

TUGAS AKHIR

**PENGARUH MICROBIALLY INDUCED CALCITE
PRECIPITATION (MICP) TERHADAP PERILAKU KUAT
GESER TANAH TERKONTAMINASI BATU BARA**

***THE EFFECT OF MICROBIALLY INDUCED CALCITE
PRECIPITATION (MICP) ON THE SHEAR STRENGTH
BEHAVIOR OF COAL CONTAMINATED SOIL***

**HASNIDAR WAHYUNI
D011 17 1004**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2021**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**PENGARUH MICROBIAALLY INDUCED CALCITE PRECIPITATION (MICP)
TERHADAP PERILAKU KUAT GESER TANAH TERKONTAMINASI BATUBARA**

Disusun dan diajukan oleh:

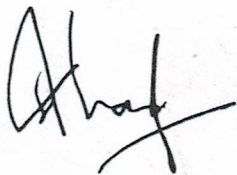
HASNIDAR WAHYUNI

D011 17 1004

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 10 Agustus 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Tri Harianto, ST, MT
NIP. 197203092000031002

Pembimbing Pendamping,



Ariningsih Suprapti, ST, MT
NIP. 197307122000032002

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
Nip. 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hasnidar Wahyuni
NIM : D011 17 1004
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

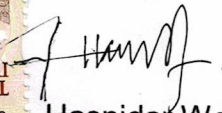
Pengaruh Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) Terhadap Perilaku Kuat Geser Tanah Terkontaminasi Batubara

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Skripsi/Tesis/Disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi/Tesis/Disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 10 Agustus 2021
Yang membuat pernyataan,




Hasnidar Wahyuni
NIM. D011 17 1004

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin. Shalawat dan salam semoga selalu dilimpahkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW beserta para keluarga dan sahabatnya serta para pengikutnya yang setia hingga akhir zaman.

Tugas akhir ini memerlukan proses yang tidak singkat. Perjalanan yang dilalui penulis dalam menyelesaikan skripsi ini tidak lepas dari tangan-tangan berbagai pihak yang senantiasa memberikan bantuan, baik berupa materi maupun dorongan moril. Olehnya itu, ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu ibunda **Nurbaya** dan ayahanda **Mustari** atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun materil karena penulis tidak akan mampu sampai di titik ini jika tanpa nasihat, motivasi dan do'a yang tiada hentinya terpanjatkan kepada Allah SWT.
2. Bapak **Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar
3. Bapak **Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST. M.Eng,** selaku Ketua dan Bapak **Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T,** selaku Sekretaris Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
4. Bapak **Dr. Eng. Tri Harianto, S.T., M.T** selaku dosen pembimbing I, atas segala arahan dan bimbingan serta waktu yang telah diluangkannya dari dan hingga terselesainya tugas akhir ini.
5. Ibu **Ariningsih Suprpti, S.T., M.T** selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal hingga terselesainya penulisan tugas akhir ini.
6. Bapak **Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, M.T** selaku Kepala Laboatorium Mekanika Tanah yang telah memberikan wawasan tambahan selama penulis menjadi asisten laboratorium.
7. Seluruh dosen, staf dan karyawan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar yang telah banyak membantu dalam mendukung penulisan tugas akhir ini.

8. Keluarga Besar **Laboratorium Mekanika Tanah**, Kak Zainal, Kak Thasya, Kak Mute, Kak Kintan, Kak Sri, Kak Gary, Kak Anto, Kak Bowo, Asry, Cindy, Adam, Marchel, Baso, Alwan, Meca, Novi, Feby, Asmud dan Egi.
9. Ibu **Dr. Ir. Hj. Andi Marini Indriani ST. MT** yang telah membimbing dan memberikan pengetahuan kepada penulis.
10. Teman-teman KKD Geoteknik, 2017 yang senantiasa menemani, memberi dukungan dan motivasi, serta bertukar pikiran selama pengerjaan tugas akhir ini.
11. Teman-teman **Pengurus HMS FT-UH Periode 2019** dan **HMS FT-UH** yang telah memberikan pengalaman dan pengetahuan yang berharga kepada penulis selama berada di lingkup Universitas Hasanuddin.
12. Sahabat dari semester dua sampai selesai **OK GRUP** yang telah memberikan semangat dan selalu setia menemani hingga akhir.
13. Saudara-saudariku **PLASTIS** Angkatan 2017 Teknik Sipil dan Teknik .
14. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu dengan semua bantuan, dan dukungan hingga terselesainya skripsi ini.

Tiada imbalan yang dapat diberikan penulis selain memohon kepada Tuhan Yang Maha Kuasa agar melimpahkan berkat-Nya kepada kita semua, Amin. Akhir kata penulis menyadari bahwa di dalam tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan dan memerlukan perbaikan, sehingga dengan segala keterbukaan penulis mengharapkan masukan dari semua pihak. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Gowa, 10 Agustus 2021

Hasnidar Wahyuni

ABSTRAK

Tanah mempunyai peranan yang sangat penting dalam bidang teknik sipil, hal ini disebabkan karena sebagian besar pekerjaan teknik sipil berada di atas permukaan tanah. Karena tanah akan memikul semua beban pada suatu konstruksi yang akan dibangun. Banyaknya masalah yang terjadi dalam bidang konstruksi salah satunya dikarenakan dengan tanah yang bermasalah. Perbaikan tanah perlu dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut agar tanah menjadi stabil dan lebih aman untuk didirikan suatu konstruksi di atasnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kuat geser tanah yang terkontaminasi dengan batubara 5%, 10% ,15% dan menganalisis pengaruh penambahan MICP terhadap kuat geser tanah terkontaminasi batubara pada masa curing 28 hari dan 220 hari. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu uji sifat fisis dan uji sifat mekanis tanah. Variasi campuran dalam penelitian ini bakteri dicampurkan kedalam tanah yang terkontaminasi batubara 5%, 10% dan 15%. Prosentasi bakteri 3%, 4,5% dan 6% serta masa pemeraman 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 220 hari. Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa. Dari hasil penelitian, diperoleh bahwa penambahan variasi campuran Pada tanah terkontaminasi batubara yang distabilisasi MICP terjadi peningkatan kuat geser tanah dari 28 hari ke 220 hari secara signifikan pada konsentrasi 6% bakteri *Bacillus Subtilis* cultur 3 hari. Waktu pemeraman dapat meningkatkan kohesi dan sudut geser dalam tanah. Terjadi peningkatan nilai kohesi 2,7 kali dari tanah asli dan pada sudut geser dalam tanah terjadi peningkatan 1,2 kali dari tanah asli. Pada variasi campuran 15% batubara dan 6% konsentrasi bakteri *Bacillus Subtilis* cultur 3 hari dengan masa pemeraman 220 hari.

Kata Kunci : Batubara, Bakteri, Kohesi, Sudut geser dalam tanah

ABSTRACT

Soil has a very important role in the field of civil engineering, this is because most of the engineering work civilians are above ground level. Because the soil will bear all the burden on a construction to be built. The number of problems that occur in the construction sector is one of them due to problematic soil. Soil improvement needs to be done to overcome these problems so that the soil becomes stable and safer to build a construction on it. This study aims to determine the characteristics of the shear strength of soil contaminated with coal 5%, 10% ,15% and analyze the effect of adding MICP on the shear strength of soil contaminated with coal at curing periods of 28 days and 220 days. The tests carried out in this research are physical properties test and soil mechanical properties test. Variations in the mixture in this study bacteria were mixed into soil contaminated with coal 5%, 10% and 15%. The percentage of bacteria was 3%, 4.5% and 6% and the curing period was 3 days, 7 days, 14 days, 28 days and 220 days. The test was carried out at the Soil Mechanics Laboratory, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University, Gowa. From the results of the study, it was found that the addition of mixed variations in MICP-stabilized coal contaminated soil resulted in a significant increase in soil shear strength from 28 days to 220 days at a concentration of 6% Bacillus Subtilis culture 3 days. The curing time can increase the cohesion and shear angle in the soil. There was an increase in the cohesion value of 2.7 times from the original soil and at the shear angle in the soil an increase of 1.2 times from the original soil. In the mixed variation of 15% coal and 6% concentration of bacteria Bacillus Subtilis culture 3 days with a curing period of 220 days.

Keywords : Coal, Bacteria, Cohesion, Shear angle in soil

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Definisi Tanah	7
B. Stabilisasi Tanah dengan MICP	7
C. Karakteristik Batubara	11
D. Berat Jenis	14
E. Pengujian Geser Langsung	15
F. Pemadatan Tanah.....	17
G. Peneliti Terdahulu	17
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	23
A. Lokasi Penelitian	23
B. Metode Pengumpulan Data.....	23
C. Uji Kultur Bakteri	23
D. Kerangka Alir Penelitian.....	25
E. Rancangan Benda Uji	27
F. Material	29
G. Pengujian Sampel	30
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
A. Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanik Tanah.....	34
B. Karakteristik Fisik dan Mekanis Tanah Pasir Terkontaminasi	

Batubara	41
C. Karakteristik Hasil Pengujian Geser Langsung Terhadap Sampel Tanah Terkontaminasi Batubara dengan Larutan Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	43
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
A. Kesimpulan	59
B. Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram skematis pengendapan kalsium karbonat	8
Gambar 2. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah dan Batu Bara	23
Gambar 3. Kurva Pertumbuhan Bakteri.....	25
Gambar 4. Bagan Alir Penelitian.....	27
Gambar 5. Tanah Asli.....	29
Gambar 6. Pemeraman Benda uji	33
Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Kadar Air dengan Berat Isi Kering Pada Tanah	38
Gambar 8. Grafik hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser	40
Gambar 9. Grafik analisa saringan tanah pasir terkontaminasi batubara (0%, 5%, 10% dan 15%)	42
Gambar 10. Grafik Hubungan curing time terhadap Cohesion dan internal friction angle ($^{\circ}$)	44
Gambar 11. Grafik hubungan normal stress dan shear stress tanah pasir terkontaminasi 5% batubara stabilisasi MICP culture 3 hari.....	46
Gambar 12. Grafik persentase kenaikan dan nilai kohesi, sudut geser dalam tanah terkontaminasi batubara 5% stabilisasi MICP culture 3 hari.....	48
Gambar 13. Grafik Hubungan curing time terhadap Cohesion dan internal friction angle ($^{\circ}$)	48
Gambar 14. Grafik hubungan normal stress dan shear stress tanah pasir terkontaminasi 10% batubara stabilisasi MICP culture 3 hari.....	50
Gambar 15. Grafik persentase kenaikan dan nilai kohesi, sudut geser dalam tanah terkontaminasi batubara 10% stabilisasi MICP culture 3 hari.....	51
Gambar 16. Grafik Hubungan curing time terhadap Cohesion dan internal friction angle ($^{\circ}$)	53
Gambar 17. Grafik hubungan normal stress dan shear stress tanah pasir terkontaminasi 15% batubara stabilisasi MICP culture 3 hari.....	54
Gambar 18. Grafik persentase kenaikan dan nilai kohesi, sudut geser dalam tanah terkontaminasi batubara 15% stabilisasi MICP culture 3 hari.....	56
Gambar 19. Grafik parameter kohesi dan sudut geser dalam tanah pasir terkontaminasi 5%, 10% dan 15% batubara stabilisasi MICP 6% culture 3 hari	57
Gambar 20. Grafik persentase kenaikan nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah terkontaminasi 5%, 10% dan 15% batubara terstabilisasi MICP 6% culture 3 hari.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Berat Jenis Tanah (specific gravity)	15
Tabel 2. Persiapan Benda Uji Sebelum Proses Bioremediasi.....	28
Tabel 3. Standar Pengujian Sifat Fisis Tanah.....	31
Tabel 4. Standar Metode Pengujian Uji Sifat Mekanis Tanah.....	33
Tabel 5. Hasil pemeriksaan Analisa Saringan	35
Tabel 6. Klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO.....	37
Tabel 7. Rekapitulasi hasil pengujian Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis	40
Tabel 8. Rekapitulasi hasil pemeriksaan karakteristik fisik tanah pasir terkontaminasi batubara.....	41
Tabel 9. Rekapitulasi hasil pemeriksaan karakteristik mekanis tanah pasir terkontaminasi batubara.....	42
Tabel 10. Perubahan parameter kohesi dan sudut geser dalam tanah pasir terkontaminasi 5% batubara stabilisasi MICP Bacillus subtilis culture 3 hari	44
Tabel 11. Hubungan normal stress dan shear stress tanah pasir terkontaminasi 5% batubara stabilisasi MICP culture 3 hari.....	45
Tabel 12. Perubahan parameter kohesi dan sudut geser dalam tanah pasir terkontaminasi 10% batubara stabilisasi MICP Bacillus subtilis culture 3 hari	48
Tabel 13. Hubungan normal stress dan shear stress tanah pasir terkontaminasi 10% batubara stabilisasi MICP culture 3 hari.....	49
Tabel 14. Perubahan parameter kohesi dan sudut geser dalam tanah pasir terkontaminasi 5% batubara stabilisasi MICP Bacillus subtilis culture 3 hari	52
Tabel 15. Hubungan normal stress dan shear stress tanah pasir terkontaminasi 15% batubara stabilisasi MICP culture 3 hari.....	53
Tabel 16. Parameter kohesi dan sudut geser dalam tanah pasir terkontaminasi 5%, 10% dan 15% batubara stabilisasi 6% MICP culture 3 hari	57

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah merupakan komponen penting dalam pekerjaan yang berhubungan dengan suatu konstruksi atau pembangunan. Tanah yang akan digunakan untuk pembangunan harus melalui proses pengendalian mutu. Karena tanah akan memikul semua beban pada suatu konstruksi yang akan dibangun. Banyaknya masalah yang terjadi dalam bidang konstruksi salah satunya dikarenakan dengan tanah yang bermasalah (*problematic soil*).

Perbaikan tanah perlu dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut agar tanah menjadi stabil dan lebih aman untuk didirikan suatu konstruksi di atasnya. Terdapat beberapa metode perbaikan tanah, antara lain mencampur tanah dengan material lain (kimiawi), perbaikan tanah secara mekanis, metode perbaikan tanah dengan cara konsolidasi (*vertical drain*), metode geotextile dan lain sebagainya.

Perkembangan dalam bidang konstruksi khususnya untuk stabilisasi tanah atau dapat dikatakan perbaikan tanah berkembang dengan munculnya beberapa ide yang inovatif, terutama pada metode dan bahan utama yang digunakan. Dilihat dari segi bahan utama yang digunakan kebanyakan menggunakan bahan yang dapat mencemari lingkungan. Dengan adanya permasalahan tersebut dibangun sebuah ide perbaikan tanah yang ramah lingkungan. Salah satunya dengan metode stabilisasi

dengan menggunakan mikroorganisme *Bacillus Subtilis*. Beberapa penelitian telah memberi peluang untuk memanfaatkan mikroba untuk menghasilkan senyawa metabolit sekunder penguat struktur partikel tanah seperti enzim urease. Bakteri penghasil enzim ini mampu mendorong pembentukan mineral kalsit yang berfungsi sebagai perekat antar partikel tanah.

Di pihak lain dalam proses perbaikan sifat tanah yang dimediasi oleh mikroba di bidang konstruksi bangunan infrastruktur lebih menekankan pada fenomena pengendapan kalsium (Ca). Perbaikan tanah yang dimediasi secara hayati tergantung pada proses-proses geo-kimia yang difasilitasi oleh aktivitas biologi. Proses ini berlangsung di dalam ruang pori dari matriks tanah dan pembentukan endapan mineral terkait yang mengubah sifat fisik dan kimia tanah akibat sementasi. Peningkatan pengendapan kalsit yang dikendalikan oleh mikroba ureolitik dalam penutupan ruang pori merupakan proses utama dalam fenomena ini. Hidrolisis urea oleh mikroba memunculkan ion karbonat di tempat (*in-situ*) yang kemudian bereaksi dengan kalsium membentuk endapan mineral karbonat.

Dari proses ini mediasi mikroba mengubah sifat mekanis tanah, dalam hal ini penurunan permeabilitas (*permeability*), kemampuan tekan (*compressability*), dan tanggap volume (*volumetric response*) and peningkatan daya kekakuan (*stiffness*) dan daya geser (*shear strength*). Aktivitas metabolisme mikroba mempengaruhi saat, laju, dan lokasi pengendapan kalsium karbonat. Di sisi lain, reaksi kimia yang terjadi di

dalam ruang pori tanah akan dipengaruhi oleh pH, konsentrasi bahan terlarut, dan daya tahan (resistivity) yang akan menghasilkan pengendapan secara an-organik. Proses selanjutnya adalah terjadinya biomineralisasi yang merupakan bagian proses dari pengendapan kalsit yang dikendalikan oleh enzim ureolitik (DeJong, 2009).

Berdasarkan uraian tersebut, maka penulis merasa perlu melakukan penelitian tentang pemanfaatan mikroorganisme sebagai perbaikan tanah dengan judul **“Pengaruh Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) Terhadap Perilaku Kuat Geser Tanah Terkontaminasi Batubara”**.

B. Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik kuat geser tanah yang terkontaminasi batubara 5%, 10%, dan 15%?
2. Bagaimana pengaruh penambahan MICP terhadap kuat geser tanah terkontaminasi batubara masa curing 28 hari ?
3. Bagaimana pengaruh penambahan MICP terhadap kuat geser tanah terkontaminasi batubara masa curing 220 hari ?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Untuk menganalisis karakteristik kuat geser tanah terkontaminasi batubara 5%, 10%, dan 15%.
2. Untuk menganalisis pengaruh penambahan MICP terhadap kuat geser tanah terkontaminasi batubara pada masa curing 28 hari.
3. Untuk menganalisis pengaruh penambahan MICP terhadap kuat geser tanah terkontaminasi batubara pada masa curing 220 hari.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium, bukan pada skala lapangan.
2. Penelitian ini hanya meneliti sifat fisis dan mekanis, dan tidak meneliti unsur kimia tanah.
3. Bakteri yang digunakan culture 3 hari dimana bakteri dalam fase stasioner.
4. Sifat-sifat fisis dan mekanis tanah yang dianalisis adalah
 - a. Pengujian Berat Jenis
 - b. Pengujian Analisa Saringan
 - c. Pengujian Pematatan (Kompaksi)
 - d. Pengujian *Direct Shear*
5. Dalam study ini yang dipelajari adalah perilaku material terhadap kohesi dan sudut geser dalam tanah.
6. Uji mekanis yang dilakukan adalah Pengujian *Direct Shear*

berdasarkan metode SNI 3420-2016.

E. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Pendahuluan memuat suatu gambaran secara singkat dan jelas tentang latar belakang mengapa penelitian ini perlu dilaksanakan. Dalam pendahuluan ini juga memuat rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir ini.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan mengenai konsep teori yang relevan dan memberikan gambaran mengenai metode pemecahan masalah yang akan digunakan pada penelitian ini.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahap demi tahap prosedur pelaksanaan penelitian serta cara pengolahan data hasil penelitian. Termasuk juga kerangka alur penelitian.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil serta pembahasan dari penelitian.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan penutup dari keseluruhan penulisan tugas akhir yang berisi tentang kesimpulan yang disertai dengan saran-saran mengenai keseluruhan penelitian maupun untuk penelitian yang akan datang.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

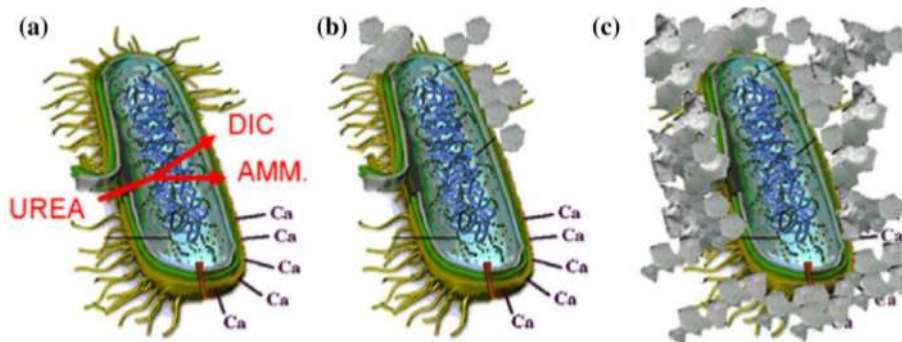
A. Definisi Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Ukuran dari partikel tanah adalah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (gravel), pasir (sand), lanau (silt), atau lempung (clay), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut (Das,1995).

B. Stabilisasi Tanah dengan MICP

Teknologi stabilisasi tanah berdasarkan pengendapan karbonat yang diinduksi oleh mikroba (MICP) telah mendapatkan minat luas dalam rekayasa geoteknik, MICP telah terbukti mampu meningkatkan kekuatan tanah, kekakuan, ketahanan likuifaksi, ketahanan erosi, sekaligus mempertahankan permeabilitas yang baik secara bersamaan. Teknologi MICP memanfaatkan beberapa strain bakteri di alam yang dapat menyimpan kalsium karbonat untuk mengisi dan memperbaiki retakan pada bahan batu dan beton, mencegah kebocoran bangunan, menghindari likuifaksi tanah berpasir, dan mencegah erosi tanah, kegagalan lereng dan jenis bencana lainnya (Chu dkk. 2013 ; Dejong dkk. 2013 ; Liu et al. 2019).

Mineralisasi umum mikroba termasuk bakteri denitrifikasi, bakteri pereduksi sulfat, bakteri pengoksidasi, dan bakteri penghasil urease (Li et al.2011). Bakteri penghasil urease telah menarik perhatian luas dalam rekayasa geoteknik karena biayanya rendah, efisiensi yang tinggi dalam memicu sementasi, proses reaksi yang dapat dikontrol, serta proses isolasi dan panen langsung. Mekanisme MICP berbasis ureolisis adalah bakteri penghasil urease dapat menyerap Ca^{2+} pada permukaan sel dari lingkungan sekitar, dan pada saat yang sama, urea dapat diuraikan menjadi CO_3^{2-} , HCO_3^- , NH_4^+ , oleh urease disekresikan dari sel. Saat Ca^{2+} mengikat CO_3^{2-} , sejumlah besar kristal kalsium karbonat dapat dibentuk di permukaan sel yang dapat mengikat partikel granular dan mengisi pori-pori internal dan retakan geomaterial (Chu et al. 2012 ; Muynck dkk.2010).



Gambar 1. Diagram skematis pengendapan kalsium karbonat

Pada **Gambar 1**. Ditunjukkan diagram skematis pengendapan kalsium yang diinduksi oleh bakteri penghasil urease dan menghasilkan *Sporosarcina* dapat menghasilkan kalsium karbonat lebih cepat dan dengan hasil tinggi. Oleh karena itu, digunakan MICP untuk stabilisasi peningkat geometerial yang lemah (Dejong dan Frizgen 2006).

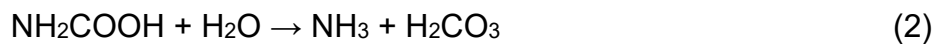
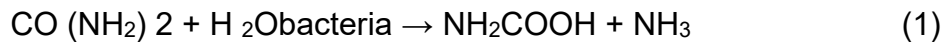
Selain menghasilkan enzim-enzim untuk memodifikasi polutan beracun jenis mikroorganism juga menghasilkan mineral-mineral seperti kalsium karbonat yang dapat dipergunakan untuk memperbaiki struktur tanah atau dikenal dengan biomineralisasi. Microbially induced calcium carbonate precipitation (MICCP), atau pengendapan kalsium karbonat oleh mikroba paling banyak diteliti karena menguntungkan dalam bidang biologi, geoteknologi, paleobiologi hingga teknik sipil, (Dhami 2017).

Menurut Hammes dan Verstraete, 2002, Kalsium karbonat, CaCO_3 , yang diinduksi dari mikroba dipengaruhi oleh 4 faktor yaitu :

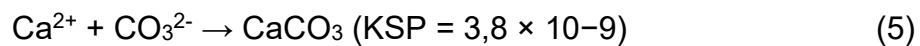
1. Konsentrasi kalsium
2. Konsentrasi karbon anorganik terlarut (DIC)
3. pH dan
4. ketersediaan nukleasi.

Produksi kalsium karbonat melalui hidrolisis urea oleh bakteri ureolitik adalah mekanisme MICCP yang paling mudah dikontrol dan berpotensi menghasilkan sejumlah besar kalsium karbonat dalam waktu singkat. Selama aktivitas urease mikroba, 1 mol urea dihidrolisis secara intraseluler menjadi 1 mol amonia dan 1 mol karbonat (Persamaan 1), yang

secara hidrolisis spontan membentuk 1 mol amonia dan asam karbonat (Persamaan 2) sebagai berikut:



Produk-produk ini seimbang dalam air untuk membentuk bikarbonat, dimana 1 mol ion amonium dan hidroksida akan menyebabkan kenaikan pH,



KSP adalah produk kelarutan Pada tanah umumnya merupakan lingkungan asam, alkali sangat jarang namun ada yang melaporkan pada pH 11. Penyesuaian pH dr 4.5 menjadi 7.4 dengan penambahan kapur meningkatkan penguraian minyak menjadi dua kali. Penyesuaian pH dapat mengubah kelarutan, bioavailabilitas, bentuk senyawa kimia polutan, dan makro & mikro nutrien. Ketersediaan Ca, Mg, Na, K, NH_4^+ , N dan P akan turun, sedangkan penurunan pH menurunkan ketersediaan NO_3^- dan Cl^- . Cendawan yang lebih dikenal tahan terhadap asam akan lebih berperan dibandingkan bakteri asam.

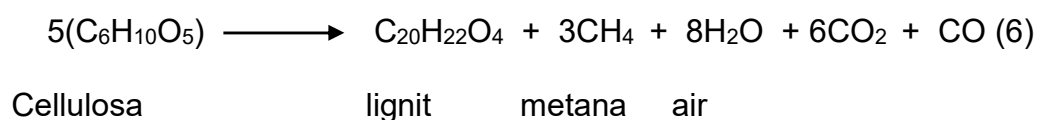
Kadar H_2O dan karakter geologi. Kadar air dan bentuk poros tanah berpengaruh pada bioremediasi. Nilai aktivitas air dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroba berkisar 0.9-1.0, umumnya kadar air 50-60%. Bioremediasi lebih berhasil pada tanah yang poros. Keberadaan zat nutrisi.

Baik pada in situ & ex situ. Bila tanah yang dipergunakan bekas pertanian mungkin tak perlu ditambah zat nutrisi. Untuk hidrokarbon ditambah nitrogen & fosfor, dapat pula dengan makro & mikro nutrisi yang lain. Tetapi kinerja mekanik tanah yang distabilkan MICP sangat tergantung pada struktur mikro kristal CaCO_3 yang diendapkan, yang dipengaruhi oleh berbagai parameter kimia, lingkungan, dan fisik, (Mujah 2018).

C. Karakteristik Batubara

Batubara adalah salah satu bahan bakar fosil yang berasal dari batuan sedimen yang dapat terbakar dan terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon (C), hidrogen (H) dan oksigen (O) (Wikipedia, 2016).

Menurut Sukandarrumidi (2006) reaksi pembentukan batubara dapat diperlihatkan sebagai berikut :



Pembentukan batubara memerlukan kondisi-kondisi tertentu dan hanya terjadi pada era-era tertentu sepanjang sejarah geologi. Zaman Karbon, kira-kira 340 juta tahun yang lalu adalah masa pembentukan batubara yang paling produktif dimana hampir seluruh deposit batubara (*black coal*) yang ekonomis di belahan bumi bagian utara terbentuk.

Terdapat dua teori yang menjelaskan proses pembentukan batubara yaitu :

1. Teori *In situ*, teori ini mengatakan bahwa bahan-bahan pembentukan lapisan batubara, terbentuknya di tempat dimana tumbuh-tumbuhan asal batubara itu berada. Dengan demikian segera setelah tumbuhan tersebut mati, belum mengalami proses transportasi, tertutup oleh lapisan sedimen dan mengalami proses *coalificatio*. Jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran yang luas dan merata dengan kualitas yang baik, karena abunya relatif kecil. Batubara yang terbentuk menurut teori *In situ* terdapat di Muara Enim, Sumatera Selatan.
2. Teori *Drift*, Teori ini menyebutkan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara terjadinya di tempat yang berbeda dengan tempat asalnya. Dengan demikian tumbuhan yang telah mati terbawa oleh arus air dan berakumulasi di suatu tempat. Batubara yang terbentuk menurut Teori ini terdapat di Mahakam Purba, Kalimantan Timur.

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batubara umumnya dibagi dalam beberapa kelas yaitu:

- a. Lignit merupakan batubara peringkat rendah dimana kedudukan lignit dalam tingkat klasifikasi batubara berada pada daerah transisi dari jenis gambut ke batubara. Lignit adalah batubara yang berwarna hitam dan memiliki tekstur seperti kayu. Sifat batubara jenis lignit : Warna hitam, sangat rapuh, Nilai kalor rendah, kandungan karbon sedikit, Kandungan air tinggi, Kandungan abu banyak dan Kandungan sulfur banyak (Sukandarrumidi, 2006)
- b. Sub-Bituminus Batubara jenis ini merupakan peralihan antara jenis lignit dan bituminus. Batubara jenis ini memiliki warna hitam yang mempunyai kandungan air, zat terbang, dan oksigen yang tinggi serta memiliki kandungan karbon yang rendah. Sifat-sifat tersebut menunjukkan bahwa batubara jenis sub-bituminus ini merupakan batubara tingkat rendah.
- c. Bituminus Batubara jenis ini merupakan batubara yang berwarna hitam dengan tekstur ikatan yang baik. Sifat batubara jenis bituminus: Warna hitam mengkilat, kurang kompak, Nilai kalor tinggi, kandungan karbon relatif tinggi, Kandungan air sedikit, Kandungan abu sedikit dan Kandungan sulfur sedikit.

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah merupakan komponen penting dalam pekerjaan yang berhubungan dengan suatu konstruksi atau pembangunan. Tanah yang akan digunakan untuk pembangunan harus melalui proses pengendalian mutu. Karena tanah akan memikul semua beban pada suatu konstruksi yang akan dibangun. Banyaknya masalah yang terjadi dalam bidang konstruksi salah satunya dikarenakan dengan tanah yang bermasalah (*problematic soil*).

Perbaikan tanah perlu dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut agar tanah menjadi stabil dan lebih aman untuk didirikan suatu konstruksi di atasnya. Terdapat beberapa metode perbaikan tanah, antara lain mencampur tanah dengan material lain (kimiawi), perbaikan tanah secara mekanis, metode perbaikan tanah dengan cara konsolidasi (*vertical drain*), metode geotextile dan lain sebagainya.

Perkembangan dalam bidang konstruksi khususnya untuk stabilisasi tanah atau dapat dikatakan perbaikan tanah berkembang dengan munculnya beberapa ide yang inovatif, terutama pada metode dan bahan utama yang digunakan. Dilihat dari segi bahan utama yang digunakan kebanyakan menggunakan bahan yang dapat mencemari lingkungan. Dengan adanya permasalahan tersebut dibangun sebuah ide perbaikan tanah yang ramah lingkungan. Salah satunya dengan metode stabilisasi

dengan menggunakan mikroorganisme *Bacillus Subtilis*. Beberapa penelitian telah memberi peluang untuk memanfaatkan mikroba untuk menghasilkan senyawa metabolit sekunder penguat struktur partikel tanah seperti enzim urease. Bakteri penghasil enzim ini mampu mendorong pembentukan mineral kalsit yang berfungsi sebagai perekat antar partikel tanah.

Di pihak lain dalam proses perbaikan sifat tanah yang dimediasi oleh mikroba di bidang konstruksi bangunan infrastruktur lebih menekankan pada fenomena pengendapan kalsium (Ca). Perbaikan tanah yang dimediasi secara hayati tergantung pada proses-proses geo-kimia yang difasilitasi oleh aktivitas biologi. Proses ini berlangsung di dalam ruang pori dari matriks tanah dan pembentukan endapan mineral terkait yang mengubah sifat fisik dan kimia tanah akibat sementasi. Peningkatan pengendapan kalsit yang dikendalikan oleh mikroba ureolitik dalam penutupan ruang pori merupakan proses utama dalam fenomena ini. Hidrolisis urea oleh mikroba memunculkan ion karbonat di tempat (*in-situ*) yang kemudian bereaksi dengan kalsium membentuk endapan mineral karbonat.

Dari proses ini mediasi mikroba mengubah sifat mekanis tanah, dalam hal ini penurunan permeabilitas (*permeability*), kemampuan tekan (*compressability*), dan tanggap volume (*volumetric response*) and peningkatan daya kekakuan (*stiffness*) dan daya geser (*shear strength*). Aktivitas metabolisme mikroba mempengaruhi saat, laju, dan lokasi pengendapan kalsium karbonat. Di sisi lain, reaksi kimia yang terjadi di

dalam ruang pori tanah akan dipengaruhi oleh pH, konsentrasi bahan terlarut, dan daya tahan (resistivity) yang akan menghasilkan pengendapan secara an-organik. Proses selanjutnya adalah terjadinya biomineralisasi yang merupakan bagian proses dari pengendapan kalsit yang dikendalikan oleh enzim ureolitik (DeJong, 2009).

Berdasarkan uraian tersebut, maka penulis merasa perlu melakukan penelitian tentang pemanfaatan mikroorganisme sebagai perbaikan tanah dengan judul **“Pengaruh Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) Terhadap Perilaku Kuat Geser Tanah Terkontaminasi Batubara”**.

B. Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik kuat geser tanah yang terkontaminasi batubara 5%, 10%, dan 15%?
2. Bagaimana pengaruh penambahan MICP terhadap kuat geser tanah terkontaminasi batubara masa curing 28 hari ?
3. Bagaimana pengaruh penambahan MICP terhadap kuat geser tanah terkontaminasi batubara masa curing 220 hari ?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Untuk menganalisis karakteristik kuat geser tanah terkontaminasi batubara 5%, 10%, dan 15%.
2. Untuk menganalisis pengaruh penambahan MICP terhadap kuat geser tanah terkontaminasi batubara pada masa curing 28 hari.
3. Untuk menganalisis pengaruh penambahan MICP terhadap kuat geser tanah terkontaminasi batubara pada masa curing 220 hari.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium, bukan pada skala lapangan.
2. Penelitian ini hanya meneliti sifat fisis dan mekanis, dan tidak meneliti unsur kimia tanah.
3. Bakteri yang digunakan culture 3 hari dimana bakteri dalam fase stasioner.
4. Sifat-sifat fisis dan mekanis tanah yang dianalisis adalah
 - a. Pengujian Berat Jenis
 - b. Pengujian Analisa Saringan
 - c. Pengujian Pematatan (Kompaksi)
 - d. Pengujian *Direct Shear*
5. Dalam study ini yang dipelajari adalah perilaku material terhadap kohesi dan sudut geser dalam tanah.
6. Uji mekanis yang dilakukan adalah Pengujian *Direct Shear*

berdasarkan metode SNI 3420-2016.

E. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Pendahuluan memuat suatu gambaran secara singkat dan jelas tentang latar belakang mengapa penelitian ini perlu dilaksanakan. Dalam pendahuluan ini juga memuat rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir ini.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan mengenai konsep teori yang relevan dan memberikan gambaran mengenai metode pemecahan masalah yang akan digunakan pada penelitian ini.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahap demi tahap prosedur pelaksanaan penelitian serta cara pengolahan data hasil penelitian. Termasuk juga kerangka alur penelitian.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil serta pembahasan dari penelitian.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan penutup dari keseluruhan penulisan tugas akhir yang berisi tentang kesimpulan yang disertai dengan saran-saran mengenai keseluruhan penelitian maupun untuk penelitian yang akan datang.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

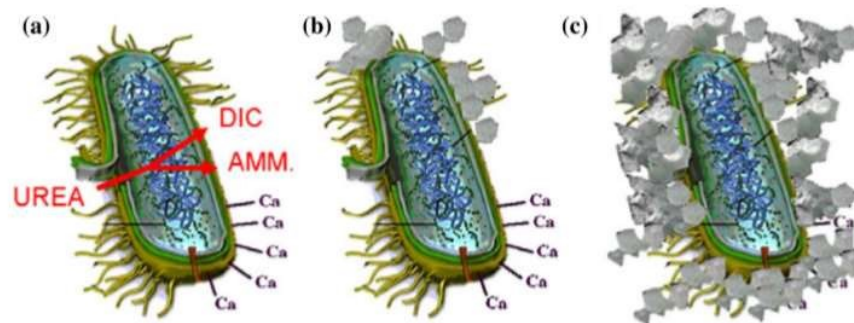
A. Definisi Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Ukuran dari partikel tanah adalah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (gravel), pasir (sand), lanau (silt), atau lempung (clay), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut (Das,1995).

B. Stabilisasi Tanah dengan MICP

Teknologi stabilisasi tanah berdasarkan pengendapan karbonat yang diinduksi oleh mikroba (MICP) telah mendapatkan minat luas dalam rekayasa geoteknik, MICP telah terbukti mampu meningkatkan kekuatan tanah, kekakuan, ketahanan likuifaksi, ketahanan erosi, sekaligus mempertahankan permeabilitas yang baik secara bersamaan. Teknologi MICP memanfaatkan beberapa strain bakteri di alam yang dapat menyimpan kalsium karbonat untuk mengisi dan memperbaiki retakan pada bahan batu dan beton, mencegah kebocoran bangunan, menghindari likuifaksi tanah berpasir, dan mencegah erosi tanah, kegagalan lereng dan jenis bencana lainnya (Chu dkk. 2013 ; Dejong dkk. 2013 ; Liu et al. 2019).

Mineralisasi umum mikroba termasuk bakteri denitrifikasi, bakteri pereduksi sulfat, bakteri pengoksida, dan bakteri penghasil urease (Li et al.2011). Bakteri penghasil urease telah menarik perhatian luas dalam rekayasa geoteknik karena biayanya rendah, efisiensi yang tinggi dalam memicu sementasi, proses reaksi yang dapat dikontrol, serta proses isolasi dan panen langsung. Mekanisme MICP berbasis ureolisis adalah bakteri penghasil urease dapat menyerap Ca^{2+} pada permukaan sel dari lingkungan sekitar, dan pada saat yang sama, urea dapat diuraikan menjadi CO_3^{2-} , HCO_3^- , NH_4^+ , oleh urease disekresikan dari sel. Saat Ca^{2+} mengikat CO_3^{2-} , sejumlah besar kristal kalsium karbonat dapat dibentuk di permukaan sel yang dapat mengikat partikel granular dan mengisi pori-pori internal dan retakan geomaterial (Chu et al. 2012 ; Muynck dkk.2010).



Gambar 1. Diagram skematis pengendapan kalsium karbonat

Pada **Gambar 1**. Ditunjukkan diagram skematis pengendapan kalsium yang diinduksi oleh bakteri penghasil urease dan menghasilkan *Sporosarcina* dapat menghasilkan kalsium karbonat lebih cepat dan dengan hasil tinggi. Oleh karena itu, digunakan MICP untuk stabilisasi peningkatan geometerial yang lemah (Dejong dan Frizgen 2006).

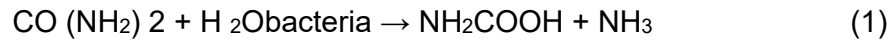
Selain menghasilkan enzim-enzim untuk memodifikasi polutan beracun jenis mikroorganism juga menghasilkan mineral-mineral seperti kalsium karbonat yang dapat dipergunakan untuk memperbaiki struktur tanah atau dikenal dengan biomineralisasi. Microbially *induced calcium carbonate precipitation* (MICCP), atau pengendapan kalsium karbonat oleh mikroba paling banyak diteliti karena menguntungkan dalam bidang biologi, geoteknologi, paleobiologi hingga teknik sipil, (Dhami 2017).

Menurut Hammes dan Verstraete, 2002, Kalsium karbonat, CaCO_3 , yang diinduksi dari mikroba dipengaruhi oleh 4 faktor yaitu :

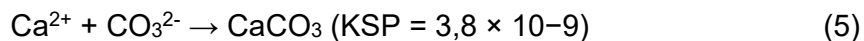
1. Konsentrasi kalsium
2. Konsentrasi karbon anorganik terlarut (DIC)
3. pH dan
4. ketersediaan nukleasi.

Produksi kalsium karbonat melalui hidrolisis urea oleh bakteri ureolitik adalah mekanisme MICCP yang paling mudah dikontrol dan berpotensi menghasilkan sejumlah besar kalsium karbonat dalam waktu singkat. Selama aktivitas urease mikroba, 1 mol urea dihidrolisis secara intraseluler menjadi 1 mol amonia dan 1 mol karbonat (Persamaan 1), yang

secara hidrolisis spontan membentuk 1 mol amonia dan asam karbonat (Persamaan 2) sebagai berikut:



Produk-produk ini seimbang dalam air untuk membentuk bikarbonat, dimana 1 mol ion amonium dan hidroksida akan menyebabkan kenaikan pH,



KSP adalah produk kelarutan Pada tanah umumnya merupakan lingkungan asam, alkali sangat jarang namun ada yang melaporkan pada pH 11. Penyesuaian pH dr 4.5 menjadi 7.4 dengan penambahan kapur meningkatkan penguraian minyak menjadi dua kali. Penyesuaian pH dapat mengubah kelarutan, bioavailabilitas, bentuk senyawa kimia polutan, dan makro & mikro nutrien. Ketersediaan Ca, Mg, Na, K, NH_4^+ , N dan P akan turun, sedangkan penurunan pH menurunkan ketersediaan NO_3^- dan Cl^- . Cendawan yang lebih dikenal tahan terhadap asam akan lebih berperan dibandingkan bakteri asam.

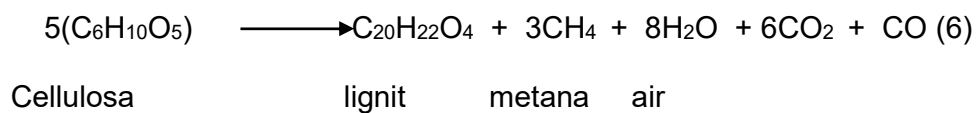
Kadar H_2O dan karakter geologi. Kadar air dan bentuk poros tanah berpengaruh pada bioremediasi. Nilai aktivitas air dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroba berkisar 0.9-1.0, umumnya kadar air 50-60%. Bioremediasi lebih berhasil pada tanah yang poros. Keberadaan zat nutrisi.

Baik pada in situ & ex situ. Bila tanah yang dipergunakan bekas pertanian mungkin tak perlu ditambah zat nutrisi. Untuk hidrokarbon ditambah nitrogen & fosfor, dapat pula dengan makro & mikro nutrisi yang lain. Tetapi kinerja mekanik tanah yang distabilkan MICP sangat tergantung pada struktur mikro kristal CaCO_3 yang diendapkan, yang dipengaruhi oleh berbagai parameter kimia, lingkungan, dan fisik, (Mujah 2018).

C. Karakteristik Batubara

Batubara adalah salah satu bahan bakar fosil yang berasal dari batuan sedimen yang dapat terbakar dan terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon (C), hidrogen (H) dan oksigen (O) (Wikipedia, 2016).

Menurut Sukandarrumidi (2006) reaksi pembentukan batubara dapat diperlihatkan sebagai berikut :



Pembentukan batubara memerlukan kondisi-kondisi tertentu dan hanya terjadi pada era-era tertentu sepanjang sejarah geologi. Zaman Karbon, kira-kira 340 juta tahun yang lalu adalah masa pembentukan batubara yang paling produktif dimana hampir seluruh deposit batubara (*black coal*) yang ekonomis di belahan bumi bagian utara terbentuk.

Terdapat dua teori yang menjelaskan proses pembentukan batubara yaitu :

1. Teori *In situ*, teori ini mengatakan bahwa bahan-bahan pembentukan lapisan batubara, terbentuknya di tempat dimana tumbuh-tumbuhan asal batubara itu berada. Dengan demikian segera setelah tumbuhan tersebut mati, belum mengalami proses transportasi, tertutup oleh lapisan sedimen dan mengalami proses *coalificatio*. Jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran yang luas dan merata dengan kualitas yang baik, karena abunya relatif kecil. Batubara yang terbentuk menurut teori *In situ* terdapat di Muara Enim, Sumatera Selatan.
2. Teori *Drift*, Teori ini menyebutkan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara terjadinya di tempat yang berbeda dengan tempat asalnya. Dengan demikian tumbuhan yang telah mati terbawa oleh arus air dan berakumulasi di suatu tempat. Batubara yang terbentuk menurut Teori ini terdapat di Mahakam Purba, Kalimantan Timur.

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batubara umumnya dibagi dalam beberapa kelas yaitu:

- a. Lignit merupakan batubara peringkat rendah dimana kedudukan lignit dalam tingkat klasifikasi batubara berada pada daerah transisi dari jenis gambut ke batubara. Lignit adalah batubara yang berwarna hitam dan memiliki tekstur seperti kayu. Sifat batubara jenis lignit : Warna hitam, sangat rapuh, Nilai kalor rendah, kandungan karbon sedikit, Kandungan air tinggi, Kandungan abu banyak dan Kandungan sulfur banyak (Sukandarrumidi, 2006)
- b. Sub-Bituminus Batubara jenis ini merupakan peralihan antara jenis lignit dan bituminus. Batubara jenis ini memiliki warna hitam yang mempunyai kandungan air, zat terbang, dan oksigen yang tinggi serta memiliki kandungan karbon yang rendah. Sifat-sifat tersebut menunjukkan bahwa batubara jenis sub-bituminus ini merupakan batubara tingkat rendah.
- c. Bituminus Batubara jenis ini merupakan batubara yang berwarna hitam dengan tekstur ikatan yang baik. Sifat batubara jenis bituminus: Warna hitam mengkilat, kurang kompak, Nilai kalor tinggi, kandungan karbon relatif tinggi, Kandungan air sedikit, Kandungan abu sedikit dan Kandungan sulfur sedikit.

d. Antrasit merupakan batubara paling tinggi tingkatan yang mempunyai kandungan karbon lebih dari 93% dan kandungan zat terbang kurang dari 10%. Antrasit umumnya lebih keras, kuat dan seringkali berwarna hitam mengkilat seperti kaca (Yunita, 2000). Sifat batubara jenis antrasit : Warna hitam sangat mengkilat, kompak, Nilai kalor sangat tinggi, kandungan karbon sangat tinggi, Kandungan air sangat sedikit, Kandungan abu sangat sedikit dan Kandungan sulfur sangat sedikit.

D. Berat Jenis

Berat jenis adalah perbandingan antara berat butir-butir tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama dan temperature tertentu. pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis dari sampel yang lolos saringan no.40 dengan menggunakan piknometer. Berat jenis butiran tanah atau *specific gravity* sebagai berikut:

$$G_s = \frac{W_s}{(W_1 + W_s) - W_2} \quad (7)$$

dimana :

G_s = Berat jenis tanah (gram)

W_s = Berat tanah kering (gram)

W_1 = Berat piknometer dan air suling (gram)

W_2 = Berat piknometer, tanah, dan air suling (gram)

Secara tipikal, berat jenis berbagai jenis tanah berkisar antara 2.65 sampai 2.75. spesifikasi berat jenis tanah seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Berat Jenis Tanah (specific gravity)

Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
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

(Sumber: Hardiyatmo, 2017)

E. Pengujian geser langsung

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis-analisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng, dan gaya dorong dinding penahan tanah. Menurut teori Mohr (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan keruntuhan suatu bahan terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan menurut persamaan:

$$\tau = f(\sigma) \quad (8)$$

τ = tegangan geser (kN/m²)

σ = tegangan normal (kN/m²)

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Bila tanah mengalami pembebanan akan di tahan oleh :

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

Coulomb (1776) mendefinisikan :

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (9)$$

dengan :

τ = Kuat geser tanah (kN/m²)

σ = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)

c = Kohesi tanah (kN/m²)

φ = Sudut gesek dalam tanah (derajat)

Uji geser langsung merupakan pengujian yang sederhana dan langsung. Pengujian dilakukan dengan menempatkan contoh tanah ke dalam kotak geser. Kotak ini terbelah, dengan setengah bagian yang bawah merupakan bagian yang tetap dan bagian atas mudah bertranslasi. Kotak ini tersedia dalam beberapa ukuran, tetapi ukuran biasanya mempunyai diameter 6 cm. Metode pengujian pengukuran kuat geser langsung tanah tidak terkonsolidasi dan tidak terdrainase, sehingga diperoleh hasil pengujian yang teliti dan akurat.

F. Pemadatan Tanah

Pemadatan tanah (*compaction*) adalah proses naiknya kerapatan isi tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara, tetapi tidak terjadi perubahan volume air yang cukup berarti pada tanah (Craigh, 1991). Pemadatan tanah dapat diberi batasan sebagai perubahan karena tanah diberi tekanan (*compression*), untuk setiap daya pemadatan tertentu kepadatan yang tercapai tergantung pada kadar airnya (Islami dan Utomo, 1995).

Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan kepada suatu tanah yang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) pada partikel-partikel tanah. Karena adanya air, partikel-partikel tanah tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat. Bila kadar airnya ditingkatkan terus secara bertahap pada usaha pemadatan yang sama, maka berat dari jumlah pahan padat dalam tanah persatuan volume juga meningkat secara bertahap pula. Kadar air di mana harga berat volume kering maksimum tanah dicapai disebut kadar air optimum (Das, 1989).

G. Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian terdahulu terkait dengan topik rencana penelitian ini diantaranya :

1. Imelda Vera Tumanan (Tumanan, 2014) : Studi Karakteristik Mekanik Tanah Organik Terstabilisasi Bakteri *Bacillus Subtilis*. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh nilai parameter kuat geser tanah dan komposisi optimum dari pencampuran larutan *Bacillus Subtilis* pada tanah organik terstabilisasi. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian fisis dan mekanis tanah. Variasi jumlah larutan yang digunakan adalah 2cc, 4cc, dan 6cc dengan waktu pemeraman dari 7 hari, 14 hari hingga 28 hari. Hasil analisis yang diperoleh ialah nilai parameter kuat geser tanah yang pada tanah organik yang dicampur dengan *Bacillus Subtilis* mengalami peningkatan secara kontinu. Komposisi optimum yang diperoleh untuk menstabilkan tanah organik dengan *Bacillus Subtilis* ialah pada variasi jumlah larutan 6cc dan waktu pemeraman 28 hari. Nilai parameter kuat geser tanah yang diperoleh yaitu : $\varphi = 31,59^\circ$ dan $c = 1,190 \text{ kg/cm}^2$.
2. Angelina Lynda (Lynda, 2013) : Karakteristik Kuat Geser Tanah Dengan Metode Stabilisasi Biogrouting Bakteri *Bacillus Subtilis*. Penelitian ini bertujuan untuk Untuk mengetahui hasil stabilisasi tanah yang optimum dengan metode biogrouting yang dimaksud pada penelitian ini, yaitu ketika nilai parameter

kuat geser tanah (kohesi dan sudut geser dalam) yang diperoleh merupakan nilai terbesar dari semua perbandingan pencampuran sampel tanah dengan bakteri untuk waktu pemeraman selama 28 hari. Variasi persentase larutan sementasi dan larutan bakteri *Bacillus Subtilis* yaitu Tanah pasir berlempung + 0 cc larutan sementasi + 0 cc larutan bakteri *Bacillus Subtilis*. Tanah pasir berlempung + 2 cc larutan sementasi + 2 cc larutan bakteri *Bacillus Subtilis*. Tanah pasir berlempung + 4 cc larutan sementasi + 4 cc larutan bakteri *Bacillus Subtilis*. Hasil stabilisasi biogrouting Bakteri *Bacillus subtilis* yang optimum diperoleh pada sampel tanah dengan 3x injeksi (6cc larutan bakteri dan 6cc larutan sementasi). Dimana nilai kohesi yang diperoleh sebesar 1,192 kg/cm² dan nilai sudut geser dalam sebesar 35.07°. Karakteristik mekanis tanah yang mengalami stabilisasi optimum mengalami perubahan pada parameter kuat gesernya, yaitu: Terjadi peningkatan nilai kohesi sebesar 297% terhadap nilai kohesi sampel tanah asli. Terjadi peningkatan nilai sudut geser dalam sebesar 6,86 % terhadap nilai sudut geser dalam tanah asli.

3. Iffah Fadliah (Fadillah) : Eksperimental Stabilisasi Biogrouting *Bacillus Subtilis* Pada Tanah Lempung Kepasiran. Penelitian ini di lakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas

Teknik Universitas Hasanuddin dan di pusat penelitian Bioteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Tujuan penelitian ini untuk menentukan komposisi optimum larutan bakteri *Bacillus subtilis* untuk stabilitasi tanah dan mengevaluasi karakteristik mekanis tanah yang telah distabilisasi dengan variasi larutan bakteri *Bacillus subtilis* dan larutan sementasi, dikombinasikan dengan variasi waktu pemeraman. Teknologi biogrouting merupakan teknologi yang mensimulasikan proses diagenesis yaitu transformasi butiran pasir menjadi batuan pasir (calcarinite/sandcone), kristal kalsit (CaCO_3) yang terbentuk dari proses biogrouting akan menjadi pengikat antara butiran pasir sehingga menyebabkan proses sementasi dan mengubah pasir menjadi batuan pasir. Jumlah volume bakteri *Bacillus subtilis* yang diinjeksi pada tanah lempung kepasiran masing-masing sebesar 2 cc sampai 32 cc dengan pemeraman selama 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil pengujian pada percobaan kuat tekan bebas skala laboratorium menunjukkan bahwa pengujian tanpa terinjeksi bakteri sebesar 0.13 kg/cm^2 untuk hasil yang terinjeksi bakteri sebesar 0.35 kg/cm^2 . Percobaan permeabilitas tanpa terinjeksi bakteri nilai koefisiennya sebesar $2.49 \cdot 10^{-4} \text{ cm/detik}$ untuk hasil setelah terinjeksi bakteri nilai koefisiennya sebesar $4.91 \cdot 10^{-6} \text{ cm/dtk}$.

Percobaan geser langsung tanpa terinjeksi bakteri sudut gesernya sebesar 4.46° untuk hasil setelah terinjeksi bakteri sebesar 35.07° . Maka dapat disimpulkan bahwa penambahan bakteri untuk stabilisasi tanah lempung kepasiran dengan metode grouting dapat meningkatkan daya dukung tanah. Hal ini dibuktikan dengan meningkatkan kekuatan tanah dan memperkecil rembesan dalam tanah.

4. Burbank, M., Weaver, T., Lewis, R., Williams, T., Williams, B., and Crawford, R. (2013) : Geotechnical tests of sands following bioinduced calcite precipitation catalyzed by indigenous bacteria menunjukkan bahwa bakteri asli alami juga dapat distimulasi untuk menginduksi presipitasi kalsit dengan perubahan terukur dalam sifat geoteknik. Pengujian yang dilaporkan termasuk percobaan mikrokosmos dengan pengujian penetrasi kerucut dan uji geser triaksial siklik. Eksperimen ini menunjukkan bahwa bakteri asli dapat menginduksi jumlah signifikan dari presipitasi kalsit.
5. Achal, V., Mukherjee, A., Kumari, D., & Zhang, Q. (2015). : Biomineralization for sustainable construction - A review of processes and applications. Eksperimen laboratorium telah menunjukkan bahwa biosementasi mampu meningkatkan kekuatan tekan, mengurangi porositas, mengurangi difusi kelembaban dan bahan berbahaya lainnya. Teknologi ini

dapat digunakan sebagai metode baru dalam pembuatan dan pemeliharaan infrastruktur yang sudah ada.