

**PERBAIKAN KUAT GESER TANAH GAMBUT MENGGUNAKAN  
ENZYME INDUCE CALCITE PRECIPITATION ( Studi Kasus  
Daerah Desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun,  
Kabupaten Siak)**

**SIDANG SKRIPSI**

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



**OLEH :**

**AGUNG DHIMAS SUGANDA**

**153110640**

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

**2022**

**PERBAIKAN KUAT GESER TANAH GAMBUT MENGGUNAKAN  
ENZYME INDUCE CALCITE PRECIPITATION (Studi Kasus  
Daerah Desa Buana Makmur Km 55 Kecamatan Dayun,  
Kabupaten Siak)**

**TUGAS AKHIR**

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

**DISUSUN OLEH :**

**AGUNG DHIMAS SUGANDA**

**NPM : 153110640**

Diperiksa dan Disetujui oleh :

**Firman Syarif, ST., M.Eng**  
Pembimbing



Tanggal :

## HALAMAN PENGESAHAN

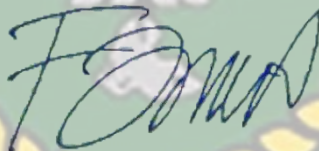
### TUGAS AKHIR

**PERBAIKAN KUAT GESER TANAH GAMBUT MENGGUNAKAN  
ENZYME INDUCE CALCITE PRECIPITATION (Studi Kasus  
Daerah Desa Buana Makmur Km 55 Kecamatan Dayun,  
Kabupaten Siak)**

**AIDUL DHIMAS SUGANDA  
153110640**

*Telah Disetujui di Depan Dewan Penguji Tanggal 25 Mei 2022  
Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Untuk Diterima*

**SUSUNAN DEWAN PENGUJI**

  
**Firman Syarif, ST., M.Eng  
Pembimbing**



**Roza Mildawati, ST., MT**

**Penguji I**



**Dr. Elizar, ST., MT**

**Penguji II**

## PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan :

1. Karya tulis ini asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (Strata Satu) di Universitas Islam Riau.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan oleh pembimbing.
3. Dalam karya ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan dalam daftar Pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan tidak kebenaran dalam pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang telah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Pekanbaru, 18 agustus 2022

Yang Bersangkutan



Agung Dhimas Suganda

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh*

Alhamdulillah rabbil'alamin, segala puji dan rasa syukur yang sedalam-dalamnya atas ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, nikmat serta hidayah nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: **“PERBAIKAN KUAT GESER TANAH GAMBUT MENGGUNAKAN ENZYME INDUCE CALCITE PRECIPITATION ( Studi Kasus Daerah Desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun, Kabupaten Siak)”**.

Banyak alasan yang ingin dikemukakan penulis dalam pengambilan judul ini, namun pada dasarnya penulis ingin dapat mengetahui seberapa besar pengaruh perbaikan kuat geser tanah gambut yang di tambahkan dengan larutan menggunakan metode *biogrouting* teknik dengan bantuan *enzyme induce calcite precipitation* serta bagaimana perubahan yang terjadi pada kuat geser tanah gambut.

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

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

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh*

Pekanbaru, 28 April 2022

Agung Dhimas Suganda

## UCAPAN TERIMAKASIH

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

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

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, S.H., M.C..L, Rektor Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim, MT, Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Ibu Dr. Mursyidah, M.Sc, Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dr. Anas Puri, ST., MT, Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
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. Ibu Roza Mildawati, ST., MT sebagai dosen penguji 1
10. Ibu Elizar, ST., MT sebagai dosen penguji 2
11. Bapak dan Ibu Dosen pengajar di Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

12. Ibu Miswarti, ST., MT dan bang Rahmat Hidayat, ST sebagai pendamping/pembimbing di Laboratorium Geom Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
13. Seluruh karyawan dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
14. Penghargaan yang setinggi-tingginya kepada kedua orang tua tercinta ayahanda Raswadi dan ibunda Sumiati yang telah bersusah payah membesarkan, mendidik, serta memberikan kasih sayang dan dukungan baik material maupun spiritual. Ucapan terimakasih ini belum cukup untuk membalas segala pengorbanan yang telah diberikan. Besar harapan penulis agar dapat segera membahagiakan kedua orang tua dengan kesuksesan yang in shaa Allah kan penulis raih dan menjadi contoh untuk adik -adik.
15. Rasgina Cahyani, Wisnu Tri Nugroho, dan Aidil Prasetio adik – adik saya yang selalu memberi dukungan dan doa kepada penulis.
16. Yang saya banggakan seluruh keluarga besar Sakrip dan keluarga besar Rusman yang selalu mendorong agar dapat menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik diwaktu yang tepat.
17. Tim penelitian Dwira, Ridho, Usman, Dhipo, Amek(Rahmat), abang abang senior terimakasih sudah dapat berjuang Bersama – sama dalam menyelesaikan penelitian Tugas akhir(skripsi).
18. Buat sahabat saya sedari SMP Fitria Sari (Fresya) terimakasih selalu mau menerima keluh kesah penulis, memberi dukungan kepada penulis hingga dapat menyelesaikan gelar pendidika Sarjana Teknik.
19. Buat sahabat serta rekan seperjuangan Habib, Raffi, Aidul, Cahyo, Alfian, Nandes, Faiz, Siti, Fikri, dan teman teman lainnya di Fakultas Teknik yang tidak dapat disebut satu persatu terima kasih telah mendukung dan membantu penulis meyelesaikan tugas akhir ini.
20. Buat FKK2K17 bang Iker Maulana, Khaweryan, Riski, Bayu, bang Ojik, bang Iqbal, Hakim, bang Fajri, bang Wira, Rafel, Gading, Ateng dan teman teman yang tidak dapat disebut satu persatu terima kasih

yang telah mendukung dan membantu penulis menyelesaikan tugas akhir ini.

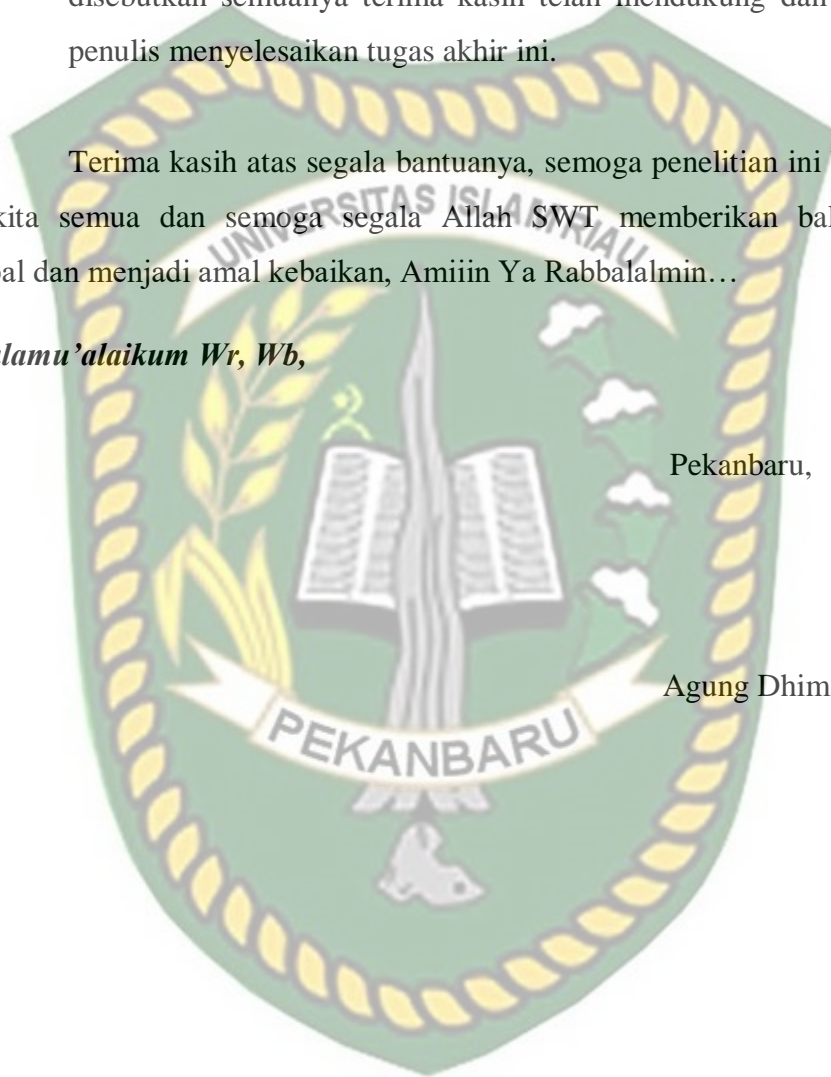
21. Buat rahayu kos, NBB Group, D' Petro 2012, dan yang tidak dapat disebutkan semuanya terima kasih telah mendukung dan membantu penulis menyelesaikan tugas akhir ini.

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

*Wassalamu'alaikum Wr, Wb,*

Pekanbaru, Mei 2022

Agung Dhimas Suganda





## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
UCAPAN TERIMA KASIH .....	ii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
ABSTRAK .....	xiv
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	2
1.5 Batasan Masalah .....	3
BAB II .....	4
TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1. Umum .....	4
2.2. Penelitian Sebelumnya .....	4
2.3. Keaslian Penelitian .....	6
BAB III .....	9
LANDASAN TEORI .....	9
3.1. Tanah Gambut .....	9
3.1.1. Faktor Yang Mempengaruhi Perilaku Tanah Gambut .....	10
3.1.2. Klasifikasi Tanah Gambut .....	12
3.2. Sifat Fisik Tanah Gambut .....	15
3.3. Enzyme induced Calcate Precipitation (EICP) .....	17
3.4. Kedelai .....	18
3.5. Kuat Geser Tanah .....	18
3.6. Alat Uji Triaksial .....	20
BAB IV .....	23

METODE PENELITIAN .....	23
4.1 Umum .....	23
4.2 Lokasi Pengambilan sampel.....	23
4.3 Lokasi Penelitian .....	24
4.4 Material Benda Uji .....	24
4.4.1. Tanah .....	24
4.4.2. Urea.....	25
4.4.3. CaCl <sub>2</sub> .....	25
4.4.4. Enzyme Uruase.....	26
4.5 Peralatan yang digunakan .....	26
4.6 Tahap Pengujian .....	27
4.6.1. Pengujian pendahuluan .....	27
4.6.2. Pengujian berat jenis ASTM D 854 – 00.....	28
4.6.3. Pengujian kadar air tanah ( moisture content) ASTM D 2216 – 92 29	
4.6.4. Pengujian gradasi tanah .....	30
4.6.5. Pembuatan sampel .....	30
4.6.6. Pembuatan reagen enzyme.....	31
4.6.7. Pencampuran benda uji dengan reagen enzyme.....	31
4.6.8. Pengujian Utama .....	32
4.7 Tahapan penelitian.....	33
BAB V.....	35
HASIL DAN PEMBAHASAN .....	35
5.1 Umum .....	35
5.2 Reagen Enzyme .....	35
5.3 Pengujian Pendahuluan.....	35
5.3.1 Pengujian Pematatan / <i>Proctor Test</i> .....	36
5.3.2 Pengujian Berat Spesifik (Gs) .....	37
5.3.3 Pengujian Kadar Air Asli (Tanah Gambut) .....	37
5.3.4 Sifat-sifat Fisis Tanah Gambut.....	37
5.4 Pengujian Gradasi Benda Uji .....	38
5.5 Pengujian Kuat Geser Reagen Enzyme Kedelai .....	39
5.6 Analisa Kuat Geser .....	48
BAB VI .....	51

KESIMPULAN DAN SARAN .....	51
6.1 Kesimpulan.....	51
6.2 Saran .....	51



Dokumen ini adalah Arsip Miik :  
**Perpustakaan Universitas Islam Riau**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Keaslian Penelitian .....	6
Tabel 3.1 Tipe Tanah Berdasarkan Kadar Organik.....	10
Tabel 3.2 Sifat Fisik Tanah Gambut Indonesia .....	15
Tabel 3.3 Sifat Teknik Tanah Gambut .....	17
Tabel 4.1 Material yang digunakan dalam reagen.....	31



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Skema Proses Presipitasi dan Mekanisme Grouting .....	17
Gambar 3.2 Lingkaran Mohr .....	20
Gambar 3.3 Rincian Alat Triaksial .....	21
Gambar 3.4 Pengaturan Alat Uji Triaksial .....	21
Gambar 4.1 Denah Pengambilan Sampel .....	25
Gambar 4.2 Denah Lokasi Penelitian .....	25
Gambar 4.3 Urea .....	27
Gambar 4.4 Bahan CaCl <sub>2</sub> .....	27
Gambar 4.5 Bahan enzyme uruase .....	25
Gambar 4.6 Bagan alir penelitian .....	34
Gambar 5.1 Hubungan berat volume kering dengan kadar air .....	37
Gambar 5.2 Grafik hubungan persentase lolos saringan agregat dengan diameter benda uji .....	40
Gambar 5.3 Kurva hubungan tegangan dan regangan pada uji triaksial UU sampel tanah A .....	41
Gambar 5.4 Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel A .....	42
Gambar 5.5 Kurva hubungan tegangan dan regangan pada uji triaksial UU sampel tanah B .....	42
Gambar 5.6 Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel B .....	43
Gambar 5.7 Kurva hubungan tegangan dan regangan pada uji triaksial UU sampel tanah C .....	43
Gambar 5.8 Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel C .....	44
Gambar 5.9 Kurva hubungan tegangan dan regangan pada uji triaksial UU sampel tanah D .....	44
Gambar 5.10 Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel D .....	45
Gambar 5.11 Kurva hubungan tegangan dan regangan pada uji triaksial UU sampel tanah E .....	45
Gambar 5.12 Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel E .....	46
Gambar 5.13 Kurva hubungan tegangan dan regangan pada uji triaksial UU .....	

sampel tanah F .....	47
Gambar 5.14 Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel F .....	48
Gambar 5.15 Grafik hubungan antara nilai kuat geser dengan persentase enzyme kedelai .....	50



## DAFTAR NOTASI

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

$\gamma_b$	= berat volume basah ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
$\gamma_b$	= berat volume tanah basah ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
$\gamma_d$	= berat volume kering ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
$\tau$	= tegangan ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
$\sigma_3$	= Tegangan Sel ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
$c$	= kohesi ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
$\varphi$	= sudut geser dalam ( $^\circ$ )
$\tau$	= kuat Geser Tanah ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
$c$	= kohesi tanah ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
$\sigma$	= Tegangan normal pada bidang runtuh ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )





## DAFTAR LAMPIRAN

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



Dokumen ini adalah Arsip Miik :  
**Perpustakaan Universitas Islam Riau**

**PERBAIKAN KUAT GESER TANAH GAMBUT MENGGUNAKAN  
ENZYME INDUCE CALCITE PRECIPITATION ( Studi Kasus Daerah  
Desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun, Kabupaten Siak)**

**AGUNG DHIMAS SUGANDA**

**153110640**

**ABSTRAK**

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

Tanah gambut asli diambil di lokasi Desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun Kabupaten Siak, bahan kedelai berasal dari kedai harian di kota Pekanbaru serta bahan tambahan yang digunakan yaitu  $\text{CaCl}_2$  dan Urea yang berasal dari produsen Bandung. Metode penelitian ini mengacu pada prosedur ASTM (*American Society for Testing and Material*) dan SNI. Benda uji dibuat dengan menggunakan alat modifikasi sondir dengan bentuk silinder dengan ukuran diameter 3,64 cm dan tinggi 10,75 cm<sup>2</sup>, benda dibuat mengikuti pematatan standar pada kadar air optimum 157%. Uji kuat geser dilakukan setelah benda uji ditambahkan *reagen enzyme* kedelai dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Data yang diperoleh dari hasil pengujian ini diolah dalam bentuk tabel dan grafik sesuai dengan variasi penambahan *reagen enzyme* kedelai.

Pengaruh dari penambahan *reagen enzyme* kedelai menghasilkan kuat geser yang lebih tinggi dari tanah asli, sehingga berkaitan dengan kuat dukung tanah gambut. Hasil pengujian sifat fisik tanah gambut asli diketahui bahwa tanah yang berasal dari lokasi Desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun Kabupaten Siak termasuk jenis tanah gambut dengan kadar air 407,5% dan berat spesifik ( $G_s$ ) = 1,3. Dari hasil pengujian kuat geser benda uji tanah asli dengan variasi campuran *reagen enzyme* pada persentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, nilai kuat tekan bebas benda uji tanah asli + penambahan 0% *reagen enzyme* sebesar 0,71 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan nilai kuat geser tertinggi terdapat pada penambahan *reagen enzyme* 5% sebesar 0,90 kg/cm<sup>2</sup>.

Kata Kunci : *Enzyme*, Kedelai, *Biogrouting*, Kuat Geser, Tanah Gambut

# IMPROVEMENT OF PEAT SOIL SHEARING USING ENZYME INDUCE CALCITE PRECIPITATION (Case Study in Buana Makmur Village km 55 Dayun District, Siak Regency)

**AGUNG DHIMAS SUGANDA**  
**153110640**

## **ABSTRACT**

In world of civil engineering construction that is built on peat soil, there are many problems that must be faced, for example the shear strength of the peat soil. This can be dangerous and detrimental to the construction of the building above it. This study aims to determine the effect of the addition of enzyme varieties on the shear strength of peat soil using the *Enzyme Induce Calcite Precipitation* method

The original peat soil was taken at the location of Buana Makmur Village km 55 Dayun District, Siak Regency, the soybean ingredients came from a daily shop in Pekanbaru city and additional materials used were  $\text{CaCl}_2$  and Urea from Bandung producers. This research method refers to the ASTM (American Society for Testing and Materials) and SNI procedures. The test object was made using a modified sondir tool with a cylindrical shape with a diameter of 3.64 cm and a height of 10.75 cm<sup>2</sup>, the object was made according to standard compaction at an optimum moisture content of 157%. The shear strength test was carried out after adding soybean enzyme reagent with variations of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%. The data obtained from the results of this test are processed in the form of tables and graphs according to variations in the addition of soy enzyme reagents.

The effect of the addition of soybean enzyme reagent resulted in a higher shear strength than the original soil, so it was related to the bearing strength of the peat soil. The results of testing the physical properties of the original peat soil revealed that the soil originating from the location of Buana Makmur Village km 55 Dayun District, Siak Regency was classified as peat soil with a moisture content of 407.5% and specific weight ( $G_s$ ) = 1.3. From the results of the shear strength test of the original soil specimen with variations in the enzyme reagent mixture at the percentages of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%, the value of the free compressive strength of the original soil specimen + the addition of 0% enzyme reagent is 0.71 kg/cm<sup>2</sup>, while the highest shear strength value was found in the addition of 5% enzyme reagent of 0.90 kg/cm<sup>2</sup>.

Keyword : Enzyme, Soybean, Biogrouting, Shear Strength, Peat

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tanah gambut merupakan tanah yang kaya akan bahan- bahan organik. Hal ini karena tanah gambut sendiri terbentuk karena sisa- sisa dari makhluk hidup baik tumbuhan maupun binatang, seperti sisa pepohonan, lumut, rerumputan dan binatang- binatang yang telah diuraikan oleh pengurai atau dekomposer (Siregar,2018). Tanah gambut sangat cocok untuk dijadikan perkebunan dan perikanan. Tetapi tanah gambut kurang cocok untuk dijadikan sebagai dasar tanah suatu konstruksi, dikarenakan sifat dari tanah gambut yang memiliki kadar air tinggi, kemampuan daya dukung rendah, dan pemampatan yang tinggi.

Sumatera memiliki kondisi tanah gambut yang yang besar di Indonesia yaitu 35 % dari pulau pulau yang ada di Indonesia (Wibowo dan Suyatno,1998). Khususnya di Provinsi Riau Kabupaten Siak Sri Indrapura penyebaran tanah lunak cukup besar. Faktor inilah yang dijadikan suatu parameter dalam penelitian untuk menentukan kuat geser dari tanah gambut tersebut. Pengambilan tanah gambut diambil dari Kabupaten Siak (Riau) untuk menentukan kuat geser tanah, yang mana agar kuat geser tanah gambut nantinya dapat mengetahui peningkatan kuat gesernya.

Salah satu upaya untuk meningkatkan kemampuan tanah gambut adalah melalui perbaikan tanah dengan cara injeksi grouting atau pencampuran dalam. Injeksi Grouting atau pencampuran dalam yang dilakukan sebagai injeksi bahan cair ke ruang kosong (pori) tanah. Agar tanah gambut tersebut memenuhi syarat untuk dapat dipergunakan semestinya. Sifat –sifat tanah dapat diperbaiki secara ekonomis dengan menggunakan bahan campuran yang dapat bereaksi terhadap tanah gambut tersebut. Contoh bahan campuran yang dapat bereaksi terhadap tanah gambut yakni : *Portland Cement* (PC), emulsi, gula, sodium, dan lain-lain.

*Enzyme induce calcite precipitation (EICP)* adalah proses perbaikan tanah berbasis biologis dimana solusi perawatan yang terdiri dari urea, Calsium Clorida, dan enzim urease bebas ditambahkan ke tanah. Reagen ini bergabung dalam urutan reaksi yang terdiri dari hidrolisis urea diikuti oleh pengendapan Calsium Carbonat. *Calsium Carbonat* yang diendapkan dapat meningkatkan kekuatan tanah dengan mengikat partikel tanah bersama sama, mengisi ruang pori, dan meningkatkan kekasaran partikel tanah, menghasilkan peningkatan kekuatan geser, kekakuan, dan karakteristik tanah. Perbaikan tanah melalui *enzyme induce calcite precipitation* (EICP) telah menjadi subjek penelitian oleh sejumlah peneliti geoteknik dalam dekade terakhir (misalnya Yasuhara dkk, 2012 ; Oliveira et al. 2016 Almajed et al. 2018).

Penelitian ini diharapkan berguna untuk pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang geoteknik terutama pembangunan kontruksi di atas tanah gambut dan bisa menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya tentang masalah masalah yang berhubungan dengan tanah gambut.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh enzyme induce calcite precipitation pada kuat geser tanah gambut?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui pengaruh enzyme induce calcite precipitation pada kuat geser tanah gambut.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

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

1. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai salah satu bukti bahwa enzim dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif untuk stabilisasi tanah.
2. Untuk membuktikan pengaruh pencampuran larutan enzim terhadap tanah gambut.

## 1.5 Batasan Masalah

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

1. Penelitian ini menggunakan *Enzyme induce calcite precipitation* memanfaatkan *Enzyme ureace*.
2. Sampel tanah yang diambil berasal dari tanah gambut desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun Kabupaten Siak.
3. Penelitian ini hanya terfokus pada kuat geser tanah gambut dari kabupaten siak.
4. Variasi Persentase tanah gambut dengan *Enzyme induce calcite precipitation* yang digunakan yakni :
  - a. tanah asli 0%
  - b. tanah asli + 5% *Enzyme induce calcite precipitation*
  - c. tanah asli + 10% *Enzyme induce calcite precipitation*
  - d. tanah asli + 15% *Enzyme induce calcite precipitation*
  - e. tanah asli + 20% *Enzyme induce calcite precipitation*
  - f. tanah asli + 25% *Enzyme induce calcite precipitation*
5. Tidak menganalisa kadar gambut
6. Skala penelitian yang digunakan adalah skala Laboratorium

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Umum

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

### 2.2. Penelitian Sebelumnya

Putra dkk (2018), telah melakukan penelitian dengan judul " Parameter Peningkatan Kuat Geser Tanah Berpasir menggunakan Teknik Pengendapan Kalsit Enzim" penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penambahan campuran enzim terhadap kuat geser tanah berpasir. Metode dilakukan dengan pengujian kuat geser di laboratorium. Hasil penelitian 41 % dari massa tanah berpasir 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.

Putra (2018), telah melakukan penelitian yang berjudul "*Keberlanjutan Metode Pengendapan Kalsit Enzim-Dimediasi sebagai Teknik Peningkatan Tanah yang Ramah Lingkungan*". Studi ini membahas penerapan pengendapan kalsit yang dimediasi enzim (EMCP) sebagai teknik perbaikan tanah yang ramah lingkungan. Zeolit alami dari mordenite ditambahkan ke bahan grouting yang disiapkan yang terdiri dari urea-urease hapus ion amonium yang dihasilkan. Efek dari pemanfaatan mordenite pada Parameter EMCP seperti jumlah, pH, zat mineralogi yang diendapkan mineral, dan peningkatan kekuatan tanah yang

diolah juga dievaluasi. Itu pengukuran ion amonium menunjukkan bahwa penggunaan 10 g/L zeolit dengan 2 jam waktu pencampuran dapat mengurangi konsentrasi ion amonium hingga 43% dari maksimum konsentrasi teoritis dalam konsentrasi urea 1,0 mol / L. Hasil tes UCS menunjukkan bahwa solusi grouting membawa peningkatan yang signifikan dalam kekuatan tanah. Bahan ndapan 9% dari massa pasir diproduksi oleh tiga injeksi PV bahan grouting, yang menunjukkan kekuatan tekan yang tidak terbatas 0,3 MPa. Hasil penelitian ini telah mengkonfirmasi bahwa penerapan zeolit alam mordenite dengan teknik EMCP mungkin merupakan tanah alternatif yang ramah lingkungan teknik perbaikan.

Sidratu dkk (2016), telah melakukan penelitian 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 sementasipada 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.

Dhifo Pakuwondana (2021), telah melakukan penelitian dengan judul penelitian “Studi Analisis Kuat Geser Tanah Gambut desab Buana Makmur menggunakan metode Microbially Induce Calcite Precipitation” penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan varietas bakteri terhadap kuat geser tanah gambut dengan metode *Microbially Induce Calcite Precipitation* Dari hasil pengujian kuat geser benda uji tanah asli dengan variasi campuran *reagen* bakteri pada persentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, nilai kuat



tekan bebas benda uji tanah asli + penambahan 0% *reagen* bakteri sebesar 0,71 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan nilai kuat geser tertinggi terdapat pada penambahan *reagen* bakteri 5% sebesar 0,90 kg/cm<sup>2</sup>.

### 2.3. Keaslian Penelitian

Penulis mengetahui adanya kesamaan dalam bentuk teori-teori yang digunakan maupun proses penelitiannya. Maka perbedaan yang dapat diketahui ialah dari tanah gambutnya yang digunakan, enzim yang dipakai, jumlah persentase, dan cetakan yang digunakan. Karena perbedaan inilah penulis mencoba mengambil Skripsi ini.

**Tabel 2.1** Keaslian Penelitian

Peneliti (tahun)	Tujuan	Metode
Putra dkk (2018)	Untuk mengetahui penambahan capuran 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 ( <i>Enzyme Induced Calcite Precipitation</i> ) tidak berpengaruh signifikan terhadap sudut gesek karena berlawanan dengan peningkatan sudut kohesi , sedangkan sudut gesekan relatif konstan.

Putra (2018)	membahas penerapan pengendapan kalsit yang dimediasi enzim (EMCP) sebagai teknik perbaikan tanah yang ramah lingkungan	Hasil penelitian ini telah mengkonfirmasi bahwa penerapan zeolit alam mordenite dengan teknik EMCP mungkin merupakan tanah alternatif yang ramah lingkungan teknik perbaikan.
Sidratu dkk (2016)	untuk mengetahui enzim <i>urease</i> dapat dijadikan material grout karena memiliki kemampuan untuk melakukan sementasi pada aplikasi sederhana <i>biogrouting</i> .	Diketahui titik isoelektrik <i>urease</i> adalah pada pH 6 dan memiliki berat molekul 440kDa. Enzim <i>urease</i> dapat dijadikan material grout karena memiliki kemampuan untuk melakukan sementasi (diagenesis) pada aplikasi sederhana <i>biogrouting</i> menggunakan pasir laut dengan kondisi salin.
Dhifo Pakuwondana (2021)	penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan varietas bakteri terhadap kuat geser	Dari hasil pengujian kuat geser benda uji tanah asli dengan variasi

Tabel 2.2 Keaslian Penelitian Lanjutan

	tanah gambut dengan metode <i>Microbially Induce Calcite Precipitation</i>	campuran <i>reagen</i> bakteri pada persentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, nilai kuat tekan bebas benda uji tanah asli + penambahan 0% <i>reagen</i> bakteri sebesar 0,71 kg/cm <sup>2</sup> , sedangkan nilai kuat geser tertinggi terdapat pada penambahan <i>reagen</i> bakteri 5% sebesar 0,90 kg/cm <sup>2</sup> .
Agung (2022)	Untuk mengetahui kuat geser penggunaan metode <i>enzyme induce calcite precipitation</i> pada tanah gambut	Dengan menggunakan metode alat uji triaksial

## BAB III LANDASAN TEORI

### 3.1. 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). 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). Menurut Terzaghi dan Peck (1967) gambut adalah agregat agak berserat yang berasal dari serpihan makroskopik dan mikroskopik tumbuh-tumbuhan.

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 berbentuk dalam campuran fraksi 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 jenis sangat kecil, ringan mengandung sifat sebagai koloid kuat yang mampu mengikat air sehingga gambut menyerap air yang tinggi. Berdasarkan Vande 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 Berdasarkan Kadar Organik (Geoteknik, 2004)

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

Menurut MacFarlane (1965), tanah gambut dikelompokkan 2 (dua) kelompok tanah gambut dibedakan menjadi 2 (dua) kelompok menurut :

1. Mempunyai kandungan serat  $\geq 20\%$  yang disebut gambut berserat atau *fibrous peat*.
2. Mempunyai kandungan serat  $< 20\%$  yang disebut gambut tak berserat atau *amorphous granular peat*.

Tanah gambut tak berserat dan berserat dapat diklasifikasikan sebagai tanah sangat lunak dan memiliki daya dukung atau *bearing capacity* sangat rendah dan penurunan atau *settlement* sangat besar.

### 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.

#### 1. Berat jenis

Tanah gambut ialah pepaduan dari tanah mineral yang mempunyai berat jenis sekitar 2,7 dan material organik mempunyai berat jenis 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 jenis tinggi pada mineral dan juga pada gambut.

## 2. 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 inisebelum 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 (Hrdiyatmo, 2006)

Perhitungan untuk mencari batas cair berdasarkan standar ASTM 4318:

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

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

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

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

Dimana :

$B$  = Berat Cawan, (gram)

$C$  = Berat tanah basah + cawan, (gram)

$D$  = Berat tanah kering + cawan, (gram)

$E$  = Berat tanah basah, (gram)

$F$  = Berat tanah kering, (gram)

$G$  = Berat air, (gram)

$K$  = Kadar air, (%)

### 3.1.2. Klasifikasi Tanah Gambut

Tanah gambut memiliki klasifikasi terdapat pada 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, sebagai berikut.

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:
4. *Low ash*, merupakan tanah gambut dengan kadar abu  $< 5\%$ ,
5. *Medium ash*, merupakan tanah gambut dengan kadar abu 5% dan 15%,
6. *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  $\geq 7$ .

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 (*sedimentary* 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  $Ph < 4$ .
  - c. Gambut mesotrofik ialah gambut yang berada antara 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 subtropik.
  - b. Gambut iklim sedang ialah 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 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 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.

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 <sup>3</sup>
3	Kadar air ( w )	200%-900%
4	Angka Pori ( e )	5-5
5	Ph	4-7
6	Kadar abu (A)	1-5%
7	Spesifik gravity (Gs)	1,38-1,95
8	Rembesan (k)	2. <sup>-02</sup> s/d 1,2 <sup>-06</sup>

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

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*),

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

1. Sifat Fisik

Tanah gambut memiliki kadar air 100 % - 1,300 %, mengakibatkan tanah gambut menjadi lunak dan menahan bebannya yang rendah. Lapisan atas tanah gambut *bulk density* 0,1 s.d 0,2 gram/cm<sup>3</sup> sesuai tingkat pelapukannya atau dekomposisi.

- a. *Bulk density* <0,1 gram/cm<sup>3</sup> dikategori gambut *fibrik* pada lapisan bawah.
- b. *Bulk density* >0,2 gram/cm<sup>3</sup> dikategori *saprik* disebabkan pengaruh mineral tanah

2. Sifat Kimia

Sifat kimia pada gambut di Indonesia khusus provinsi Riau ditentukan pada ketebalan, kandungan mineral, jenis mineral pada dasar gambut atau substratum dan tingkat ketebalan 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.

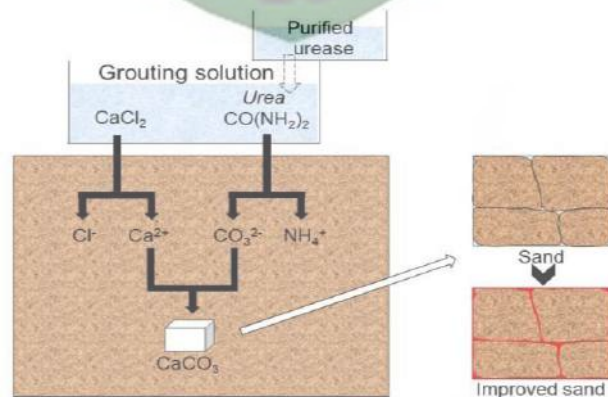
**Tabel 3.3** Sifat Teknik Tanah Gambut ( Mochtar, 2002)

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
4	Sudut geser dalam	50 derajat	Terutama fibrous
5	Ko/koeffisien tanah at rest	Maks. 0,5	Lbh kecil dr
6	Konsolidasi	Sangat lama	4

Kemampuan tanah gambut untuk menyerap dan menyimpan air yang sangat tinggi akan berpengaruh pada sifat 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 di atasnya.

### 3.3. Enzyme induced Calcate Precipitation (EICP)

Dalam teknik ini, enzim urease sendiri digunakan untuk mendisosiasi urea menjadi ion amonium dan karbonat, bukan bakteri. Skema proses pesipitasi dan mekanisme peningkatan yang diharapkan diilustrasikan pada Gambar 3.1.



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 & Anggarwal, 2012). Urease adalah enzim yang dihasilkan oleh baktetri ureolitik yang tidak bersifat toksik (Fujita, Ferris, Lawson, Colwell, & Smith, 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 untuk membentuk kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) (Krishnapriya et al, 2015).

#### 3.4. Kedelai

Kedelai merupakan salah satu tanaman leguminosa yang mampu memanfaatkan sumber energi secara biologis simbiosis leguminosa-rhizoba mampu menambat  $\text{N}_2$  udara sehingga kebutuhan tanaman akan N dapat terpenuhi. Selama ini ampas kedelai masih belum dimanfaatkan secara maksimal, kebanyakan hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak atau pupuk, sedangkan hasil limbah olahan kedelai masih mengandung nilai nutrisi yang cukup tinggi, misalkan bungkil kedelai mengandung 30-40% protein, 4-6% serat kasar, dan 1% lemak (Adisarwanto, 2005).

Bahan yang digunakan adalah kacang kedelai dari proses penumbukan kedelai secara halus. Kemudian ampas kedelai dicampur dengan air bersih sampai endapan ampas kedelai turun kebawah.

#### 3.5. Kuat Geser Tanah

Kekuatan geser tanah merupakan perlawanan internal tanah tersebut persatuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud (Das, 1985). Dalam buku yang lain juga telah disebutkan bahwa kekuatan geser tanah adalah kekuatan dalam memikul beban-beban atau gaya yang dapat menyebabkan terjadinya kelongsoran, keruntuhan, gelincir dan pergeseran tanah.

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan(gambar ). Menggunakan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh (Hardiyatmo, 2002).

Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Menurut Mohr kekuatan geser tanah merupakan perlawanan internal tanah tersebut per satuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser tanah yang dimaksud memberikan teori kondisi keruntuhan dua-tu bahan. Mohr merumuskan keruntuhan (failure) ke dalam Persamaan 3.5 :

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi \dots\dots\dots (3.5)$$

Memberikan prinsip tegangan efektif yang bekerja pada segumpal tanah. Prinsip ini hanya berlaku pada tanah yang jenuh sempurna. Tegangan normal total ( $\sigma$ ) pada suatu bidang di dalam massa tanah, yaitu tegangan akibat berat tanah total termasuk air di dalam ruang pori, persatuan luas, yang arahnya tegak lurus. Sedangkan tekanan air pori ( $u$ ), disebut juga dengan tekanan netral yang bekerja segala arah sama besar, yaitu tekanan air yang mengisi rongga di antara butiran padat. Tegangan normal efektif ( $\sigma'$ ) pada suatu bidang di dalam massa tanah, yaitu tegangan yang dihasilkan dari beban berat butiran tanah per satuan luas bidangnya, (Terzaghi, 1923).

Disimpulkan bahwa tegangan normal adalah jumlah dari tegangan efektif dari tekanan air pori . Tegangan normal dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.6.

$$\sigma = \sigma' + u \dots\dots\dots (3.6)$$

Tegangan efektif berlaku untuk tanah padat. Kriteria keruntuhan Mohr-Coulumb, dinyatakan dalam ketentuan tegangan efektif. Tegangan efektif dapat dinyatakan dalam persamaan 3.7

$$\tau = c' + \sigma \text{tg } \varphi' \dots\dots\dots (3.7)$$

dengan :

- $\tau$  = kuat geser tanah (kN/m<sup>2</sup>)
- $c'$  = kohesi tanah
- $\sigma$  = sudut gesek dalam
- $\varphi'$  = tegangan normal pada bidang tanah runtuh (kN/m<sup>2</sup>)



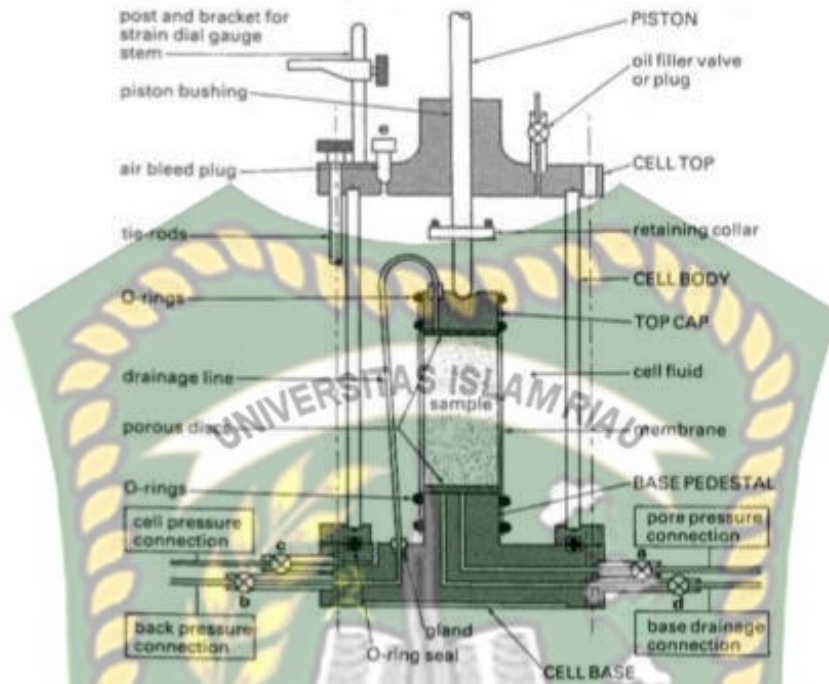
**Gambar 3.2** Lingkaran Mohr (Craig,1997)

Adapun beberapa cara untuk menentukan kuat geser tanah sebagai berikut ini.

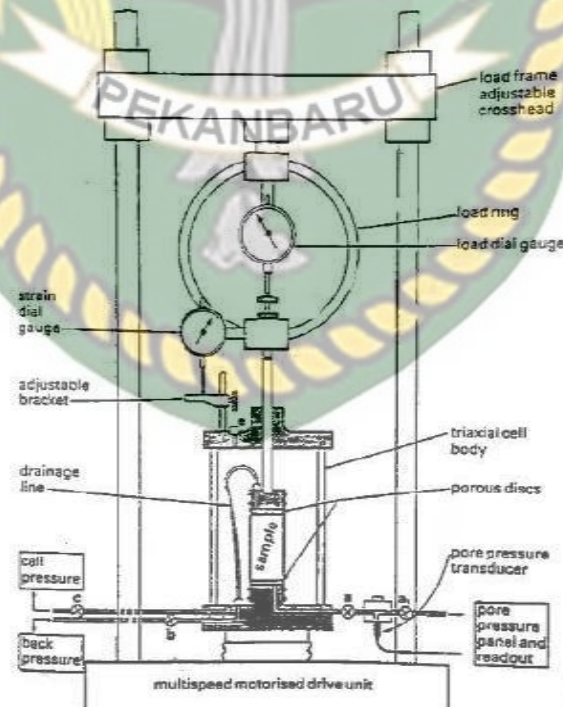
1. Pengujian geser langsung ( Direct Shear test)
2. Pengujian triaksial ( Triaksial test)
3. Pengujian tekan bebas ( Unconfined compression test)

### 3.6. Alat Uji Triaksial

Salam penelitian ini menentukan kuat geser tanah dengan menggunakan pengujian triaksial. Acuan yang digunakan untuk tanah kohesif dalam keadaan tanpa konsolidasi dan tanpa drainase pada metode pengujian triaksial yaitu pada SNI 03-2455-1991 dan M-22-1996-03. Gambar 3.3 merupakan alat uji yang digunakan dan diagram tata letak pada pengujian triaksial. Sampel tanah dalam kondisi Uncosolidated-undrained yang digunakan pada pengujian ini. Pengujian ini dilakukan minimum 3 kali dengan geser beban normal yang berbeda-beda untuk mendapatkan hasil yang akurat.



**Gambar 3.3** Dapat dilihat Alat Triaksial (Hrad,1986)



**Gambar 3.4** Pengaturan Alat Uji Triaksial (Head, 1986)

Pengujian triaksial merupakan pengujian kuat geser yang sering



digunakan dan cocok untuk semua jenis tanah. Keuntungannya adalah bahwa kondisi pengaliran dapat dikontrol, tekanan air pori dapat diukur dan bila diperlukan. Tegangan geser triaksial adalah salah satu metode yang paling dapat diandalkan untuk menentukan parameter kuat geser. Digunakan secara luas untuk penelitian dan pengujian konvensional. Spesimen tanah pada pengujian ini dengan diameter 35 mm dan panjang umumnya digunakan 70 mm terbungkus membran karet tipis dan ditempatkan didalam ruang silinder plastik yang biasanya diisi air. Spesimen dikenakan tekanan keliling oleh kompresi cairan dalam ruang menyebabkan kegagalan geser dalam spesimen dan juga menerapkan tegangan aksial melalui ram beban vertikal (*deviator stress*). Tegangan ini dapat diterapkan di salah satu dari cara berikut ini.

1. Tekanan hidrolik dengan penambahan yang sama sampai spesimen gagal (deformasi aksial dari spesimen yang dihasilkan dari beban diterapkan melalui ram diukur dial).
2. Aplikasi deformasi aksial dengan laju yang konstan dengan cara diarahkan atau hidrolik memuat tekan, ini adalah tes ketegangan dikendalikan.

## BAB IV METODE PENELITIAN

### 4.1 Umum

Dalam tugas akhir ini bersifat eksperimental (research). Pada bab ini dijelaskan metode penelitian yang mencakup lokasi, bahan, alat, tahapan penelitian, serta prosedur dari penelitian pengujian pendahuluan dan pengujian utama. Dimana pada penelitian pengujian pendahuluan merupakan pengujian dari tanah gambut dan pengujian utama juga merupakan pengujian pada tanah gambut yang telah ditambahkan dengan campuran *Enzyme Induced Calcite Precipitation (EICP)*.

### 4.2 Lokasi Pengambilan sampel

Lokasi tempat pengambilan sampel tanah gambut untuk penelitian akan diambil dari desa Buana Makmur km 55 Kecamatan Dayun, Kabupaten Siak. Kondisi saat pengambilan sampel tanah gambut dalam keadaan basah seperti gambar 4.1



**Gambar 4.1** Denah Pengambilan Sampel

### 4.3 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan dilaboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau. Lokasi denah penelitian dapat dilihat sesuai gambar dibawah.



**Gambar 4.2** Denah Lokasi Penelitian

### 4.4 Material Benda Uji

Dalam penelitian ini pelaksanaan material benda uji disesuaikan dengan kebutuhan yang digunakan, material yang digunakan sebagai berikut.

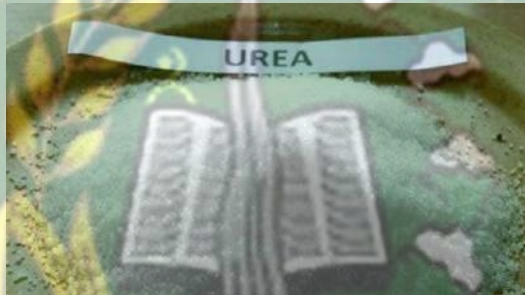
#### 4.4.1. Tanah

Tanah pada penelitian yang digunakan yakni tanah gambut. Sampel tanah gambut yang digunakan untuk penelitian dalam kondisi tidak terendam dan dalam keadaan basah. Sampel tanah diambil pada kedalaman  $\pm 50$  cm dari permukaan tanah. Setelah pengambil sampel tanah dilokasi, kemudian dibawa ke labor teknik sipil. Untuk dilakukan pengeringan pada sampel tanah tersebut, dengan cara dijemur menggunakan sinar matahari. Setelah sampel tanah sudah kering, dilanjutkan dengan melakukan penyaringan pada sampel menggunakan saringan

no.4. Tujuan dilakukan penyaringan untuk memisahkan sampah atau akar akar yang masih ada disampel tanah tersebut.

#### 4.4.2. Urea

Urea merupakan suatu senyawa kimia yang mengandung Nitrogen (N) berkadar tinggi. Bentuk Urea terlihat seperti butir-butir kristal berwarna putih. Urea memiliki rumus kimia yakni  $\text{NH}_2\text{CONH}_2$  merupakan senyawa yang mudah larut dalam air, dan memiliki sifat yang mudah menghisap air (higroskopis), seperti gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Urea

#### 4.4.3. $\text{CaCl}_2$

$\text{CaCl}_2$  (Kalsium klorida) merupakan bahan yang dipakai sebagai campuran untuk stabilisasi tanah yang gampang larut dengan air dan mampu mengalirkan partikel tanah, seperti gambar 4.4 .



**Gambar 4.4** Bahan  $\text{CaCl}_2$

#### 4.4.4. Enzyme Uruase

Enzyme uruase yang digunakan menggunakan bahan alami yang kacang kedelai. Kacang kedelai dihaluskan terlebih dahulu, barulah dicampurkan dengan air. Kemudian setelah dicampurkan didiamkan beberapa hari agar ampas dari kacang kedelai mrnjadi endapan dibawah, seperti gambar4.5.



Gambar 4.5 Bahan *enzyme uruase*

#### 4.5 Peralatan yang digunakan

Dalam penelitian ini peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan pengujian disesuaikan dengan kebutuhan pengujian yang terdapat di labor Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Peralatan yang digunakan sebagai berikut :

1. Proctor
  - a. Mold pemadatan 04
  - b. Palu pemadatan standar dengan berat
  - c. Extruder mold
  - d. Pisau pemotong
  - e. Palu karet
  - f. Kantong plastik
  - g. Cawan

- h. Gelas ukuran 1000 ml
- i. Saringan no 4

## 2. Pengujian kadar air tanah ( moisture concent)

Alat yang digunakan pada pengujian kadar air sebagai berikut.

- a. Cawan
- b. Timbangan
- c. Oven

## 3. Pengujian berat jenis

Alat yang digunakan pada pengujian berat jenis yakni sebagai berikut.

- a. Piknometer kapasitas 100 ml
- b. Timbangan
- c. Kompor gas
- d. Cawan
- e. Botol air suling

### 4.6 Tahap Pengujian

Dalam proses penelitian yang dilakukan ada dua tahap pengujian yaitu pengujian pendahuluan yang bertujuan untuk menjadi patokan pada pengujian utama.

#### 4.6.1. Pengujian pendahuluan

Pada pengujian pendahuluan ini sampel tanah gambut digunakan sesuai keperluan pengujian yang dilakukan sebagai berikut.

##### 1. Pengujian pemadatan standar (*proctor*) ASTM D 698 – 78

Pengujian pemadatan standar dilakukan agar mengetahui kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering maksimum ( $\gamma_d$  maks). Pengujian proctor ini berdasarkan ASTM D 698 -78, sampel tanah yang digunakan lolos saringan No. 4 sebanyak  $\pm 3000$  gram. Cara kerja pengujian pemadatan tanah ini sebagai berikut:

- a. Sediakan tanah sampel  $\pm 3,00$  kg untuk 1 silinder pemadatan, lalu campurkan air sesuai dengan takaran yang telah ditentukan. Agar pori

- pori tanah terisi oleh air, maka diamkan sampel yang telah yang dicampurkan selama  $\pm 24$  jam didalam plastik yang terikat kuat.
- b. Buka dan keluarkan sampel yang telah di diamkan dalam plastik, kemudian bagi menjadi 3 bagian sampel. Masukkan yang telah dibagi menjadi 3 bagian kedalam cetakan untuk dilakukan pemadatan sebanyak 3 lapisan. Setiap lapisan dipadatkan dengan 25 tumbukan. Setelah dipadatkan leher cetakan dibuka dan atas sanpel diratakan sejajar dengan permukaan cetakan. Llau sampel didalam cetakan dikeluarkan menggunakan alat pengungkit kemudian ditimbang, setelah di timbang ambil sampel tanah baik bagian atas, bawah, dan tengah. Lalu masukkan kecawan untuk mengetahui kadar airnya dengana cara memasukkan ke dalam oven selama  $\pm 24$  jam.

Data yang diperoleh dalam pengujian adalah berat volume basah, kadar air, dan volume kering. Dari data tersebut kemudian dicari kadar air optimum dan berat volume kering maksimum.

#### 4.6.2. Pengujian berat jenis ASTM D 854 – 00

Pengujian ini bertujuan agar mengetahui besarnya berat jenis tanah yang merupakan perbandingan antara berat butir tanah dengan berat air diudara pada volume yang sama dan pada temperature tertentu. Prosedur pelaksanaan yaitu (laboraturium UIR mekanika tanah, 2016) :

- 1) Benda uji
  - a) Benda uji dipersiapkan dan di oven sampai kering dengan suhu 105- 110 C.
  - b) Benda uji yang di ovenkan sampai kering dengan berat tidak boleh kurang dari 50 gram.
- 2) Cara pelaksanaan
  - a) Cuci piknometer dengan air suling dan keringkan. Timbang terlebih dahulu piknometer dan tutupnya dengan ketelitian 0,01 gram ( $W_1$ ).
  - b) Benda uji dimasukkan kedalam Piknometer dan timbang bersama tutupnya

dengan ketelitian 0,01 gram ( $w_2$ ).

- c) Tambahkan air suling sampai piknometer terisi 2/3, benda uji yang memiliki gelembung biarkan benda uji terendam kurang lebih selama 24 jam.
- d) Didihkan piknometer selama 10 menit, pada saat melakukan pemanasan miringkan botol beberapa kali agar mempercepat pengeluaran udara yang terkurung di dalam piknometer.
- e) Masukkan air suling kedalam piknometer, biarkan piknometer dan isinya mencapai suhu yang konstan di dalam bejana atau tempat yang aman selama 24 jam.
- f) Setelah mencapai suhu yang konstan tambahkan air suling secukupnya sampai batas. Kemudian tutup piknometer tersebut. Keringkan bagian luar piknometer dan timbang dengan timbangan ketelitian 0,1 gram ( $W_3$ ). Ukur suhu pada piknometer dengan ketelitian 10°C.
- g) Untuk menghilangkan udara dalam pori-pori tanah, benda uji dipanaskan diatas pasir dengan menggunakan kompor. Setelah udara di dalam pori tanah sudah menghilang, kemudian tambahkan air sampai ke bibir piknometer dan setelah itu ditimbang.

#### **4.6.3. Pengujian kadar air tanah ( moisture content) ASTM D 2216 – 92**

Adapun tujuannya untuk menentukan kadar air tanah yaitu perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering yang dinyatakan dalam persen. Prosedur pelaksanaan yaitu (Laboratorium UIR Mekanika Tanah, 2016):

- 1) Tanah yang akan diuji di letakkan dalam cawan yang sudah bersih, kering, dan yang sudah diketahui beratnya.
- 2) Lalu cawan yang sudah di isi ditimbang agar mendapatkan beratnya.
- 3) Sampel yang telah ditimbang lalu dimasukkan kedalam oven pengering selama 24 jam. agar berat tanah konstan dengan suhu 80°C.
- 4) Kemudian sampel tanah dikeluarkan dari dalam oven dan didinginkan setelah



itu sampel tanah ditimbang dan beratnya dicatat.

#### 4.6.4. Pengujian gradasi tanah

Pengujian gradasi tanah bertujuan untuk menentukan pembagian butir ( gradasi ) antara agregat halus dan agregat kasar. Tahapan pelaksanaan dilakukan sebagai berikut.

- 1) Tanah gambut yang diuji dimasukkan dalam cawan lalu ditimbang.
- 2) Setelah ditimbang benda uji dimasukkan kedalam oven pengatur suhu dalam kurun waktu 24 jam.
- 3) Setelah dioven, rendam benda uji dalam kurun waktu 24 jam.
- 4) Benda uji yang sudah direndam dalam waktu 24 jam, kemudian dicuci menggunakan saringan No 200.
- 5) Benda uji disaring menggunakan saringan No. 200, kemudian dimasukkan kembali dalam oven pengatur suhu dalam waktu 24 jam.
- 6) Benda uji yang sudah dioven dalam waktu 24 jam, kemudian disaring menggunakan saringan No. 4, 10, 20, 40, 80, 100, dan 200.

#### 4.6.5. Pembuatan sampel

Langkah kerja pembuatan sampel kuat tekan tanah sesuai ukuran sampel pada alat pengujian *unc onfined compression strength test* (UCS):

- 1) Sampel tanah yang lolos saringan No.4 diambil sesuai dengan berat isi yang telah didapat sebanyak 48,7 gr, kemudian ditambahkan dengan kadar air optimum yang didapat sebanyak 41,3 gr.dalam pemadatan standar total berat sampel menjadi 90 gr, Lalu sampel diaduk hingga merata.
- 2) Sampel yang telah diaduk rata kemudian dibagi 3 dengan berat 30 gr, dimasukkan ke dalam tabung silinder sebanyak 3 lapisan secara bertahap.setelah itu ditekan dengan alat sondir sampai batas yang ditentukan.
- 3) Sampel yang telah jadi, kemudian dikeluarkan dari tabung silinder.

#### 4.6.6. Pembuatan reagen enzyme

Penelitian ini menggunakan reagen yaitu CO (NH<sub>2</sub>) urea CaCl<sub>2</sub> dan Enzim urease sebagai bahan grouting. Penelitian ini merupakan penelitian pertama untuk menguji pengaruh teknik presipitasi kalsit yang diinduksi oleh enzim urease di tanah organik. Maka karna itu penelitian ini mencoba dengan jumlah konsekrat bahan yang acak dan membuat sampel sebagai percobaan EICP. Adapun konsekrat yang dibuat sebagai berikut :

**Tabel 4.1** Material yang digunakan dalam reagen (F Syarif dkk, 2019)

No	Material	Quantity
1	Enzim	10 gr
2	Urea (CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> )	100 gr
3	CaCl <sub>2</sub>	10 gr
4	Air	50 ml

Langkah-langkah pembuatan reagen enzim sebagai berikut :

- 1) Larutkan 100 gr urea dengan air bersih sebanyak 50 ml kedalam cawan A.
- 2) Larutkan 10 gr CaCl<sub>2</sub> dengan air bersih sebanyak 50 ml kedalam cawan B.
- 3) Larutkan 10 ml enzim dengan air bersih sebanyak 50 ml kedalam cawanC.
- 4) Setelah semua bahan dilarutkan, lalu campurkan semua bahan tersebut kedalam cawan D yang telah dipersiapkan dengan komposisi sebanyak 10ml setiap bahannya.
- 5) Kemudian semua bahan larutan yang dicampur diaduk hingga merata.
- 6) Lalu saring campuran yang telah diaduk rata kedalam Gelas ukur menggunakan kertas saring.
- 7) Enzim yang tertinggal dikertas saring lalu diambil dan ditimbang,setalah itu dicampurkan kedalam botol dengan air 50 ml.

#### 4.6.7. Pencampuran benda uji dengan reagen enzyme

Langkah-langkah pencampuran benda uji dengan reagen *Enzyme* sebagai berikut.

- 1) Benda uji yang sudah dimasukkan kedalam plastik kedap udara dikeluarkan

dan dilakukan penimbangan beratnya. Kemudian masukkan kembali benda uji yang dikeluarkan kedalam palstik nya kembali.

- 2) Dari hasil benda uji yang sudah ditimbang dikalikan dengan persen reagen enzim . dalam pengujian ini menggunakan campuran reagen enzim ( 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% ).
- 3) Teteskan reagen enzim ke sampel yang telah disediakan dengan hasil perkalian dari berat benda uji yaitu sebesar 90 gram dan variasi persentase (5% = 4,5 ml, 10% = 9 ml, 15% = 13,5 ml, 20% = 18 ml, 25% = 22,5 ml), dengan cara meneteskannya dari bagian permukaan atas benda uji hingga reagen enzim meresap masuk kedalam tanah.
- 4) Ketika sudah diteteskan tutup kembali plastik kedap udara tersebut, kemudian simpan dan diamkan benda uji yang sudah dicampurkan reagen enzim selama 14 hari.

#### 4.6.8. Pengujian Utama

Pengujian utama dilakukan setelah pengujian pendahuluan dan proses pencampuran benda uji menggunakan reagen enzim. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kuat tekan tanah gambut yang telah di campurkan dengan reagen enzim. Pada pengujian ini pencampuran reagen enzim terhadap benda uji dengan variasi persenan 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% terhadap berat isi benda uji. Pengujian ini dimulai dari benda uji yang memiliki 0% reagen enzim atau benda uji tanah asli sampai dengan benda uji yang dicampurkan reagen enzim sebanyak 25%.

Berikut langkah kerja pengujian kuat geser benda uji menggunakan triaksial:

- 1) Pertama yang dilakukan ialah pengecekan alat sebelum digunakan, dan juga mempersiapkan silikon yang akan digunakan
- 2) Pemasangan silikon pada sampel sebelum diletakkan pada alat uji
- 3) Sampel yang telah dipasang silikon dapat kemudian diletakkan pada alat uji, dengan menurunkan penutup kacanya terlebih dahulu.

- 4) Setelah selesai diletakkan pada alat uji, selanjutnya sampel yang akan di uji akan ditutup dengan tabung kaca dengan rapat.
- 5) Selanjutnya sampel yang akan di uji akan dialiri air sampai kondisi penuh sesuai dengan tabung kaca.
- 6) Ketika sudah sesuai standar untuk memulai pengujian, dilanjutkan dengan menekan tombol ON untuk memulai pengujian
- 7) Kemudian peneliti akan membaca pergerakan angka yang terlihat sampai nanti sampel yang di uji mengalami nilai penurunan dari nilai maksimumnya
- 8) Setelah selesai pengujian keluar sampel yang di uji dari alat triaksial

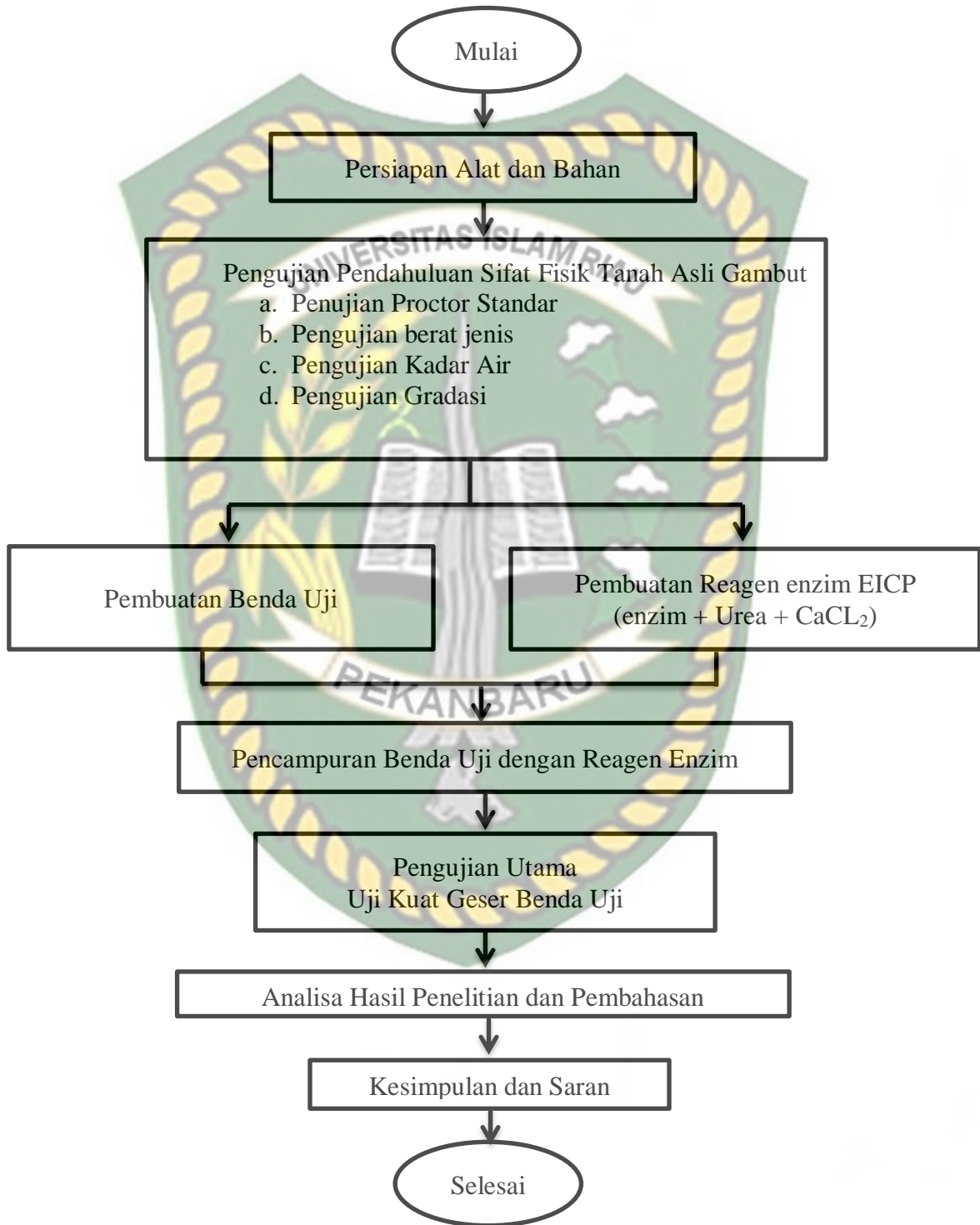
#### 4.7 Tahapan penelitian

Diagram alir berfungsi sebagai alur dalam penelitian, proses ini digambarkan seperti *flowchart*.

Pada penelitian ini tahap proses pembuatan uji dan proses pembuatan Reagen enzim EICP sejalan dalam prosesnya agar ketika dalam pencampuran benda uji nantinya bisa langsung dilakukan proses pencampuran.

Pada tahap proses Pencampuran Benda Uji dengan Reagen Enzim dilakukan dengan sampel ditetesi sesuai takaran yang telah dihitung sesuai variasi persentase. Dalam proses ini variasi persentase terdapat 3 sampel benda uji pada setiap variasi persentase.

Kemudian pada tahap Pengujian Utama Uji Kuat Geser Benda Uji, pada tahap pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji triaksial. Proses pertama kali sampel dilapisi dengan perekat agar ketika dimasukkan ke tabung alat triaksial nantinya tidak dipengaruhi oleh cairan (air). Setelah sampel dilapisi dengan perekat, sampel dimasukkan kedalam tabung yang diisi cairan (air) dengan tekanan uap angin yang berbeda yakni 0,5 ; 1 ; 2. Setiap variasi persentase terdiri dari 3 sampel benda uji dan juga sampel benda uji yang tidak dicampur dengan reagen enzim (original).



Gambar 4.6 Bagan alir penelitian

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Umum

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

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

#### 5.2 Reagen Enzyme

Reagen enzyme merupakan larutan sementasi yang digunakan dalam penelitian ini, enzyme yang digunakan merupakan biji kedelai yang telah dihancurkan (ditumbuk tumbuk). Reagen *enzyme induce calcite precipitation* terdiri dari beberapa campuran seperti  $\text{CaCl}_2$ , Urea, air, dan kedelai. Reagen enzyme ini digunakan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat geser pada tanah gambut. Jumlah reagen enzyme yang diinjeksikan ke benda uji disesuaikan dengan variasi persentase yang sudah ditetapkan dalam penelitian ini.

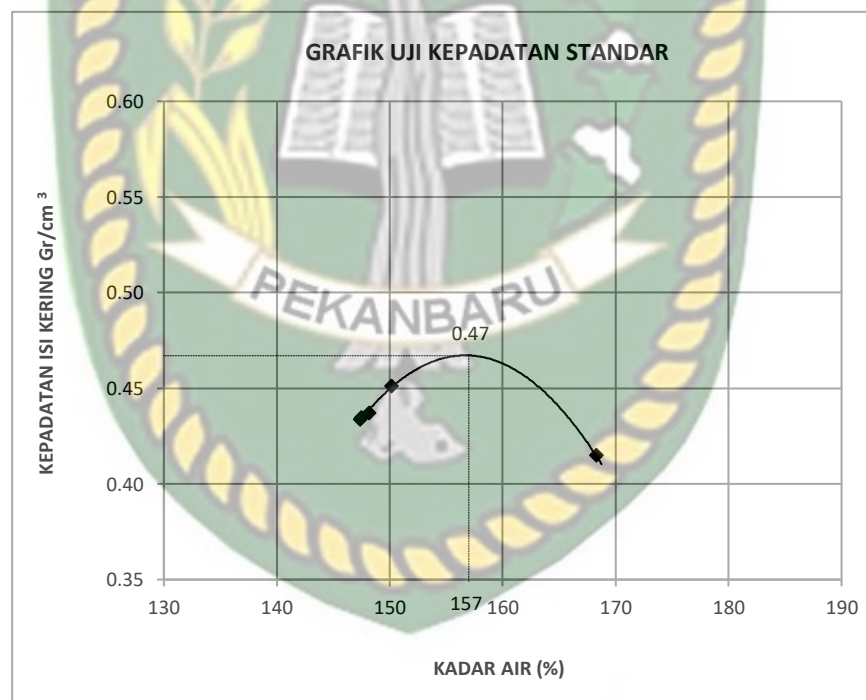
#### 5.3 Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan dilakukan sebelum dilaksanakannya pengujian

utama dilaboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau. Pengujian pendahuluan yang dilakukan diantaranya adalah pengujian pemadatan (*Proctor Test*), pengujian berat spesifik (Gs), dan pengujian kadar air tanah asli (tanah gambut).

### 5.3.1 Pengujian Pemadatan / *Proctor Test*

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



**Gambar 5.1** Hubungan berat volume kering dengan kadar air.

Pada gambar 5.1 menunjukkan hubungan antara kadar air optimum dan kepadatan isi kering. Hasil dari uji pemadatan (*proctor standart*) yang dilakukan terhadap 5 (lima) buah benda uji, didapatkan hasil untuk kadar air optimum yaitu sebesar 157% dan berat volume kering maksimumnya ( $\gamma_{maks}$ ) sebesar 0,467 gr/cm<sup>3</sup>. Untuk hasil yang didapatkan bisa dilihat pada lampiran A-1. Berdasarkan

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

### 5.3.2 Pengujian Berat Spesifik (Gs)

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

### 5.3.3 Pengujian Kadar Air Asli (Tanah Gambut)

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

### 5.3.4 Sifat-sifat Fisis Tanah Gambut

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



dilihat pada lampiran.

**Tabel 5.1** Sifat-sifat Fisis Tanah Gambut.

No	Sifat-sifat	Besaran	Satuan
1	Berat Spesifik, $G_s$	1,30	-
2	Kadar Air, $w$	407,5	%
3	Berat Isi Kering Maksimum ( $\gamma_d$ maks)	0,467	Gr/cm <sup>3</sup>
4	Kadar Air optimum (OMC)	157	%

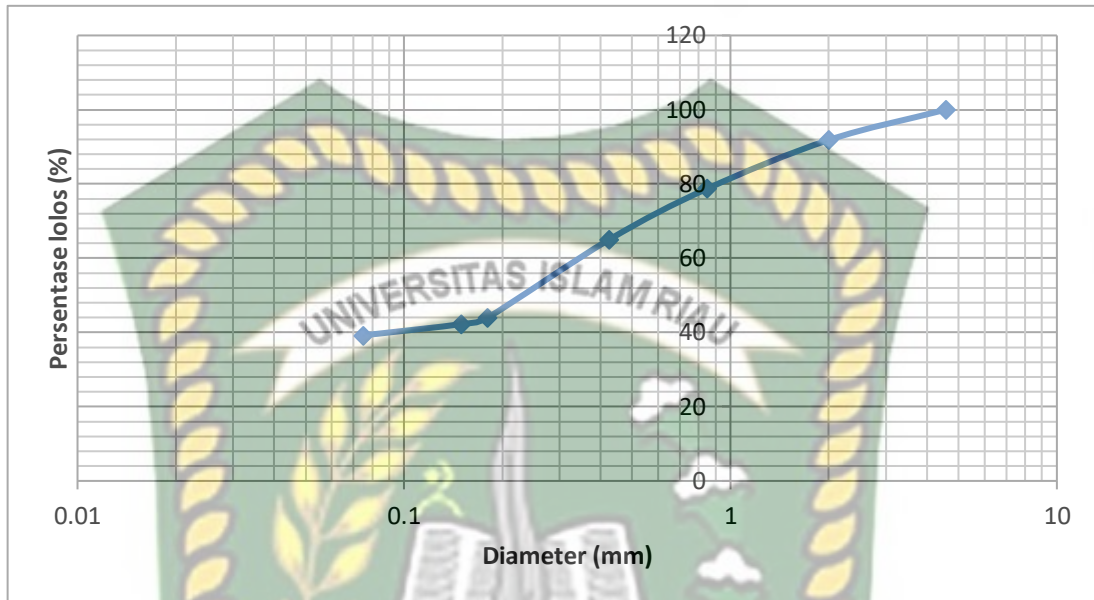
#### 5.4 Pengujian Gradasi Benda Uji

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

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

**Tabel 5.2** diameter ukuran saringan

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



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

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

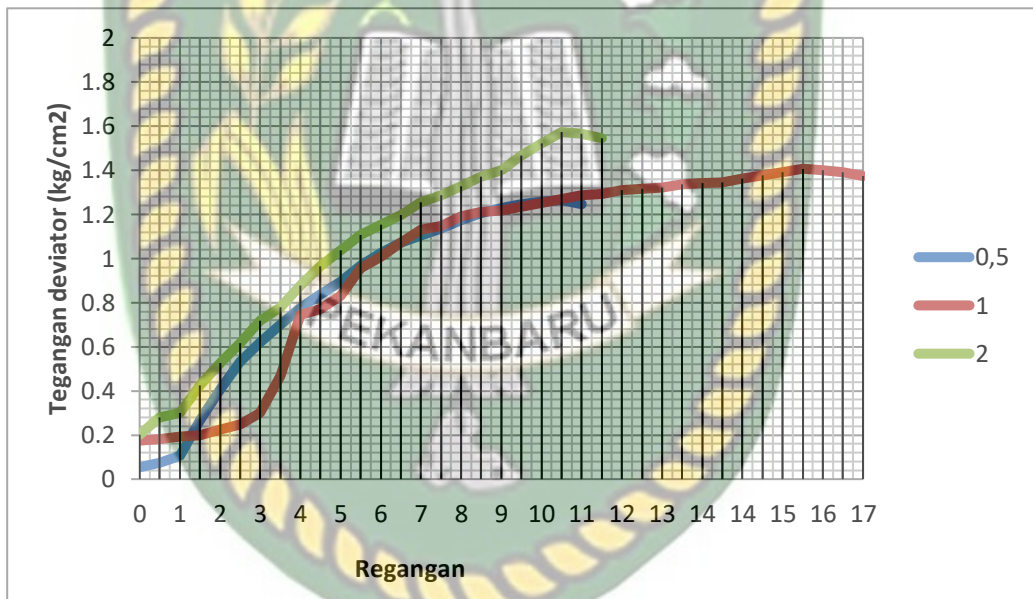
### 5.5 Pengujian Kuat Geser Reagen Enzyme Kedelai

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

1. Sampel A = 0%

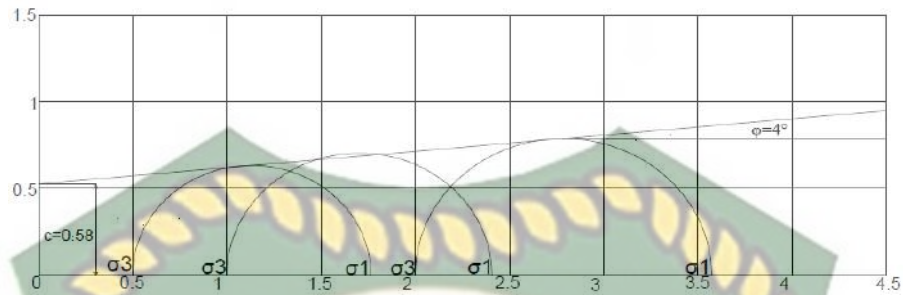
2. Sampel B = 5%
3. Sampel C = 10%
4. Sampel D = 15%
5. Sampel E = 20%
6. Sampel F = 25%

Pengujian triaksial tipe *unconsolidated undrained* pada sampel dengan 1 sampel persentase sebanyak tiga buah, yaitu untuk tegangan sel ( $\sigma_3$ )=0,5kg/cm<sup>2</sup> , tegangan sel ( $\sigma_3$ )=1kg/cm<sup>2</sup>, tegangan sel ( $\sigma_3$ )=2kg/cm<sup>2</sup>. Pengujian triaksial bertujuan untuk mendapatkan nilai parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ). Hasil pengujian dapat dilihat sebagai berikut



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

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

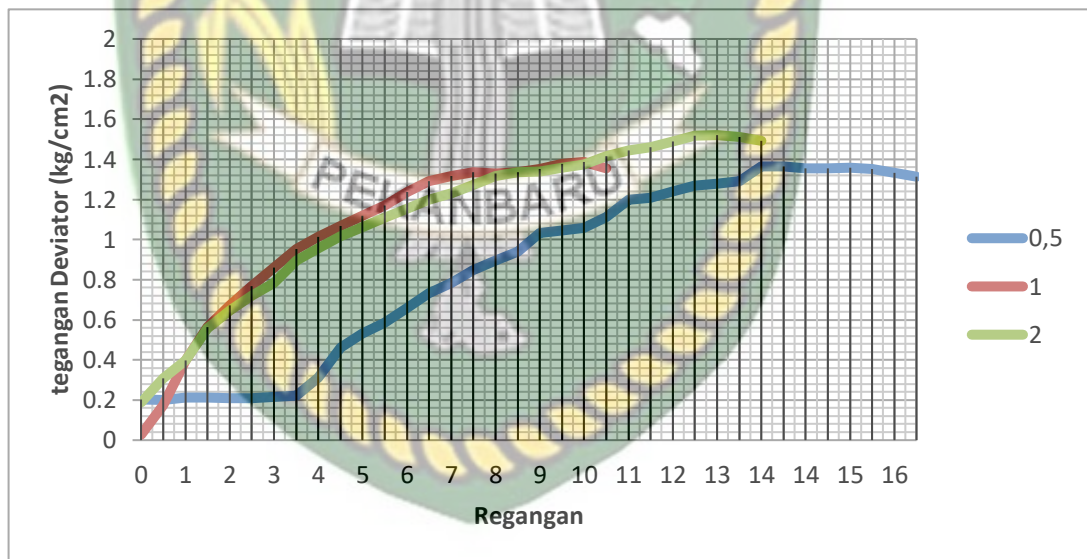


**Gambar 5.4** Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel A

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

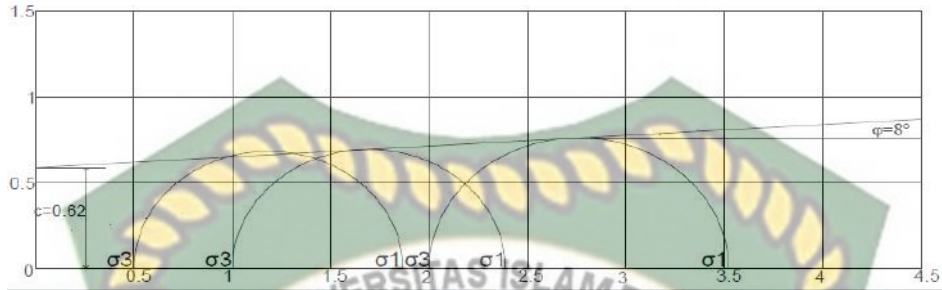
Sudut gesek dalam( $\phi$ ) = 4

Kohesi ( $c$ ) = 0,58 kg/cm<sup>2</sup>



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

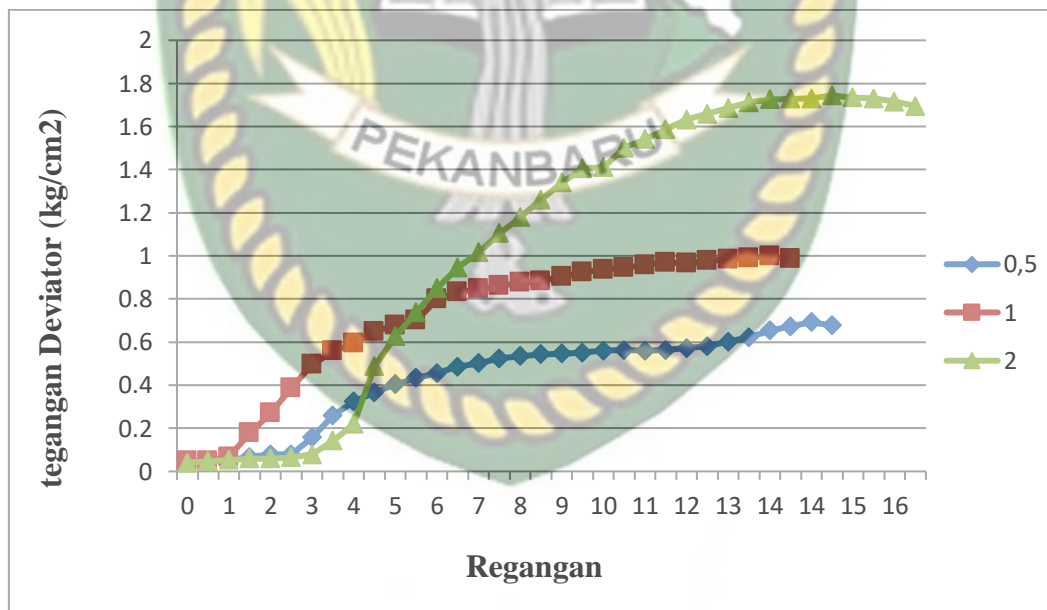
Kemudian dibuat lingkaran mohr dari tegangan pada saat sampel pecah dengan tegangan geser sebagai ordinat dan tegangan normal sebagai absis, seperti gambar 5.6



**Gambar 5.6** Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel B

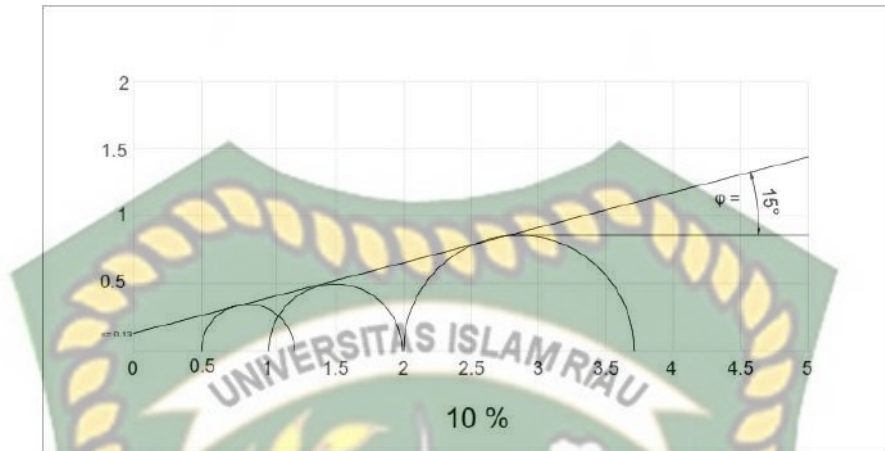
Dari pengujian triaksial UU pada sampel tanah B diperoleh sudut gesek dalam ( $\phi$ ) dan kohesi ( $c$ ) yaitu :

- Sudut gesek dalam = 8
- Kohesi ( $c$ ) = 0,62 kg/cm<sup>2</sup>



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

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

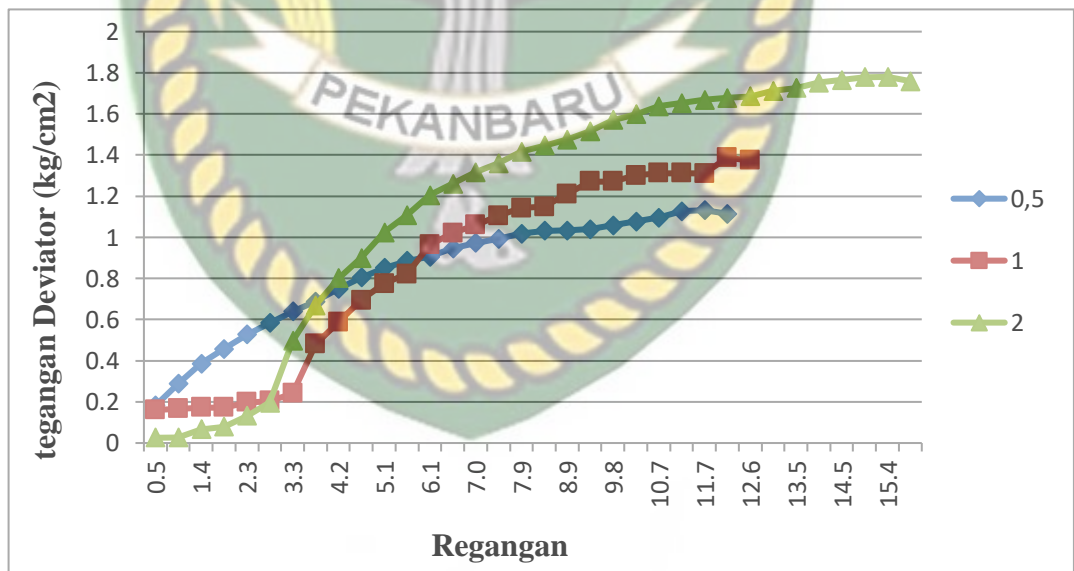


**Gambar 5.8** Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel C

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

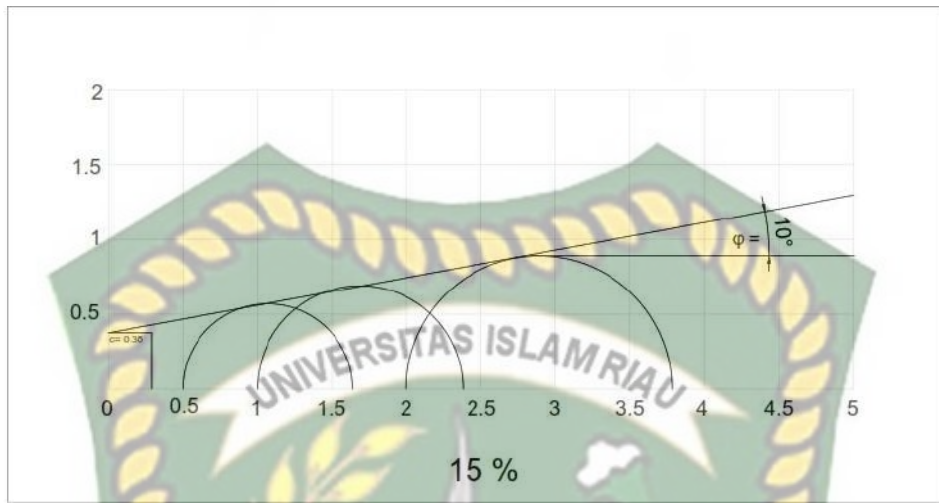
Sudut gesek dalam = 15

Kohesi ( $c$ ) = 0,13 kg/cm<sup>2</sup>



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

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

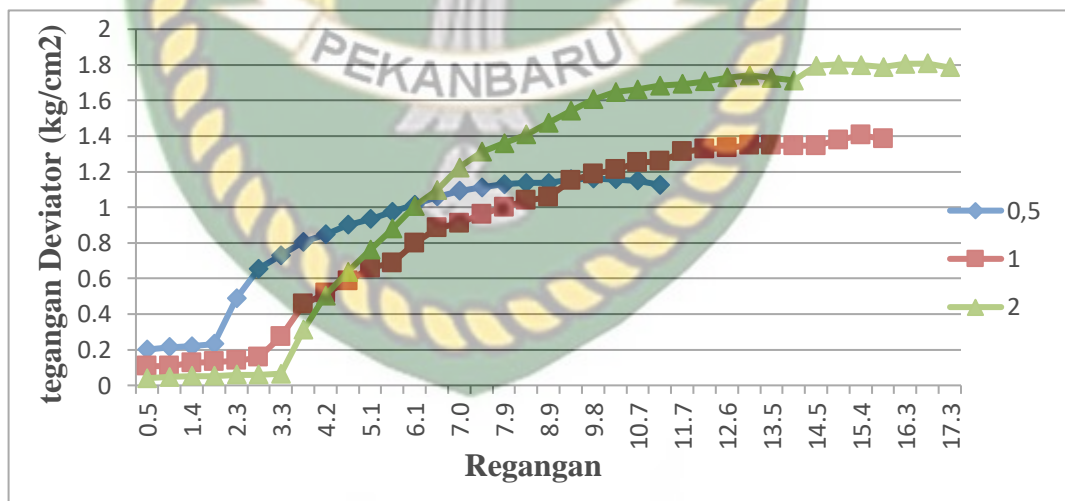


**Gambar 5.10** Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel D

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

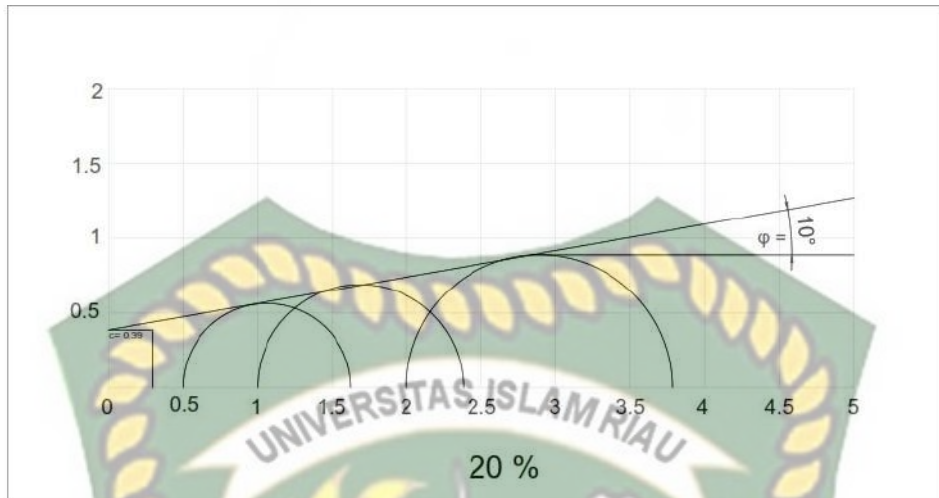
Sudut gesek dalam = 10

Kohesi ( $c$ ) = 0,38 kg/cm<sup>2</sup>



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

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



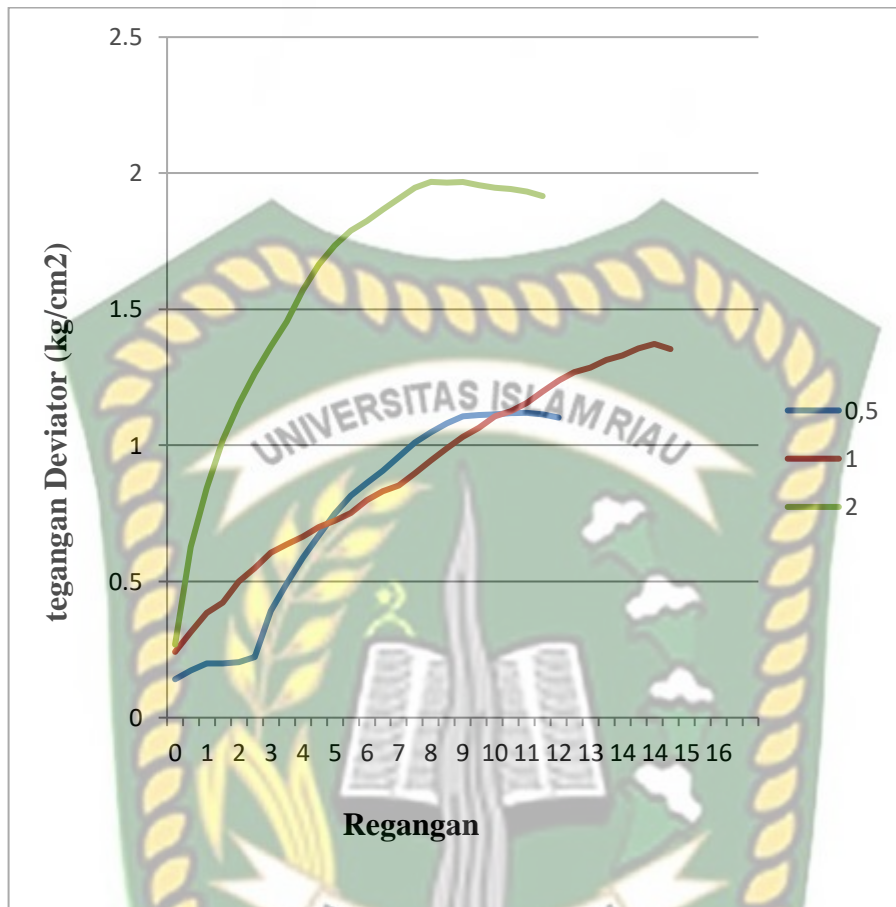
**Gambar 5.12** Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel E

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

Sudut gesek dalam = 10

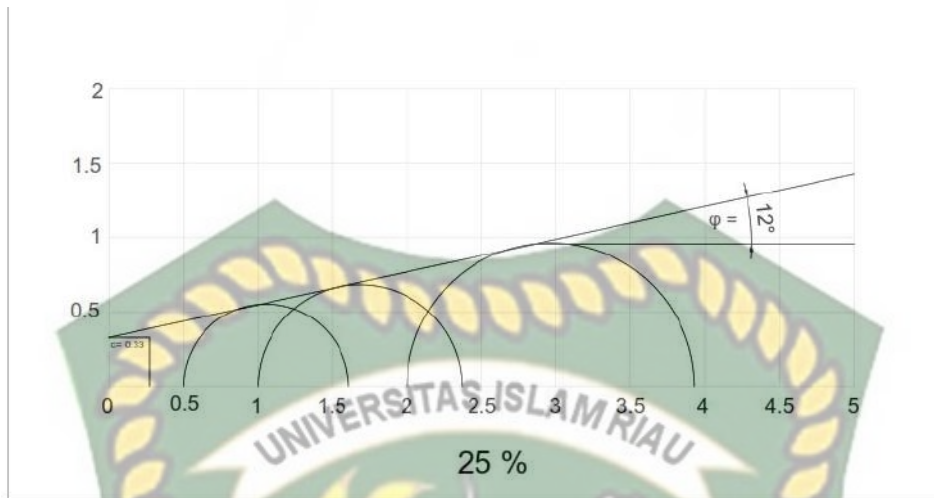
Kohesi ( $c$ ) = 0,39 kg/cm<sup>2</sup>





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

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



**Gambar 5.14** Diagram Mohr hasil pengujian Triaksial sampel F

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

Sudut gesek dalam = 12

Kohesi ( $c$ ) = 0,33 kg/cm<sup>2</sup>

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

**Tabel 5.3** Sudut Geser dan kohesi tiap sampel

Sampel	Sudut geser dalam $\phi$ (°)	Kohesi $c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A	4	0,58
B	8	0,62
C	15	0,13
D	10	0,38
E	10	0,39
F	12	0,33

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

## 5.6 Analisa Kuat Geser

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

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

Dimana :

$\tau$  = kuat Geser Tanah ( $\text{kg/cm}^2$ )

$c$  = kohesi tanah ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\sigma$  = Tegangan normal pada bidang runtuh ( $\text{kg/cm}^2$ )

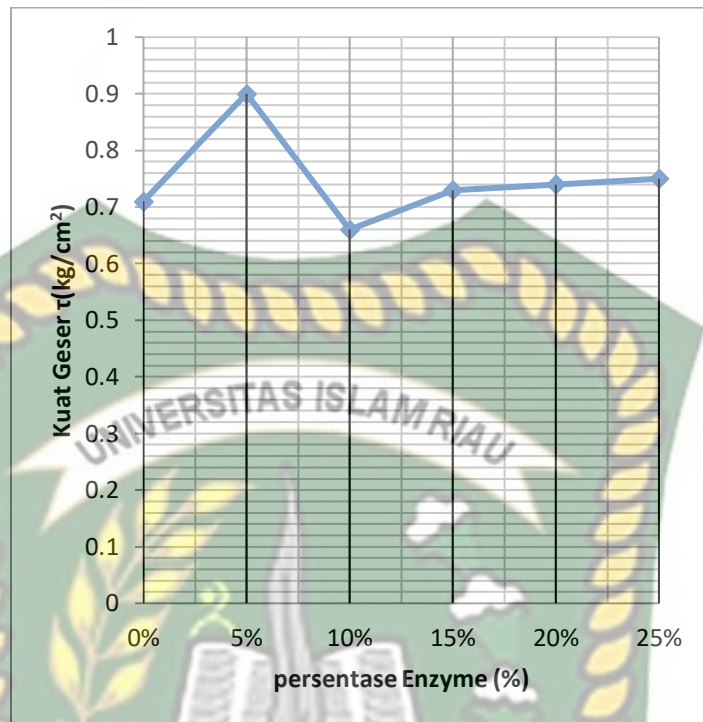
$\varphi$  = Sudut Gesek dalam Tanah ( $^\circ$ )

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

**Tabel 5.4** perhitungan analisis kuat geser pada Uji Triaksial UU

Sampel	$c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$\varphi$ ( $^\circ$ )	$\tau$ ( $\text{kg/cm}^2$ )
A	0,58	4	0,71
B	0,62	8	0,90
C	0,13	15	0,66
D	0,38	10	0,73
E	0,39	10	0,74
F	0,33	12	0,75

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



**Gambar 5.15** Grafik hubungan antara nilai kuat geser dengan persentase enzyme kedelai

Dari hasil analisis kuat geser yang didapatkan dalam penelitian ini, tanah gambut yang terinjeksi (grouting) oleh enzyme mengalami kenaikan dibandingkan tanah asli. Nilai kuat geser tertinggi terdapat pada tanah gambut yang terinjeksi *reagen* enzyme kedelai 5% yaitu sebesar 0,90 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan pada tanah gambut yang tidak terinjeksi *reagen* enzyme kedelai mendapatkan hasil kuat geser sebesar 0,71 kg/cm<sup>2</sup>.

Menurut patma (2020), Perbedaan naik turunnya nilai-nilai varian sampel ini disebabkan karna saat melakukan penelitian tidak menghitung berapa CaCO<sub>3</sub> yang masuk kedalam benda uji. Hal ini sejalan dengan pernyataan (dejong et al.2010) menyebutkan MICP dapat dipengaruhi oleh berbagai jenis sifat fisik, kimiawi, dan biologis, dari tanah asli itu sendiri. Penerapan MICP ureolitik via augmentasi hayati terbatas pada tanah yang mana pori kerongkongannya lebih besar dibandingkan sel bakterinya. (Foppen dan Schijven, 2006) menyatakan distribusi ukuran partikel dan komposisi mineralogist juga dapat mempengaruhi

adhesi dan transport dari sel bakteri. (Get et al, 2014) beranggapan bahawa adanya spesies bakteri non-ureolitik dalam tanah dapat mempengaruhi proses MICP serta garam yang terkandung dalam tanah asli mungkin dapat mempengaruhi mineralogy pada presipitasi kalsium karbonat. (Loste et al, 2013) Menyatakan bahawa beberapa ion seperti magnesium menghalangi terjadinya formasi Kristal kalsit.



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, pengaruh penambahan *reagen enzyme* kedelai terhadap kuat geser tanah gambut didapat hasil yaitu terjadi kenaikan nilai kuat geser pada persentase *enzyme* 5%, dan setelahnya terjadi penurunan, namun nilai kuat geser pada persentase 10%, 15%, 20%, 25% lebih besar daripada 0%. Pada hasil kuat geser tanpa perlakuan *reagen enzyme* kedelai 0% sebesar 0,71 kg/cm<sup>2</sup>. Nilai kuat Geser tertinggi terdapat pada penambahan *reagen enzyme* kedelai 5% sebesar 0,90 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan pada perlakuan 10% sebesar 0,66 kg/cm<sup>2</sup>, perlakuan 15% sebesar 0,73 kg/cm<sup>2</sup>, perlakuan 20% sebesar 0,74 kg/cm<sup>2</sup>, dan perlakuan 25% sebesar 0,75 kg/cm<sup>2</sup>. Berdasarkan dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan *reagen enzyme* kedelai pada tanah gambut memberikan pengaruh terhadap kuat geser yang diberikan kepada benda uji, sebagaimana yang didapatkan terjadi kenaikan kuat geser pada tanah gambut yang terinjeksi *reagen enzyme* kedelai sesuai variasi persentase yang sudah di tetapkan.

#### 6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah :

1. Untuk penelitian selanjutnya tambahkan lagi variasi persentase *enzyme* kedelai dan jumlah sampel benda uji untuk mendapatkan hasil yang sesuai.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat ditambahkan penelitian pengecekan hasil sampel yang telah diberikan penambahan *reagen enzyme* kedelai menggunakan mikroskop .

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D 698-78 Pengujian Pemadatan Standar.
- Hatmoko, J. T., & Suryadhama, H. (2020). *Teknologi Perbaikan Tanah*. ANDI, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2010). *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan jalan*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Heriansyah Putra (2018) Keberlanjutan Metode Pengendapan Kalsit Enzim-Dimediasi sebagai Teknik Peningkatan Tanah yang Ramah Lingkungan
- Putra dkk (2018) Parameter Peningkatan Kuat Geser Tanah Berpasir Menggunakan Teknik Pengendapan Kalsit Enzim
- Surendro, B. (2015). *Mekanika Tanah*. ANDI, Yogyakarta.
- SNI 1964-2008 Cara Uji Berat Jenis Tanah
- SNI 1965-2008 Cara Uji Penentuan Kadar Air Untuk Tanah dan Batuan DiLaboratorium
- Sidratu dkk (2016) Biogrouting : Produksi Urease dari bakteri laut (*Oceanobacillus* sp.) Pengendap Karbonat
- Yasuhara, dkk (2018). *Improving Shear Strength Parameters Of Sandy Soil Using Enzyme-Mediated Calcite Precipitation Technique*.
- Yazid, E. A., & Nuha, B. U. (2017). Kadar Protein Terlarut Pada Ampas Kedelai Dari Hasil Proses Pembuatan Tempe Dengan Penambahan Ekstrak Kasar Papain (Crude Papain) Dissolved Protein Content in Soybean Dregs From The Process Of Making Tempe With The Addition Of Crude Papain Extract. *Journals of Ners Community*, 8(1), 45-52.