenai stabilitas tanah atau perbaikan tanah menggunakan proses biogrouting enzim *urease* antara lain sebagai berikut ini :

Setiawan (2018) dengan judul “ Pengaruh Waktu Pemeraman Dengan Penambahan Kapur Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Gambut Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah” penelitian ini telah dilaksanakan untuk mengetahui pengaruh tanah gambut apabila distabilisasi dengan kapur berdasarkan waktu pemeraman benda uji. Pengaruh tanah gambut yang distabilisasi dengan kapur

berdasarkan variasi waktu pemeraman terhadap sifat fisik tanah gambut adalah semakin besar persentase kapur dan semakin lama waktu pemeraman contoh benda uji tanah gambut akan meningkatkan nilai dari berat spesifik tanah gambut dan berat volume gambut. Adapun metode penelitian yang telah dilaksanakan pengujian sifat fisik dan sifat mekanik dengan campuran kapur. Hasil penelitian tanah gambut kadar kapur 10% pemeraman 28hari didapatkan nilai Gs 1,539 dan nilai kadar air terendah pada benda uji 10% kapur masa pemeraman 28 hari yaitu 209,5 %

Putra, dkk (2018) dalam judul “ Parameter Peningkatan Kuat Geser Tanah Berpasir menggunakan Teknik Pengendapan Kalsit Enzim ” penelitian telah dilaksanakan untuk mengetahui penambahan campuran enzim terhadap kuat geser tanah berpasir. Metode dilakukan dengan pengujian kuat geser di laboratorium. Hasil penelitian 41 % dari massa tanah befrpasir yang diolah, dihasilkan kohesi 53 kPa menunjukkan bahwa penerapan teknik EICP (*Enzyme Induced Calcite Precipitation*) tidak berpengaruh signifikan terhadap sudut gesek karena berlawanan dengan peningkatan sudut kohesi , sedangkan sudut gesekan relatif konstan.

Ma'ruf dan Permana (2017), dengan judul penelitian “ Pengaruh Masa Peram Terhadap Karakteristik Tanah Gambut Kering yang di campur Kapur dan Fly Ash”. Adapun tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui sifat fisik tanah dan pengaruh masa peraman dengan pengujian stabilisasi tanah gambut kering dengan campuran kapur dan fly as. Adapun metode penelitian yang telah dilaksanakan pengujian sifat fisik teknis dan stabilisasi dengan pencampuran kapur dan fly ash

dengan masa peraman. Hasil penelitian terjadi dengan kadar air 61,64%, *specific gravity* (Gs) dan kuat geser 0,283 kg/cm³. Sifat fisik tanah pada kadar air dalam masa peram mengalami penurunan 28,42%, berat volume ada kenaikan 18,64% dan ungkuk angka pori penurunan 34,89%.

Sidratu, dkk (2016), dengan judul penelitian “ *Biogrouting: Produksi Urease dari bakteri laut (Oceanobacillus sp.) Pengendap Karbonat*” penelitian ini bertujuan untuk mengetahui enzim *urease* dapat dijadikan material grout karena memiliki kemampuan untuk melakukan sementasi pada aplikasi sederhana biogrouting. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa bakteri biogrout tumbuh optimum pada medium B4 urea dengan pH 7 dan suhu 25°C, sedangkan pada medium B4 urin bakteri biogrout tumbuh optimum pada suhu 25°C dan pH 8. Pengukuran aktifitas urease mencapai 144,12 unit/ml. Berdasarkan karakterisasi protein menggunakan ammonium sulfat protein mengendap maksimal pada konsentrasi 90% (203,32 unit/ml). Diketahui titik isoelektrik urease adalah pada pH 6 dan memiliki berat molekul 440kDa. Enzim *urease* dapat dijadikan material *grout* karena memiliki kemampuan untuk melakukan sementasi (*diagenesis*) pada aplikasi sederhana biogrouting menggunakan pasir laut dengan kondisi salin.

2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian perbaikan sifat fisik tanah gambut terstabilisasi reagen enzim *urease* yang belum pernah dilakukan sebelumnya, untuk itu dilakukan penelitian dengan harapan hasil yang diperoleh lebih memberi manfaat dalam hal perbaikan sifat fisik tanah gambut.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah Gambut

Tanah Gambut adalah suatu tanah yang mengandung bahan organik berserat. Gambut mempunyai angka pori yang sangat tinggi dan sangat kompresibel (Dunn dkk., 1992). Lapisan tanah gambut adalah tipe lapisan tanah lempung atau lanau yang bercampur dengan serat-serat flora dari tumbuhan tebal di atasnya. Pada kondisi tanah dengan serat yang melapuk atau fauna yang membusuk maka tanah tersebut menjadi tipe lapisan tanah organik (Nasution, 2004).

Sesuai dengan ASTM D4427-92 (2002) tanah gambut ialah tanah mengandung kandungan bahan organik tinggi yang mengalami proses pembusukan tumbuhan, diklasifikasikan tanah organik terkandung abunya, <25 % abu dalam berat kering. Tanah gambut dikenal *Peat Soil* ialah tanah memiliki kandungan bahan organik yang tinggi dan terbentuk dalam campuran bahan organik dari tumbuh-tumbuhan yang disebut fosil. Menurut Ajie N dan Respati R., 2018 bahwa ciri khas dari tanah gambut mengandung serat, kadar air tinggi, berwarna coklat sampai kehitaman, mempunyai berat spesifik sangat kecil, ringan mengandung sifat sebagai koloid kuat yang mampu megikat air sehingga gambut menyerap air yang tinggi. Berdasarkan Meene (1982) tanah gambut terbentuk sebagai hasil proses pelapukan sisa tumbuhan yang terdapat pada rawa dari berbagai jenis rumput, tumbuhan bakau, paku-pakuan, pindang dan sebagainya.

Berdasarkan Pedoman Konstruksi dan Bangunan (Pd. T-06-2004) oleh Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, tanah gambut berupa dari serat tumbuhan dari berbagai proses pelapukan yang mempunyai warna coklat tua sampai hitam yang berbau khas tumbuhan yang lapuk dan memiliki konsistensi berongga menunjukkan plastisitas yang kelihatan dan bertekstur serat dan tidak teratur. Secara visual fisik dan mekanisnya memiliki daya dukung rendah, daya mampat tinggi dan kadar air tinggi. Pada rekayasa geoteknik dapat dibedakan dan digolongkan dilihat dalam tabel 3.1

Tabel 3.1 Tipe Tanah Tipe Tanah Berdasarkan Kadar Organik (Pedoman Konstruksi Jalan di atas Tanah Gambut dan Organik, 1996)

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

3.1.1 Faktor Yang Mempengaruhi Perilaku Tanah Gambut

Tanah gambut mengandung kadar organik tinggi dan berbeda dengan lempung organik. Faktor-faktor yang menyebabkan perilaku struktur ialah jumlah air material organik dalam urutan pembentukannya. (Hardiyatmo,2006)

a. Berat Spesifik

Tanah gambut ialah pepaduan dari tanah mineral yang mempunyai berat jenis sekitar 2,7 dan material organik mempunyai berat spesifik sekitar 1,4 sesuai dengan dan telah dibuktikan oleh skempton dan Petley (1970), pada kawasan iklim sedang. Pada kawasan Indonesia mempunyai kaitan sama juga dengan indikator

dalam pengamatannya pada tanah dengan mengandung berat spesifik tinggi pada mineral dan juga pada gambut.

b. Batas cair (*liquid limit*)

Batas cair ialah pada kadar air diantara keadaan cair dan keadaan plastis. Dalam menentukannya dengan memakai alat batas cair atau *cassagrade*. Tanah sudah dicampur dengan air dan diletakkan didalam cawan untuk dibuat alur dengan menggunakan alat spatel atau *grooving tool*. Bentuk alur ini sebelum dan sesudah percobaan. Engkol alat diputar sehingga cawan dinaikkan dan dijatuhkan pada dasar, dan banyaknya pukulan dihitung 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 (Hardiyatmo, 2006)

Perhitungan untuk mencari batas cair berdasarkan standar ASTM 4318:

$$1. \text{ Berat tanah basah, } E = C - B \dots\dots\dots(3.1)$$

$$2. \text{ Berat tanah kering, } F = D - B \dots\dots\dots(3.2)$$

$$3. \text{ Berat air, } G = E - F \dots\dots\dots(3.3)$$

$$4. \text{ Kadar air, } H = \frac{G}{F} \times 100 \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan: B= Berat cawan, (gram)

C= Berat tanah basah + cawan, (gram)

D= Berat tanah kering + cawan, (gram)

E= Berat tanah basah, (gram)

F= Berat tanah kering, (gram)

G= Berat air, (gram)

K= Kadar air, (%)

c. Kompresibilitas (*compresibility*) atau Kemampuan mampatan

Kompresibilitas ialah perubahan volume suatu sifat material bila adanya tekanan, Farrel dkk. (1994) menjelaskan dikawasan tanah gambut Irlandia kompresibilitas C_c yang korelasi dengan batas cair. Bahwa nilai-nilai k berkisar diantara 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 tinggi yang berkisaran 200% sampai dengan 900% pada sampel tidak terganggu.

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

3.1.2 Klasifikasi Tanah Gambut

ASTM D4427-92 (2002) mengklasifikasikan tanah gambut berdasarkan kandungan serat, kandungan abu, tingkat keasaman, tingkat absorpsinya, dan tanah gambut berdasarkan tingkat humifikasinya. Klasifikasi tanah gambut berdasarkan kandungan seratnya, yaitu :

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

Klasifikasi tanah gambut berdasarkan kandungan abunya, yaitu:

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

Klasifikasi tanah gambut berdasarkan kandungan tingkat asamnya yaitu:

1. *Highly acidic*, merupakan tanah gambut dengan pH $< 4,5$.
2. *Moderately acidic*, merupakan tanah gambut dengan pH antara 4,5-5,5.
3. *Slightly acidic*, merupakan tanah gambut dengan pH antara 5,5-7.
4. *Basic*, merupakan tanah gambut dengan pH ≥ 7 .

Klasifikasi tanah gambut berdasarkan tingkat absorpsinya, yaitu:

1. *Extremely absorbent*, merupakan tanah gambut yang dapat menampung air $> 1500\%$
2. *High absorbent*, merupakan tanah gambut yang dapat menampung 800%-1500%.

3. *Moderately absorbent*, merupakan tanah gambut yang dapat menampung air 300%-800%.
4. *Slightly absorbent*, merupakan tanah gambut yang dapat menampung air <300%.

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

1. Berdasarkan bahan asal atau penyusunan tanah gambut dibedakan tiga golongan gambut yaitu:
 - a. Gambut lumutan (*sedimentairy* atau *moss peaf*) ialah gambut terdiri dari gabungan tanaman air (*family liliceae*) merupakan plankton yang sejenisnya.
 - b. Gabungan seratan (*fibrous* atau *sedge peaf*) ialah gambut terdiri dari gabungan dari tanah *sphagnum* dan rumputan.
 - c. Gambut kayuan (*wood peaf*) ialah rumputan berasal dari jenis pohon atau hutan tiang termasuk tanaman semak atau paku-pakuan dibawahnya.
2. Berdasarkan jenjang kesuburannya tanah gambut dibedakan tiga golongan yaitu:
 - a. Gambut eutrofik ialah gambut yang mengandung mineral, khususnya kalsium karonat, sebagian besar didaerah payau dan berasal dari vegetasi serat atau rumputan-rumputan bersifat netral atau alkalin.

- b. Gambut oligotofik ialah tanah gambut yang mengandung mineral sedikit khususnya magnesium dan kalsium yang bersifat sangat asam atau $\text{Ph} < 4$.
 - c. Gambut mesotrofik ialah gambut yang berada anantara gambut eutrofik dan gambut oligotrofik.
3. Berdasarkan pada wilayah iklim, tanah gambut dibedakan menjadi dua antara lain:
- a. Gambut tropik ialah gambut yang terletak pada kawasan tropik atau sub tropik.
 - b. Gambut iklim sedang gambut yang terletak pada kawasan eropa yang memiliki iklim empat musim.
4. Berdasarkan urutan pembentukannya, gambut dibedakan menjadi yaitu:
- a. Gambut ombrogen ialah gambut terbentuk dipengaruhi pada curah hujan
 - b. Gambut topogen ialah gambut terbentuk dipengaruhi pada kondisi topografi dan air tanah.
5. Berdasarkan lingkungan terbentuknya gambut dibedakan menjadi yaitu:
- a. Gambut vekung (*basin peat*) ialah gambut yang terbentuk di kawasan cekungan rawat butir (*backswamps*) atau lembah sungai.
 - b. Gambut sungai (*river peat*) adalah gambut yang terbentuk di kawasan sungai ke arah lembah kurang lebih 1 km seperti sepanjang sungai Kapuas, Sungai Mentanga di Kalimantan dan Sungai Bario.

- c. Gambut daratan tinggi (*highland peat*) adalah gambut yang terbentuk di kawasan punggung bukit atau pegunungan seperti kawasan Tigi di provinsi Papua dan pegunungan Dieng di provinsi Jawa Tengah.
 - d. Gambut daratan pesisir/ pantai (*coastal peat*) adalah gambut di kawasan sepanjang sekjtar pantai.
6. Berdasarkan sifat kematangannya (*ripeness*) gambut dibedakan tiga jenis yaitu:
- a. Gambut *fabric* ialah gambut masih muda klasifikasinya mengandung sisa atau bahan jaringan tanaman yang dapat dilihat secara asli dan visual dengan ukuran diameter 0,15 mm sampai 2 cm.
 - b. Gambut *hemik* ialah tanah gambut yang mengalami proses pembentukan dan bersifat separuh matang
 - c. Gambut *saprik* adalah bahan gambut telah terjadi pembentukan cepat dan bersifat matang sampai dengan matang.
7. Berdasarkan ketebalan lapisan organiknya gambut diklasifikasi empat kategori:
- a. Gambut dangkal ialah areal gambut yang memiliki ketebalan lapisan bahan organik 50-100 cm.
 - b. Gambut tengahan ialah areal gambut yang memiliki ketebalan lapisan bahan organik 100-200 cm
 - c. Gambut dalam ialah areal gambut yang memiliki ketebalan lapisan bahan organik 200-300 cm

- d. Gambut sangat dalam ialah areal gambut yang memiliki ketebalan lapisan bahan organik >300 cm.

3.2 Sifat Fisik Tanah Gambut

Sifat fisik tanah gambut memiliki kandungan organik yang sangat tinggi, dimana proses pembentukan tanah gambut itu sendiri berasal dari tumbuh-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 tinggi, berat air yang terkandung dalam tanah gambut mencapai 6 (enam) kali lebih berat dibandingkan berat butiran tanah gambut itu sendiri. Beberapa hal yang penting untuk diperhatikan pada sifat tanah gambut dapat dilihat pada Tabel 3.2 dibawah.

Tabel 3.2 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 ³
3	Kadar air (w)	200%-900%
4	Angka Pori (e)	5-5
5	Ph	4-7

Tabel 3.2 Lanjutan

6	Kadar abu (A)	1-5 %
7	<i>Specific gravity</i> (Gs)	1,38-1,95
8	Rembesan (k)	$2 \cdot 10^{-2}$ s/d $1,2 \cdot 10^{-6}$

Sifat fisik tanah gambut mempunyai kandungan organik tinggi sesuai pembentukan terjadinya tanah gambut, angka pori besar mempunyai kadar air tinggi mengakibatkan koefisien rembesan seperti pasir dan berat air mencapai 6 kali lebih dari berat butiran tanah gambut sendiri.

Kemampuan tanah gambut tinggi dalam menyimpan memiliki air yang mempengaruhi untuk menyerap dan menyimpan air akan mengganggu sifat teknis tanah gambut termasuk daya kekuatannya dan sensitif beban yang diterimanya dalam penurunan tinggi atau *high compressibility*

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

1. Sifat Fisik

Tanah gambut memiliki kadar air 100 % - 1300 %, mengakibatkan tanah gambut menjadi lunak dan menahan bebannya yang rendah. Lapisan atas tanah gambut *bulk density* 0,1 s.d 0,2 gram/cm³ sesuai tingkat pelapukannya atau dekomposisi.

- a. *Bulk density* <0,1 gram/cm³ dikategori gambut *fibrik* pada lapisan bawah.

- b. Bulk density $>0,2 \text{ gram/cm}^3$ dikategori *saprik* disebabkan pengaruh mineral tanah

2. Sifat Kimia

Sifat kimia pada areal gambut di Indonesia khusus 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.

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

Tabel 3.3 Sifat Teknik Tanah Gambut (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

Tabel 3.3 Lanjutan

4	Sudut geser dalam	➤ 50 derajat	Terutama Fibrous
5	Ko/ Koefisien tanah <i>at rest</i>	Maks 0,5	Lebih kecil dari
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 Compressibility*), yang dibuktikan dengan perilaku terhadap beban yang bekerja diatasnya.

Tanah gambut mempunyai karakter fisik dan kimia yaitu:

1) Karakteristik fisik

Tanah gambut mempunyai kadar air berkisar antara 100-130%, yang menyebabkan tanah gambut menjadi lembek dan daya menahan bebannya rendah. Bulk Density tanah gambut lapisan atas bervariasi antara 0.1-0.2 gram/cm³ tergantung pada tingkat dekomposisinya.

- a. Gambut fibrik pada umumnya berada pada lapisan bawah yang memiliki bulk density <0,1 gram/cm³.
- b. Gambut pantai dan gambut di jalur aliran sungai yang memiliki bulk density >0,2 gram/cm³ yang disebabkan karena adanya pengaruh tanah mineral.

2) Karakteristik kimia

Lahan gambut di Indonesia mempunyai karakteristik kimia yang dipengaruhi oleh ketebalan, jenis mineral dan kandungan mineral pada dasar

gambut, dan tingkat dekomposisi gambut. Pada umumnya kandungan mineral gambut, di Indonesia kurang dari 5% sedangkan sisanya adalah bahan organik. Fraksi organik terdiri dari senyawa humat sekitar 10 hingga 20% dan sebagian besar lainnya adalah senyawa lilin, resin, protein, lignin, selulosa hemiselulosa, dan senyawa lainnya.

3.3 Stabilisasi Tanah

Menurut Hardiyatmo (2010) menjelaskan stabilisasi tanah perubahan dan pencampuran bahan untuk stabilisasi dalam memperbaiki atau merubah sifat teknis sesuai spesifikasi tekniknya. Stabilisasi tanah ialah perawatan atau pengubahan.

Pencampuran tanah untuk stabilisasi tanah dengan bahan gradasi yang diinginkan atau dilaksanakan dengan pencampuran tanah dengan bahan tambahan buatan pabrik maupun alam untuk membuat sifat-sifat tanah lebih baik. Perbaikan sifat-sifat teknis tanah seperti kompresibilitas, permeabilitas, perubahan kadar air, dan kapasitas daya dukung dilaksanakan dengan penanganan seperti pemadatan, pencampuran tanah dengan kapur, semen, abu terbang atau sebagainya.

Menurut Bowles (1986) stabilisasi dapat berupa :

- a. Meningkatkan kerapatan tanah.
- b. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul.
- c. Menambah material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisik dari material tanah.
- d. Menurunkan muka air tanah.

3.4 Biogrouting

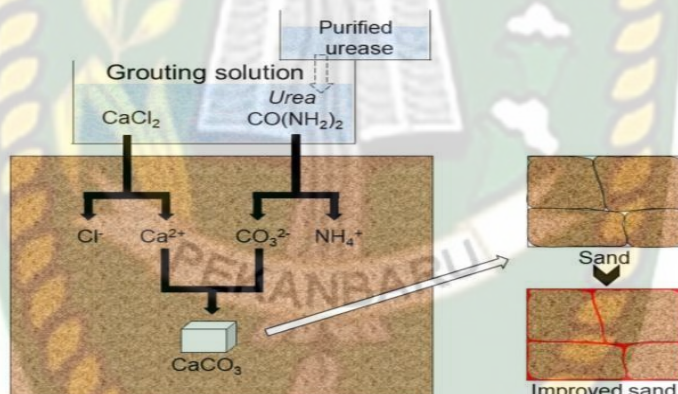
Biogrouting yang dikenal sebagai *biosementasi* merupakan suatu metode untuk meningkatkan kestabilan tanah, dengan memanfaatkan bakteri yang berperan dalam proses pengendapan kalsium karbonat (CaCO_3) yang bersifat ramah lingkungan dan murah (Goenadi, 2017). Di sisi lain, proses *biogrouting* menggunakan bahan biologis yang dapat mempercepat sementasi, mikroorganisme (ketika disuplai dengan substrat yang sesuai) mampu mengkatalisasi reaksi kimia yang mengarah pada pengendapan senyawa anorganik yang membantu mengubah sifat-sifat tanah (Paassen *et al.*, 2009). Menurut Ivanov & Chu (2008), proses *biogrouting* dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu seleksi dan identifikasi mikroorganisme yang sesuai, keamanan proses aplikasi, biaya dan stabilitas sifat-sifat tanah setelah pengaplikasian *biogrouting*. Peran dari bakteri yang digunakan dalam aplikasi *biosementasi* adalah sebagai pengganti bahan-bahan kimia yang digunakan dalam proses *grouting* atau sementasi seperti poliuretan, silikat, akrilat dan akrilamida.

Proses *biogrouting* dilakukan dengan memanfaatkan bakteri pengendapan kalsium karbonat (CaCO_3), melalui hidrolisis urea dengan kemampuannya untuk menginduksi kalsium karbonat (CaCO_3) dengan jumlah tinggi pada waktu singkat adalah proses yang paling mudah dan mudah dikontrol (Dhami *et al.*, 2013). Kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan mineral yang tersebar secara luas di bumi dan banyak ditemukan di beberapa bebatuan di antaranya pasir atau batu marmer. Kalsium karbonat atau dikenal dengan nama kalsit dapat mengendap dalam keadaan pH basa, yaitu 8.8 – 9.0 (Stocks- fischer,dkk, 1999). Menurut

Hammers,dkk (2003), proses terbentuknya kalsit dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu pH lingkungan, konsentrasi kalsium dan konsentrasi karbonat.

3.5 Enzyme Induced Calcite Precipitation (EICP)

Metode alternatif di antara teknik presipitasi kalsit, yaitu disebut presipitasi kalsit bermediasi enzim, telah diteliti dalam penelitian sebelumnya. Dalam teknik ini, enzim urease sendiri digunakan untuk mendisosiasi urea menjadi ion amonium dan karbonat, bukan bakteri. Skema proses presipitasi dan mekanisme peningkatan yang diharapkan diilustrasikan pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.1 Skema Proses Presipitasi dan Mekanisme Grouting (Putra,dkk 2017)

Enzim *urease* merupakan enzim yang dihasilkan dari banyak organisme, seperti bakteri, ganggang, jamur, tanaman, dan invertebrata. Enzim *urease* dalam tanah berperan sebagai katalisator dalam proses hidrolisis urea menjadi amonia dan asam karbonat yang selanjutnya asam karbonat (Banarjee & Aggarwal, 2012). *Urease* adalah enzim yang dihasilkan oleh bakteri ureolitik yang tidak bersifat toksik (Fujita,dkk 2011). Enzim *urease* berperan dalam proses hidrolisis urea menjadi amonium dan karbondioksida, saat proses hidrolisis berlangsung akan

terjadi kenaikan konsentrasi karbonat dan pH. Kemudian karbonat yang dihasilkan dari proses tersebut akan berikatan dengan kalsium untuk membentuk kalsium karbonat (CaCO_3) (Krishnapriya *et al.*, 2015).

Urease adalah enzim yang sangat sensitif terhadap pengelolaan lahan, sehingga tanah secara intensif mengalami pengelolaan biasanya mempunyai aktivitas enzim yang rendah. Berdasarkan penelitian Wandasari (2006), penggunaan lahan secara intensif mempengaruhi *C-biomassa* mikroorganisme di dalam tanah dan mempengaruhi aktivitas ureolitik. Aktivitas ureolitik di tanah sawah rendah dikarenakan terjadi pengelolaan lahan, pemupukan, dan penggunaan pestisida sehingga memiliki struktur agregat tanah yang kurang baik.

3.6 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Pengujian sifat fisik tanah yaitu sifat tanah dalam keadaan asli yang digunakan untuk menentukan jenis tanah. Pengujian ini dilakukan pada sampel tanah yang akan digunakan yaitu pengujian pengidentifikasian tanah yang ekspansif. Adapun pengujian ini terdiri dari :

3.6.1 Pengujian Kadar Air (*Water Content*)

Kadar air suatu bahan tanah merupakan perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat butiran tanah kering yang dinyatakan dalam persen (%), pengujian kadar air menggunakan standar SNI 1965-2008, untuk menentukan besarnya kadar air (*water content*) yang terkandung dalam tanah asli digunakan rumus :

$$\omega = \frac{b-c}{c-a} \times 100\% \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana :

ω = kadar air (%)

a = berat cawan kosong (gram)

b = berat cawan + tanah basah (gram)

c = berat cawan + tanah kering oven (gram)

Kadar air dari suatu tanah berbeda-beda tergantung pada keadaan daerah berkisar 20%-100%, dengan ketentuan jika kadar air melebihi 100% maka tanah tersebut dikatakan jenuh air dan jika kurang dari 20% maka tanah tersebut dikatakan kering, jumlah kadar air sangat berpengaruh terhadap sifat dari suatu tanah. Sifat-sifat yang dipengaruhi oleh kadar air yang terlalu tinggi akan menyebabkan campuran tanah dan air menjadi sangat lembek yang pada akhirnya akan memperlemah daya dukung tanah tersebut.

3.6.2 Pengujian Berat Spesifik [*Specific Gravit (GS)*]

Berat Spesifik tanah merupakan perbandingan antara berat butir tanah dengan volume tanah pada atau berat air dengan isi sama dengan isi tanah padat tersebut pada suhu tertentu. Pengujian ini berdasarkan SNI 03-1964-1990 yang dilakukan untuk mengetahui berat spesifik butiran tanah. Berat spesifik tanah (G_s) dapat dihitung dengan rumus:

$$G_s = \frac{c-a}{(b-a).T_1-(d-c).T_2} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana :

G_s = Berat Spesifik butir tanah

a = berat piknometer kosong (gram)

b = berat piknometer kosong (gram)

c = berat piknometer + air (gram)

T1= Faktor koreksi pada suhu t1 ($^{\circ}\text{C}$)

T2= Faktor koreksi pada suhu t2 ($^{\circ}\text{C}$)

3.6.3 Pengujian Pemadatan Standar

Uji pemadatan ini bertujuan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan (berat volume kering) tanah, sehingga akan diperoleh w_{opt} dan $\gamma_d \text{ max}$. Pengujian pemadatan standard Proctor ini berdasarkan ASTM D 698-78. Sampel tanah yang digunakan lolos saringan no. 4 sebanyak ± 3000 gram.

Kepadatan tanah biasanya diukur dengan menentukan berat isi kering. Adapun rumus berat isi kering (γ_d) yaitu :

$$(\gamma_d) = \frac{\gamma_{wet}}{1+w} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\gamma_{wet} = \frac{B}{V} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana :

w = kadar air (%)

γ_{wet} = berat isi basah (gram/cm³)

B = berat benda uji (gram)

V = isi cetakan (cm³)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Pada bab ini akan dijelaskan metode penelitian yang terdiri dari lokasi, bahan alat, prosedur, analisis penelitian serta tahap pengujian yang dibagi menjadi dua pengujian yaitu pengujian pendahuluan dan pengujian utama, hal ini dilakukan agar hasil yang didapat lebih terperinci dan mendetail.

4.2 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

Lokasi pengambilan sampel tanah gambut diambil dari Desa Buana Makmur km. 55 Kecamatan Dayun, Kabupaten Siak dalam keadaan Basah dan musim penghujan. Untuk enzim *urease* berasal dari laboratorium Pertanian, serta bahan tambahan urea dan CaCl.

4.2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di unit Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Islam Riau, Pekanbaru untuk melakukan pengujian pendahuluan dan pengujian utama.

4.3 Material Benda Uji

a. Tanah

Sampel tanah gambut yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah gambut yang berasal dari Desa Buana Makmur, Kec. Dayun, Kab. Siak, tanah gambut dalam kondisi terganggu, tidak terendam dan diambil pada musim penghujan dalam keadaan basah, dimana sampel tersebut diambil pada kedalaman ± 50 cm dari permukaan tanah dengan menggunakan cangkul, dan

alat lainnya kemudian sampel tanah tersebut dimasukkan ke dalam karung kemudian diangkut ke laboratorium untuk dikeringkan dengan cara menjemur dengan sinar matahari secara terbuka, lalu sampel tanah di saring menggunakan saringan No 4.



Gambar 4.1 Material Tanah Gambut

b. Urea

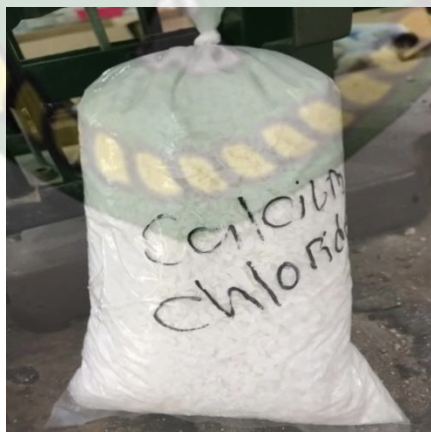
Urea adalah senyawa kimia mengandung Nitrogen (N) berkadar tinggi. Unsur Nitrogen merupakan zat hara yang sangat diperlukan tanaman. Urea berbentuk butir-butir kristal berwarna putih. Urea dengan rumus kimia NH_2CONH_2 merupakan pupuk yang mudah larut dalam air dan sifatnya sangat mudah menghisap air (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 1 3,35 MM 90 % Min serta berbentuk Prill. Standar urea SNI-02-2801-1998.



Gambar 4.2 Bahan Pengujian Urea

c. CaCl_2 (*calcium chloride*)

Garam CaCl_2 (kalsium klorida) merupakan senyawa kimia yang digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah yang mudah larut dalam air dan mampu mengalirkan arus listrik dengan cukup baik dan mampu mengalirkan mengikat partikel tanah.

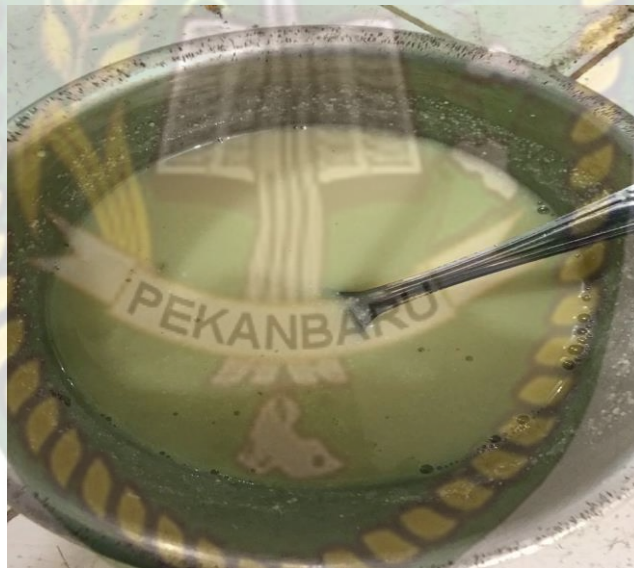


Gambar 4.3 Bahan Pengujian CaCl_2

d. **Enzim Urease**

Enzim *urease* merupakan enzim yang dihasilkan dari banyak organisme, seperti bakteri, ganggang, jamur, tanaman, dan invertebrata. Enzim *urease* dalam

tanah berperan sebagai katalisator dalam proses hidrolisis urea menjadi amonia dan asam karbonat yang selanjutnya asam karbonat (Banarjee & Aggarwal, 2012). *Urease* adalah enzim yang dihasilkan oleh bakteri ureolitik yang tidak bersifat toksik (Fujita,dkk 2011). Enzim *urease* berperan dalam proses hidrolisis urea menjadi amonium dan karbondioksida, saat proses hidrolisis berlangsung akan terjadi kenaikan konsentrasi karbonat dan pH. Kemudian karbonat yang dihasilkan dari proses tersebut akan berikatan dengan kalsium untuk membentuk kalsium karbonat (CaCO_3) (Krishnapriya *et al.*,2015).



Gambar 4.4 Bahan Pengujian Enzim *Urease*

4.4 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian sebagai berikut :

1. Peralatan Uji Pemadatan Standar
 - a. Mold pemadatan Ø4"
 - b. Palu pemadatan standar dengan berat 2,45 kg (5,5 lb)
 - c. Extruder mold

- d. Pisau pemotong
- e. Palu karet
- f. Kantong plastik
- g. Cawan
- h. Gelas ukuran 1000 ml
- i. Saringan no 4



Gambar 4.5 Alat Uji Pemadatan Tanah

2. Peralatan Uji Kadar Air Tanah (*Moisture Content*)

Alat yang digunakan pada pengujian kadar air antara lain :

- a. Cawan



Gambar 4.6 Alat Cawan

b. Timbangan



Gambar 4.7 Alat Timbangan Digital

c. Oven dengan pengatur suhu



Gambar 4.8 Alat Oven dengan pengatur suhu

3. Peralatan Uji Berat Spesifik (*Specific Gravity*)

Alat-alat yang digunakan pada pengujian berat spesifik adalah :

- a. Piknometer dengan kapasitas minimum 100ml
- b. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram



Gambar 4.9 Alat Piknometer dan Timbangan ketelitian 0,01 gram

- c. Kompor Gas

d. Cawan



Gambar 4.10 Alat Cawan

e. Botol tempat air suling



Gambar 4.11 Botol Air Suling

4.5 Tahapan Pengujian

Dalam penelitian ini pengujian pendahuluan dilakukan untuk menjadi acuan pada pengujian utama.

4.5.1 Pengujian Pendahuluan

Pada bagian pengujian pendahuluan material tanah gambut dilakukan dengan mengambil sampel tanah gambut yang telah tersedia atau yang digunakan sesuai keperluan pengujian, dengan penelitian yang dilakukan terdiri dari:

1. Pengujian sifat-sifat fisik tanah meliputi, pengujian kadar air (ASTM D 2216-98), dan pemeriksaan berat spesifik (ASTM D 854-02).
2. Pengujian kepadatan (*proctor*) yang dilakukan mengacu pada ASTM D 698-78.

4.5.2 Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji dilaksanakan sebagai berikut :

- A. Benda uji dibuat berdasarkan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum yang didapat dari pengujian pemadatan standar. Berat contoh tanah yaitu sebesar 48,7 gr kemudian ditambahkan air sebesar 41,3 total berat benda uji yaitu 90 gr , aduklah sampai merata.
- B. Benda uji yang telah diaduk rata tersebut dimasukkan ke dalam silinder sebanyak 3 lapisan, lalu ditekan dengan alat modifikasi dari alat sondir.
- C. Setelah benda uji keluar dari cetakan masukkan kedalam plastik kedap udara.



Gambar 4.12 Proses Pembuatan Benda Uji Tanah Gambut

4.5.3 Pembuatan Reagen Enzim

Pada penelitian ini digunakan reagen yaitu Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), CaCl_2 , air dan enzim *urease* sebagai bahan *grouting*. Penelitian ini adalah penelitian pertama untuk memastikan pengaruh teknik presipitasi kalsit yang diinduksi secara enzim oleh enzim *urease* di tanah organik. Oleh karena itu, penelitian ini mencoba dengan jumlah konsetrat bahan yang acak dan membuat benda uji dengan ini sebagai percobaan EICP. Konsetrat yang dibuat untuk reagen ada dalam tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Material yang digunakan Dalam Reagen

No	Material	Kuantitas
1	Enzim <i>Urease</i>	10 gr
2	Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)	10 gr
3	CaCl_2	10 gr
4	Air	50 ml

Dalam penelitian ini digunakan variasi persen campuran reagen yaitu 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% yang dihitung dari berat isi benda uji dan membuat perbandingan tanpa reagen pada sampel yang terlihat pada Gambar 4.13



Gambar 4.13 Proses Pembuatan Reagen Enzim *Urease*

4.5.4 Penetasan Benda Uji dengan Reagen Enzim *Urease*

Langkah – langkah penetesan benda uji dengan reagen enzim *urease* dilakukan sebagai berikut :

1. Ambil benda uji yang telah dicetak dan dimasukkan ke dalam plastik.
2. Benda uji yang ada di dalam plastik, lalu di keluarkan dan ditimbang beratnya.
3. Hasil dari timbangan berat benda uji dikalikan dengan persen reagen enzim *urease*. Di penelitian ini menggunakan campuran reagen enzim *urease* (5%,10%,15%,20%,25%) terhadap berat benda uji hal ini dilakukan untuk mendapatkan berapa ml reagen enzim *urease* yang akan ditetaskan menggunakan pipet tetes ke semua permukaan benda uji. Berat contoh tanah benda uji berkisar 78-80 gr lalu dikalikan dengan persentase variasi perlakuan reagen enzim *urease* (5%,10%,15%,20% dan 25%). Untuk variasi 5% didapatkan hasil 4 ml reagen enzim *urease* yang akan ditetaskan ke seluruh permukaan benda uji. Variasi 10 % didapatkan 8 ml reagen enzim *urease* yang akan ditetaskan ke seluruh permukaan benda uji, untuk variasi 20% didapatkan 16 ml reagen enzim *urease* yang akan ditetaskan ke seluruh permukaan benda uji dan untuk variasi 25% didapatkan 20 ml reagen enzim *urease* yang akan ditetaskan ke seluruh permukaan benda uji.
4. Untuk setiap % (persen) campuran digunakan 3 sampel benda uji.
5. Setelah itu peram benda uji yang telah ditetaskan reagen enzim *urese* selama 14 hari dalam kondisi tertutup rapat menggunakan plastik sehingga tidak terkontaminasi dengan udara luar.



Gambar 4.14 Proses Penetesan Reagen Enzim *Urease* ke seluruh Permukaan Benda Uji

4.5.5 Pengujian Utama

Pada pengujian utama dilakukan setelah pengujian pendahuluan untuk mengetahui properties dari tanah gambut yang telah didapatkan sebagai dasar untuk menentukan campuran pembuatan benda uji yang selanjutnya akan dikombinasikan menggunakan reagen enzim *urease*. Pada penelitian ini penetesan reagen enzim *urease* terhadap benda uji yaitu dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% berdasarkan berat isi benda uji tanah gambut. Setelah benda uji dikombinasikan dengan enzim *urease* kemudian akan diuji terhadap sifat-sifat fisik tanah yaitu berat spesifik dan kadar air.

4.6 Diagram Alir Penelitian

Tahapan proses yang akan dilakukan dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 4.16



Gambar 4.15 Bagan Alir Penelitian

4.7 Prosedur Pengujian

4.7.1 Prosedur Pengujian Pendahuluan

Dalam penelitian ini mempunyai prosedur-prosedur pengujian yang dilakukan sesuai dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Pengujian Pemadatan Standar

Pengujian pemadatan standar dilakukan untuk mengetahui kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering maksimum (γ_d maks). Pengujian pemadatan standard proctor ini berdasarkan ASTM D 698. Sampel tanah yang digunakan lolos saringan no.4 sebanyak 3000 gram. Untuk pengujian tanah asli cara pelaksanaan sebagai berikut :

- a. Menyiapkan sampel $\pm 3,0$ kg untuk 1 silinder pemadatan selanjutnya menyampurkan air, sesuai dengan variasi campuran air yang digunakan, kemudian sampel tanah dimasukkan kedalam plastic untuk menjaga kadar air agar tidak berkurang, diamkan ± 24 jam, hal ini dilakukan agar pori-pori tanah terisi oleh air.
- b. Mengeluarkan benda uji dari plastik, sebar pada nampan dan bagi sampel tanah menjadi 3 bagian, memasukkan sampel kedalam cetakan kemudian dipadatkan dalam tiga lapis, dan masing-masing lapis dipadatkan dengan tumbukan 25 tumbukan. Kemudian leher cetakan dibuka dan sampel diratakan hingga bagian atas benda uji sejajar dengan permukaan cetakan, lalu cetakan dilepas dari alasnya kemudian ditimbang, Mengambil sampel dari bagian atas, bawah dan tengah, lalu memasukkan sampel kedalam cawan, untuk mengetahui kadar airnya. Selanjutnya memasukkan cawan berisi tanah tersebut kedalam oven.

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.

2. Pengujian Berat Spesifik (*Specific Gravity*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya berat spesifik tanah yang merupakan perbandingan antara berat butir tanah dengan berat air di udara pada volume yang sama dan pada temperatur tertentu.

Prosedur pelaksanaannya yaitu (Laboratorium Mekanika Tanah 2010)

a. Kalibrasi Piknometer

- Timbang piknometer dalam keadaan bersih dan kering
- Isi piknometer dengan air suling dalam suhu ruang, kemudian timbang beratnya dan ukur suhu tersebut.

b. Benda Uji

- Siapkan sampel tanah sebanyak ± 25 gram dan kemudian keringkan dalam oven
- Timbang sampel tanah tersebut
- Rendam sampel tanah dalam air suling selama 12 jam
- Masukkan sampel tanah dalam piknometer dan tambahkan air suling sampai mencapai batas leher.
- Didihkan sampel tanah tersebut untuk menghilangkan udara yang terperangkap dalam contoh tanah atau dengan menghisap udara yang terperangkap dalam pompa vakum.

- Diamkan piknometer sampai mencapai suhu konstan dan tambah air suling sampai batas leher. Bersihkan bagian luar piknometer dan keringkan kemudian timbang.

3. Pengujian Kadar Air tanah (*Moisture Concent*)

Adapun tujuannya adalah untuk menentukan kadar air tanah yaitu perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering yang dinyatakan dalam persen.

Prosedur pelaksanaannya yaitu (Laboratorium Mekanika Tanah, 2010) :

- a. Membersihkan cawan kemudian menimbanginya.
- b. Tanah sampel yang akan diperiksa ditempatkan dalam cawan bersih yang telah diketahui beratnya.
- c. Cawan dan isinya kemudian ditimbang dan beratnya dicatat.
- d. Masukkan cawan dan isinya kedalam oven pengering selama 24 jam atau berat contoh tanah konstan.
- e. Diambil 4 (empat) contoh tanah yang diperlakukan sama seperti langkah-langkah sebelumnya untuk mendapatkan nilai kadar air rata-rata.

4.7.2 Prosedur Pengujian Utama

Dalam pengujian utama ini mempunyai prosedur-prosedur pengujian yang dilakukan dengan sesuai dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Kadar Air Gambut Terstabilisasi Reagen Enzim *Urease*

Adapun tujuannya adalah untuk menentukan kadar air tanah gambut terstabilisasi Reagen enzim *urease* yaitu perbandingan antara berat air yang

terkandung dalam tanah dengan berat kering yang dinyatakan dalam persen dan pengaruh penambahan reagen enzim *urease* terhadap nilai kadar air tanah gambut.

Prosedur pelaksanaannya yaitu :

- a. Membersihkan cawan kemudian menimbanginya
- b. Benda uji yang telah di campurkan dengan campuran reagen enzim *urease* yang akan diperiksa ditempatkan dalam cawan yang bersih, kering telah diketahui beratnya.
- c. Cawan dan benda uji kemudian ditimbang dan beratnya dicatat.
- d. Masukkan cawan dan benda uji kedalam oven pengering selama 24 jam atau berat contoh tanah konstan.
- e. Diambil 3 benda uji yang diperlakukan sama seperti langkah-langkah sebelumnya untuk mendapatkan nilai kadar air rata-rata.

2. Pengujian Berat Spesifik (*Specific Gravity*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya berat spesifik tanah gambut terstabilisasi reagen enzim *urease* yaitu perbandingan antara berat butir tanah dengan berat air diudara pada volume yang sama dan pada temperatur yang berbeda serta pengaruh penambahan reagen enzim *urease* terhadap nilai berat spesifiknya.

Prosedur pelaksanaannya yaitu :

- a. Kalibrasi Piknometer
 - Timbang piknometer dalam keadaan bersih dan kering.

- Isi piknometer dengan air suling dalam suhu ruang, kemudian ditimbang beratnya.

b. Benda Uji

- Siapkan benda uji sebanyak ± 30 gram dan kemudian di oven untuk dikeringkan
- Kemudian tumbuk benda uji tersebut agar lebih halus
- Saring benda uji yang sudah ditumbuk menggunakan saringan No 4
- Masukkan benda uji dalam piknometer dan tambahkan air suling sampai batas dibawah leher.
- Didihkan benda uji tersebut untuk menghilangkan udara yang terperangkap dalam benda uji.
- Diamkan piknometer sampai mencapai suhu konstan dan tambah air suling sampai batas leher. Bersihkan bagian luar piknometer kemudian timbang.
- Catat hasil timbang yang diperoleh.

4.8 Variasi Campuran Benda Uji Sifat Fisik Tanah Gambut

Untuk variasi campuran dan pembuatan benda uji sifat fisik tanah yang pada penelitian mengetahui jumlah sampel uji untuk pada kondisi kadar air optimum dengan pemeraman. Jumlah sampel uji dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Jumlah Sampel Sifat Fisik Tanah Gambut

KETERANGAN	UMUR PERAMAN	JUMLAH SAMPEL
Tanah Gambut	0	3
Tanah Gambut + Reagen Enzim 5 %	14	3
Tanah Gambut + Reagen Enzim 10 %	14	3
Tanah Gambut + Reagen Enzim 15 %	14	3
Tanah Gambut + Reagen Enzim 20 %	14	3
Tanah Gambut + Reagen Enzim 25 %	14	3
		18

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Pada bab ini akan dibahas hasil pengujian sifat-sifat fisik tanah gambut dan pengaruh penambahan enzim *Urease*, urea dan CaCl_2 terhadap stabilisasi tanah yang dilakukan dengan pengujian sifat fisik tanah gambut pada kondisi kadar air optimum. Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Islam Riau. Pengujian yang dilakukan terhadap tanah asli meliputi pengujian berat spesifik, pengujian kadar air, dan pengujian pemadatan standar (*proctor*) sedangkan pengujian sifat fisik tanah gambut terstabilisasi reagen enzim *Urease* meliputi pengujian kadar air dan pengujian berat spesifik.

5.2 Sifat-sifat Fisik Tanah Gambut

Setelah dilakukan pengujian, maka dapat diketahui sifat-sifat fisik tanah gambut antara lain kandungan bahan organik yang tinggi karena tanah gambut berasal dari sisa-sisa tanaman mati dalam keadaan lembab maupun basah dan berat isi atau *bulk density* sangat rendah sehingga dalam keadaan kering konsistensinya sangat lepas. Berdasarkan urutan pembentukan termasuk gambut topogen, berdasarkan lingkungannya termasuk gambut sungai dan secara iklim termasuk gambut tropik.

5.2.1 Kadar Air Tanah Asli

Kadar air tanah yaitu perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering yang dinyatakan dalam persen dapat dilihat pada lampiran A2. Kondisi lapangan dalam pengambilan keadaan kering permukaan dan cuaca cerah. Sampel tanah digali pada kedalaman 30 cm sampai kedalaman 50 cm tanah asli diambil yang dimasukkan dalam pipa. Pengujian dilaksanakan pada sisi pipa. Untuk pengujian kadar air asli yang

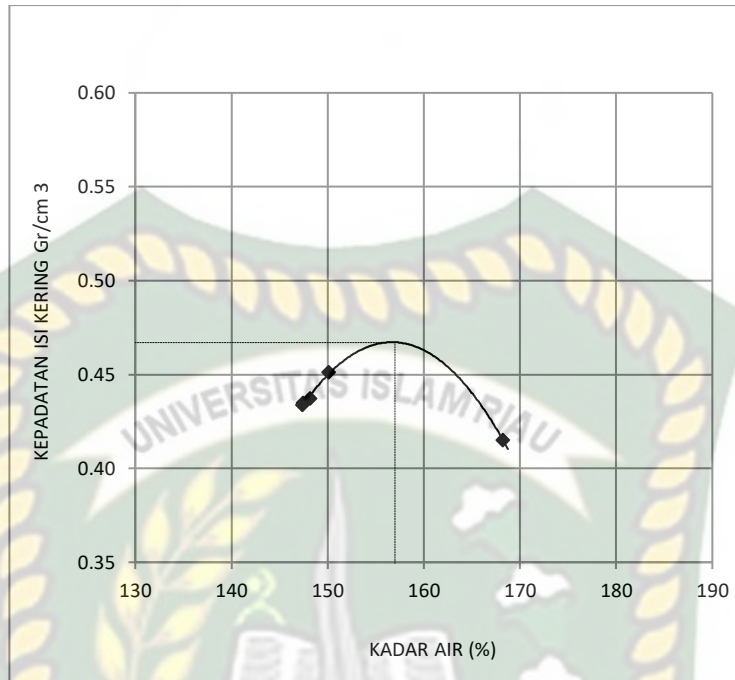
dilakukan sesuai dengan prosedur SNI 1965-2008. Dari pengujian berat kadar air yang telah dilakukan pada tanah gambut didapatkan nilai kadar air lapangan sebesar 396,34 %.

5.2.2 Berat Spesifik Tanah Asli (*Specific Gravity*)

Prosedur pengujian berat spesifik (*specific gravity*) yang dilakukan sesuai dengan SNI 03-1964-1990 dimana nilai berat spesifik tanah yang diperoleh harus dirata-ratakan berat spesifiknya apabila digunakan dalam perhitungan yang berkaitan dengan pengujian hidrometer. Untuk lebih jelas hasil pengujiannya di lampiran A3. Hasil dari pengujian yang telah dilakukan pada tanah asli mempunyai berat spesifik (G_s) 1,30.

5.2.3 Kepadatan Maksimum Tanah

Uji pemadatan dilakukan dengan cara proctor standart sesuai dengan prosedur standar SNI 1743-2008 sesuai ketentuan pemadatan tanah di laboratorium untuk menentukan kadar air maksimum dan kepadatan kering maksimum ini didapat digunakan untuk menentukan syarat yang dicapai. Peralatan yang digunakan adalah alat penumbuk, alat cetak, timbangan, alat pengeluar benda uji, pisau perata, oven pengering, saringan, alat pencampur, alat penumbuk, saringan, dan cawan. Untuk bahan yang diuji adalah tanah gambut. Tanah tersebut harus dikeringkan terlebih dahulu pengeringan dilakukan di udara atau dengan alat pengering lain sehingga tanah menjadi gembur untuk dilakukan uji yang ditentukan, dimana sampel yang akan di uji ada 5 (lima) buah. Adapun cara pengujian telah dilaksanakan dengan langkah sesuai yang ditentukan pada benda uji, sehingga pelaporan didapat hubungan berat volume kering dan kadar air. Hasil Uji Pemadatan *Standart Proctor* dapat dilihat dengan hasil pengujian 5 buah benda uji tertera pada lampiran A1.



Gambar 5.1 Hubungan berat volume kering dengan kadar air

Dari hasil uji pemadatan dimana uji pemadatan dilakukan pada 5 (lima) buah benda uji dengan diperoleh hasil grafik persamaan dari uji benda uji dengan garis berat isi kering pada pemadatan berpotongan didapat kadar air optimumnya 157% dan berat volume kering maksimum (γ_{maks}) sebesar 0,467 gr/cm³ dapat dilihat pada lampiran A1, sesuai berat volume kering didapat klasifikasi gambut berdasarkan berat volume kering pada tingkat pelapukannya atau dekomposisi > 0,2 gr/cm³ (Mutalib,et al., 1991) termasuk gambut saprik.

5.2.4 Perbandingan Sifat Fisik Tanah Gambut

Perbandingan nilai kadar air, berat spesifik, berat isi kering maksimum (MDD) dan kadar air optimum yang didapatkan dari pengujian tanah gambut asal siak dan palangkarya dijelaskan dalam tabel 5.1

Tabel 5.1. Nilai Perbandingan Sifat Fisik Tanah Gambut

No	Keterangan	Kab. Siak	Palangka Raya	Satuan
1	Kadar Air Tanah (w)	396,34	134,7	%
2	Berat Spesifik Rata-rata (Gs)	1,3	1,35	
3	OMC	157	49	%
4	MDD	0,467	0,91	gr/cm ³

Secara umum tanah gambut Palangka Raya memiliki kadar air (*water content*) yang cukup tinggi yaitu 134,70 %, termasuk kategori *Slightly Absorbent*. Untuk kadar air tanah gambut Kab.Siak 396% termasuk tanah yang sangat lembek. Sedangkan berat spesifik rata-rata didapat 1,35 terjadi selisih dengan Kab.Siak 0,05.

5.3 Sifat Fisik Tanah Gambut Terstabilisasi Reagen Enzim Urease

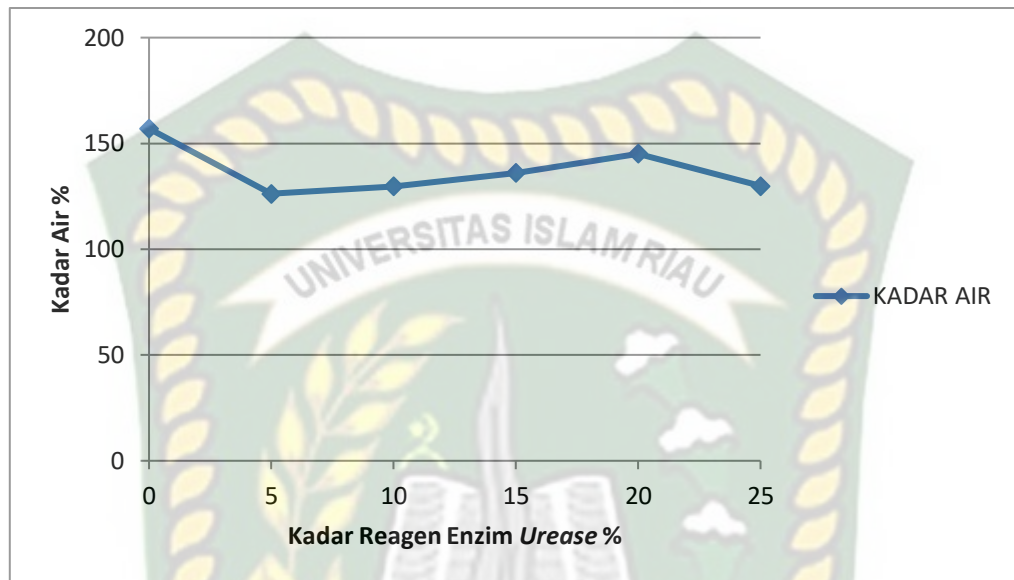
5.3.1 Kadar Air Gambut Terstabilisasi Reagen Enzim Urease

Pengujian kadar air untuk varian pencampuran tanah asli pada kondisi kadar air optimum dengan penambahan Enzim *Urease* terhadap kadar air tanah dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2. Nilai Kadar Air terhadap Varian Penambahan Reagen Enzim *Urease*

No	Varian Tanah Asli + Penambahan Reagen Enzim <i>Urease</i>	Kadar Air (%)
1	Tanah Asli	157
2	Tanah Asli + Reagen Enzim <i>Urease</i> 5 %	126,23
3	Tanah Asli + Reagen Enzim <i>Urease</i> 10 %	129,73
4	Tanah Asli + Reagen Enzim <i>Urease</i> 15 %	136,11
5	Tanah Asli + Reagen Enzim <i>Urease</i> 20 %	145,12
6	Tanah Asli + Reagen Enzim <i>Urease</i> 25 %	129,87

Hasil tabel 5.2 nilai kadar air terhadap penambahan reagen Enzim *Urease* 5%, 10%, 15%, 20% dan 25 % dijelaskan pada gambar dibawah ini :



Gambar 5.2 Grafik Hubungan Kadar Air terhadap penambahan Reagen Enzim *Urease*

Gambar 5.2 terlihat bahwa nilai kadar air pada persentase penambahan reagen enzim *Urease* 5% merupakan nilai kadar air terendah dengan nilai 126,23%, sedangkan penambahan enzim *Urease* 10 % sampai 20 % mengalami kenaikan dari penambahan reagen enzim *Urease* 5 % menurut peneliti hal ini terjadi di sebabkan oleh bebarapa kemungkinan yang disebabkan oleh lama waktu megovenkan benda uji yang berbeda dan variasi persen campuran reagen enzim *Urease* sehingga berpengaruh pada hasil akhirnya. Pada penambahan reagen enzim *Urease* 25 % nilai kadar air mengalami penurunan dari penambahan sebelumnya 20 % hal ini mungkin terjadi karena pada penelitian ini kadar CaCO_3 yang masuk kedalam benda uji tidak dapat dihitung.

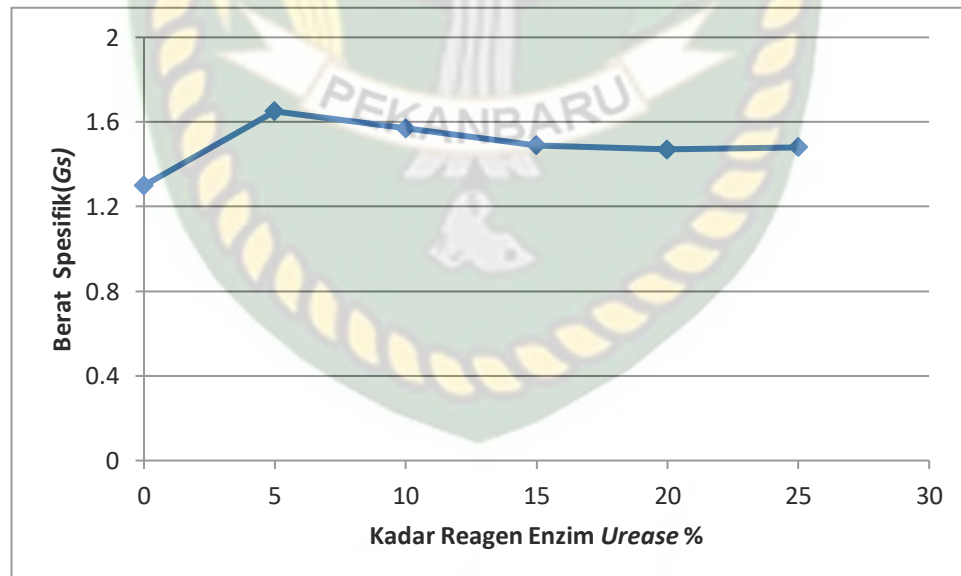
5.3.2 Berat Spesifik Gambut Terstabilisasi Reagen Enzim *Urease*

Hasil uji berat spesifik tanah asli pada kondisi kadar air optimum dengan persentase penambahan campuran reagen enzim *Urease* adalah 5%, 10%, 15%, 20% da 25 % dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 Persentase G_s terhadap pencampuran Tanah Asli dan Reagen Enzim *Urease*

NO	Material Tanah + Penambahan Reagen Enzim <i>Urease</i>	Berat Spesifik (G_s)
1	Tanah Asli + Reagen Enzim <i>Urease</i> 0%	1,3
2	Tanah Asli + Reagen Enzim <i>Urease</i> 5%	1,65
3	Tanah Asli + Reagen Enzim <i>Urease</i> 10%	1,57
4	Tanah Asli + Reagen Enzim <i>Urease</i> 15%	1,49
5	Tanah Asli + Reagen Enzim <i>Urease</i> 20%	1,47
6	Tanah Asli + Reagen Enzim <i>Urease</i> 25%	1,48

Hasil tabel 5.3 nilai berat spesifik terhadap penambahan reagen Enzim *Urease* 5%, 10%, 15%, 20% dan 25 % dijelaskan pada gambar dibawah ini :

Gambar 5.3 Grafik Hubungan Berat Spesifik (G_s) terhadap penambahan varian Reagen Enzim *Urease*

Gambar 5.3 terlihat bahwa nilai G_s tertinggi pada 5 % dengan nilai $G_s = 1,65$ sedangkan untuk pencampuran reagen enzim *urease* 10% hingga 25% mengalami penurunan dari pencampuran reagen enzim *urease* 5%. Untuk tanah asli nilai berat spesifiknya yaitu 1,30 kecil dari tanah gambut yang sudah dicampurkan dengan reagen

enzim urease, hal ini disebabkan karena pengaruh dari reagen yang bervariasi persentasenya namun nilai berat spesifik yang didapatkan dari hasil pengujian ini tidak melebihi nilai maksimum berat berdasarkan tabel berat spesifik dibawah ini.

Tabel 5.4 Berat Spesifik Tanah

Macam Tanah	Berat Spesifik
Kerikil	2,65-2,68
Pasir	2,65-2,68
Lanau tak Organik	2,62-2,68
Lempung Organik	2,58-2,65
Lempung tak Organik	2,68-2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25-1,80

Sumber : Hardiyatmo (2002)

Penelitian ini menunjukkan bahwa dari hasil pengujian model fisik laboratorium terhadap karakteristik sifat fisik tanah gambut (kadar air dan berat spesifik) benda uji dengan varian reagen enzim mengalami penurunan kadar air namun data yang didapat masih naik turun, akan tetapi lebih rendah dari nilai kadar air asli. Nilai kadar air paling rendah pada varian 5% yaitu 126,23% hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh penambahan reagen enzim *urease* pada tanah gambut, karena semakin rendah kadar air tanah maka sangat menguntungkan bagi suatu konstruksi. Menurut (Mochtar,NE, 2014) ialah salah satu karakteristik sifat fisik tanah gambut yang tidak menguntungkan bagi suatu konstruksi adalah nilai kadar air yang tinggi hal ini akan menyebabkan terjadinya penurunan.

Pengujian berat spesifik mengalami grafik naik turun juga dari berat spesifik tanah asli atau tanpa perlakuan, nilai berat spesifik paling tinggi pada varian 5% = 1,65 nilai ini

menunjukkan bahwa tanah gambut sangat ringan dan mengandung banyak serat (Hardiyatmo, 1992). Hasil pengujian berat jenis tanah gambut berkisar antara 1,25-1,80.

Perbedaan nilai-nilai yang dihasilkan dalam penelitian ini bisa disebabkan oleh pengaruh variasi persen reagen enzim *urease* yang diinjeksikan ke dalam setiap benda uji dan penanganan saat pengujian seperti waktu pemeraman, pengovenan, dan saat memasak diatas kompor untuk pengujian berat jenis, serta berat benda uji yang ditimbang untuk pengujian sifat fisik terstabilisasi reagen enzim yang berbeda-beda. Namun teori lebih detail yang menjelaskan pengaruh stabilisasi menggunakan enzim *urease* pada sifat fisik tanah belum ada dikarekan penelitian perbaikan tanah menggunakan enzim *urease* ini masih cenderung baru. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

5.4 Perbandingan Sifat Fisik dari Beberapa Metode Stabilisasi

Tabel 5.5 Perbandingan Nilai Sifat Fisik Tanah Gambut dengan Beberapa Metode Stabilisasi

NO	Semen <i>Portland</i> (Subagio,1995)			Kapur (Ichwan Setiawan,2018)			<i>Biogrouting</i> (Reagen Enzim <i>Urease</i>)		
	%	W	Gs	%	W	Gs	%	W	Gs
1	0	181	1,39	0	421,6	1,497	0	157	1,3
2	15	143	1,56	10	209,5	1,538	5	126,23	1,65

Dari tabel 5.5 perbandingan nilai sifat fisik tanah gambut dengan beberapa metode dapat disimpulkan bahwa pada stabilisasi menggunakan bahan campuran semen *Portland* perubahan signifikan terjadipada persentase 15%, sedangkan menggunakan bahan campuran Kapur perubahan signifikan terjadi pada persentase 6% dan untuk stabilisasi menggunakan metode *Biogrouting* dengan konsep *Enzyme Induced Calcite* (EICP) perubahan yang paling signifikan terjadi pada persentasi variasi 5%.

Dari hasil perbandingan dari tiga metode stabilisasi diatas kadar air terendah ada pada tanah gambut yang terstabilisasi reagen Enzim *Urease* yaitu 126,23% menggunakan

persentase 5% dengan masa pemeraman 14 hari dan yang paling tinggi ada pada gambut terstabilisasi Kapur yaitu 209,5% dengan masa pemeraman 28 hari . Sedangkan nilai Gs tertinggi ada pada tanah gambut terstabilisasi *reagen Enzim Urease* 1,65 menggunakan persentase 5% dengan masa pemeraman 28 hari dan yang paling terendah ada pada tanah gambut terstabilisasi kapur yaitu 1,538 menggunakan persentase 10% dengan masa pemeraman 28 hari.



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian yang dilakukan dan sesuai tujuan penelitian adalah pengaruh penambahan reagen enzim *urease* dengan konsep EICP menggunakan metode *Biogrouting* dapat menurunkan kadar air tanah gambut dan mengalami peningkatan pada berat spesifiknya dari tanah asli. Hal ini terlihat pada hasil pengujian kadar air mengalami penurunan yang signifikan yaitu 126,23% saat penambahan reagen enzim *urease* 5%. Sedangkan berat spesifik (Gs) mengalami peningkatan sebesar 0,35 dari berat spesifik tanah gambut asli pada penambahan 5% reagen enzim *urease* yaitu 1,65.

6.2 Saran

Karena ini penelitian awal belum banyak yang melaksanakan penelitian ini dan referensi yang mendukung dalam penelitian ini juga masih sedikit maka saran penulis yaitu :

1. Selanjutnya dengan tanah yang sama dilakukan juga stabilisasi dengan penambahan atau kombinasi bahan campuran yang lain.
2. Sebaiknya perlu dilakukan penelitian lanjutan terhadap permasalahan ini agar mendapatkan hasil yang lebih baik dengan tingkat ketelitian yang lebih akurat untuk meminimalisir kesalahan yang terjadi.
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan lama masa pemeraman yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F dan Subiksa, M. 2008. "Lahan Gambut Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan" Balai Penelitian Tanah. Bogor. Pp 1-36
- Ainiyah, Sidratu., Puspita Lisdiyanti., Maharani Pertiwi., Endry Nugroho Prasetyo. 2016. Biogrouting: Produksi Urease dari Bakteri Laut (*Oceanobacillus sp*) Pengendap Karbonat. Jurnal Biologi. Fakultas MIPA ITS. Vol 1(1): 9-18 ISSN 2527-323X.
- ASTM Annual Book. 1984. *Standard Classification of Peat Samples by Laboratory Testing* (D44427-84). ASTM, Section 4, Volume 04.08 Soil and Rock. pp 883-884.
- Bowles, J. E. 1975. *Foundation on Exspansive Soil*, Elsevier Science Publishing Company. New York.
- Bowles, JE. 1993. *Sifat-sifat fisis dan Geoteknis Tanah*. Alih Bahasa Ir Johan Kelana Putra. Edisi Kedua. Erlangga. Jakarta.
- Chu Jian, V. dan Ivanov. 2008. *Applications of microorganisms to geotechnical engineering for biologging and biocementation of soil in situ*. Rev Environ Sci Biotechnol, 7: 139-153.
- Darwis. 2017. Dasar-Dasar Perbaikan Tanah. Pustaka AQ. Yogyakarta.
- Dhami, N. K., Mukherjee, A., and Reddy, M.S. 2013. Biomineralization of calcium carbonate polymorphs by the bacterial strains isolated from calcareous. 23, 707-714.
- Dunn, I. S., Anderson L.R, & Kiefer F.W., 1992. Dasar-Dasar Analisi Geoteknik. Alih Bahasa Toekiman, 1992. IKIP Semarang Press. Semarang.
- Gianfreda, L and Bollag, J.M. 1996. Influence of Natural and Anthropogenic Factor Enzyme Activity in Soil. In Stozky, G dan Bollag, J.M (eds). Soil Biochemistry Vol.9. Marcel Dekker Inc. New York. Hal 123-176.
- Goenadi, D. H. 2017. Perbaikan Sfifat Fisika-Mekanis Tanah Dengan Mediasi Teknik Hayati. Menara Perkebunan. 85(1), 44-52.
- Hammers, F., et al. 2003. Strain Specific Ureolytic Microbial Calcium Carbonate Precipitation. App.Envron Microbiol, 69(8):4901-4909
- Hardiyatmo, H. C., 1992. Mekanika Tanah I. Gramedia Pustaka Umum. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2006. Mekanika Tanah 1. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardiyatmo, H. C. 2010. Mekanika Tanah I. Edisi Kelima. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Ichwan Setiawan. 2018. Pengaruh Waktu Pemeraman Dengan Penambahan Kapur Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Gambut Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah.Vol 1 No 1. 1-6 ISSN 2855-4453.
- Ilyas, T., Rahayu, W., dan Arifin D.S. 2008. Studi Perilaku Kekuatan Tanah Gambut Kalimantan yang distabilisasi dengan Semen Portland. Jurnal Teknologi. Edisi No. 1 Tahun XXI, Maret 2008. 1-8 ISSN 0215-1685.
- Karol, R. H. 2003. *Chemical Grouting and Soil Stabilization*. Marcel Dekker, Inc: New York, hal. 558.
- Krishnapriya, S., Babu, D.L.V.,& Arulraj, G.P. 2015. *Isolation and identification of bacteria to improve the strength of concrete*. Microbiology Research, 174. 48-55.

- Mochtar, NE. et al. (1998), Koefesien Tekanan Tanah ke Samping At Rest (Ko) Tanah Gambut Berserat serta Pengaruh Overconsolidation Ratio (OCR) Terhadap Harga Ko, *Jurnal Teknik Sipil, ITB, Vol. 5 N0. 4*.
- Mochtar, NE., 2002. Tinjauan Teknis Tanah Gambut Dan Prospek Pengembangan Lahan Gambut yang Berkelanjutan, Pidato Pengukuhan Guru Besar ITS. Surabaya.
- Mochtar, NE, Yulianto, FE., Satria, TR. 2014. Pengaruh Stabilisasi pada Tanah Gambut Berserat yang distabilisasi dengan Campuran CaCO_3 dan Pozzolan. *Jurnal Teknik Sipil ITB*. Vol. 21, No. 1, Hal 57-64.
- Pusat Litbang Prasarana Transportasi. 2001. Panduan Geoteknik 1. WSP Internasional.
- Putra et al (2017). *Optimizitation Of Enzyme- Mediated Calcite Precipitation For Soil Improvement Technique*, Disertation, Ehime University, Japan.
- Said, J.M., and Taib S.N.I. 2009. *Peat Stabilization with Carbide Lime*. UNIMAS E-Journal of Civil Engineering, Vol. 1: issue 1.
- SNI 1964-2008 Persyaratan Perancangan Geoteknik.
- SNI 1965-2008 Cara Uji Penentuan Kadar Air Untuk Tanah Dan Batuan Di Laboratorium.
- SNI 8460-2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik
- Stocks-Fischer, S., Galinat JK., dan Bang, SS. 1999. *Microbiological precipitation of CaCO_3* . *Soil Biology and Biochemistry*, 31: 156-157.
- Subagio. 1995 Stabilisasi Tanah Gambut dengan Semen Portland dengan Geosta-a sebagai Bahan Tambah. Skripsi Departemen Teknik Sipil. Universitas Indonesia. Depok.
- Van Passem, L. 2008. Microbes Build Underground Contruction. *Natural Resources*. Jaargang 11- Number 2. TU Delft. P.10-14.
- Wetlands International – Indonesia Programme, 2004, Peta sebaran Lahan Gambut, Luas dan Kandungan Karbon di Kalimantan, Edisi Pertama ISBN 979-95899-9-1, Bogor.
- Tate III, R. L. 2000. *Soil Microbiology. Second Edition*. John Wiley and Sons. ISBN- 13: 978-0471317913.Canada.
- Wetlands International – Indonesia Programme, 2004, Peta sebaran Lahan Gambut, Luas dan Kandungan Karbon di Kalimantan, Edisi Pertama ISBN 979-95899-9-1, Bogor.
- Xanthakos, P., Abramsom, L. W, dan Bruce, D.A. 1994. *Ground Control and Improvement*. Review, John Wiley and Sons. New York. Pp 91