

**STUDI LABORATORIUM NILAI CBR TANAH GAMBUT DENGAN
MENGUNAKAN METODE MICP (*MICROBially INDUCED
CALCITE PRECIPITATION*)**

TUGAS AKHIR

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



Oleh

BAYU HADI PRABOWO

143110740

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

2021

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Alhamdulillahirabbil'alam, segala puji dan rasa syukur yang sedalam-dalamnya atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, nikmat serta hidayah nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: **“STUDI LABORATORIUM NILAI CBR TANAH GAMBUT DENGAN MENGGUNAKAN METODE MICP (*MICROBially INDUCED CALCITE PRECIPITATION*)”**.

Banyak alasan yang ingin dikemukakan penulis dalam pengambilan judul ini, namun pada dasarnya penulis ingin dapat mengetahui seberapa besar pengaruh stabilisasi tanah gambut yang ditambahkan dengan larutan sementasi menggunakan metode *microbially induced calcite precipitation* serta bagaimana pengaruh atau perubahan yang terjadi pada nilai CBR 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, Juni 2021

Bayu Hadi Prabowo

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Wr.Wb.

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

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

12. Penghargaan yang setinggi-tingginya kepada kedua orang tua tercinta P.Purnomo B.E dan Lismawati yang selalu memberikan do'a yang terbaik.
13. Yang saya banggakan seluruh keluarga besar yang selalu mendorong agar dapat menyelesaikan pendidikan ini diwaktu yang tepat.
14. Seluruh teman dan sahabat yang membantu diantaranya Andi Prabu SE, Muhammad Hidayat SH, Ariadi Rahman Tio. ST, Noki Andrianus A.Md. Pjk.
15. Teman teman yang telah membantu di Laboratorium UIR.
16. Buat senior dan seluruh mahasiswa teknik sipil angkatan 2014 Universitas Islam Riau dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

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

Wassalamu'alaikum Wr, Wb,

Pekanbaru, Juni 2021

Bayu Hadi Prabowo

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
UCAPAN TERIMA KASIH.....	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR NOTASI.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1 Umum	5
2.2 Penelitian Terdahulu.....	5
2.3 Keaslian Penelitian	13
 BAB III LANDASAN TEORI	 14
3.1 Tanah Gambut	14
3.2 Pemadatan Tanah	34
3.3 CBR (<i>California Bearing Ratio</i>).....	36
3.3.1 CBR Laboratorium	37
3.3.2 CBR Lapangan (<i>CBR field</i>).....	38
3.4 <i>Bio-grouting</i>	39
3.5 <i>Bacillus Subtilis</i>	41

3.5.1	Klasifikasi <i>Bacillus Subtilis</i>	42
3.5.2	Karakteristik <i>Bacillus Subtilis</i>	42
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN.....		43
4.1	Umum	43
4.2	Lokasi Penelitian dan Lokasi Pengambilan Tanah Gambut	43
4.3	Bagan Alir Penelitian.....	44
4.4	Bahan Pengujian.....	45
4.4.1	Tanah gambut	45
4.4.2	Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	45
4.4.3	Urea	46
4.4.4	CaCl ₂	47
4.5	Pembuatan Larutan Sementasi	47
4.5.1	Pembuatan Larutan Sementasi (Reagen Bakteri)	48
4.6	Pengujian Tanah Gambut.....	50
4.6.1	Peralatan Pengujian Pendahuluan.....	50
4.6.2	Peralatan Pengujian Utama (Pengujian CBR).....	51
4.7	Tahapan Penelitian dan Prosedur Pengujian.....	51
4.7.1	Prosedur Pengujian Pendahuluan	51
4.7.2	Pengujian Utama.....	56
4.7.3	Prosedur Pengujian Utama	57
4.8	Analisa Hasil Penelitian dan Pembahasan	59
4.9	Kesimpulan dan Saran	59
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		60
5.1	Umum	60
5.2	Pengujian Pendahuluan.....	60
5.2.1	Kadar Air Tanah Asli (Tanah Gambut)	60
5.2.2	Berat Spesifik (Gs).....	60

5.2.3 Pengujian Gradasi Benda Uji	61
5.2.4 Pengujian Pemadatan	63
5.2.5 Sifat-sifat Tanah Gambut	64
5.3 Pengujian <i>California Bearing Ratio</i> (CBR) Laboratorium.....	64
5.3.1 Hasil Pengujian CBR Tanah Gambut Lama Pemeraman 0 Hari.....	65
5.3.2 Hasil Pengujian CBR Tanah Gambut Lama Pemeraman 3 Hari.....	66
5.3.3 Hasil Pengujian CBR Tanah Gambut Lama Pemeraman 7 Hari.....	67
5.3.4 Perbandingan Hasil Pengujian CBR Tanah Gambut Variasi Lama Pemeraman.....	67
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	70
6.1 Kesimpulan	70
6.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	5
Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Gambut Menurut ASTM D2607 (1969)	24
Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Gambut berdasarkan Kadar Serat Menurut ASTM D4427-84 (1989)	25
Tabel 3.3 Kasifikasi Tanah Gambut Berdasarkan Kadar Abu Menurut ASTM D4427-84 (1989)	25
Tabel 3.4 Kasifikasi Tanah Gambut Berdasarkan Tingkat Keasaman Menurut ASTM D4427-84 (1989)	
Tabel 3.5 Sifat-sifat Fisik Tanah Gambut	26
Tabel 3.6 Berat Spesifik Tanah	30
Tabel 3.7 Permeabilitas (<i>permeability pumping tests</i>) pada titik yang dangkal di hutan gambut Riau	33
Tabel 3.8 Perbedaan Pemadatan Proktor Standar dan Pemadatan Proktor Modifikasi (Das, 1995)	35
Tabel 3.9 Klasifikasi Nilai CBR Tanah (Bowles, 1992).....	37
Tabel 4.1 Komposisi Larutan Sementasi	48
Tabel 4.2 Variasi Campuran Larutan Sementasi Pada Sampel Uji CBR	57
Tabel 5.1 Pemeriksaan Analisa Saringan Benda Uji	61
Tabel 5.2 diameter ukuran saringan	62
Tabel 5.3 Sifat-sifat Tanah Gambut	64

Daftar Gambar

Gambar 3.1 Skema Pembentukan Dataran Pantai yang Tertutup oleh Tanah Gambut	20
Gambar 3.2 Profil Sungai dan Dataran Banjir yang dipisahkan oleh Tanggul Alam	20
Gambar 3.3 Daerah Danau atau Rawa.....	21
Gambar 3.4 Pembentukan Lingkungan Sungai yang Terdiri dari Berbagai Jenis Tanah Gambut.....	21
Gambar 3.5 Keberadaan Tanah Gambut Dataran Rendah pada Dua Lingkungan Fisiografis yang Berbeda	23
Gambar 3.6 Hubungan antara batas cair dan kadar organik	31
Gambar 3.7 Data tes Odeometer dari Berengbengkel	32
Gambar 3.8 Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	41
Gambar 4.1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel	43
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian	44
Gambar 4.3 Sampel Tanah Gambut	45
Gambar 4.4 Sampel Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	46
Gambar 4.5 Sampel Urea	46
Gambar 4.7 Sampel CaCl_2	47
Gambar 4.8 Proses Pembuatan Larutan Sementasi (Reagen Bakteri)	50
Gambar 4.9 Proses Penyaringan Larutan	50
Gambar 4.10 Alat Pengujian CBR	51
Gambar 4.11 Pengujian Kadar Air Sampel Tanah	53
Gambar 4.12 Pengujian Berat Jenis	54
Gambar 4.13 Pengujian Pemadatan Tanah	55
Gambar 5.1 Grafik Hubungan Persentase Lolos Saringan Agregat Dengan Diameter Benda uji	62

Gambar 5.1 Grafik Pengujian Pemadatan dengan Proctor Standar dan Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air	63
Gambar 5.2 Grafik Pengujian CBR Tanah Gambut Dengan Lama Pemeraman 0 Hari	65
Gambar 5.3 Grafik Pengujian CBR Tanah Gambut Dengan Lama Pemeraman 3 Hari	66
Gambar 5.4 Grafik Pengujian CBR Tanah Gambut Dengan Lama Pemeraman 7 Hari	67
Gambar 5.5 Grafik Pengujian CBR Tanah Gambut Dengan Variasi Lama Pemeraman Penetrasi 0,1”	68
Gambar 5.6 Grafik Pengujian CBR Tanah Gambut Dengan Variasi Lama Pemeraman Penetrasi 0,2”	69

Daftar Notasi

Cm	= Centimeter
cm ³	= Centimeter Kubik
gr	= Gram
gr/cm ³	= Gram/Centimeter Kubik
Gs	= Berat jenis
Kg	= Kilogram
m ³	= Meter Kubik
Mol	= Molekul
OMC	= Kadar Air Optimum (%)
Pt	= <i>Peat</i> (gambut)
V	= Volume (cm ³)
V _s	= Isi tanah basah/asli
V _m	= Isi tabung
W	= Berat (gram)
w	= Kadar air
w _w	= Berat air (gr)
w _s	= Berat butiran padat tanah (gr)
γ _s	= Berat volume butiran padat tanah (gr/cm ³)
γ _w	= Berat volume air (gr/cm ³)
γ _t	= Berat isi tanah/asli
γ _d	= Berat isi tanah kering

± = Kurang Lebih
% = Persen
μm = Mikrometer



Dokumen ini adalah Arsip Milik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

- A-1. Hasil Uji Pemeriksaan Kadar Air Tanah Asli
- A-2. Hasil Uji Berat Jenis
- A-3. Pengujian Gradasi Benda Uji
- A-4. Hasil Uji Percobaan Pemadatan (*Proctor Test*)
- A-5. Hasil Uji CBR Laboratorium *Unsoaked* Dengan Larutan Sementasi (Reagen Bakteri) 0%
- A-6. Hasil Uji CBR Laboratorium *Unsoaked* Dengan Larutan Sementasi (Reagen Bakteri) 10%
- A-7. Hasil Uji CBR Laboratorium *Unsoaked* Dengan Larutan Sementasi (Reagen Bakteri) 20%
- A-8. Hasil Uji CBR Laboratorium *Unsoaked* Dengan Larutan Sementasi (Reagen Bakteri) 30%

LAMPIRAN B

- B-1. Dokumentasi Pekerjaan Uji Kadar Air Tanah Asli, dan Kadar Air untuk Sampel, dan Berat Jenis Tanah Asli
- B-2. Dokumentasi Pekerjaan Uji Pemadatan Standart (*Proctor Test*)
- B-3. Dokumentasi Pekerjaan Pembuatan Larutan Sementasi (Reagen Bakteri)
- B-4. Dokumentasi Pekerjaan Pembuatan Sampel Benda Uji CBR dan Pengujian CBR

LAMPIRAN C

Kumpulan surat-surat

**STUDI LABORATORIUM NILAI CBR TANAH GAMBUT DENGAN
MENGUNAKAN METODE MICP (*MICROBially INDUCED
CALCITE PRECIPITATION*)**

BAYU HADI PRABOWO

143110740

ABSTRAK

Tanah gambut adalah jenis tanah dengan kandungan bahan organik dan tingkat keasaman tinggi. Tanah gambut mempunyai karakteristik yang berbeda pada tanah lainnya. Pada musim hujan lahan gambut tersebut akan basah dan tergenang air, karena lahan gambut terbentuk dari lingkungan yang khas, yaitu rawa atau suasana genangan yang terjadi hampir sepanjang tahun dan kemudian jika musim kemarau akan mengalami kekeringan. Usaha untuk memperbaiki sifat tanah yang mengandung sifat kembang susut besar telah banyak dilakukan dengan berbagai macam metode stabilisasi tanah, salah satu teknik stabilisasi tanah secara teknik bio-grouting dengan bantuan bakteri *Bacillus subtilis* yang bertujuan mengetahui peningkatan nilai CBR tanah asli pada beberapa persentase campuran bakteri pada tanah gambut. Sehingga dapat melihat pengaruh persentase penambahan bakteri *Bacillus subtilis* pada kenaikan nilai CBR tanah gambut dengan pemeraman 3 hari dan 7 hari.

Salah satu parameter yang dapat menunjukkan kondisi dari suatu tanah adalah nilai CBR. Prinsip pengujian ini adalah pengujian penetrasi dengan menusukkan benda ke dalam benda uji menggunakan metode bio-grouting dengan bantuan bakteri *Bacillus subtilis*. Pengujian pendahuluan untuk mengetahui properties tanah gambut. Pencampuran tanah gambut dengan larutan bakteri *Bacillus subtilis*, dengan beberapa variasi persentase pencampuran yaitu 0%, 10%, 20%, dan 30 % dengan pengujian CBR *unsoaked*, kemudian di peram dengan waktu peram selama 3 hari dan 7 hari. Teknik *bio-grouting* dengan bantuan bakteri *Bacillus subtilis* dapat meningkatkan nilai CBR pada tanah gambut dengan cara pemeraman, namun nilai yang di hasilkan tidak terlalu signifikan meningkat.

Nilai CBR yang di hasilkan dari penambahan bakteri *Bacillus subtilis* pada tanah gambut pada persentasi 10%, 20%, dan 30% mendapatkan nilai maksimal pada penambahan 10 % sebesar 3,67% pada penetrasi 0,1” dan 4,7% pada penetrasi 0,2” tetapi nilai CBR kembali mengalami penurunan pada pencampuran 20% dan 30%. Nilai CBR pada pemeraman tanah yang telah di campur dengan bakteri *Bacillus subtilis* selama 3 hari menghasikan nilai yang lebih tinggi dari pada tanah gambut yang telah di campur bakteri *Bacillus subtilis* tanpa pemeraman atau 0 hari, namun nilai CBR kembali turun pada tanah yang telah di campur bakteri *Bacillus subtilis* dengan pemeraman 7 hari.

Kata kunci: *Tanah Gambut, bio-grouting, bakteri Bacillus subtilis, Nilai CBR*

LABORATORY STUDY CBR VALUE OF PEAT SOIL USING MICP METHOD (MICROBially INDUCED CALCITE PRECIPITATION)

BAYU HADI PRABOWO

143110740

ABSTRACT

Peat soil is a type of soil with high organic matter content and high acidity. Peat soil has different characteristics from other soils. In the rainy season, the peatlands will be wet and waterlogged, because peatlands are formed from a unique environment, namely swamps or inundation conditions that occur most of the year and then dry in the dry season. Efforts to improve soil properties that contain large shrinkage properties have been carried out with various soil stabilization methods, one of the soil stabilization techniques is the bio-grouting technique with the help of *Bacillus subtilis* bacteria which aims to determine the increase in the CBR value of the original soil in several percentages of bacterial mixtures in the soil. peat. So that it can see the effect of the percentage addition of *Bacillus subtilis* bacteria on the increase in the CBR value of peat soil with 3 days and 7 days of incubation.

One of the parameters that can indicate the condition of a soil is the CBR value. The principle of this test is penetration testing by inserting an object into the test object using the bio-grouting method with the help of *Bacillus subtilis* bacteria. Preliminary testing to determine the properties of peat soil. Mixing peat soil with a solution of *Bacillus subtilis* bacteria, with several variations in the percentage of mixing, namely 0%, 10%, 20%, and 30% with unsoaked CBR testing, then curing for 3 days and 7 days. The bio-grouting technique with the help of *Bacillus subtilis* bacteria can increase the CBR value in peat soil by curing, but the resulting value is not significantly increased.

The CBR value generated from the addition of *Bacillus subtilis* bacteria to peat soil at a percentage of 10%, 20%, and 30% got the maximum value at the addition of 10%, which was 3.67% at 0.1" penetration and 4.7% at 0 penetration. ,2" but the CBR value again decreased at the mixing of 20% and 30%. The CBR value on curing soil that has been mixed with *Bacillus subtilis* bacteria for 3 days produces a higher value than peat soil that has been mixed with *Bacillus subtilis* bacteria without curing or 0 days, but the CBR value decreases again in soil that has been mixed with bacteria. *Bacillus subtilis* with 7 days ripening.

Keywords: Peat soil, bio-grouting, *Bacillus subtilis* bacteria, CBR value

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam suatu pembangunan konstruksi pelaksanaan dan pekerjaan yang pertama dilakukan ialah dengan penyelidikan tanah. Suatu konstruksi bangunan memerlukan tanah dengan kondisi yang baik untuk dijadikan bahan dasar konstruksi. Kondisi tanah yang buruk jelas akan berpengaruh pada konstruksi bangunan yang ada di atasnya. Salah satu tanah yang bermasalah dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi adalah tanah gambut. Tanah gambut adalah jenis tanah dengan kandungan bahan organik dan tingkat keasaman tinggi. Tanah gambut mempunyai karakteristik yang berbeda pada tanah lainnya. Pada musim hujan lahan gambut tersebut akan basah dan tergenang air, karen lahan gambut terbentuk dari lingkungan yang khas, yaitu rawa atau suasana genangan yang terjadi hampir sepanjang tahun dan kemudian jika musim kemarau akan mengalami kekeringan (Irham, 2007).

Usaha untuk memperbaiki sifat tanah yang mengandung sifat kembang susut besar telah banyak dilakukan dengan berbagai macam metode stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah antara lain dilakukan dengan cara stabilisasi tanah dengan cara kimiawi (*chemical stabilization*), stabilisasi tanah dengan cara mekanis, stabilisasi tanah dengan cara thermal (proses panas/dingin), stabilisasi tanah dengan cara pengaliran listrik, stabilisasi tanah dengan cara penyuntikan bahan penguat (*grouting*), stabilisasi tanah dengan cara menambahkan penulangan penguat (*raindorce*) dan *geotextile* serta stabilisasi tanah secara biologi.

Salah satu teknik stabilisasi tanah secara biologi ini dilakukan menggunakan metode *bio-grouting* dengan bantuan bakteri *bacillus subtilis*. *Bio-grouting* adalah teknik stabilisasi tanah yang melibatkan mikroorganisme yang diinduksi *calcium carbonate* (CaCO_3) presipitasi. Pengendapan *calcium carbonate* bertindak sebagai pengikat kristal antar sel itu merangsang proses sementasi di antara butiran tanah.

Jenis tanah yang dipilih untuk penerapan teknologi *bio-grouting* ini adalah tanah gambut dan jenis mikroorganismenya adalah bakteri *Bacillus subtilis*. Metode *bio-grouting* yang ramah lingkungan adalah dengan memanfaatkan mikroorganisme yang berasal dari bakteri karna dapat menghasilkan kalsit/kristal *calcium carbonate* yang bisa merubah butiran pasir menjadi batuan pasir. *Bacillus* adalah bakteri berbentuk batang gram positif dengan suhu optimal untuk pertumbuhan antara 25-35°C. Meskipun *Bacillus* dianggap aerobik yang ketat, ditemukan kemudian bahwa mereka dapat hidup secara anaerob dalam kondisi yang ditentukan. *Bacillus* secara alami ditemukan di tanah, mereka berkoloni pada sistem akar dan bersaing dengan mikroorganisme lain seperti jamur. Dalam kondisi yang keras, *Bacillus* dapat membentuk endospora yang tahan stres sebagai mekanisme pertahanan. Spora tahan terhadap paparan panas, radiasi, bahan kimia, dan tahan pengeringan (DeJong et al., 2006).

Salah satu parameter yang dapat menunjukkan kondisi dari suatu tanah adalah nilai CBR, CBR (*California Bearing Ratio*) adalah percobaan daya dukung tanah yang dikembangkan oleh *California State Highway Departement*. Prinsip pengujian ini adalah pengujian penetrasi dengan menusukkan benda ke dalam benda uji. Dengan cara ini dapat dinilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang dipergunakan untuk membuat perkerasan. Karena hal ini lah, dalam penelitian ini dilakukan stabilisasi pada tanah gambut menggunakan metode Metode *bio-grouting* untuk melihat apakah metode ini mampu meningkatkan nilai CBR tanah gambut.

1.2 Rumusan masalah

Adapun rumusan masalah yang dipaparkan pada latar belakang adalah :

1. Apakah teknik *bio-grouting* melalui bantuan bakteri *Bacillus subtilis* dapat meningkatkan nilai CBR tanah asli?
2. Bagimanakah perubahan nilai CBR pada teknik *bio-grouting* melalui bantuan bakteri *Bacillus subtilis* pada campuran bakteri 0%, 10%, 20%, dan 30% ?

3. Bagimanakah perubahan nilai CBR pada teknik *bio-grouting* melalui bantuan bakteri *Bacillus subtilis* pada campuran bakteri 0%, 10%, 20%, dan 30%, jika dilakukan pemeraman selama 3 hari dan 7 hari ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh teknik *bio-grouting* melalui bantuan bakteri *Bacillus subtilis* pada peningkatan nilai CBR tanah asli.
2. Mengetahui pengaruh teknik *bio-grouting* melalui bantuan bakteri *Bacillus subtilis* pada beberapa persentase campuran bakteri untuk peningkatan nilai CBR pada tanah gambut.
3. Melihat pengaruh persentase penambahan bakteri *Bacillus subtilis* pada kenaikan nilai CBR tanah gambut dengan pengeraman 3 hari dan 7 hari.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini diharapkan sebagai berikut:

1. Menambah wawasan dan pengetahuan tentang perbaikan nilai CBR tanah gambut dengan menggunakan teknik *bio-grouting* melalui bantuan bakteri *Bacillus subtilis*.
2. Mengetahui teknik stabilisasi tanah yang melibatkan mikroorganisme yang diinduksi calcium carbonate (CaCO_3) presipitasi dengan pemanfaatan bakteri *Bacillus subtilis* dalam metode perbaikan tanah gambut.
3. Memberikan gambaran umum kepada pihak-pihak yang bergerak dalam bidang industri kontruksi dalam upaya meningkatkan daya dukung tanah terhadap bangunan struktur teknik sipil.
4. Memberikan referensi bagi peneliti lain untuk melakukan penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

Mengingat permasalahan perbaikan tanah yang sangat kompleks, untuk itu maka permasalahan dibatasi sebagai berikut:

1. Metode perbaikan tanah ini menggunakan tanah gambut tak terendam dan teknik *bio-grouting* melalui bantuan bakteri *Bacillus subtilis* pada variasi penambahan reagen bakteri terhadap volume kadar air optimum benda uji CBR dengan persentase reagen bakteri 0%, 10%, 20% dan 30% dengan masa pemeraman benda uji CBR selama 3 hari dan 7 hari.
2. Penelitian ini dilakukan dengan skala laboratorium dan bersifat eksperimental.
3. Tanah gambut yang digunakan untuk penelitian ini berasal dari Desa Buana Makmur, km. 55, Kecamatan Dayun Kabupaten Siak Provinsi Riau

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka merupakan peninjauan kembali penelitian terdahulu yang ada hubungannya dengan penelitian yang akan dilakukan untuk memberikan solusi bagi penelitian yang sedang dilakukan demi mendapatkan hasil penelitian yang sangat memuaskan. Sesuai dengan aktivitas tersebut suatu tinjauan pustaka berfungsi sebagai peninjauan kembali pustaka tentang masalah yang berkaitan dengan bidang permasalahan yang dihadapi. Pada penelitian ini menggunakan tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian sebelumnya yang telah diterbitkan, buku-buku atau artikel yang ditulis oleh para peneliti terdahulu.

2.2 Penelitian Terdahulu

Beberapa hasil penelitian yang pernah dilakukan menggunakan teknik *bio-grouting* melalui bantuan bakteri *Bacillus subtilis* sebagaimana pada table 2.1.

Table 2.1 Penelitian terdahulu

No	Penulis, Tahun	Judul	Hasil Penelitian
1	Indra (2020)	Perbaikan Nilai CBR Tanah Gambut Dengan Menggunakan Campuran Pasir Dan Teknik <i>Bio-Grouting</i> Melalui Bantuan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	Penelitian ini menggunakan tanah gambut yang berasal dari Desa Buana Makmur Km. 55 Kecamatan Dayun Kabupaten Siak Provinsi Riau. Jenis stabilisasi yang dilakukan adalah dengan menggunakan metode <i>bio-grouting</i> melalui bantuan bakteri <i>Bacillus subtilis</i> untuk mengetahui nilai CBR pada tanah gambut

		yang telah ditambahkan 5% pasir dan reagen bakteri (bakteri <i>Bacillus subtilis</i>) dengan variasi penambahan reagen bakteri sebanyak 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dengan waktu pemeraman sampel benda uji CBR selama 4 hari. <i>Bio-grouting</i> merupakan metode stabilisasi ramah lingkungan baru untuk menstabilkan tanah lunak dengan menerapkan mikroorganisme. <i>Bio-grouting</i> adalah teknik stabilisasi tanah yang melibatkan mikroorganisme yang diinduksi <i>calcium carbonate</i> (CaCO_3) presipitasi. Pengendapan <i>calcium carbonate</i> bertindak sebagai pengikat kristal antar sel yang akan merangsang proses sementasi atau pengikatan di antara butiran-butiran tanah. Dari hasil penelitian didapat bahwa tanah gambut Desa Buana Makmur Km. 55 Kecamatan Dayun Kabupaten Siak Provinsi Riau memiliki kadar air tanah (w) sebanyak 407,45%
--	--	--

			dan berat spesifik dengan nilai (Gs) sebesar 1,30. Hasil pengujian CBR <i>unsoaked</i> pada benda uji CBR yang dicampurkan 5% pasir dan reagen bakteri sebanyak 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% didapat nilai CBR 0,78%, 0,79%, 0,80%, 0,90%, 0,72% dan 0,62%. Pada benda uji CBR <i>unsoaked</i> yang dicampurkan 5% pasir dan reagen bakteri sebanyak 15% mengalami peningkatan dengan nilai 0,90%, dibandingkan dengan tanpa penambahan reagen bakteri dengan nilai CBR 0,78%. Dengan hasil nilai CBR tanah gambut yang telah bercampur 5% pasir dan reagen bakteri ini tidak memenuhi persyaratan jika digunakan sebagai bahan material <i>subgrade</i>, karena berdasarkan klasifikasi nilai CBR menurut Bowles (1992) masuk kedalam kategori sangat buruk (<i>very poor</i>).
2	Syarif, F., dkk. (2020)	Penerapan Teknik <i>Biocementation</i> Oleh <i>Bacillus subtilis</i> dan Pengaruhnya Terhadap	Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh teknik <i>Microbially Induced Calcite Precipitation</i> (MICP) / Bio-

		Permeabilitas Pada Tanah Organik	<i>grouting</i> dalam sifat permeabilitas gambut, Dari hasil tes permeabilitas ditemukan bahwa sampel 1 (dengan Reagen) memiliki waktu yang lama untuk mengeluarkan air dari tabung / permeabilitas lebih rendah dari pada sampel 2 (tanpa reagen). Pada sampel 1 (dengan reagen) waktu untuk mengeluarkan air dari tabung/permeabilitas didapat nilai durasi selama 42 jam, sedangkan pada sampel 2 (tanpa reagen) mendapatkan nilai durasi permeabilitas selama 20 jam. Hal ini disebabkan oleh penambahan bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> yang dapat membuat pori-pori partikel tanah organik tertutup atau diisi bakteri sehingga tanah tidak mudah mengalir.
3	J. Widjajakusuma (2019)	Studi Stabilisasi Tanah Organik Tropis Berdasarkan <i>Bio-Grouting</i>	Penerapan <i>Bacillus subtilis</i> melalui injeksi meningkatkan sifat teknik dari tanah organik tropis. Semakin lama tanah disembuhkan dan semakin tinggi jumlah <i>Bacillus subtilis</i> disuntikkan ke

			tanah, kekuatan tanah yang lebih tinggi diperoleh. Setelah 28 hari waktu penyembuhan, injeksi 6 ml dan 12 ml kultur cair <i>Bacillus subtilis</i> meningkatkan nilai kohesi tegangan efektif sebesar 180% dan 270% masing-masing. Namun, nilai optimal untuk waktu pengeringan dan jumlah <i>Bacillus subtilis</i> adalah masih belum diperoleh. Disarankan untuk mempelajari lebih lanjut tentang nilai-nilai optimal tersebut. Untuk pekerjaan di masa mendatang, dianjurkan untuk memantau pH untuk menciptakan lingkungan yang optimal untuk Spesies <i>Bacillus</i>. Tes <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) dan <i>X-Ray Diffraction test</i> (XRD) adalah diperlukan untuk mempelajari struktur mikro dari tanah yang tidak dirawat dan dirawat.
4	Arfandy, dkk (2017)	Stabilisasi Tanah Ekspansive Dengan Metode Bioremediasi	Penelitian ini membahas tentang salah satu tindakan stabilisasi tanah pada tanah ekspansif dengan

mikroorganisme.

Mikroorganisme yang digunakan ialah mikroorganisme lokal Indonesia dengan jenis *Bacillus Subtilis*. Karakteristik tanah yang dievaluasi dalam penelitian ini ialah karakteristik mekanik dengan melakukan pengujian kuat tekan bebas. Metode pelaksanaannya ialah melakukan pengujian pemadatan, kadar air, dan batas atterberg pada tanah ekspansive. Tanah ekspansive dicampurkan dengan bakteri dengan variasi jumlah larutan bakteri yang setelah itu juga diperam dengan variasi waktu yang berbeda. Variasi jumlah larutan yang digunakan ialah 8cc, 12cc, 15cc, 18cc, 21cc, 24cc dan 27cc dengan waktu pemeraman dari 3 hari, 7 hari hingga 14 hari. Hasil analisis yang diperoleh ialah nilai parameter kuat tekan bebas yang pada tanah ekspansive yang dicampurkan dengan *Bacillus subtilis* mengalami peningkatan secara

			kontinu. Komposisi optimum yang diperoleh untuk menstabilkan tanah organik dengan Bacillus S. ialah pada variasi jumlah larutan 12cc dan waktu pemeraman 14 hari. Nilai parameter kuat tekan bebas yang diperoleh yaitu : = 0,930 gr/cm².
5	Muslikah (2011)	Studi Degradasi Tanah Gambut Oleh Mikroorganisme Untuk Proses Konsolidasi Tanah	Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh konsolidasi pada tanah gambut untuk melihat degradasi yang terjadi jika tanah gambut tersebut ditambahkan mikroorganisme. Mikroorganisme yang diinjeksi ke dalam tanah gambut berasal dari tanah gambut itu sendiri dengan cara diisolasi dan dikembangbiakan untuk dimasukkan kembali ke dalam tanah gambut. Sebagai pembanding digunakan mikroorganisme yang berasal dari pupuk hayati EM4 dan P2000Z. Pada penelitian ini tanah gambut yang digunakan berasal dari Kabupaten Ogan Komering Ilir, Sumatera Selatan.

			Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa, sampel tanah gambut yang diinjeksi dengan kombinasi antara mikroorganisme asli (10%) dengan pupuk hayati EM4 (10%) + P2000z (10%) atau sampel tanah gambut variasi 4 (A4) memiliki tingkat degradasi yang lebih baik dibandingkan sampel tanah gambut variasi injeksi mikroorganisme lainnya.
6	Hadi (2021)	Studi Laboratorium Nilai Cbr Tanah Gambut Dengan Menggunakan Metode Micp (Microbially Induced Calcite Precipitation)	Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh teknik <i>bio-grouting</i> melalui bantuan bakteri <i>Bacillus subtilis</i> pada peningkatan nilai CBR tanah asli. Mengetahui pengaruh teknik <i>bio-grouting</i> melalui bantuan bakteri <i>Bacillus subtilis</i> pada beberapa persentase campuran bakteri untuk peningkatan nilai CBR pada tanah gambut. Melihat pengaruh persentase penambahan bakteri <i>Bacillus subtilis</i> pada kenaikan nilai CBR tanah gambut dengan pengeraman 3 hari dan 7 hari.

2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan skala Laboratorium yang bersifat eksperimental. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya adalah pengujian pemadatan standar, kadar air tanah gambut, berat jenis tanah gambut dan pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) tanah gambut. Bahan pengujian utama pada penelitian ini adalah tanah gambut, serta bahan tambahan lainnya adalah pasir, bakteri *Bacillus subtilis*, urea, dan CaCl_2 . Metode pada penelitian ini menggunakan teknologi *bio-grouting* dengan bantuan bakteri *Bacillus subtilis* untuk memperbaiki nilai CBR pada tanah gambut yang telah dicampurkan pasir dengan persentase yang telah ditentukan.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah terletak pada teknik perbaikan tanahnya, yaitu dengan menggunakan metode *microbially induced calcite precipitation* dan melalui bantuan bakteri *Bacillus subtilis* untuk memperbaiki nilai CBR pada tanah gambut dengan persentase penambahan bakteri sebanyak 0%, 10%, 20%, dan 30% dan masa pengeringan selama 3 hari dan 7 hari.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah Gambut

Tanah gambut (PT = peat/humus) termasuk tanah organik, secara visual dikenal sebagai massa berserat mengandung kayu, biasanya berwarna gelap dan berbau tumbuhan membusuk. Adanya bahan-bahan organik pada suatu tanah cenderung mengurangi kekuatan tanah tersebut. Tanah ini mengandung bahan organik yang tinggi mempunyai kuat geser rendah, mudah mampat, dan bersifat asam yang dapat merusak material bangunan (Hardiyatmo, 1996).

Tanah gambut biasanya dihubungkan dengan material alam yang memiliki kompresibilitas yang tinggi dan kuat geser yang rendah. Material tersebut terdiri dari terutama jaringan nabati yang memiliki tingkat pembusukan yang bervariasi yang umumnya memiliki warna coklat tua sampai dengan hitam. Karena berasal dari tumbuh-tumbuhan yang mengalami pembusukan, maka akan memiliki bau yang khas, dan konsistensi yang lunak tanpa memperlihatkan plastisitas yang nyata, dan teksturnya mulai dari berserat sampai dengan amorf. Di sekitar area tanah gambut, akan ditemukan tanah organik dengan kandungan organik yang bervariasi pula.

Tanah gambut dapat ditemui di pegunungan, dataran tinggi dan dataran rendah. Tanah gambut terbentuk pada kondisi iklim (tropis, sedang dan dingin) yang berbeda-beda. Jika diklasifikasikan berdasarkan topografi, maka tanah gambut bisa berupa tanah gambut dataran tinggi, tanah gambut di cekungan atau tanah gambut pantai.

3.1.1 Deskripsi Tanah Gambut

Pada umumnya tanah gambut berwarna coklat tua sampai kehitaman, karena mengalami dekomposisi muncul senyawa-senyawa humik berwarna gelap,

meskipun bahan asalnya berwarna kelabu, coklat, atau kemerah-merahan. Umumnya perubahan yang dialami bahan organik kelihatan sama dengan yang dialami oleh sisa bahan organik tanah mineral, walaupun pada tanah gambut aerasi teratasi.

Dalam keadaan kering tanah gambut sangat kering, berat isi kering tanah organik bila dibandingkan dengan tanah mineral sangat rendah, yaitu 0,2–0,3 kN/m³ yang merupakan nilai yang umum bagi tanah organik yang mengalami dekomposisi lanjut sedangkan tanah mineral mempunyai berat isi kering 1,25–1,45 kN/m³.

Tanah gambut juga mempunyai sifat menahan air yang tinggi. Tanah mineral kering dapat menahan air 1/2 sampai 1/5 bobotnya. Sedangkan tanah gambut dapat menahan 2-4 kali bobot keringnya. Terlebih pada tanah gambut yang belum terdekomposisi, kemampuan menahan airnya sangat tinggi mencapai 12 atau 15 kali bahkan 20 kali bobot keringnya.

Tanah gambut mempunyai ciri khusus, yaitu kerangka tanahnya mudah dihancurkan apabila dalam keadaan kering. Bahan organik yang terdekomposisi, sebagian bersifat koloidal dan mempunyai kohesi yang rendah. Tanah gambut juga cenderung asam jika dibandingkan tanah mineral pada kejenuhan basa yang sama.

Tanah gambut bersifat fibrous jika struktur dari daun, akar, ranting, dan cabang masih terlihat. Dan jika strukturnya tidak terlihat dan berwarna kehitaman disebut amorphous. Tanah gambut dapat bercampur dengan lempung atau tanah kelempungan.

Menurut Hobbs (1986, dalam muslikah (2011)), karakteristik tanah gambut dalam penggambarannya dapat ditentukan oleh beberapa hal, yaitu:

a. Warna.

Warna tanah gambut di lapangan dapat dijadikan petunjuk yang berguna. Tetapi warna tanah gambut cepat berubah jika terkena udara

yang diduga merupakan hasil proses oksidasi sehingga harus dicatat di lapangan atau langsung dari tabung contoh tanah tak terganggu.

b. Tingkat dekomposisi (humifikasi)

c. Tingkat kebasahan (kadar air)

Dapat diukur secara akurat di laboratorium, tetapi untuk keperluan praktis di lapangan dapat dikategorikan *dry*, *wet*, *very wet* dan *extremely wet*.

d. Unsur utama

Tanah gambut mempunyai unsur utama yaitu *fiber*, *fine*, *coarse*, *amorphous granular*, *material*, *woody material* dan sebagainya.

e. Tanah mineral,

Pengenalan di lapangan sangat sulit kecuali jika memang terlihat jelas

f. Bau

Bila tercium manusia, dapat dikategorikan menjadi tidak terlalu bau, agak berbau, berbau keras. Bau dari H_2S dapat tercium secara vertical maupun horizontal. Sedangkan bau metan hanya dapat terdeteksi dengan menggunakan detektor

g. Komposisi kimia

Pada tanah gambut, dekomposisi bahan-bahan organik yang terakumulasi pada tubuh tanah akan meningkatkan keasaman, sehingga tanah gambut cenderung lebih asam dengan tanah mineral dengan kebasahan sama.

h. Kekuatan tarik

i. Batas plastis yang dapat diuji atau tidak, merupakan petunjuk lapangan yang berguna dalam morfologi tanah gambut

Kadar organik dari lempung dan tanah gambut pada umumnya berasal dari sisa-sisa tumbuhan yang ada di permukaan bumi. Meskipun demikian, untuk lempung dengan nilai kadar organik yang rendah, misalkan di bawah 10%, seperti

yang ditemukan pada lempung estuarin dan endapan marin yang dangkal, bahan organik berasal dari sisa-sisa kulit binatang laut seperti cacing, udang, kerang–kerangan dan moluska lainnya. Paul & Barros (1999) telah mengidentifikasi adanya tipe lempung estuarin ini di daerah Bothkennar, Skotlandia, yang nilai kadar organiknya berkisar antara 2 hingga 4%. Adapun pengaruh dari kadar organik pada tanah adalah meningkatkan nilai kadar air jenuh, meningkatkan kompresibilitas, serta meningkatkan permeabilitas.

Masalah utama di areal gambut (peat) yang utama adalah sifatnya yang sangat dapat dimampatkan (*compressible*) dimana lapisannya memiliki potensi penurunan (*settlement*) yang sangat besar ketika dibebani di atasnya. Semakin tebal lapisan tanah gambut, semakin besar potensi penurunan yang dapat terjadi. Secara teknis tanah gambut tidak baik sebagai dasar konstruksi bangunan karena mempunyai kadar air sangat tinggi, kemampatannya tinggi serta daya dukung sangat rendah (*extremely low bearing capacity*).

Tanah gambut dan tanah lempung dengan kadar organik yang tinggi sangat berbeda sifatnya dengan lempung organik. Faktor yang mempengaruhi perilaku tekniknya adalah jumlah kandungan mineral organik dan proses terbentuknya. Dari berbagai pendapat yang telah dihimpun, sebagian besar para ahli menyimpulkan bahwa ciri tanah gambut adalah berwarna coklat sampai dengan coklat kehitam-hitaman. Hal ini semakin banyak kandungan bahan organik dalam tanah maka warnanya akan semakin gelap atau tua. Selain itu pengamatan secara visual didapatkan bahwa tanah ini berserat, hal ini dikarenakan berasal dari sisa-sisa tumbuhan atau vegetasi yang mengalami pelapukan.

Selain itu kandungan bahan organik pada tanah gambut adalah 50% atau lebih dan mempunyai berat jenis yang kecil sehingga tanah tersebut sangat ringan. Kandungan unsur karbon (C) yang cukup tinggi membuat tanah ini bersifat asam.

3.1.2 Pembentukan Tanah Gambut

Tanah gambut umumnya terjadi dari fragmen-fragmen material organik

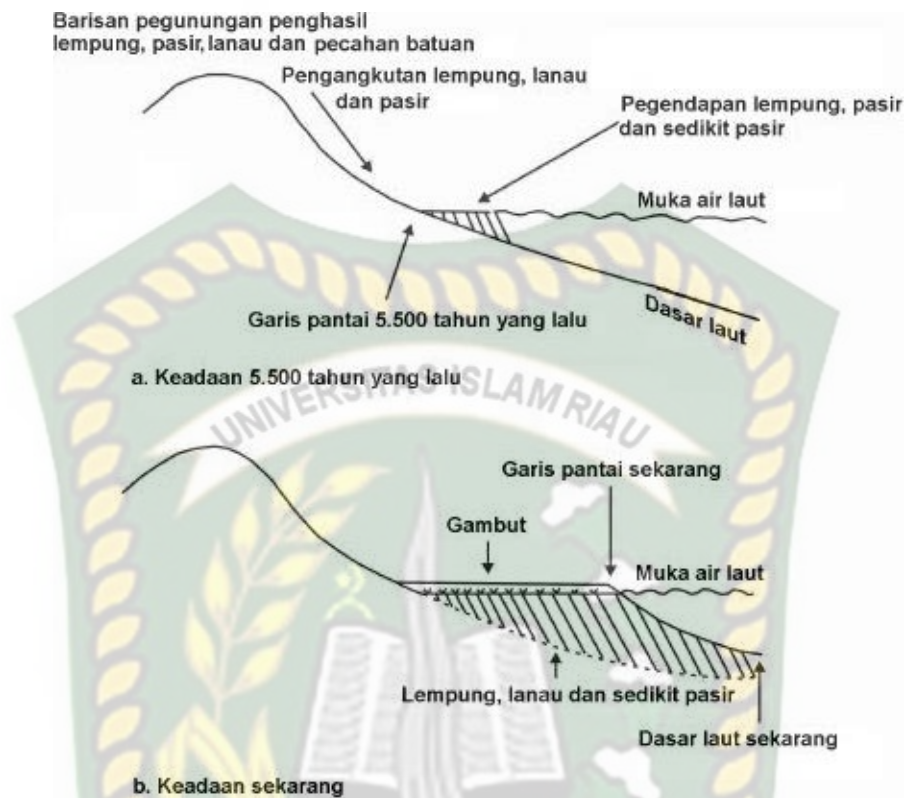
yang berasal dari tumbuhan. Oleh karena itu, tanah gambut memiliki kandungan organik yang tinggi, dan pada tanah gambut sering dijumpai serat-serat dan akar tanaman maupun batang kayu yang lapuk.

Proses awal terbentuknya tanah gambut disebut “Paludiasi” yaitu suatu proses geogenik. Proses geogenik merupakan akumulasi bahan organik yang mencapai ketebalan lebih dari 40 cm. Proses akumulasi bahan organik itu sendiri terjadi karena suasana anaerob menghambat oksidasi bahan organik oleh jasad renik, sehingga terjadi proses humifikasi. Proses akumulasi bahan organik inilah yang kemudian disebut proses pembentukan bahan induk dari tanah gambut yang kemudian dipengaruhi pula oleh kelembaban, susunan bahan organik, kemasaman, aktivitas jasad renik dan waktu.

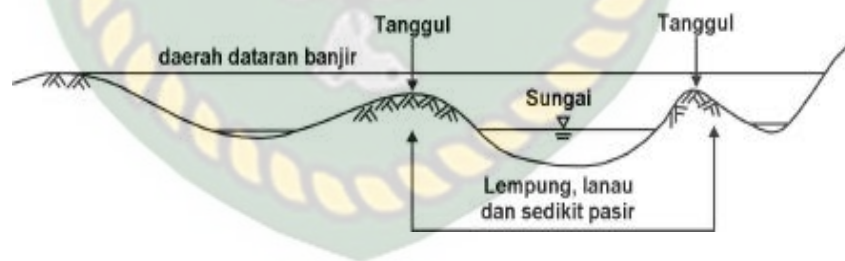
Van de Meene (1984, dalam Muslikah 2011) menjelaskan pembentukan tanah gambut di Asia Tenggara dengan suatu proses yang dimulai 18.000 tahun yang lalu. Pembentukan tanah gambut dilihat dari sudut pandang geologi dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Sejak akhir Pleistosen sebagian besar lautan menyusut terkumpul membentuk salju di dataran tinggi dan deretan pegunungan yang tinggi. Daerah-daerah dimana deposit gambut sekarang dapat ditemui yaitu: Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, sebagian besar paparan Sunda, sebagian besar paparan Sahul di Irian Barat.
- b. Pada saat es mulai mencair, paparan tersebut secara bertahap tenggelam sampai dengan sekitar 5500 tahun yang lalu, saat muka air laut tertinggi dicapai.
- c. Sejak itu material klastik berpindah dari daerah dataran tinggi menuju laut melalui sungai. Secara bertahap, dataran pantai meluas ke arah laut dan di daratan terbentuk tanggul alami seperti terlihat pada Gambar 3.1 dan gambar 3.2. Pembentukan tanah gambut dimulai dari daratan ke arah pinggir rawa- rawa bakau. Sedimen halus yang terbawa oleh sungai tersangkut pada akar- akar bakau membentuk daratan baru.

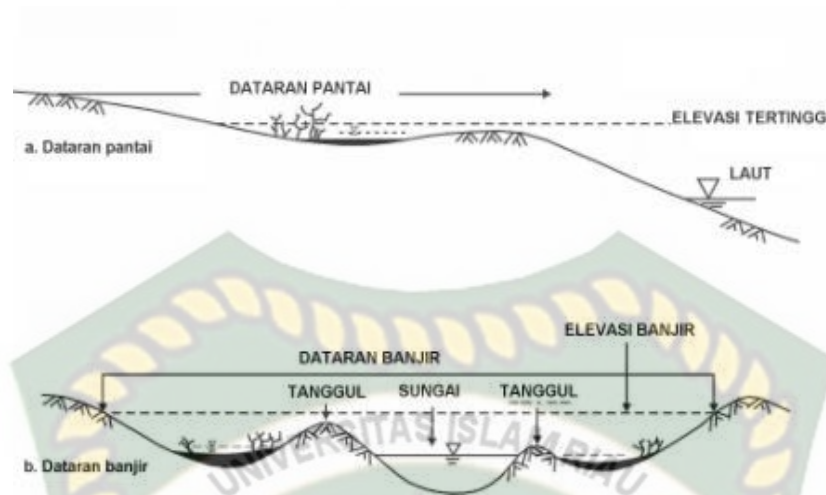
- d. Dataran pantai dan tanggul alami yang terbentuk dengan cara ini drainasenya akan sangat buruk dan menjadi daerah berawa. Danau yang dangkal terbentuk dan sisa-sisa tumbuhan air mulai terakumulasi dan secara bertahap danau tersebut terisi tumbuh-tumbuhan hutan. Situasi ini menciptakan suatu lingkungan danau seperti terlihat pada Gambar 3.3, a dan b.
- e. Pada tahap awal tumbuhan hidup dari akar-akar yang menyerap nutrisi dari lempung atau lanau dan pasir (selanjutnya disebut tanah mineral) seperti diperlihatkan pada Gambar 3.4, a dan b.
- f. Pada tahap berikutnya, setelah sisa-sisa tumbuhan terakumulasi yang jarak antara permukaan dan tanah mineral bertambah jauh, akar-akar tumbuhan tidak lagi bisa mencapai tanah mineral dan tumbuh-tumbuhan harus bisa hidup dari nutrisi tanaman yang ada pada sisa-sisa tanaman yang mulai membentuk lapisan gambut.
- g. Akibat elevasi permukaan tanah gambut bertambah, air banjir sungai yang membawa zat mineral tidak mencapai elevasi tumbuhan dan selanjutnya akar tumbuhan menjadi lebih bergantung pada siplai nutrisi yang berasal dari air hujan dan akumulasi sisa-sisa tumbuhan, seperti diperlihatkan pada Gambar 3.4 c.



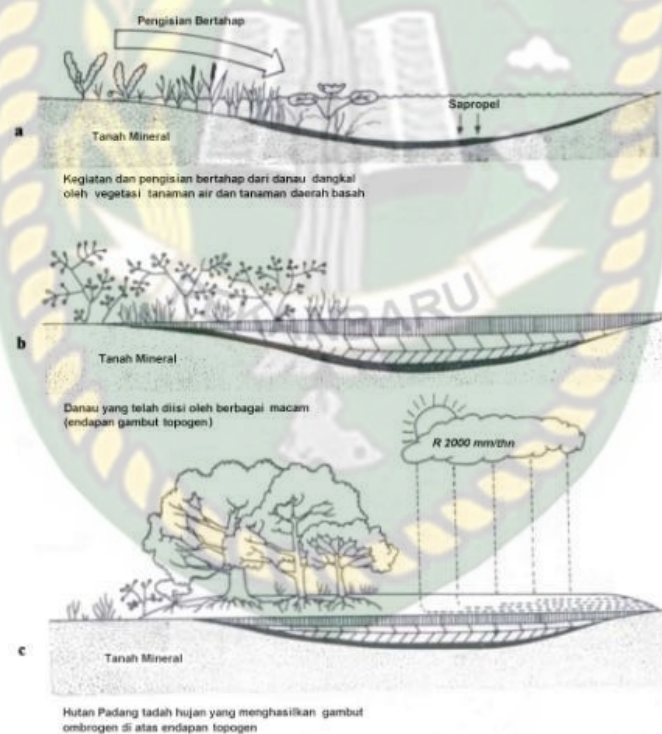
Gambar 3.1 Skema Pembentukan Dataran Pantai yang Tertutup oleh Tanah Gambut
(Sumber: Van de Meene, 1984 dalam Muslikah, 2011)



Gambar 3.2 Profil Sungai dan Dataran Banjir yang dipisahkan oleh Tanggul Alam



Gambar 3.3 Daerah Danau atau Rawa (a. Dataran Pantai, b. Dataran Banjir)



Gambar 3.4 Pembentukan Lingkungan Sungai yang Terdiri dari Berbagai Jenis Tanah Gambut (Sumber: Van de Meene, 1984 dalam Muslikah 2011).

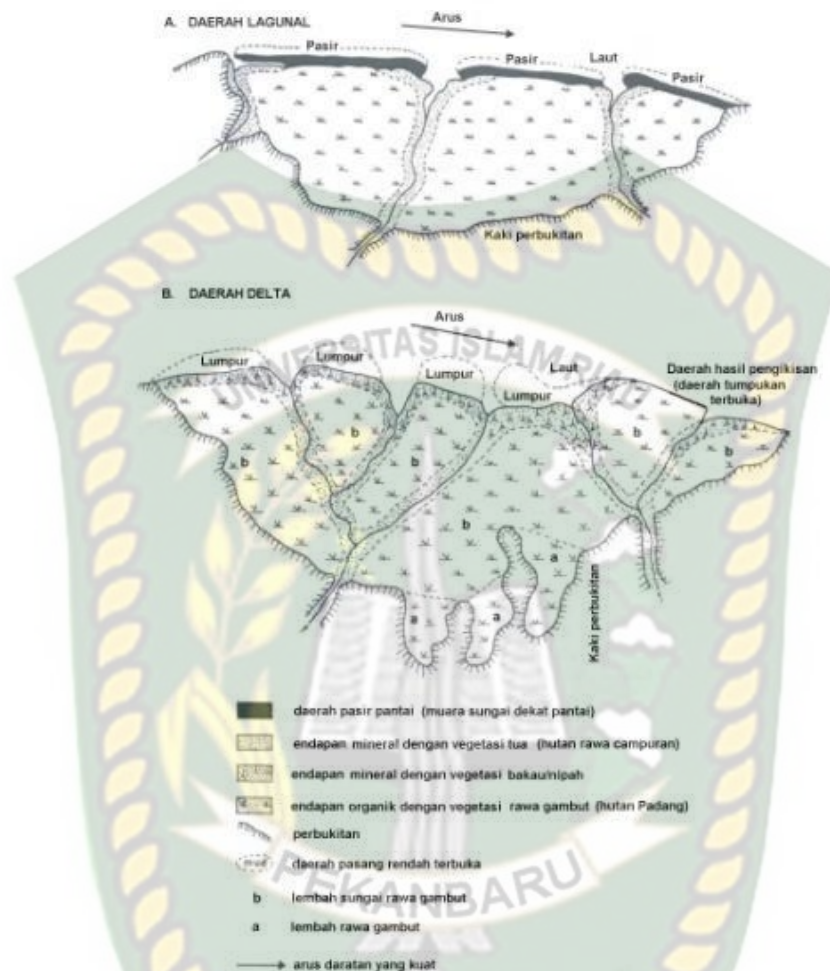
Oleh karena itu asal-usul deposit tanah gambut dibagi menjadi dua tipe:

- a. Tanah gambut topogenos yang terbentuk pada cekungan oleh tumbuhan melalui proses dari c sampai dengan e di atas.
- b. Tanah gambut ombrogenos yang dibentuk oleh tumbuhan yang berkembang melalui proses dari f ke g di atas.

Selama perkembangan tanah gambut ombrogenos lebih lanjut, nutrisi secara bertahap berkurang oleh pelindihan dan vegetasi akan semakin kurang rimbun dan bervariasi. Sebagai akibat dari berkurangnya zat organik, laju pertumbuhan tanah gambut berkurang dan untuk jangka panjang hal ini berkembang menjadi suatu bentuk yang dikenal sebagai hutan padang seperti terlihat pada Gambar 3.4c.

Keberadaan tanah gambut dataran rendah, bisa dibedakan menjadi dua lingkungan fisiografis yang berbeda (Van de Meene, 1984).

- a. Pertama, situasi Lagun, daerah tanah gambut terletak di antara pantai berpasir dan kaki bukit. Penggenangan oleh sungai bisa membentuk tanggul alami yang rendah dan karena suplai nutrisi yang rutin dalam bentuk mineral, suatu hutan rawa-rawa campuran akan tumbuh di daerah tersebut. Lebih jauh, pada daerah pedalaman akan terbentuk hutan padang.
- b. Kedua, situasi Delta, deposit pantai yang terutama terdiri dari lumpur dimana vegetasi nipah dan rawa-rawa bakau terbentuk. Semakin ke dalam, vegetasi secara bertahap akan berubah menjadi hutan padang ombrogenos, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Keberadaan Tanah Gambut Dataran Rendah pada Dua Lingkungan Fisiografis yang Berbeda (Sumber: Van de Meene, 1984 dalam Muslikah 2011).

3.1.3 Jenis dan Klasifikasi Tanah Gambut

Pengelompokan tanah gambut didasarkan aspek teknis dan aspek fisik tanah gambut, yaitu berdasarkan derajat dekomposisi, jenis tanaman pembentuk serat, serta kandungan bahan organik pada tanah gambut tersebut.

Berdasarkan kandungannya, Mas Farlene & Rodforth (1985, dalam Muslikah 2011) mengelompokkan tanah gambut kedalam dua kelompok, yaitu:

- a) *Fibrous peat* (tanah gambut berserat), yaitu tanah gambut yang memiliki kandungan serat 20 % atau lebih. Tanah gambut jenis ini memiliki dua jenis pori, yaitu makro pori (pori diantara serat-serat) dan mikro pori (pori yang ada di dalam serat-serat yang bersangkutan).
- b) *Amorphous granular soil*, yaitu apabila kandungan serat yang dimiliki tanah gambut tersebut kurang dari 20%. Tanah jenis ini umumnya terdiri dari butiran berukuran koloid (2μ) dan sebagian besar air porinya terserap di sekeliling permukaan butiran gambut.

Pada tabel 3.1 ASTM D2607 (1969) mengklasifikasikan tanah gambut berdasarkan pada jenis tumbuhan pembentuk serat dan kandungan serat yang ada di dalamnya, pada tabel 3.2 ASTM D4427-84 (1989) mengklarifikasikan tanah gambut didasarkan atas kadar serat, kadar abu, tingkat keasaman, serta tingkat penyerapan (*absorbs*) pada ASTM D2980.

Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Gambut Menurut ASTM D2607 (1969)

No.	Nama	Keterangan
1	Spaghnum Moss peta (peat moss)	Tanah gambut dengan kandungan serat minimum 66,66% terhadap berat kering
2	Hypnum moss peat	Tanah gambut dengan kandungan serat minimum 33,33 % terhadap berat kering, dimana lebih dari 50% dari serat-serat tersebut berasal dari bermacam-macam jenis Hypnum moss
3	Reed sedge peat	Tanah gambut dengan kandungan serat minimum 33,33 % terhadap berat kering, dimana lebih dari 50% dari serat-serat tersebut berasal dari reed sedge dan dari non moss lainnya

Tabel 3.1 Lanjutan

4	Peat humus	Tanah gambut yang mengandung serat kurang dari 33,33 % terhadap berat kering
5	Peat-peat yang lain	Semua tanah gambut yang tidak termasuk ke dalam kelompok 1 sampai 4 di atas

Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Gambut berdasarkan Kadar Serat Menurut ASTM D4427-84 (1989)

Jenis	Kadar serat
Fibric peat	> 67 %
Hemic peat	33-67 %
Sapric peat	< 33 %

Tabel 3.3 Kasifikasi Tanah Gambut Berdasarkan Kadar Abu Menurut ASTM D4427-84 (1989)

Jenis	Kadar Abu
Low ash peat	< 5 %
Medium ash peat	5 % - 15 %
High ash peat	> 15 %

Tabel 3.4 Kasifikasi Tanah Gambut Berdasarkan Tingkat Keasaman Menurut ASTM D4427-84 (1989)

Jenis	pH
<i>Highly Acidic</i>	< 4.5
<i>Moderarately Acidic</i>	4.5–5.5
<i>Slightly Acidic</i>	> 5.5 - < 7
<i>Basic</i>	≥ 7

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

- a. *Extremely absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air >1500%,
- b. *Highly absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air antara 800% hingga 1500%,
- c. *Moderately absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air antara 300% hingga 800%, dan
- d. *Slightly absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air < 300%.

3.1.4 Sifat Fisik Tanah Gambut

Sifat fisik tanah gambut memiliki kandungan organik yang sangat tinggi, dimana proses pembentukan tanah itu sendiri berasal dari tumbuhan. Kandungan air yang tinggi dan nilai angka pori yang besar merubah harga koefisien rembesan tanah gambut menyerupai pasir, hal itu dikarenakan pori yang besar menyebabkan air dalam pori mudah keluar terutama apabila terdapat beban di atasnya. Angka volume pada tanah gambut yang kecil menunjukkan bahwa kepadatan tanah gambut tidak seperti tanah pada umumnya dan jika dihubungkan dengan kadar airnya yang tinggi, berat air yang terkandung dalam tanah gambut mempunyai 6 (enam) kali lebih berat dibandingkan berat butiran tanah gambut itu sendiri. Beberapa hal yang perlu agar diperhatikan pada sifat tanah gambut dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Sifat-sifat Fisik Tanah Gambut (Mochtar, 2002)

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

Tabel 3.5 Lanjutan

3	Kadar Air (W)	200% - 900%
4	Angka Pori (e)	5 – 15
5	pH	4 – 7
6	Kadar Abu (Ac)	1 – 15%
7	<i>Spesifik Gravity</i> (Gs)	1,2 – 1,95
8	Rembesan (k)	2^{-02} s/d $1,2^{-06}$

Pada umumnya sifat fisik suatu material akan sangat berpengaruh pada sifat teknis material itu sendiri, hal yang sama pula terjadi pada tanah gambut.

3.1.5 Faktor yang Mempengaruhi Perilaku Gambut

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

A. Kadar Air Tanah

Kemampuan tanah gambut untuk menyerap dan menyimpan air sangat besar. Kadar air tanah gambut ini bisa mencapai 900% dan besar penyerapan tergantung dari derajat komposisi yang bersangkutan. Apabila gambut bercampur dengan tanah anorganik, kadar air gambut bisa menurun drastis. Kadar air tanah gambut berkisar 100%-1300% dari berat keringnya karena kapasitasnya dalam menahan air (Mutalib *et al*, 1991). Artinya bahwa gambut mampu menyerap air sampai 13 kali bobotnya,

sehingga gambut dikatakan bersifat hidroliflik. Kadar air yang tinggi menyebabkan BD menjadi rendah, gambut menjadi lembek dan daya menahan bebannya rendah (Nugroho *et al*, 1997).

Kadar air tanah merupakan salah satu parameter terpenting untuk menentukan korelasi antara perilaku tanah dengan sifat fisik tanah, yang dilakukan secara rutin dalam pelaksanaan pengujian di laboratorium. Yang dimaksud dengan kadar air tanah adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam massa tanah terhadap berat butiran padat (tanah kering), dan dinyatakan dalam persen. Tanah terdiri dari tiga unsur, yaitu butiran tanah atau partikel padat (*solid*), air (*water*) dan udara (Das, 1988 : 28).

Pedoman pengujian kadar air mengikuti prosedur ASTM D-2216-71. Kadar air dinyatakan dalam persen (%), dimana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semipadat didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Kadar air dimana transisi dari keadaan semi - padat ke keadaan plastis terjadi dinamakan batas plastis (*plastic limit*) dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*). Batas-batas ini dikenal juga sebagai batas-batas konsistensi (Das, 1988: 43).

Tingginya kemampuan tanah gambut dalam mengikat air dikarenakan struktur tanah yang di tandai dengan partikel kasar organik (serat) yang dapat menampung banyak air karena serat tanah sangat longgar dan berongga. Tingginya kadar air juga disebabkan gambut yang memiliki daya dukung yang rendah akibat dari daya apung dan volume pori yang tinggi.

Kadar air adalah perbandingan antara berat air dengan berat butiran padat dari suatu contoh tanah yang diselidiki. Kadar air biasanya dinyatakan dalam persen (%). Kadar air dapat dirumuskan ke dalam suatu persamaan sebagai berikut:

$$w = \frac{ww}{ws} \times 100 \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana:

- w = Kadar air (%)
 w_w = Berat air (gr)
 w_s = Berat butiran padat tanah (gr)

B. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Harga *specific gravity* tanah gambut adalah lebih besar dari 1,0 dimana untuk menentukan harga *specific gravity* dengan menggunakan minyak kerosin (Akroyd, 1957). Untuk besaran *specific gravity* dari setiap asal gambut di Indonesia bervariasi antara 1,0 – 2,0. Untuk nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada tabel 3.2. Dimana tanah gambut tergolong tanah dengan *specific gravity* 1,25 – 1,80.

Nilai berat jenis untuk tanah mineral tersebut bervariasi antara 2,7 hingga 2,9 dan untuk tanah gambut bervariasi antara 1,4 hingga 1,7 berdasarkan hasil data dari Rahadian., dkk., (2001). Berikut ini adalah beberapa faktor yang berpengaruh pada berat jenis tanah gambut:

1. Tekstur tanah

Ukuran partikel kasar pada partikel-partikel tanah mempunyai nilai berat jenis yang tinggi, misalnya pasir. Ukuran partikel pada pasir lebih besar dibandingkan dengan ukuran partikel liat, sehingga menyebabkan berat jenis pasir lebih tinggi dari liat dan sebaliknya (Darmawijaya, 1997).

2. Bahan organik tanah

Bahan organik tanah adalah timbunan dari sisa berbagai macam tanaman dan hewan yang sebagiannya telah lama mengalami proses pelapukan dan pembentukan kembali. Bahan organik memiliki berat jenis tanah. Jika kandungan bahan organik tanah semakin banyak, hal ini akan menyebabkan semakin rendahnya berat jenis tanah (Rahardjo, 2001).

Berat spesifik atau berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat volume butiran padat dengan berat volume air. Berat jenis dapat dirumuskan kedalam suatu persamaan berikut:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana:

G_s = Berat jenis

γ_s = Berat volume butiran padat tanah (gr/cm³)

γ_w = Berat volume air (gr/cm³)

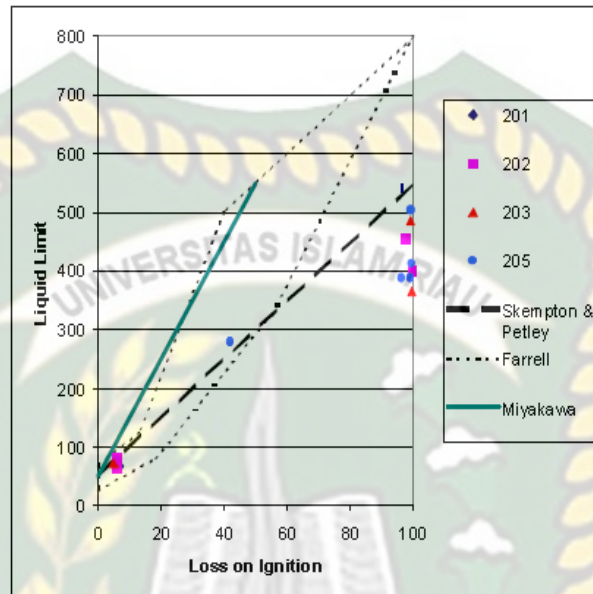
Tabel 3.6 Berat spesifik tanah (Hardiyatmo, 2002)

Jenis Tanah	Berat Spesifik (G_s)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau anorganik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

C. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Peremasan tanah yang memadai membutuhkan pengujian batas cair. Sehingga kemas (*fabric*) gambut dan terutama kadar serat, jauh menurun. Oleh karenanya pengujian ini memiliki nilai yang sangat terbatas sebagai petunjuk (*indicator*) sifat-sifat gambut, terutama gambut berserat yang ditemukan di Indonesia. Beberapa hasil uji untuk lempung anorganik dan lempung organik mendekati hubungan-hubungan yang diberikan oleh Skemton & Petley (1970), sementara sampel-sampel gambut

murni memperlihatkan nilai-nilai yang berada di bawah nilai yang ditunjukkan oleh Skempton & Petley.



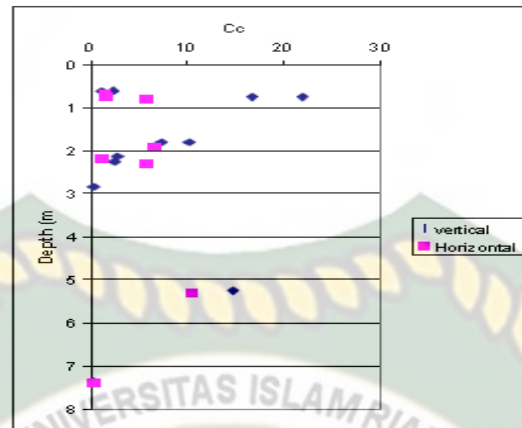
Gambar 3.6 Hubungan antara batas cair dan kadar organik (Panduan Geoteknik 1, 2001)

D. Kompresibilitas (*Compressibility*)

Gambut Irlandia kompresibilitas C_c berhubungan dengan batas cair dengan menggunakan hubungan yang terkenal menurut Farrell dkk. (1994) memperlihatkan bahwa untuk:

$$C_c = k (wL - 10) \dots\dots\dots (3.3)$$

Dengan nilai-nilai k berada diantara 0,007 sampai 0,009 dan untuk gambut berserat hubungan yang seperti itu tidak dapat diterapkan. Hasil pengujian konsolidasi dengan tanah gambut berserat dari tempat uji timbunan di daerah Berengbengkel didapat nilai-nilai C_c sampai 20 seperti yang terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.7 Data tes Oedometer dari Berengbengkel (Panduan Geoteknik 1, 2001)

Sampel yang diuji secara horizontal menunjukkan hasil kompresibilitas yang amat rendah, dapat dilihat pada gambar 3.3 yang mengabaikan nilai pada kedalaman yaitu lebih dari 7 meter, yang merupakan nilai kompresibilitas yang terlalu rendah. Tanah gambut memiliki lebih kurang dua kali lebih kompresibel dengan cara vertikal dibandingkan dengan cara horizontal, hal tersebut cenderung mendukung pendapat bahwa gambut-gambut itu memiliki kecenderungan serat yang berorientasi secara horizontal sebagai akibat dari pada kondisi pada gambut tersebut terbentuk.

E. Permeabilitas (*Permeability*)

Tes pemompaan (*pumping test*) yang dilaksanakan pada gambut tropis berserat diserawak menunjukkan hasil korelasi yang terbatas antara pengurangan nilai permeabilitas dengan harapan derajat pembusukan yang terjadi (*humification*) menurut penelitian Ong & Yogeswaran (1991). Berdasarkan hasil identifikasi Ong & Yogeswaran (1991) menunjukkan berbagai masalah penting yang dapat terjadi dalam pemasangan pompa didalam kandungan gambut yang berserat serta menjelaskan bagaimana cara mengatasi tersumbatnya sumur.

Pada pengujian pemompaan guna mendukung permeabilitas (*permeability pumping test*) menurut Barry dkk. (1992) yang dilakukan pada titik dangkal di hutan gambut Provinsi Riau (H5 sampai dengan H6) mendapatkan nilai permeabilitas

antara 10⁻² m/detik hingga 10⁻⁴ m/detik. Barry dkk. (1992) juga melakukan perbandingan hasil tersebut dengan data pada tanah gambut yang telah dilaksanakan oleh peneliti sebelumnya, yang dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Permeabilitas (*permeability pumping tests*) pada titik yang dangkal di hutan gambut Riau. (Sumber: Panduan Geoteknik 1, 2001)

Deskripsi Gambut	Permeabilitas m/detik	Referensi	
Pemukaan	$> 10^{-1}$	Hobbs	(1986)
Dasar dari "raised bog" yang membusuk sedikit	3×10^{-5}	Hobbs	(1986)
Fen acrotelm di Rusia: di dekat permukaan di dekat dasar	3×10^{-5} 9×10^{-7}	Hobbs	(1986)
Tahapan Gambut Mandia yang sangat membusuk dan bersifat seperti Agar-agar	3×10^{-8} hingga 10^{-7}	Hobbs	(1986)
Gambut Sphagnum H8 sampai H10 H3	6×10^{-8} 10^{-5}	Hobbs	(1986)
Gambut Sedge H3 sampai H5	10^{-5}	Hobbs	(1986)
Gambut Brushwood H3 sampai H8	10^{-5}	Hobbs	(1986)
Gambut Malaysia yang Asam dan Berserat (Fibrous acidic)	2×10^{-5} to 6×10^{-9}	Toh et al	(1990)

F. Berat Isi dan Angka Pori

Menurut Foth (1986) berat isi adalah perbandingan berat tanah kering dengan suatu volume tanah termasuk volume pori-pori tanah, umumnya dinyatakan dalam

gram/cm³. Besaran ini menyatakan bobot tanah, yaitu padatan air persatuan isi. Yang paling sering di pakai adalah bobot isi kering yang umumnya disebut bobot isi saja. Nilai bobot isi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya pengolahan tanah, bahan organik, pemadatan alat-alat pertanian, tekstur, struktur, dan kandungan air tanah. Nilai ini banyak dipergunakan dalam perhitungan-perhitungan seperti dalam penentuan kebutuhan air irigasi pemupukan dan, pengolahan tanah.

3.2 Pemadatan Tanah

Dalam bidang rekayasa sipil, banyak dijumpai aktivitas penggalian dan pengurugan tanah. Pada umumnya, pekerjaan pengurugan selalu diikuti dengan proses pemadatan sehingga lapisan tanah urug tersebut memiliki sifat-sifat teknik (*engineering properties*) sesuai dengan yang direncanakan.

Pemadatan adalah proses yang dilakukan untuk merapatkan butiran tanah (solid) yang satu dengan yang lain, sehingga partikel tanah saling berdekatan dan pori tanah menjadi kecil (Budi, 2011).

Soedarmo dan Purnomo (1997) menerangkan tujuan dari pemadatan tanah adalah berguna untuk memperbaiki berbagai sifat teknik massa tanah, diantaranya:

1. Meningkatkan kekuatannya
2. Memperkecil pemampatannya dan daya rembes airnya
3. Memperkecil pengaruh air terhadapnya

Proctor dalam Budi (2011) mendefinisikan variabel pemadatan tanah, yaitu:

1. Usaha pemadatan (*energy*)
2. Jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak, ukuran butir dan sebagainya)
3. Kadar air
4. Angka pori atau berat isi kering

3.2.1 Pemadatan di Laboratorium

Terdapat dua jenis macam percobaan yang bisa dilaksanakan di laboratorium. Percobaan ini biasa dipakai guna menentukan kadar air optimum (*optimum moisture*

content) dan berat isi kering maksimum (*maximum dry density*). Berikut ini adalah dua jenis percobaan tersebut:

1. Percobaan pemadatan Proktor standar (*standart Proctor test*)
2. Percobaan pemadatan Proktor dimodifikasi (*modified Proctor test*)

Perbedaan Pemadatan Proktor standar dan pemadatan Proktor dimodifikasi dapat dilihat pada tabel 3.8 berikut ini:

Tabel 3.8 Perbedaan Pemadatan Proktor Standar dan Pemadatan Proktor Modifikasi (Das, 1995)

Uraian	Standar (ASTM D698)	Modifikasi (ASTM D1557)
Palu	24,5 N (5,5 lb)	44,5 N (10 lb)
Tinggi jatuh palu	304,8 mm (12 in)	457,2 mm (18 in)
Jumlah lapisan	3	3
Jumlah tumbukan per lapisan	25	25
Volume cetakan	1/30 ft ³ (943,9 cm ³)	1/30 ft ³ (943,9 cm ³)
Tanah	Saringan No. 4	Saringan No. 4
Energi pemadatan (CE)	595,2 kJ/m ³ (12375 lb ft/ft ³)	2693,25 kJ/m ³ (56250 lb ft/ft ³)

Untuk mencari nilai berat isi tanah asli (*natural density*) dapat dirumuskan dengan persamaan berikut ini:

$$\gamma_t = \frac{(W_s + W_m) - W_m}{V_m}$$

$$\gamma_t = \frac{W_s}{V_m}$$

Jika, $V_m = V_s$, maka

$$\gamma_t = \frac{W_s}{V_s} \dots\dots\dots (3.4)$$

Pada bagian tanah tersebut dapat diambil sebagiannya untuk menghitung kadar airnya. Dengan diketahui nilai kadar airnya, berat isi kering tanah dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\gamma_d = \frac{100\gamma_t}{100 + w}$$

w = dalam %

$$\gamma_d = \frac{\gamma_t}{1+w} \dots\dots\dots (3.5)$$

w = dalam desimal

Dimana:

γ_t = Berat isi tanah/asli

W_s = Berat tanah basah/asli

W_m = Berat tabung

V_s = Isi tanah basah/asli

V_m = Isi tabung

γ_d = Berat isi tanah kering

w = Kadar air

3.3 CBR (California Bearing Ratio)

Menurut Badan Standarisasi Nasional (SNI 1744-2012) CBR adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu jenis material dan beban standar pada kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. *California Bearing Ratio* merupakan suatu perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standard load*) dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama dan dinyatakan dalam persentase, dan tujuan dari percobaan CBR adalah untuk menentukan nilai daya dukung tanah dalam kepadatan maksimum (Soedarmo dan Purnomo, 1997). Pada percobaan (*California Bearing Ratio*) CBR ini dapat dilakukan dengan 2 jenis cara berikut ini:

1. Percobaan (*California Bearing Ratio*) CBR terendam (*Soaked*)

2. Percobaan (*California Bearing Ratio*) CBR tak terendam (*Unsoaked*)

Tujuan dilakukan pengujian CBR ini adalah untuk mengetahui nilai CBR pada variasi kadar air pemadatan. Untuk menentukan kekuatan lapisan tanah dasar dengan cara percobaan CBR diperoleh nilai yang kemudian dipakai untuk menentukan tebal perkerasan yang diperlukan di atas lapisan yang nilai CBRnya tertentu (Wesley, 1977).

3.3.1 CBR Laboratorium

Tanah dasar (*subgrade*) pada konstruksi jalan baru dapat berupa tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang sudah dipadatkan sampai mencapai kepadatan 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar tersebut merupakan nilai kemampuan lapisan tanah memikul beban setelah tanah tersebut dipadatkan. Berarti nilai CBR ini adalah nilai yang diperoleh dari contoh tanah yang dibuatkan mewakili keadaan tanah tersebut dipadatkan.

CBR ini disebut CBR Laboratorium, karena disiapkan di Laboratorium atau disebut juga CBR rencana titik. Makin tinggi nilai CBR tanah (*subgrade*) maka lapisan perkerasan di atasnya akan semakin tipis dan semakin kecil nilai CBR (daya dukung tanah rendah), maka akan semakin tebal lapisan perkerasan di atasnya sesuai beban yang akan dipikulnya, Klasifikasi nilai CBR tanah dapat dilihat pada tabel 3.9 berikut ini:

Tabel 3.9 Klasifikasi Nilai CBR Tanah (Bowles, 1992)

CBR (%)	Tingkatan Umum	Kegunaan
0 – 3	<i>Very poor</i>	<i>Subgrade</i>
3 – 7	<i>Poor to fair</i>	<i>Subgrade</i>
7 – 20	<i>Fair</i>	<i>Subbase</i>
20 – 50	<i>Good</i>	<i>Base or subbase</i>
> 50	<i>Exelent</i>	<i>Base</i>

CBR Laboratorium dapat dibedakan menjadi atas dua macam, yaitu:

1. CBR terendam (*soaked design CBR*)

CBR terendam merupakan pengujian CBR yang menyimulasikan keadaan terburuk dilapangan, dan untuk mencapai kondisi yang seperti ini, sampel CBR akan direndam didalam bak perendam selama minimal 4 hari sebelum pengujian.

2. CBR tak terendam (*unsoaked design CBR*)

CBR tak terendam merupakan pengujian CBR yang menyimulasikan keadaan normal dilapangan, dan untuk mencapai kondisi yang seperti ini, sampel CBR akan langsung diuji setelah dipadatkan.

Berikut ini adalah dua jenis pengukuran CBR:

1. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada 0,254 cm (0,1”) terhadap penetrasi standar yang besarnya 70,37 kg/cm² (1000 psi).

$$\text{Nilai CBR (\%)} = \frac{PI \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{70,73} \times 100 \dots\dots\dots (3.6)$$

2. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada 0,508 cm (0,2”) terhadap penetrasi standar yang besarnya 105,56 kg/cm² (1500 psi).

$$\text{Nilai CBR (\%)} = \frac{PI \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)}{105,56} \times 100 \dots\dots\dots (3.7)$$

3.3.2 CBR Lapangan (*CBR field*)

CBR lapangan dimaksudkan untuk mendapatkan nilai CBR langsung ditempat (*in place*) yang digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan maupun lapis tambah perkerasan (*overlay*). Pengujian CBR lapangan dilakukan dengan bantuan truk sebagai penahan beban penetrasi (SNI 1738, 2011).

Berikut ini adalah tujuan pengujian CBR lapangan:

- a. Untuk mendapatkan nilai CBR asli dilapangan. Sesuai dengan kondisi tanah dasar saat itu. Pada umumnya digunakan untuk sebuah perencanaan

tebal perkerasan dengan lapisan tanah dasar yang tidak perlu dilakukan pemadatan. Jenis pemeriksaannya dilaksanakan dengan kondisi kadar air tanah yang tinggi atau pada kondisi terburuk yang mungkin bisa terjadi.

- b. Guna memeriksa apakah untuk hasil kepadatan yang didapatkan sesuai dengan yang diharapkan. Pada pemeriksaan jenis ini tidak banyak digunakan, yang lebih sering digunakan adalah pemeriksaan dengan kerucut pasir (*sand cone*) dan lainnya.

3.4 Bio-grouting

Bio-grouting adalah metode stabilisasi ramah lingkungan baru untuk menstabilkan tanah lunak dengan menerapkan mikroorganisme. Mikroorganisme menghasilkan CaCO_3 , yang mengisi kekosongan partikel tanah dan mengikat partikel tanah. Teknik stabilisasi tanah ini melibatkan mikroorganisme yang diinduksi *calcium carbonate* (CaCO_3) presipitasi. Pengendapan *calcium carbonate* bertindak sebagai pengikat kristal antar sel untuk merangsang proses sementasi diantara butiran tanah. Dewasa ini sedang dikembangkan teknologi *grouting* secara biologi yang diketahui dengan teknologi *bio-grouting* melalui mekanisme atau cara pengendapan *calcium carbonate*. *Bio-grouting* memiliki keuntungan utama yaitu pemberian substrat yang dapat dipindahkan dalam bentuk inaktif ke daerah yang jauh dari titik injeksi. Teknik *bio-grouting* ini merupakan teknologi yang dapat mensimulasikan proses diagenesis, yaitu mentransformasikan butiran-butiran pasir menjadi batuan pasir. Pada kristal *calcium carbonate* (CaCO_3) yang terbentuk dari teknik *bio-grouting* tersebut akan menjadi perantara atau yang menjembatani butiran-butiran pasir hingga menyebabkan proses sementasi dan akan mengubah pasir menjadi batuan pasir. Proses ini memerlukan waktu jutaan tahun jika secara proses yang alami. Oleh sebab itu difungsikan bakteri untuk mempercepat proses secara *in situ* yang memanfaatkan proses presipitasi *carbonate* dari hasil aktivitas metabolisme bakteri (De Jong et al., 2006; Lee, 2003).

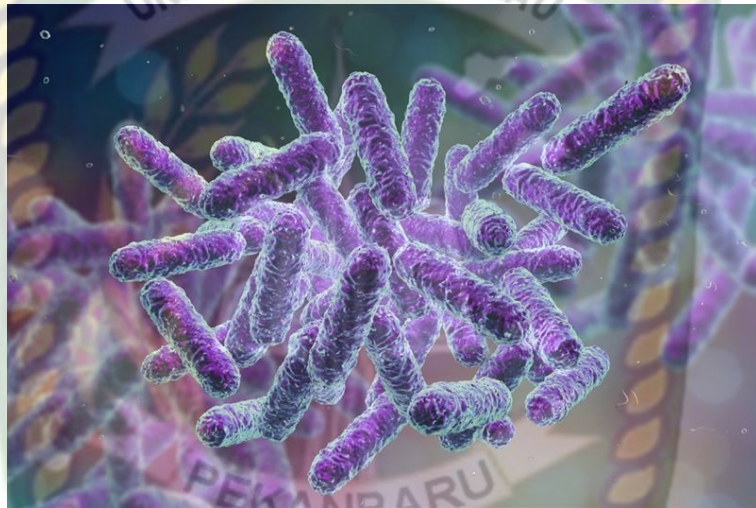
Mineral kalsit yang dihasilkan oleh proses presipitasi *carbonate* ini merupakan mineral yang tersebar sangat luas di bumi dan banyak dijumpai pada bebatuan seperti batu marmer, batu pasir di daratan dan di perairan. Proses presipitasi dan atau pengendapan kalsit ini minimal ditentukan oleh 3 faktor diantaranya (1) konsentrasi *calcium*, (2) konsentrasi *carbonate* dan (3) pH lingkungan (Hammes dan Verstraete, 2002; Hammes et al., 2003). Proses presipitasi *carbonate* ini secara teori bisa terjadi pada lingkungan yang alami dengan cara menaikkan konsentrasi *calcium* atau *carbonate* pada larutannya atau menurunkan daya larut *calcium* dan atau *carbonate*.

Peran bakteri pada proses *bio-grouting* ini memiliki kaitan yang erat dengan kemampuan bakteri untuk dapat bertahan dan toleran dari konsentrasi urea dan *calcium* yang tinggi. Untuk menghasilkan enzim urease, bakteri tersebut harus mampu bertahan pada aktivitas yang tinggi. Bakteri yang akan menghasilkan urease dapat dibedakan menjadi 2 jenis kelompok yang didasarkan pada respon dari amonium yaitu, (1) kelompok dengan aktivitas enzim urease yang ditekan oleh keberadaan amonium seperti pada jenis *Pseudomonas aeruginosa*, *Alcaligenes eutrophus*, *Bacillus megaterium* (Kaltwasser et al., 1972) dan *Klebsiella aerogenes* (Friedrich dan Magasanik, 1977) dan (2) kelompok dengan aktivitas enzim urease yang tidak terpengaruh oleh amonium seperti *Sporosarcina pasteurii* (*Bacillus pasteurii*), *Helicobacter pylori*, *Proteus vulgaris* (Whiffin et al., 2007).

Pada sebuah proses teknik *bio-grouting*, akibat dari konsentrasi urea yang tinggi dihidrolisis selama proses sementasi, hanya bakteri dengan aktivitas enzim urease tidak dapat ditekan oleh amonium saja yang cocok untuk digunakan. Hingga saat ini, bakteri dari genus *Sporosarcina* (*Bacillus*) mulai dapat diaplikasikan pada proses teknik *bio-grouting* karena mempunyai aktivitas urease yang cukup tinggi dan tidak pathogen (Fujita et al., 2000; Mobley et al., 1995). Sedangkan menurut Harkes et al (2009), bakteri jenis *Sporosarcina pasteurii* (DSMZ 33) yang dapat melakukan presipitasi kalsit.

3.5 *Bacillus Subtilis*

Bacillus subtilis adalah bakteri gram-positif yang berbentuk batang dan kalatase-positif. Pada awalnya bakteri ini dinamai *Vibri subtilis* oleh Christian Gottfried Ehrenberg dan nama bakteri ini diubah oleh Ferdinand Cohn menjadi *Bacillus subtilis* pada tahun 1872 (*subtilis* adalah bahasa Latin yang berarti 'baik'). Sel *Bacillus subtilis* biasanya berbentuk batang, dengan panjang sekitar 4-10 mikrometer (μm) dan berdiameter 0,25-1,0 μm .



Gambar 3.1 Bakteri *Bacillus Subtilis*

Bakteri lain dari genus *Bacillus* yaitu *Bacillus subtilis* ini dapat membentuk endospora, guna bertahan hidup dalam kondisi lingkungan yang sekalipun dari suhu dan pengeringan. *Bacillus subtilis* adalah anaerob fakultatif dan telah dianggap sebagai aerob obligat sampai pada tahun 1998. *Bacillus subtilis* memiliki banyak flagela, sehingga memberikan kemampuan untuk bergerak cepat didalam cairan.

Bakteri *Bacillus subtilis* terbukti sangat mudah dalam memanipulasi genetik dan telah banyak diambil sebagai pilihan untuk dijadikan organisme model untuk bahan penelitian di laboratorium, terutama dari sporulasi yang merupakan contoh sederhana dari diferensiasi seluler. Pada hal popularitas dalam organisme model

laboratorium, *Bacillus subtilis* juga sering dianggap sebagai ekuivalen gram-positif dari *Escherichia coli*, suatu bakteri gram-negatif.

3.5.1 Klasifikasi *Bacillus Subtilis*

Menurut *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology 2nd edition* (2001) dalam Madigan, et al. (2000) *Bacillus* memiliki jenjang klasifikasi sebagai berikut:

Kingdom: Bacteria

Phylum: Firmicutes

Class: Bacilli

Order: Bacillales

Family: Bacillaceae

Genus: *Bacillus*

3.5.2 Karakteristik *Bacillus Subtilis*

Bacillus masuk kedalam kelompok bakteri batang dan kokus yang membentuk endospora dengan ciri-ciri mempunyai bentuk sel batang, motil yang memiliki satu flagel, gram positif, bersifat aerobik, membentuk endospore, memiliki habitat pada lingkup tanah, air, lingkungan akuatik, juga pencernaan hewan (termasuk manusia), beberapa spesies bersifat patogenesitas terhadap manusia dan hewan lain (Holt et al., 2000).

Didalam *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* edisi ke sembilan, genus *Bacillus* memiliki karakteristik yang berbeda apabila dibandingkan dengan bakteri pembentuk endospora dan genera sejenis.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Umum

Pada bab ini menjelaskan metode penelitian yang mencakup lokasi, bahan, alat, tahapan penelitian, serta prosedur dari pengujian pendahuluan dan pengujian utama. Dimana pengujian pendahuluan merupakan pengujian sifat fisis dan sifat mekanis tanah gambut, dan pengujian utama merupakan pengujian CBR tanah gambut dengan penambahan reagen bakteri dengan persentasi yang telah ditentukan serta dengan lamanya hari pengerman yaitu 3 hari dan 7 hari.

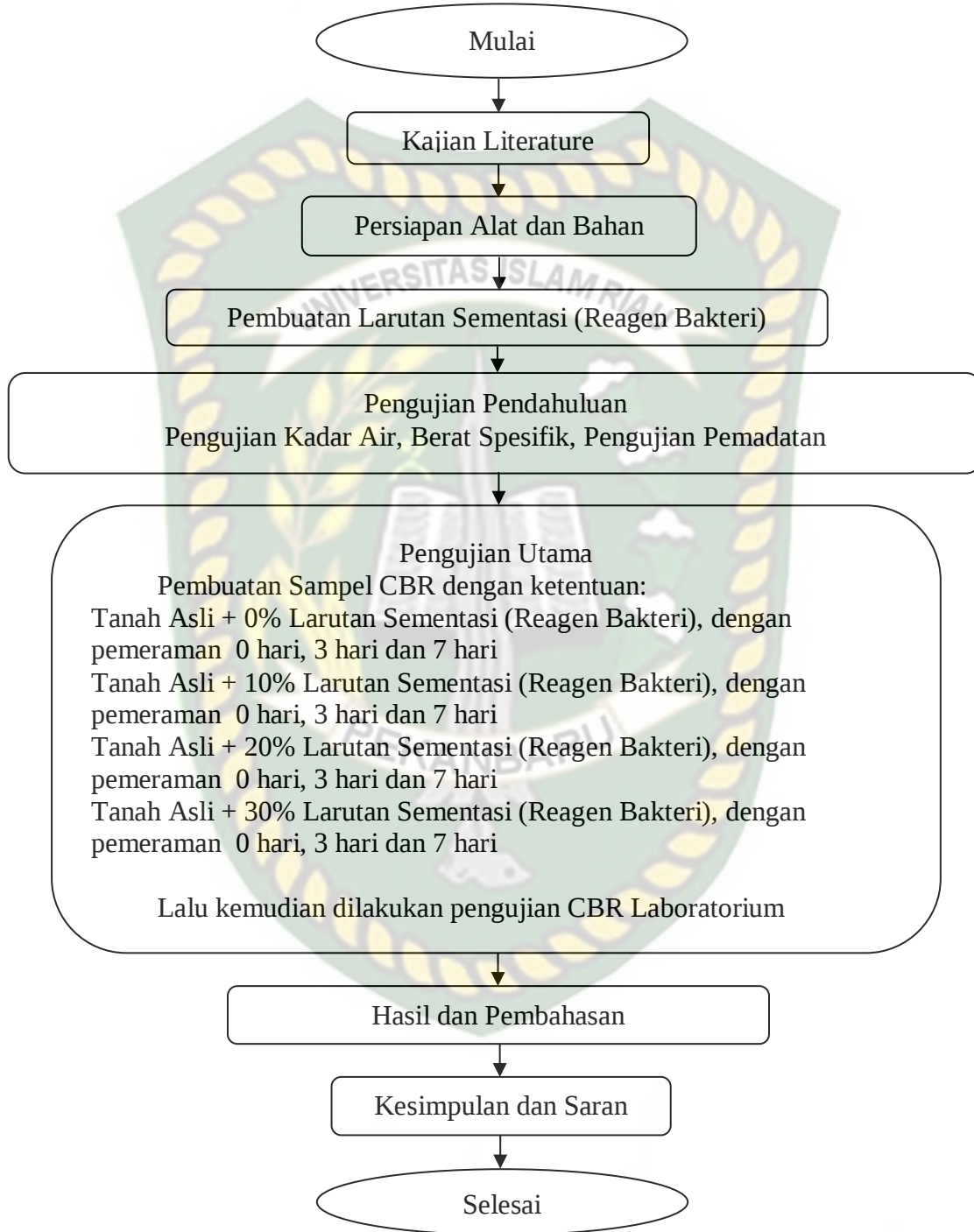
4.2 Lokasi Penelitian dan Lokasi Pengambilan Tanah Gambut

Seluruh tahapan proses pengujian, baik pada pengujian pendahuluan maupun pengujian utama dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Riau, Pekanbaru-Riau. Lokasi pengambilan sampel Tanah Gambut diambil dari Desa Buana Makmur Km. 55, Kecamatan Dayun Kabupaten Siak Provinsi Riau. Peta lokasi pengambilan sampel tanah gambut dapat dilihat pada gambar 4.1. Untuk pengadaan bakteri *Bacillus subtilis* ini berasal dari Laboratorium Pertanian Universitas Islam Riau, Pekanbaru, Riau.



Gambar 4.1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel (Google Earth, 2020)

4.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

4.4 Bahan Pengujian

Pada penelitian ini bahan–bahan yang digunakan adalah:

4.4.1 Tanah gambut

Pada sampel tanah yang terganggu tidak perlu ada upaya melindungi sifat asli dari tanah tersebut, untuk menyimpan dan membawa tanah dari lokasi penelitian ke laboratorium dapat menggunakan kantong plastik besar (*trashbag*), karung beras, atau tempat lainnya yang memungkinkan. Pengambilan sampel tanah gambut yang digunakan merupakan dalam kondisi terganggu, dimana sampel tersebut diambil pada kedalaman ± 50 cm dari permukaan tanah atas. Setelah proses pengambilan selesai, lalu kemudian sampel tanah gambut dimobilisasi ke laboratorium. Tahap selanjutnya tanah gambut dikeringkan dengan cara dijemur dibawah sinar matahari secara terbuka sehingga kering udara, kemudian sampel tanah gambut yang telah kering udara diayak menggunakan saringan No. 4.



Gambar 4.3 Sampel Tanah Gambut

4.4.2 Bakteri *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis merupakan bakteri Gram-positif, berbentuk batang dan katalase-positif. Bakteri lain dari genus *Bacillus* yaitu *Bacillus subtilis* ini dapat membentuk endospore, guna bertahan hidup dalam kondisi lingkungan yang sekalipun dari suhu dan pengeringan. *Bacillus subtilis* adalah anaerob fakultatif dan telah dianggap sebagai aerob obligat sampai pada tahun 1998. *Bacillus subtilis*

memiliki banyak flagela, sehingga memberikan kemampuan untuk bergerak cepat didalam cairan.



Gambar 4.4 Sampel Bakteri *Bacillus Subtilis*

4.4.3 Urea

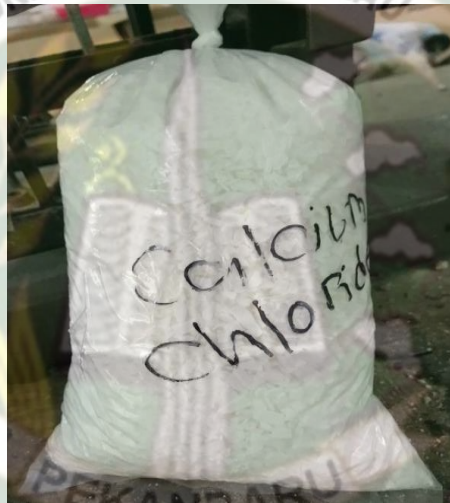
Urea merupakan sebuah senyawa organik yang terdiri dari unsur karbon, hydrogen, oksigen dan nitrogen dengan unsur $\text{CO}_2\text{N}_2\text{H}_4$ atau $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$. Pada urea terdapat senyawa kimia mengandung Nitrogen (N) berkadar tinggi. Urea berbentuk butir-butir kristal berwarna putih. Urea dengan rumus kimia NH_2CONH_2 merupakan produk yang mudah larut dalam air dan sifatnya sangat mudah menghisap air.



Gambar 4.5 Sampel Urea

4.4.4 CaCl_2

Senyawa kimia yang disebut Kalsium Klorida Dihidrat merupakan senyawa kimia yang banyak digunakan untuk keperluan seperti industri pulp dan kertas, makanan, keramik, sebagai anti *freezing agent*, sebagai katalis, refirigant dan sebagai *suspending agent* untuk industri polimerisasi. Kalsium Klorida Dihidrat ini juga merupakan senyawa kimia yang digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah yang mudah larut dalam air dan mampu mengalirkan arus listrik dengan cukup baik dan juga mampu mengikat partikel tanah.



Gambar 4.7 Sampel CaCl_2

4.5 Pembuatan Larutan Sementasi

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

Bakteri *Bacillus subtilis*

Urea

CaCl_2

Air

4.5.1 Pembuatan Larutan Sementasi (Reagen Bakteri)

Larutan sementasi merupakan larutan campuran yang terdiri dari urea dan CaCl_2 yang berguna oleh bakteri untuk menghasilkan kalsit / CaCO_3 (*calcium carbonate*). Pada penelitian ini dimanfaatkan larutan sementasi dengan komposisi Urea, CaCl_2 , bakteri *Bacillus subtilis* dan Air.

Untuk pembuatan larutan sementasi (reagen bakteri) harus disiapkan alat-alat dan bahannya, alat-alat yang dipakai yaitu, cawan, sendok, timbangan digital, botol (wadah penampung larutan), tabung piknometer, gelas ukur, cerocok dan kertas saring. Sedangkan untuk bahannya adalah Urea, CaCl_2 , Bakteri *Bacillus subtilis* dan air. Pada tabel 4.1 berikut ini adalah campuran / konsentrat sebagai bahan larutan sementasi (reagen bakteri)

Tabel 4.1 Komposisi Larutan Sementasi

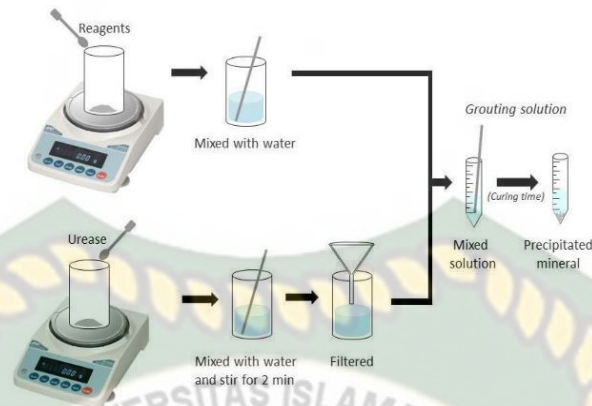
No	Bahan	Kuantitas
1	Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	10 ml
2	Urea	1000 gr
3	CaCl_2	10 gr
4	Air	50 ml

Berikut ini adalah prosedur dan tahapan pembuatan larutan sementasi (reagen bakteri):

1. Langkah pertama adalah dengan melarutkan 100 gr urea dengan air sebanyak 50 ml kedalam cawan pertama, air diambil dengan jumlah 50 ml dan dimasukkan kedalam wadah, kemudian Urea diambil dan ditimbang seberat 100 gram. Lalu urea yang telah ditimbang sebesar 100 gram tadi dimasukkan

kedalam wadah yang sudah ada air sebanyak 50 ml, urea tersebut diaduk agar kemudian larut pada air tersebut.

2. Lalu larutkan 10 gr CaCl_2 dengan air sebanyak 50 ml kedalam cawan kedua. Sama dengan proses pembuatan Urea, langkah pertama untuk pembuatan larutan CaCl_2 adalah dengan mengambil air sebanyak 50 ml dan dimasukkan kedalam wadah, kemudian CaCl_2 diambil dan ditimbang seberat 10 gram. Lalu CaCl_2 yang telah ditimbang sebesar 10 gram tadi dimasukkan kedalam wadah yang sudah ada air sebanyak 50 ml, CaCl_2 tersebut diaduk agar kemudian larut pada air tersebut.
3. Larutkan 10 ml bakteri dengan air sebanyak 50 ml ke dalam cawan ketiga. Pada proses ini disiapkan air sebanyak 50 ml dan dimasukkan kedalam wadah, kemudian bakteri *Bacillus subtilis* diambil dan ditakar sebanyak 10 ml, lalu air sebanyak 50 ml dan bakteri sebanyak 10 ml ini dicampurkan dengan cara diaduk.
4. Setelah semua bahan larut, campurkan semua bahan tersebut kedalam cawan keempat, komposisinya 10 ml pada setiap bahannya.
5. Tahap selanjutnya adalah larutan Urea, larutan CaCl_2 dan larutan Bakteri kemudian dicampurkan dan atau diaduk didalam tabung piknometer. Setelah ketiga bahan tersebut dicampurkan dan menjadi sebuah larutan, lalu larutan ini disaring menggunakan kertas saringan. Kertas saringan ini lalu ditimbang berat bersihnya agar mendapatkan berat larutan hasil sarigan tersebut, larutan yang sudah disaring kemudian dicampurkan dengan air. Komposisinya adalah, pada setiap 250 ml air, dicampurkan 0,1 gram larutan yang sudah tersaring tersebut. Hasil dari pencampuran air sebanyak 250 ml dan larutan hasil saringan seberat 0,1 gram ini adalah larutan sementasi (reagen bakteri) bio-grouting tersebut.



Gambar 4.8 Proses Pembuatan Larutan Sementasi (Reagen Bakteri)



Gambar 4.9 Proses Penyaringan Larutan

4.6 Pengujian Tanah Gambut

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

4.6.1 Peralatan Pengujian Pendahuluan

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

1. Peralatan uji kadar air,
2. Peralatan uji berat spesifik,
3. Peralatan uji pemadatan (proctor),
4. Alat-alat bantu seperti spatula, timbangan, penampan, oven, dan lain-lain.

4.6.2 Peralatan Pengujian Utama (Pengujian CBR)

1. Cetakan–cetakan yang berbentuk silinder berbahan dari logam dengan ukuran diameter pada bagian dalam ($152,40 \pm 0,66$) mm dan dengan tinggi ($177,80 \pm 0,46$) mm.
2. Sebuah leher sambung (extension collar) dengan tinggi ± 50 mm.
3. Keping alas yang berlubang banyak agar dapat dipasang dengan pas (tidak bergerak) pada kedua ujung cetakannya.
4. Alat penumbuk.
5. Arloji ukur, dengan dua arloji ukur yang masing–masing memiliki kapasitas 25 mm dengan ketelitian pembacaan 0,02 mm.



Gambar 4.10 Alat Pengujian CBR

4.7 Tahapan Penelitian dan Prosedur Pengujian

Pada tahapan penelitian ini menjelaskan tentang tahapan-tahapan dari awal penelitian hingga akhir penelitian. Berikut adalah tahapan dan prosedur pada penelitian ini.

4.7.1 Prosedur Pengujian Pendahuluan

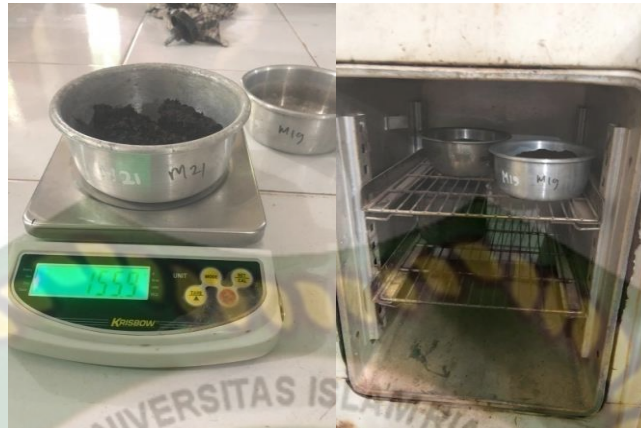
Pengujian pendahuluan dilakukan untuk menjadi acuan pada pengujian utama, pada bagian ini pengujian material tanah gambut dilakukan dengan mengambil

sampel tanah gambut akan digunakan sesuai keperluan pengujian, dengan penelitian yang dilakukan terdiri dari pengujian sifat fisik tanah ataupun indeks properties tanah meliputi pengujian kadar air tanah (*Moisture Content*) ASTM D 2216-92, Pengujian berat jenis (*specific Gravity*) ASTM D 854-00 dan pengujian pemadatan standar (*proctor*) ASTM D 698-78.

A. Pengujian kadar air (ASTM D 2216-92)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah yaitu perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering yang dinyatakan dalam persen. Berikut ini prosedur pelaksanaannya (Laboratorium Mekanika Tanah, 2016):

1. Tanah yang telah disiapkan untuk jadi bahan pengujian ditempatkan dalam cawan yang bersih, kering dan telah diketahui berat dari cawan tersebut
2. Cawan dan isinya kemudian ditimbang lalu beratnya dicatat
3. Cawan yang telah berisi sampel tanah kemudian dimasukkan kedalam oven pengering, cawan beserta isinya dibiarkan didalam oven selama 24 jam dengan suhu 80°C
4. Setelah 24 jam, cawan beserta isinya kemudian diambil dan dibiarkan suhunya kembali ke suhu ruangan
5. Setelah seluruh tahapan diatas tersebut selesai, cawan yang berisi sampel tanah tersebut ditimbang dan beratnya dicatat



Gambar 4.11 Pengujian Kadar Air Sampel Tanah

B. Pengujian berat jenis (*Specific Gravity*) ASTM D 854-00

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya berat jenis tanah yang merupakan perbandingan antara berat butir tanah dengan berat air diudara pada volume yang sama dan pada temperatur tertentu. Berikut ini prosedur pelaksanaannya (Laboratorium Mekanika Tanah, 2016):

1. Benda uji
 - a. Benda uji dipersiapkan dan dioven sampai kering dengan berat tidak boleh kurang dari 50 gram
 - b. Sampel tanah didapat dengan menyaring bahan tanah uji dengan saringan No. 40
 - c. Benda uji dikeringkan dengan oven pada suhu 105-1100°C
2. Prosedur pengujian
 - a. Cuci piknometer dengan air suling dan keringkan. Timbang piknometer dan tutupnya dengan ketelitian 0,01 gram (W1)
 - b. Masukkan benda uji kedalam piknometer dan timbang bersama tutupnya dengan ketelitian 0,01 gram (W2)
 - c. Tambahkan air suling sehingga piknometer terisi 2/3 untuk bahan yang mengandung lempung, diamkan benda uji terendam dengan minimal waktu selama 24 jam

- d. Didihkan piknometer dengan hati-hati selama minimal 10 menit, ketika pemanasan sedang berlangsung miringkan botol sesekali untuk mempercepat pengeluaran udara yang tersekap
- e. Isi piknometer dengan air suling, biarkan piknometer beserta isinya untuk mencapai suhu konstan (24 jam) didalam bejana air atau dalam ruangan
- f. Sesudah suhu konstan tambahkan air suling seperlunya sampai batas, tutuplah piknometer, keringkan bagian luarnya dan timbang dengan ketelitian 0,1 gram (W3), ukur suhu dan piknomter dengan ketelitian 100 celcius
- g. Bila isi piknometer belum diketahui maka tentukan isi sebagai berikut kosongkan piknometer dan bersihkan, isi piknometer dengan air suling yang suhunya sama dengan suhu ruangan dengan ketelitin 100C dan pasang tutupnya, keringkan bagian luarnya dari piknometer dan timbang dengan ketelitian 0,01 gram dan koreksi terhadap suhu.



Gambar 4.12 Pengujian Berat Jenis

C. Pengujian pemadatan standar (*Proctor*) ASTM D 698-78

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 698-78, sampel tanah yang digunakan lolos

saringan no.4 sebanyak ± 3000 gram. Untuk pengujian pemadatan tanah asli cara pelaksanaanya sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel tanah $\pm 3,0$ kg untuk 1 silinder pemadatan, selanjutnya mencampurkan air sesuai dengan variasi. Agar tidak berkurang, diamkan ± 24 jam, hal ini dilakukan agar pori-pori tanah terisi oleh air.
2. Mengeluarkan benda uji dari plastik, sebar pada nampan dan bagi sampel tanah menjadi 3 bagian, memasukkan sampel kedalam cetakan dan 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.





Gambar 4.13 Pengujian Pemadatan Tanah

4.7.2 Pengujian Utama

Pada pengujian utama ini adalah merupakan pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) *unsoaked* Laboratory, dilakukan setelah pembuatan larutan sementasi dan semua pengujian pendahuluan selesai agar mengetahui properties tanah gambut.

Di laboratorium Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Riau dilakukan pencampuran tanah gambut dengan larutan bakteri *Bacillus subtilis*, dengan beberapa variasi persentase pencampuran yaitu 0%, 10%, 20%, dan 30 % dengan pengujian CBR *unsoaked*, kemudian di peram dengan waktu peram selama 3 hari dan 7 hari.

Larutan sementasi dan air disesuaikan dengan jumlah kadar air optimum, lalu kemudian dicampurkan dengan tanah gambut untuk dicetak menggunakan alat cetakan CBR yang menjadi pengujian utama pada penelitian ini. Berikut ini adalah tabel variasi campuran larutan sementasi pada setiap sampel CBR:

Tabel 4.2 Variasi Campuran Larutan Sementasi Pada Sampel Uji CBR

No	Sampel Uji CBR	Masa pemeraman	Persentase Larutan Sementasi (Reagen Bakteri) Terhadap volume kadar optimum air pada benda uji CBR	Jumlah Sampel (Buah)
1	Sampel 1	0 hari	0%	1
2	Sampel 2		10%	1
3	Sampel 3		20%	1
4	Sampel 4		30%	1
5	Sampel 1	3 hari	0%	1
6	Sampel 2		10%	1
7	Sampel 3		20%	1
8	Sampel 4		30%	1
9	Sampel 1	7 hari	0%	1
10	Sampel 2		10%	1
11	Sampel 3		20%	1
12	Sampel 4		30%	1

4.7.3 Prosedur Pengujian Utama

Berikut ini adalah prosedur-prosedur dari pengujian utama atau pengujian CBR *unsoaked*:

1. Persiapan sampel tanah.

Tanah gambut yang kering udara diambil dan ditimbang sebanyak 3000 gram.

2. Pencampuran sampel tanah dengan larutan sementasi.

Bahan tanah gambut tersebut kemudian dicampurkan dengan larutan sementasi dan air (terhadap kadar air optimum).

3. Pencetakan sampel.

Setelah seluruh bahan benda uji selesai dicampurkan (adukan), pasang CBR mold pada keping alas dan ditimbang, masukkan keping pemisah (spacer disc), lalu letakkan kertas saring di atasnya. Padatkan masing-masing sampel tanah tersebut didalam CBR mold dengan jumlah tumbukan 65 kali per lapis (3 lapis). Karena pengujian CBR unsoaked, pemeriksaan kadar airnya dilakukan setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan. Kemudian, lepasan collar lalu ratakan permukaan contoh dengan alat perata, tambal lubang-lubang yang mungkin terjadi pada permukaan karena lepasnya butir-butir kasar dengan bahan yang lebih halus. Selanjutnya keluarkan piring pemisah (spacer disc) dan kertas saring, balikkan dan pasang kembali mold yang berisi sampel tanah pada alas kemudian ditimbang.

4. Tahapan pengujian.

- a. Letakkan keping beban seberat 10 lbs / 4,5 kg diatas permukaan benda uji, letakkan mold diatas piringan penekan pada alat penetrasi CBR.
- b. Atur piston penetrasi supaya menyentuh permukaan benda uji, kemudian lakukan penetrasi sampai arloji beban menunjukkan beban permukaan sebesar 4,5 kg/10 lbs. Pembebanan permulaan ini diperlukan untuk menjamin bidang sentuh yang sempurna antara arloji pengukur penetrasi sampai dengan nol.
- c. Berikan pembebanan dengan teratur sehingga kecepatan penetrasi mendekati kecepatan 1,27 mm/menit atau 0,05 inch/menit.
- d. Lakukan pencatatan bacaan dial beban pada penetrasi sebesar 0.0125 inch, 0.025 inch, 0.050 inch, 0.075 inch, 0.100 inch, 0.150 inch, 0.200 inch dan 0.300 inch.

4.8 Analisa Hasil Penelitian dan Pembahasan

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

Sifat-sifat fisis tanah, yaitu: kadar air pada tanah gambut, berat spesifik tanah gambut, berat isi atau kepadatan tanah gambut dan kadar air optimum tanah. Nilai CBR tanah gambut dengan campuran larutan sementasi (reagen bakteri) dengan metode *MICP (Microbially Induced Calcite Precipitation)*.

4.9 Kesimpulan dan Saran

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

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Pada bab ini diuraikan hasil penelitian yang menjelaskan hasil pengujian pendahuluan berupa karakteristik sifat-sifat fisik tanah gambut dan sifat-sifat mekanik tanah gambut dan pembahasan hasil pengujian utama yaitu *California Bearing Ratio* (CBR) *unsoaked* Laboratorium terhadap penambahan larutan sementasi (reagen bakteri) pada sampel uji CBR dengan kadar air optimum.

5.2 Pengujian Pendahuluan

Sebelum dilakukannya pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) tak terendam/*unsoaked* Laboratorium, terlebih dahulu dilakukan pengujian pendahuluan. Pengujian yang dilaksanakan diantaranya adalah pengujian kadar air tanah asli (tanah gambut), berat spesifik (*Gs*), dan pengujian pemadatan / *proctor test*.

5.2.1 Kadar Air Tanah Asli (Tanah Gambut)

Pengujian kadar air ini dilakukan sesuai dengan prosedur pada ASTM D2216. Hasil dari pengujian kadar air yang dilakukan pada tanah didapatkan nilai kadar air sebesar 407,5 %. Hal ini disebabkan karena tanah asli yang diuji terdiri dari kandungan serat organik (gambut) yang dapat menyerap air sangat banyak sehingga mengandung kadar air yang tinggi, menurut Pusat Litbang Prasarana Transportasi adapun nilai kadar air gambut berkisar antara 200% hingga mencapai 900%.

5.2.2 Berat Spesifik (*Gs*)

Pengujian Berat Spesifik (*Specific Gravity*) ini dilakukan sesuai dengan ASTM D 854, dimana nilai berat jenis tanah yang diperoleh harus dirata-ratakan berat jenisnya apabila digunakan dalam perhitungan yang berkaitan dengan pengujian *hydrometer*. Dari pengujian yang telah dilakukan terhadap tanah asli, nilai berat

spesifik (Gs) tanah yang digunakan adalah sebesar 1,30. Nilai berat spesifik (Gs) diakibatkan karena adanya serat-serat kayu dan kandungan organik lainnya pada tanah gambut.

5.2.3 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 table 5.1.

Tabel 5.1 Pemeriksaan Analisa Saringan Benda Uji

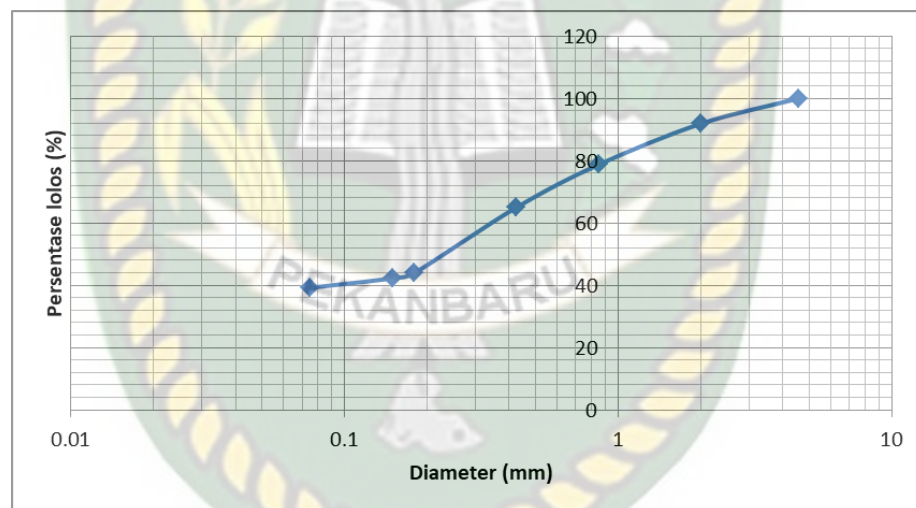
Saringan	Berat Cawan (gr)	Berat cawan + Berat Tertahan (gr)	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Berat Tertahan (gr)	Persentasi (%)	
					Tertahan	Lewat
No. #4	29,6	0	0	0	0	100
No. #10	29,6	40,6	11	11	8,17	91,83
No. #20	29,6	48,4	18,4	29,4	13,68	78,75
No. #40	29,6	48,1	18,5	47,9	13,75	65
No. #80	29,6	57,9	28,3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

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

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

Untuk lebih jelas hasil Hubungan Persentase Lolos Saringan Agregat Dengan Diameter Benda uji dapat dilihat pada gambar 5.1



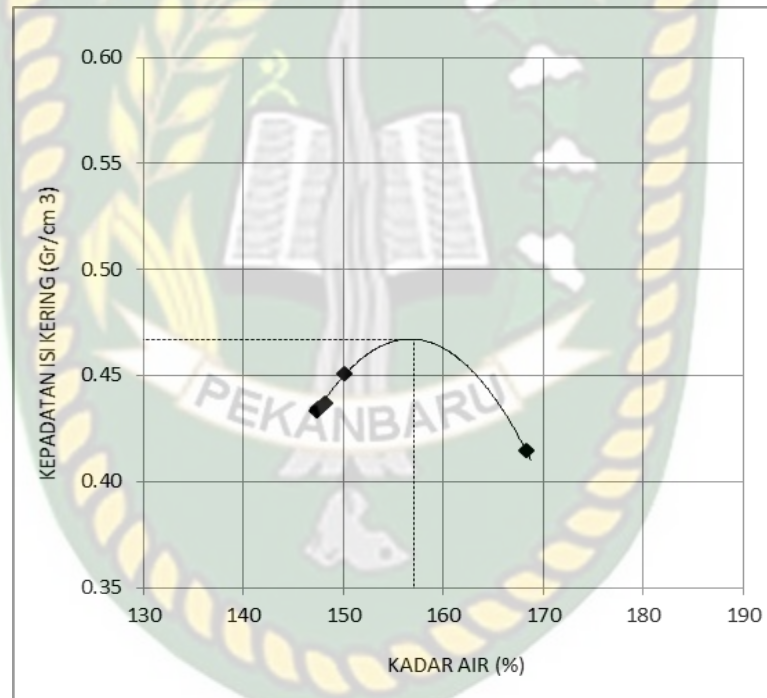
Gambar 5.1 Grafik Hubungan Persentase Lolos Saringan Agregat Dengan Diameter Benda uji.

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

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

5.2.4 Pengujian Pemadatan

Pengujian pemadatan dilakukan untuk mendapatkan nilai berat isi kering maksimum (γ_d maks) tanah asli sebesar 0,467 gr/cm³ dan kadar air optimum (OMC) tanah asli sebesar 157 %, dapat dilihat pada Lampiran A. Grafik pengujian pemadatan dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.2 Grafik Pengujian Pemadatan dengan Proctor Standar dan Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air

Tingginya nilai kadar air optimum (OMC) disebabkan besarnya pori-pori tanah karena tanah terdiri dari serat-serat tumbuhan (organik) menyebabkan tanah menyerap banyak air untuk mencapai kepadatan yang optimum. Kadar air optimum

(OMC) yang didapat dari pengujian pemadatan pada tanah asli ini dijadikan pembandingan terhadap kondisi tanah yang digunakan pada pengujian permodelan.

5.2.5 Sifat-sifat Tanah Gambut

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

Tabel 5.1 Sifat-sifat Tanah Gambut

No	Sifat-sifat	Besaran	Satuan
1	Berat Spesifik, G_s	1,30	-
2	Kadar Air, w	407,45	%
3	Berat Isi Kering Maksimum (γ_d maks)	0,467	Gr/cm ³
4	Kadar Air optimum (OMC)	157	%

Dari hasil pengujian sifat-sifat tanah gambut yang berasal dari Desa Buana Makmur, Km. 55, Kecamatan Dayun Kabupaten Siak Provinsi Riau, nilai berat spesifik (G_s) yaitu 1,30, dan nilai kadar air (w) sebesar 407,45% adalah sudah termasuk dalam kategori yang berpedoman pada tabel 3.1 Sifat-sifat Fisik Tanah Gambut (Mochtar, 2002).

5.3 Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) Laboratorium

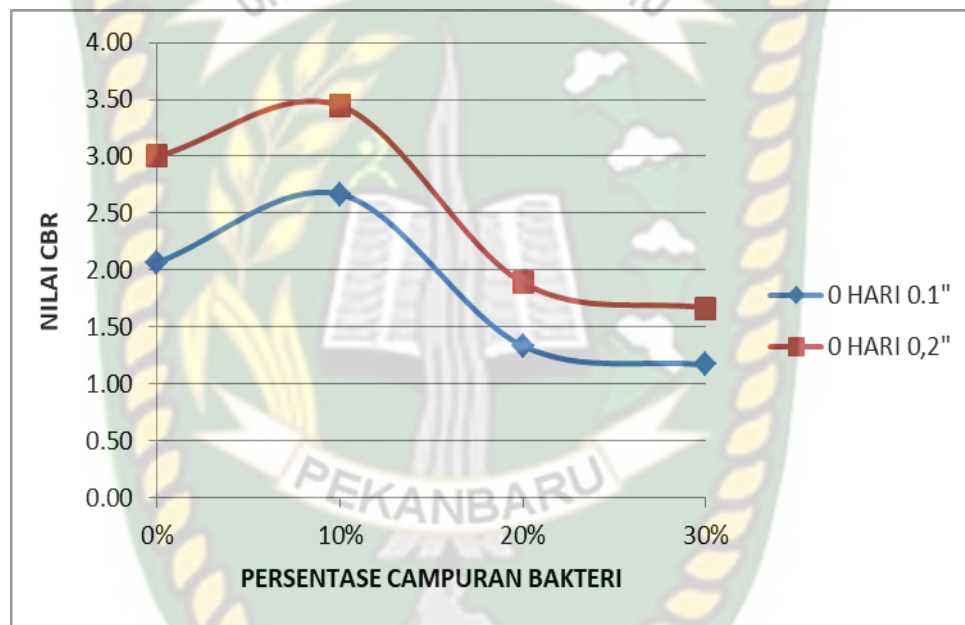
Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) ini menggunakan metode *MICP* yaitu mencampurkan bakteri *Bacillus subtilis* yang sudah dibuat menjadi sebuah larutan sementasi (reagen bakteri) dengan tanah gambut kepasiran. Persentase penambahan bakteri adalah 0%, 10%, 20%, dan 30%.

Persentase campuran larutan sementasi dan air berdasarkan jumlah kadar air optimum 1 (satu) buah sampel uji CBR, kadar air optimum untuk sebuah sampel adalah 157%. Setelah sampel selesai dicetak, lalu dilakukan pemeraman selama 0

hari, 3 hari dan 7 hari. Pengujian CBR ini dilakukan dengan kondisi tak terendam (*unsoaked*).

5.3.1 Hasil Pengujian CBR Tanah Gambut dengan Lama Pemeraman 0 Hari

Hasil pengujian CBR dengan pemeraman 0 hari dengan perentase penambahan reagen bakteri, didapat persentase maksimum penambahan reagen bakteri adalah sebanyak 10%. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Lampiran A. Grafik pengujian CBR ini dapat dilihat pada Gambar 5.2.

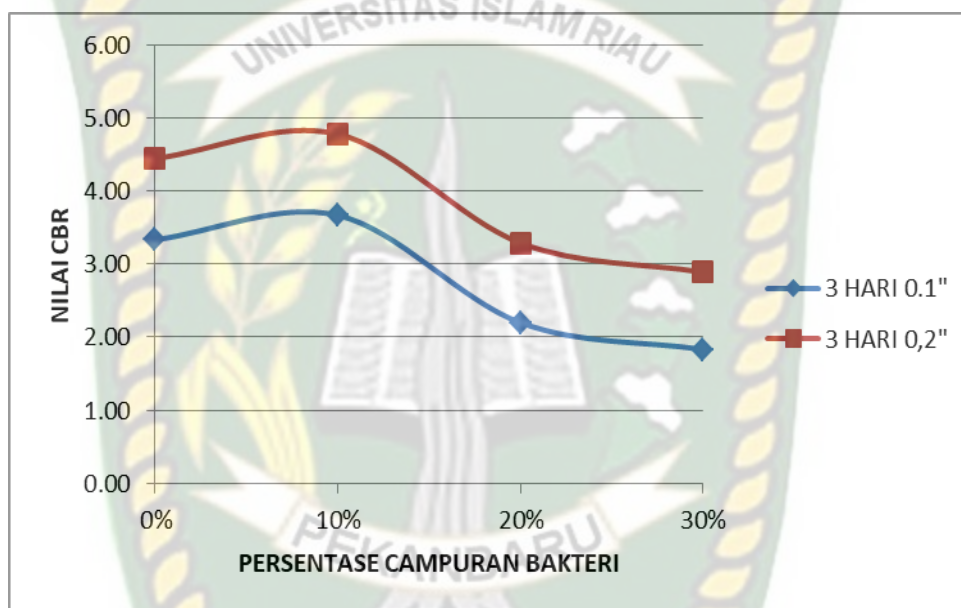


Gambar 5.2 Grafik Pengujian CBR Tanah Gambut
Dengan Lama Pemeraman 0 Hari

Pada gambar 5.2 menampilkan hasil pengujian CBR *unsoaked* tanah gambut dengan campuran larutan sementasi (reagen bakteri) sebanyak 0%, 10%, 20%, dan 30%. Pada gambar terlihat bahwa penambahan reagen bakteri maksimal terjadi pada persentase penambahan 10 %. Pada penetrasi 0,1 inci didapat nilai CBR sebesar 2,67% sedangkan pada penetrasi 0,2 inci didapat nilai CBR sebesar 3,44%. Dengan hasil tersebut, nilai CBR yang diambil adalah nilai tertinggi yaitu 3,44%.

5.3.2 Hasil Pengujian CBR Tanah Gambut dengan Lama Pemeraman 3 Hari

Hasil pengujian CBR dengan pemeraman 3 hari dengan perentase penambahan reagen bakteri, didapat persentase maksimum penambahan reagen bakteri adalah sebanyak 10%. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Lampiran A. Grafik pengujian CBR ini dapat dilihat pada Gambar 5.3.

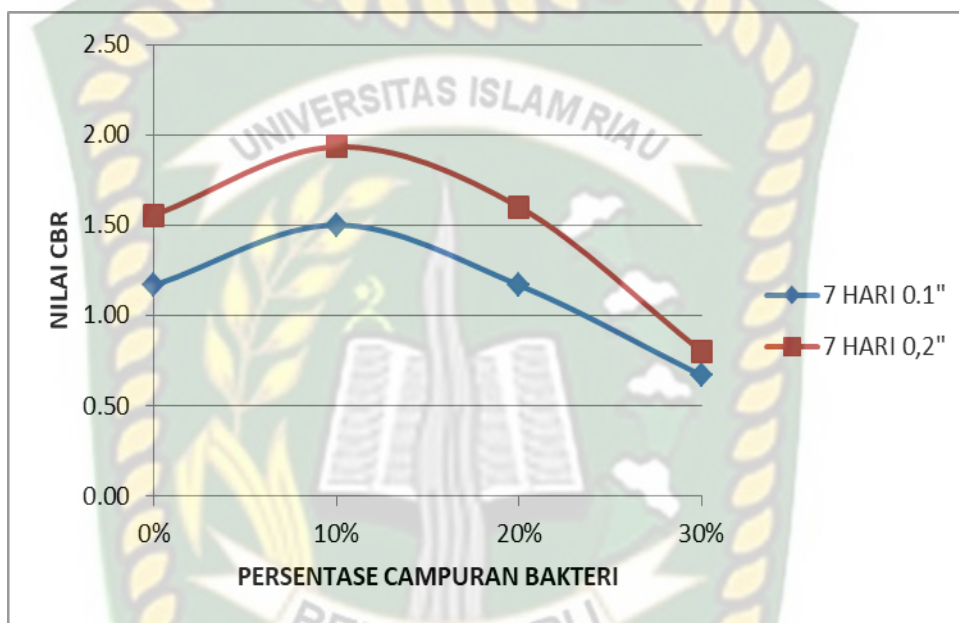


Gambar 5.3 Grafik Pengujian CBR Tanah Gambut
Dengan Lama Pemeraman 3 Hari

Pada gambar 5.3 menampilkan hasil pengujian CBR *unsoaked* tanah gambut dengan campuran larutan sementasi (reagen bakteri) sebanyak 0%, 10%, 20%, dan 30%. Pada gambar terlihat bahwa penambahan reagen bakteri maksimal terjadi pada persentase penambahan 10%. Pada penetrasi 0,1 inci didapat nilai CBR sebesar 3,67% sedangkan pada penetrasi 0,2 inci didapat nilai CBR sebesar 4,78%. Dengan hasil tersebut, nilai CBR yang diambil adalah nilai tertinggi yaitu 4,78%.

5.3.3 Hasil Pengujian CBR Tanah Gambut dengan Lama Pemeraman 7 Hari

Hasil pengujian CBR dengan pemeraman 7 hari dengan perentase penambahan reagen bakteri, didapat persentase maksimum penambahan reagen bakteri adalah sebanyak 10%. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Lampiran A. Grafik pengujian CBR ini dapat dilihat pada Gambar 5.4.

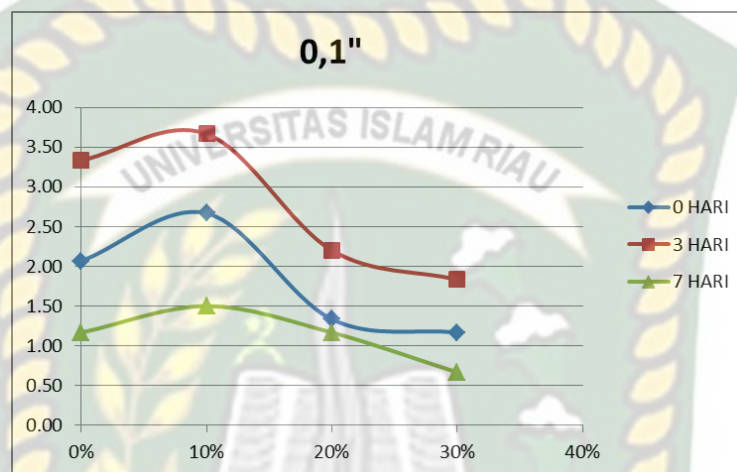


Gambar 5.4 Grafik Pengujian CBR Tanah Gambut
Dengan Lama Pemeraman 7 Hari

Pada gambar 5.4 menampilkan hasil pengujian CBR *unsoaked* tanah gambut dengan campuran larutan sementasi (reagen bakteri) sebanyak 0%, 10%, 20%, dan 30%. Pada gambar terlihat bahwa penambahan reagen bakteri maksimal terjadi pada persentase penambahan 10%. Pada penetrasi 0,1 inci didapat nilai CBR sebesar 1,50% sedangkan pada penetrasi 0,2 inci didapat nilai CBR sebesar 1,93%. Dengan hasil tersebut, nilai CBR yang diambil adalah nilai tertinggi yaitu 1,93%.

5.3.4 Perbandingan Hasil Pengujian CBR Tanah Gambut Dengan Variasi Lama Pemeraman

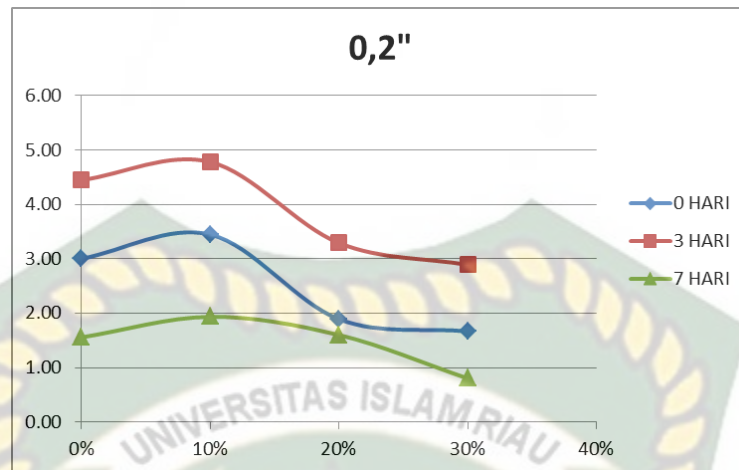
Dari hasil pengujian nilai CBR tanah gambut yang ditambahkan dengan reagen bakteri, Untuk variasi lama pemeraman di lakukan 0 hari, 3 hari dan 7 hari. Nilai CBR maksimum terjadi pada pemeraman 3 hari. Hasil dari pengujian CBR tanah gambut dengan variasi lama pemeraman dengan nilai penetrasi 0,1” dapat dilihat pada Lampiran A. Grafik pengujian CBR ini dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Grafik Pengujian CBR Tanah Gambut Dengan Variasi Lama Pemeraman Penetrasi 0,1"

Pada gambar 5.5 menampilkan hasil pengujian CBR *unsoaked* tanah gambut dengan campuran larutan sementasi (reagen bakteri) sebanyak 0%,10%,20%, dan 30% dengan beberapa variasi lama pemeraman. Pada lama pemeraman 0 hari untuk penetrasi 0,1 inci didapatkan nilai CBR sebesar 2,67%, untuk pemeraman 3 hari merupakan nilai CBR tertinggi sebesar 3,67% pada campuran 10% .

Hasil dari pengujian CBR tanah gambut dengan variasi lama pemeraman dengan nilai penetrasi 0,2” dapat dilihat pada Lampiran A. Grafik pengujian CBR ini dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Grafik Pengujian CBR Tanah Gambut Dengan Variasi Lama Pemeraman Penetrasi 0,2"

Pada gambar 5.6 menampilkan hasil pengujian CBR *unsoaked* tanah gambut dengan campuran larutan sementasi (reagen bakteri) sebanyak 0%,10%,20%, dan 30% dengan beberapa variasi lama pemeraman untuk penetrasi 0,2 inci didapatkan nilai CBR pada 0 hari tertinggi sebesar 2,67% pada pencampuran 10%. Untuk pemeraman 3 hari merupakan nilai CBR tertinggi sebesar 4,7% pada campuran 10%. Untuk nilai CBR pada pemeraman 7 hari terjadi penurunan kembali dimana nilai CBR pada penetrasi 0,1 inci sebesar 1,50% dan untuk penetrasi 0,2 inci sebesar 1,93%.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Teknik *bio-grouting* dengan bantuan bakteri *Bacillus subtilis* dapat meningkatkan nilai CBR pada tanah gambut dengan cara pemeraman, namun nilai yang di hasilkan tidak terlalu signifikan, tanah tanpa pemeraman sebesar 2,67% meningkat dalam pemeraman 3 hari sebesar 4,7%.
2. Nilai CBR yang di hasilkan dari penambahan bakteri *Bacillus subtilis* pada tanah gambut pada persentasi 10%, 20%, dan 30% mendapatkan nilai maksimal pada penambahan 10 % sebesar 3,67% pada penetrasi 0,1” dan 4,7% pada penetrasi 0,2” tetapi nilai CBR kembali mengalami penurunan pada Pencampuran 20% dan 30%.
3. Nilai CBR pada pemeraman tanah yang telah di campur dengan bakteri *Bacillus subtilis* selama 3 hari menghasikan nilai yang lebih tinggi dari pada tanah gambut yang telah di campur bakteri *Bacillus subtilis* tanpa pemeraman atau 0 hari, namun nilai CBR kembali turun pada tanah yang telah di campur bakteri *Bacillus subtilis* dengan pemeraman 7 hari.

6.2 Saran

Dari kesimpulan yang diambil di atas, peneliti menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perlu dilakuannya stabilisasi atau upaya perbaikan pada tanah gambut dengan campuran bakteri *Bacillus subtilis* dengan tambahan bahan non organik lain seperti, kapur, pasir dan abu.
2. Penambahan variasi lama pemeraman, bahan aditif lainnya pada tanah gambut, skala persentase yang berbeda untuk penambahan bahan aditif pada setiap

sampel dan jumlah sampel yang lebih banyak untuk pengujian CBR dengan metode *bio-grouting* ini.



DAFTAR PUSTAKA

- ASTM Standart (1994), *Section 4, Construction: Volume 04.08 dan 04.09, Soils and Rock, American Society for Testing and Materials*. Philadelphia, USA.
- Darmawijaya. (1997). *Klasifikasi Tanah*. UGM Press: Yogyakarta.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah dan Prinsip Rekayasa Geoteknis*. Penerbit Erlangga: Jakarta
- Departement Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Standard Nasional Indonesia. *Metode Uji CBR Laboratorium*. SNI 1744:2012.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I. Edisi ketiga*. Penerbit Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardjowigeno, S. (1989). *Sifat dan Potensi Tanah Gambut Sumatera untuk Pengembangan Pertanian*. Prosiding Seminar Tanah Gambut untuk Perluasan Pertanian. Fakultas Pertanian UISU. Medan. Hal 43-79.
- Harkes, M. P., Van Paassen, L. A., Booster, J. L., Whiffin, V. S., Van Loosdrecht, M.C.M. *Fixation and distribution of bacterial activity in sand to induce carbonate precipitation for ground reinforcement*. Ecol. Eng. 2010, 36, 112–117.
- Laporan Praktikum Mekanika Tanah. Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Islam Riau.
- Mazela, Indra. 2020. *Perbaikan Nilai Cbr Tanah Gambut Dengan Menggunakan Campuran Pasir Dan Teknik Bio-Grouting Melalui Bantuan Bakteri Bacillus Subtilis*. Universitas Islam Riau. Tugas Akhir. Pekanbaru

- Mochtar, R. 2002. *Sinopsis Obstetri Patologi*. Jakarta: EGC.
- Noor, M. 2001. *Pertanian Lahan Gambut: Potensi dan Kendala*. Kanisius. Yogyakarta.
- Putra, H.; Yasuhara, H.; Kinoshita, N.; Neupane, D.; Lu, C.-W. *Effect of Magnesium as Substitute Material in Enzyme-Mediated Calcite Precipitation for Soil-Improvement Technique*. Front. Bioeng. Biotechnol. 2016, 4, 37.
- Rahardjo, B. (2001). *Akuntansi dan Keuangan Untuk Manajer Non Keuangan*. Yogyakarta: Andi.
- Saputra, N. A. dan Respati, R. (2018). *Stabilisasi tanah gambut Palangka raya dengan bahan campuran tanah non organik dan kapur*. Media Ilmiah Teknik Sipil. Volume 06 Nomor 02, Juni 2018: 124-131.
- Soedarmo, G. D. & Purnomo, S. J. E. (1997). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Kanisius.
- Syarif, F., Davino, G. M. dan Ardianto, M. F. (2020). *Penerapan Teknik Biocementation Oleh Bacillus Subtilis dan Pengaruhnya Terhadap Permeabilitas Pada Tanah Organik*. Jurnal Saintis. Volume 20 Nomor 01, April 2020: 47-52.
- Terzaghi, K., Peck, R. B. (1987) *Mekanika Tanah Dalam. Praktek Rekayasa Jilid 1*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Widjajakusuma, J. and Winata H. *Influence of rice husk ash and clay in stabilization of silty soils using cement*.