

**TUGAS AKHIR**

**PENERAPAN DYNAMIC CONE PENETRATION (DCP) UNTUK  
PENENTUAN PARAMETER TEKNIK TANAH  
TERKONTAMINASI BATU BARA TERSTABILISASI BAKTERI**

**IMPLEMENTATION OF DYNAMIC CONE PENETRATION  
(DCP) FOR DETERMINATION SOIL ENGINEERING  
PARAMETERS CONTAMINATED COAL STONE  
STABILIZED BACTERIA**

**MOHAMMAD ALIEF AF BASO  
D011 17 1014**



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

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**PENERAPAN DYNAMIC CONE PENETRATION (DCP) UNTUK PENENTUAN  
PARAMETER TEKNIK TANAH TERKONTAMINASI BATU BARA  
TERSTABILISASI BAKTERI**

**Disusun dan diajukan oleh:**

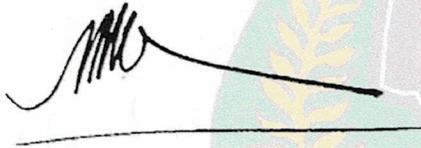
**MOHAMMAD ALIEF AF BASO**

**D011 17 1014**

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,



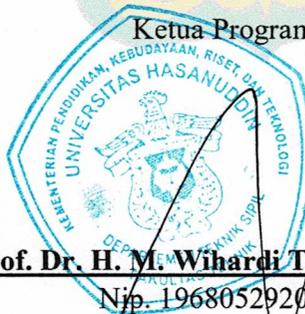
**Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, MT**  
NIP. 195910101987031003

Pembimbing Pendamping,



**Sitti Hijraini Nur, ST, MT**  
NIP. 197711212005012001

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 Mohammad Alief AF Baso, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Penerapan Dynamic Cone Penetration (DCP) Untuk Penentuan Parameter Teknik Tanah Terkontaminasi Batu Bara Terstabilisasi Bakteri**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulissiap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 10 Agustus 2021

Yang membuat pernyataan,



MOHAMMAD ALIEF AF BASO  
D011 17 1014

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah 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.

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 yang selalu ada dimanapun dan kapanpun, yaitu ibunda **Hj. Hajrah, S.ST** dan ayahanda **Baso Mansur, S.Sos** 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 doa-doa yang tiada hentinya terpanjatkan kepada Allah Yang Maha Kuasa.
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 serta Sekertaris Kemahasiswaan Kanda **Dr. Eng. Fakhrudin, S.T., M.Eng.** Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
4. Bapak **Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, M.T** selaku dosen pembimbing I dan kepala Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Hasanuddin, atas segala arahan, bimbingan, dan wawasan, serta waktu yang telah diluangkannya dari dan hingga terselesainya tugas akhir ini.
5. Ibu **Sitti Hijrainsi Nur, ST., MT.** selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, waktu, wawasan, dan pengarahan mulai dari awal hingga terselesainya penulisan tugas akhir ini.
6. Bapak **Dr. Eng. Tri Harianto, ST., MT.** selaku Kepala Laboratorium Geoteknik Lingkungan Universitas Hasanuddin, 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. Kepada Ibu **Dr. Andi Marini Indriani, S.T., M.T.** sebagai pembimbing

dan partnert selama penelitian berlangsung selalu memberikan arahan, ilmu, motivasi dan nasehat bagi saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

9. Kepada keluarga besar senior-senior Asisten Lab Mekanika Tanah kak **Gary M. Sarungu**, kak **Tryanto C.R.**, kak **Thasya B.C.L.**, kak **Nur Muthi'ah** serta kak **Zainal** sebagai laboran yang telah banyak membantu dan memberi motivasi yang sangat bermanfaat dalam mendukung penulisan tugas akhir ini.
10. Kepada teman-teman partnert kerja sampel proyek **Asisten Laboratorium Mekanika Tanah Angkatan 2017** yaitu **Cindy Rofaany Rantesalu**, **Hasrianti Tahir**, **Hasnidar Wahyuni**, **Adam Agathon**, **Muh. Alwan**, dan **Marchelinus Herman S.B.** yang selama ini turut mewarnai perjalanan dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Kepada teman-teman **Asisten Laboratorium Mekanika Tanah Angkatan 2018** yaitu Egi Karaka, Asmud, Novi, Feby, dan Meca.
12. Kepada teman-teman **KKD Geoteknik 2017**, atas segala bantuan moril dan materi yang diberikan yang berbuah motivasi dalam menulis skripsi ini.
13. Saudara-saudariku **PLASTIS 2018 Angkatan 2017** Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan yang mewarnai perjalanan kuliah selama ini.
14. Teman-teman SMP hingga SMA yang memiliki peran besar namun berada dibelakang layar tanpa perlu muncul ke permukaan saya ucapkan banyak sekali terima kasih atas perannya selama ini terkhususnya kepada **Besse Emmi** yang tidak pernah hilang jika dibutuhkan selama masa kuliah berlangsung.
15. 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 Allah Yang Maha Kuasa agar melimpahkan rohmatnya 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

MOHAMMAD ALIEF AF BASO  
D011 17 1014

## ABSTRAK

Tanah terkontaminasi batu bara yang berasal dari limbah sisa lahan tambang batu bara memiliki struktur daya dukung tanah yang rendah, sehingga diperlukan proses stabilisasi untuk memperbaiki daya dukungnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai CBR dari pengujian DCP dari tanah yang distabilisasi bakteri, stabilisasi dilakukan dengan menggunakan bakteri yang diharapkan dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan tanah melalui biomineralisasi kristal  $\text{CaCO}_3$  yang berfungsi sebagai pengikat partikel. Dalam pelaksanaannya bakteri dicampurkan kedalam tanah yang terkontaminasi batu bara dengan persentasi batu bara sebanyak 5%, 10%, dan 15%. Persentasi bakteri yang di grouting sebanyak 3%, 4,5% dan 6%, kemudian dilakukan pemeraman selama 7, dan 28 hari.

Hasil penelitian menyatakan penggunaan bakteri dan masa pemeraman meningkatkan nilai CBR maksimum yang diperoleh untuk CBR Unsoaked dan CBR Soaked masing-masing sebesar 59,7% dan 25,6% atau mengalami peningkatan sebesar 4,8 dan 3,9 kali lipat dibandingkan tanah tanpa stabilisasi.

Kata kunci : Tanah terkontaminasi batu bara, Bakteri, Nilai CBR

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penelitian .....	4
D. Batasan Masalah .....	5
E. Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Konsepsi Stabilisasi Tanah dengan Bioremediasi .....	7
A.1 Stabilitas.....	8
A.2 Bioremediasi .....	10
B. Karakteristik Batu Bara .....	15
B.1 Materi Pembentuk Batu Bara .....	15
B.2 Proses Pembentukan Batu Bara.....	16
B.3 Jenis Batu Bara .....	16
B.4 Karakteristik Batubara .....	17
C. Kapasitas Dukung Tanah.....	20
D. Nilai CBR ( California Bearing Ratio).....	22
E. Penelitian Terdahulu .....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	31
A. Lokasi dan Wilayah Penelitian .....	31
B. Metode Pengumpulan Data .....	31
C. Uji Kultur Bakteri .....	32
D. Kerangka Alir Penelitian.....	34
E. Rancangan Benda Uji .....	35
F. Material.....	37
F.1 Batu Bara.....	37
F. 2 Bakteri .....	38
F. 3 Tanah .....	39

G. Pengujian.....	39
G.1. Uji sifat fisis.....	40
G.2. Uji Sifat Mekanis .....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	42
A. Karakteristik Fisik dan Mekanis Tanah Pasir.....	42
A.1 Karakteristik Fisik Tanah .....	42
A.2 Karakteristik MekanikTanah .....	46
B. Karakteristik Mekanis Tanah Pasir Terkontaminasi Batubara Terstabilisasi Bakteri. ....	48
B.1 Pengujian CBR Tanah Pasir Terkontaminasi Batubara Stabilisasi MICP .....	49
B.2 Uji Model Skala Kecil Tanah Pasir Terkontaminasi Batu Bara Terstabilisasi MICP.....	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
A. Kesimpulan .....	69
B. Saran .....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	71

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Pedoman dalam melakukan pengujian. ....	36
Tabel 2. Persiapan Benda Uji Sebelum Proses Bioremediasi .....	37
Tabel 3. Hasil pemeriksaan Analisa Saringan.....	43
Tabel 4. Klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO.....	44
Tabel 5. Sistem klasifikasi tanah menurut USCS. ....	45
Tabel 6. Rekapitulasi hasil pemeriksaan karakteristik mekanis tanah. ....	48
Tabel 7. Rekap hasil pengujian CBR tanah pasir terkontaminasi 5% batubara stabilisasi MICP. ....	51
Tabel 8. Rekap hasil pengujian CBR tanah pasir terkontaminasi 10% batubara stabilisasi MICP. ....	53
Tabel 9. Rekap hasil pengujian CBR tanah pasir terkontaminasi 15% batubara stabilisasi MICP .....	58
Tabel 10. Rekap hasil pengujian CBR unsoaked dan soaked tanah pasir terkontaminasi batubara stabilisasi MICP.....	61
Tabel 11. Rekap hasil pengujian CBR soaked tanah pasir terkontaminasi batubara stabilisasi MICP.....	61
Tabel 12. Korelasi nilai DCP dan nilai CBR.....	64
Tabel 13. Pengukuran temperature tanah dalam bak. ....	66

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Lahan Bekas Tambang .....	3
Gambar 2. Reaksi tahapan hidrolisis urea yang dikatalisasi oleh enzim urea. ...	13
Gambar 3. Perubahan Struktur Tanah Pasir Setelah Distabilisasi Bakteri.....	14
Gambar 4. Grafik Penetration CBR.....	23
Gambar 5. Lokasi pengambilan sampel tanah dan batu bara. ....	31
Gambar 6. Kurva Pertumbuhan Bakteri. ....	33
Gambar 7. Bagan Alir Penelitian.....	35
Gambar 8. (a) Bak pengujian DCP. (b) Frame dudukan bak pengujian.....	36
Gambar 9. Batu bara lolos saringan 100.....	37
Gambar 10. Proses kultur bakteri. ....	38
Gambar 11. Tanah yang digunakan dalam penelitian. ....	39
Gambar 12. Grafik hubungan nilai DCP dengan CBR.....	41
Gambar 13. Alat DCP dan bagian-bagiannya. ....	41
Gambar 14. Grafik analisa saringan.....	43
Gambar 15. Grafik Hubungan Berat Berat Isi Kering dan Kadar Air Optimum....	46
Gambar 16. Grafik CBR unsoaked 56 kali tumbukan.....	46
Gambar 17. Grafik CBR soaked 56 kali tumbukan.....	47
Gambar 18. Grafik Perbandingan nilai CBR unsoaked dan CBR soaked tanah asli. ....	47
Gambar 19. Hubungan waktu peram dan nilai CBR tanah pasir terkontaminasi 5% batubara stabilisasi MICP culture 3 hari. ....	50
Gambar 20. Hubungan waktu peram dan CBR tanah pasir terkontaminasi 5% batubara stabilisasi MICP culture 6 hari .....	52
Gambar 21. Hubungan waktu pemeraman, konsentrasi dan culture terhadap nilai CBR tanah pasir terkontaminasi 5% batubara stabilisasi MICP ....	53
Gambar 22. Hubungan masa peram dan nilai CBR tanah pasir terkontaminasi 10% batubara stabilisasi MICP culture 3 hari. ....	54
Gambar 23. Hubungan masa peram dan nilai CBR tanah pasir terkontaminasi 10% batubara stabilisasi MICP culture 6 hari. ....	56
Gambar 24. Hubungan antara waktu pemeraman, konsentrasi dan culture terhadap nilai CBR tanah pasir terkontaminasi 10% batubara stabilisasi MICP unsoaked .....	56
Gambar 25. Hubungan masa peram dan nilai CBR tanah pasir terkontaminasi 15% batubara stabilisasi MICP culture 3 hari .....	58
Gambar 26. Hubungan masa peram dan nilai CBR tanah pasir terkontaminasi 15% batubara stabilisasi MICP culture 6 hari .....	59
Gambar 27. Hubungan waktu pemeraman, konsentrasi dan culture terhadap nilai CBR tanah pasir terkontaminasi 15% batubara stabilisasi MICP ..	60
Gambar 28. Grafik Hubungan persentasi batubara, konsentrasi bakteri dan umur culture masa peram 28 hari terhadap nilai CBR .....	62
Gambar 29. Hubungan DCP dan CBR terhadap kedalaman lapisan tanah.....	65
Gambar 30. Pengendapan $\text{CaCO}_3$ pada lapisan tanah.....	68

# **BAB 1. PENDAHULUAN**

## **A. Latar Belakang**

Jaringan Advokasi Tambang (JATAM) menilai realisasi program reklamasi lahan bekas tambang yang dijalankan oleh pemerintah masih jauh dari harapan, sehingga diperlukan evaluasi secara mendalam. Sebelumnya, mengacu data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), besaran lahan bekas tambang yang telah direklamasi pada 2019 silam sebanyak 6.748 hektar (Ha). Akan tetapi, jumlah tersebut lebih rendah ketimbang capaian lahan bekas tambang yang berhasil direklamasi di tahun sebelumnya yakni 6.950 Ha (Kontan.co.id, 13 Januari 2020). Lahan ini sebenarnya dapat dimanfaatkan sebagai lahan untuk permukiman guna memenuhi kebutuhan ruang tempat tinggal masyarakat dibandingkan membuka lahan baru dengan cara menebang hutan maupun alih fungsi lahan pertanian dan perkebunan.

Konservasi merupakan salah satu langkah yang tepat dalam penanganan terhadap daerah sisa tambang yang sudah tidak terpakai lagi. Hal ini tentunya memberikan dampak positif terhadap lingkungan sebab selain bertujuan untuk mencegah aliran permukaan dan erosi pada lahan bekas tambang, konservasi juga memulihkan dan meningkatkan kualitas tanah pada area tersebut sehingga nantinya lahan tersebut dapat dimanfaatkan kembali.

Limbah sisa dari hasil tambang batu bara yang berada dipermukaan

seperti batuan, zat kimia semisal air asam ataupun limbah batuan yang didalamnya terkontaminasi logam berat dapat menimbulkan terjadinya perubahan struktur tanah sehingga pemanfaatan tanah tersebut menjadi terbatas. Lingkungan yang terkontaminasi oleh logam berat merupakan suatu permasalahan, karena akumulasinya sampai pada rantai makanan dan keberadaannya di alam tidak mengalami transformasi (persistent), sehingga menyimpan potensi keracunan yang laten (Notodarmojo, 2005). Keberadaan logam berat dalam tanah perlu mendapatkan perhatian yang serius karena tiga hal, meliputi:

- 1) bersifat racun dan berpotensi karsinogenik
- 2) logam dalam tanah pada umumnya bersifat mobile
- 3) mempunyai sifat akumulatif dalam tubuh manusia (Notodarmojo, 2005).

Batu bara yang berada diudara terbuka akan mengalami oksidasi atau biasa diistilahkan dengan *acid rock drainage* (ARD) karena kandungan sulfur yang ada didalamnya. Proses ARD ini akan menimbulkan dampak yang saling berkaitan, yaitu menurunnya pH, ketersediaan dan keseimbangan unsur hara dalam tanah terganggu, serta kelarutan unsur-unsur mikro yang umumnya merupakan unsur logam meningkat (Marschner, 1995; Havlin et al., 1999; Widyati, 2007).

Unsur hara yang terganggu mengakibatkan tanaman sebagai pelindung tidak dapat tumbuh yang mengakibatkan terjadinya erosi dan infiltrasi air hujan dengan skala yang besar sehingga kekuatan dari tanah

akan berkurang karena tanah jenuh air. Salah satu pendekatan dalam pemulihan kualitas lahan dan pencegahan degradasi lahan adalah dengan membangun sumber bahan organik in-situ atau dikenal dengan bioremediasi. Bioremediasi adalah penggunaan mikroorganisme untuk mengurangi polutan di lingkungan.



**Gambar 1.** Lahan Bekas Tambang  
(Sumber : Wahdi Septiawan / ANTARA FOTO)

Bioremediasi pada tanah terkontaminasi batu bara telah banyak dilakukan untuk menghilangkan logam-logam berat yang ada pada tanah akibat kegiatan penambangan. Tetapi belum banyak dilakukan penelitian yang ditujukan untuk meningkatkan sifat-sifat geoteknik pada tanah yang terkontaminasi batu bara.

Biominalisasi atau biosementasi menggunakan kalsium karbonat yang dihasilkan oleh bakteri diharapkan dapat membantu memperbaiki struktur dan meningkatkan kekuatan tanah. Penelitian yang dilakukan oleh Hasriana, 2018 menunjukkan bahwa tanah lempung yang distabilisasi dengan bakteri *Bacillus Subtilis* mampu meningkatkan nilai modulus reaksi

dari 8,96% menjadi 20-40%. Mwindra, 2017 menyatakan bahwa bakteri *Pararhodobacter Sp* mampu mereduksi logam timbal (Pb) dan meningkatkan nilai kuat tekan bebas. Itu sebabnya peneliti tertarik untuk mengembangkan penggunaan mikroorganisme untuk meningkatkan daya dukung tanah terkontaminasi batu bara hingga dapat dimanfaatkan sebagai lahan permukiman dan membangun fasilitas pendukungnya guna memenuhi kebutuhan ruang masyarakat.

## **B. Rumusan Masalah**

Masalah yang dikaji dalam penelitian ini dijabarkan dalam rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik fisik dan nilai CBR tanah pasir yang digunakan pada penelitian?
2. Bagaimana pengaruh variasi campuran bakteri dengan tanah pasir terkontaminasi batu bara terhadap nilai CBR ?
3. Bagaimana perbandingan nilai CBR dari uji model skala kecil tanah terkontaminasi batu bara terstabilisasi bakteri terhadap hasil nilai CBR pengujian DCP?

## **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah tersebut maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui karakteristik fisik dan nilai CBR tanah pasir yang digunakan pada penelitian.

2. Mengetahui pengaruh variasi campuran bakteri dengan tanah pasir terkontaminasi batu bara terhadap nilai CBR.
3. Mengetahui perbandingan nilai CBR dari uji model skala kecil tanah terkontaminasi batu bara terstabilisasi bakteri terhadap hasil nilai CBR pengujian DCP.

#### **D. Batasan Masalah**

Agar penelitian berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka penelitian ini dibatasi pada :

1. Penelitian ini hanya mencakup skala laboratorium terhadap karakteristik CBR tanah terkontaminasi batu bara.
2. Penelitian ini hanya meneliti karakteristik CBR serta tidak meneliti unsur kimia tanah tersebut.
3. Penelitian ini hanya menggunakan satu jenis bakteri saja.
4. Dalam penelitian ini, batu bara yang digunakan tidak diuji kadar karbonnya, tidak diuji jenisnya dan tidak dianalisa tahun terbentuknya.

#### **E. Sistematika Penulisan**

Gambaran umum mengenai isi penelitian ini, dapat dituliskan secara singkat sebagai berikut :

##### **1. BAB I 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.

## **2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

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

## **3. BAB III METODE PENELITIAN**

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

## **4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

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

## **5. BAB V 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. Konsepsi Stabilisasi Tanah dengan Bioremediasi

Untuk pemenuhan kebutuhan ruang pemukiman maupun ruang pertanian dalam rangka keberlangsungan hidup maka pembukaan lahan merupakan opsi yang banyak dilakukan. Kawasan yang dulunya ditumbuhi pepohonan dan area hutan yang hijau seperti lembah maupun bukit kini beralih fungsi menjadi kawasan untuk pemenuhan kebutuhan ruang sebagai kawasan pemukiman, perkebunan dan pertanian, perindustrian, perdagangan, pusat kegiatan manusia, Kawasan pertambangan dan lain sebagainya.

Pada kasus pembukaan lahan dan proses eksploitasi area pertambangan batu bara menyebabkan tersingkapnya lapisan batubara yang mengandung mineral sulfida, antara lain berupa Pirit (*Pyrite*) dan Markasit (*Marcasite*). Mineral sulfida tersebut selanjutnya bereaksi dengan oksidan dan air membentuk air asam tambang, (Marganingrum, dkk, 2010). Air asam tambang atau dikenal dengan istilah *acid rock drainage* (ARD) akan memberikan serangkaian dampak yang saling berkaitan, yaitu menurunnya pH, ketersediaan dan keseimbangan unsur hara dalam tanah terganggu, serta kelarutan unsur-unsur mikro yang umumnya merupakan unsur logam meningkat (Marschner, 1995; Havlin et al., 1999; Widyati, 2007). Akibat dari adanya genangan dari air asam tambang batu bara menyebabkan terjadinya ketidak seimbangan unsur hara dalam tanah yang berakibat pada tidak mampunya tanaman untuk tumbuh sebagai pelindung

tanah untuk mencegah terjadinya erosi dan infiltrasi air hujan.

### **A.1 Stabilisasi**

Stabilisasi dalam bidang rekayasa teknik sipil disebut dengan perbaikan tanah. Stabilisasi dapat dilaksanakan dengan menambah suatu bahan atau komposit tertentu untuk menambah kekuatan pada tanah. Tujuan dari stabilisasi tanah yaitu meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dalam menahan serta meningkatkan stabilitas tanah. Secara umum, stabilisasi tanah dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu stabilisasi fisik, stabilisasi mekanis, dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi fisik yaitu mencampur bahan tanah berkarakteristik buruk dengan tanah 18 berkarakteristik baik (gradasi yang lebih baik).

Stabilisasi tanah merupakan usaha perbaikan daya dukung tanah yang tidak atau kurang baik maupun meningkatkan daya dukung tanah yang sudah tergolong baik.

Menurut Bowles (1986) stabilisasi dapat berupa :

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

e. Mengganti tanah yang buruk.

Banyak usaha yang telah dilakukan untuk memperbaiki atau menstabilisasi tanah yang memiliki daya dukung dan kekakuan yang lemah, stabilisasi tanah dapat berupa suatu pekerjaan atau gabungan-gabungan pekerjaan sebagai berikut :

1. Secara dinamis yaitu pemadatan tanah dengan alat pemadat.
2. Perbaiki gradasi dengan cara menambah tanah pada fraksi tertentu yang dianggap kurang, sehingga tercapai gradasi yang rapat. Fraksi yang kurang biasanya adalah fraksi yang berbutir kasar, cara yang dilakukan adalah mencampur tanah dengan fraksi butir kasar seperti pasir, dan kerikil atau pasir saja.
3. Stabilisasi kimiawi, yaitu menambahkan bahan kimia tertentu, sehingga terjadi reaksi kimia. Bahan yang biasanya digunakan antara lain : portland semen, kapur tohor, atau bahan kimia lainnya. Stabilisasi ini dilakukan dengan dua cara yaitu : mencampur tanah dengan bahan kimia kemudian diaduk dan dipadatkan atau memasukkan bahan kimia kedalam tanah (grouting) sehingga bahan kimia bereaksi dengan tanah.
4. Bioremediasi, yaitu penambahan mikroorganisme semisal nya bakteri

dengan tujuan terjadinya pengikatan antar partikel tanah sehingga meningkatkan kekuatan tanah.

5. Pembongkaran dan penggantian tanah yang jelek. Tanah yang jelek mengandung bahan organik sehingga akan terjadi pembusukan di dalamnya. Selain itu apabila terkena tanah tersebut diberi beban maka akan mengalami penurunan yang tidak sama. Perbaikan tanah untuk jenis ini dilakukan dengan mengganti tanah jelek tersebut dengan tanah berkualitas baik, misalnya dengan tanah yang memiliki CBR yang lebih sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

## **A.2 Bioremediasi**

Menurut Sheenan bioremediasi dapat disebut sebagai proses eksploitasi kemampuan kataliti suatu organisme untuk meningkatkan laju polutan. Menurut Baker dan Hansen dalam bukunya Astri Nugroho menyebutkan bahwa bioremediasi merupakan proses pemulihan (remediasi) secara biologi terhadap komponen lingkungan, tanah dan air yang telah tercemar. Sedangkan menurut Leisinger, dkk menyebutkan bahwa bioremediasi merupakan suatu proses penguraian atau degradasi secara biologi suatu polutan organik yang beracun menjadi senyawa lain yang lebih sederhana yang tidak beracun. Bioremediasi merupakan

penggunaan mikroorganisme yang telah dipilih untuk ditumbuhkan pada polutan tertentu sebagai upaya untuk menurunkan kadar polutan tersebut (Bambang Priadie, 2012). Saat bioremediasi terjadi, enzim-enzim yang diproduksi oleh mikroorganismemodifikasi polutan beracun dengan mengubah struktur kimia polutan yang beracun menjadi tidak kompleks sehingga menjadi metabolit yang tidak beracun dan tidak berbahaya dimana peristiwa ini disebut biotransformasi.

Berdasarkan tempat berlangsungnya, Teknik bioremediasi dapat diaplikasikan langsung (*In-situ*) pada lingkungan yang tercemar,. Teknik bioremediasi juga dapat dilaksanakan di luar lingkungan yang tercemar (*ex-situ*), yaitu dengan membawa tanah terkontaminasi tersebut ke lokasi pengolahan yang telah ditetapkan (Astri Nugroho, 2016). Hal inilah yang menjadi salah satu acuan dalam stabilisasi dalam penelitian ini

Sehubungan dengan bioremediasi, Indonesia mengatur standar baku kegiatan Bioremediasi untuk mengatasi permasalahan lingkungan yang diakibatkan aktivitas tambang dan perminyakan maupun pencemaran lainnya (vaik itu pestisida maupun logam berat) yang diatur dalam peraturan Kementerian Lingkungan Hidup, Kep Men LH No.128 tahun 2003, tentang tatacara dan persyaratan teknis dan pengelolaan limbah minyak bumi dan

tanah terkontaminasi oleh minyak bumi secara biologis (Bioremediasi) yang juga mencantumkan bahwa bioremediasi dilakukan dengan menggunakan mikroba lokal.

Tidak sedikit mikroorganism juga dapat menghasilkan mineral semisal kalsium karbonat yang bisa dimanfaatkan dalam memperbaiki struktur tanah atau dikenal dengan istilah biomineralisasi. Menurut Hammes dan Verstraete, 2002, Kalsium karbonat,  $\text{CaCO}_3$ , yang diinduksi dari mikroba dipengaruhi oleh 4 faktor yaitu pH, Konsentrasi karbon anorganik terlarut (DIC), Konsentrasi kalsium dan ketersediaan nukleasi.

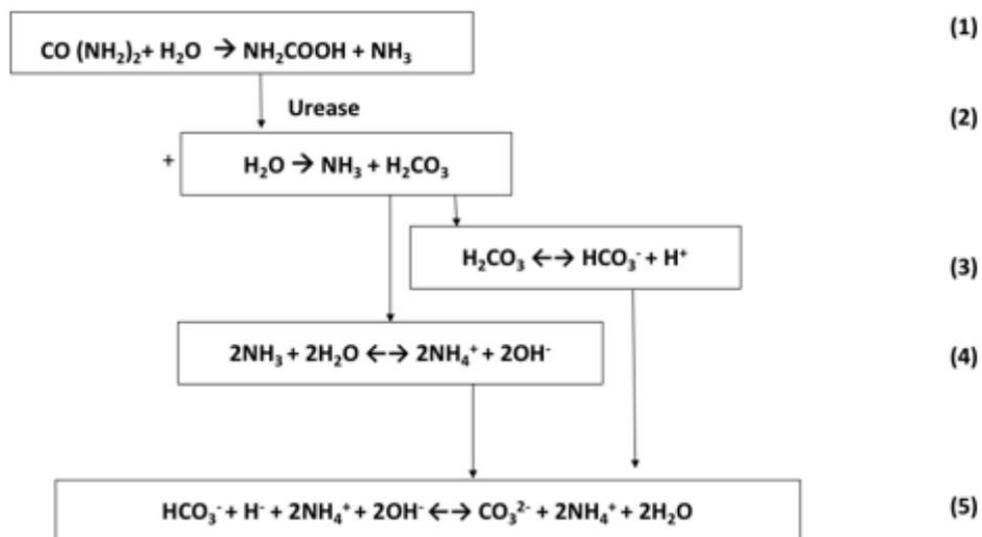
Kristal kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang terbentuk dari teknologi biogrouting akan menjadi jembatan antara butiran pasir sehingga menyebabkan proses sementasi, dan mengubah pasir menjadi batuan pasir. Secara alami, proses ini memerlukan waktu hingga jutaan tahun. Oleh karena itu digunakan bakteri untuk mempercepat proses pembentukan kalsit dengan memanfaatkan proses presipitasi karbonat hasil aktivitas metabolisme bakteri (DeJong et al., 2006; Lee, 2003).

Pada saat ini, bakteri dari genus *Sporosarcina* (*Bacillus*) telah mulai diaplikasikan pada proses biogrouting karena mempunyai aktivitas urease yang tinggi dan tidak patogen (Fujita et al., 2000).

Mekanisme pembentukan kalsit pada proses biogrouting secara sederhana memanfaatkan proses presipitasi karbonat oleh bakteri. Pada mekanisme ini bakteri menghidrolisa urea dengan katalis oleh enzim urease yang dihasilkan oleh bakteri itu sendiri. Dengan adanya  $\text{Ca}^{2+}$  terlarut

disekitarnya, maka akan dihasilkan Kristal padat kalsit/kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>).

*Microbially induced calcium carbonate precipitation* (MICCP), atau pengendapan kalsium karbonat oleh mikroba banyak yang meneliti sebab menguntungkan dalam bidang biologi, geoteknologi, paleobiologi hingga teknik sipil, (Dhami 2017).



**Gambar 2.** Reaksi tahapan hidrolisis urea yang dikatalisasi oleh enzim urea.

(Sumber : Didiek Hadjar Goenadi (2017) / Perbaikan sifat fisika-mekanis tanah dengan mediasi teknik hayati)

Berdasarkan gambar diatas, 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.

Adanya proses penyesuaian pH dapat mengubah bentuk senyawa kimia polutan, kelarutan, makro & mikro nutrient dan bioavailabilitas. Ketersediaan Ca, Mg, P, K, N,  $\text{NH}_4^+$ , dan Na akan turun, sedangkan penurunan pH menurunkan ketersediaan  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{NO}_3^-$ .



a. Pasir Di Injeksi Bakteri Satu Kali



b. Pasir Di Injeksi Bakteri Dua Kali



c. Pasir Di Injeksi Bakteri Empat Kali



d. Pasir Di Injeksi Bakteri Tujuh Kali

**Gambar 3.** Perubahan Struktur Tanah Pasir Setelah Distabilisasi Bakteri  
(Sumber : Ivanov 2008; Mujah 2018)

Bioremediasi dipengaruhi oleh Kadar air dan bentuk poros tanah. Nilai aktivitas air yang diperlukan untuk proses pertumbuhan mikroba sekitar 0.9-1.0, umumnya kadar air 50-60%. Bioremediasi lebih efektif pada tanah dengan porositas tinggi. Proses kinerja mekanik pada tanah terstabilisasi MICCP sangat dipengaruhi oleh struktur mikro kristal  $\text{CaCO}_3$  yang diendapkan, yang dipengaruhi oleh berbagai parameter kimia, lingkungan, dan fisik, (Mujah 2018).

## **B. Karakteristik Batu Bara**

### **B.1 Materi Pembentuk Batu Bara**

Umumnya batubara berwarna coklat sampai hitam, berlapis, padat, mudah terbakar, kedap cahaya, non kristalin, berkilap kusam sampai cemerlang, bersifat getas, pecahan kasar sampai konkoidal. Unsur kimia utama pembentuk batubara adalah karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N) dan sulfur (S). Batu bara merupakan batuan yang terbentuk akibat adanya endapan berjuta tahun lamanya dari tumbuhan. Menurut Diessel (1981) umumnya tumbuhan pembentuk batu bara adalah sebagai berikut:

1. **Alga**, dari Zaman Pre-kambrium hingga Ordovisium dan bersel tunggal. Sangat sedikit endapan batu bara dari periode ini.
2. **Silofita**, dari Zaman Silur hingga Devon Tengah, merupakan turunan dari alga. Sedikit endapan batu bara dari periode ini.
3. **Pteridofita**, umur Devon Atas hingga Karbon Atas. Materi utama pembentuk batu bara berumur Karbon di Eropa dan Amerika Utara. Tumbuhan tanpa bunga dan biji, berkembang biak dengan spora dan tumbuh di iklim hangat.
4. **Gimnospermae**, kurun waktu mulai dari Zaman Permian hingga Kapur Tengah. Tumbuhan heteroseksual, biji terbungkus dalam buah, semisal pinus, mengandung kadar getah (resin) tinggi. Jenis Pteridospermae seperti gangamopteris dan glossopteris adalah penyusun utama batu bara Permian seperti di Australia, India dan Afrika.
5. **Angiospermae**, dari Zaman Kapur Atas hingga kini. Jenis tumbuhan modern, buah yang menutupi biji, jantan dan betina dalam satu bunga,

kurang bergetah dibanding gimnospermae sehingga, secara umum, kurang dapat terawetkan.

## **B.2 Proses Pembentukan Batu Bara**

Proses perubahan sisa-sisa tanaman menjadi gambut hingga batu bara disebut dengan istilah pembatu baraan (*coalification*). Secara ringkas ada 2 tahap proses yang terjadi, yakni:

1. Tahap Diagenetik atau Biokimia, dimulai pada saat material tanaman terdeposisi hingga lignit terbentuk. Agen utama yang berperan dalam proses perubahan ini adalah kadar air, tingkat oksidasi dan gangguan biologis yang dapat menyebabkan proses pembusukan (dekomposisi) dan kompaksi material organik serta membentuk gambut.
2. Tahap Malihan atau Geokimia, meliputi proses perubahan dari lignit menjadi bituminus dan akhirnya antrasit.

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

## **B.3 Jenis Batu Bara**

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batu bara umumnya dibagi dalam lima kelas: antrasit, bituminus, sub-bituminus, lignit dan gambut.

1. **Antrasit** adalah kelas batu bara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (*luster*) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.
2. **Bituminus** mengandung 68 - 86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batu bara yang paling banyak ditambang di Australia.
3. **Sub-bituminus** mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.
4. **Lignit** atau batu bara coklat adalah batu bara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.
5. **Gambut**, berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.

Di Indonesia, endapan batu bara yang bernilai ekonomis terdapat di cekungan Tersier, yang terletak di bagian barat Paparan Sunda (termasuk Pulau Sumatera dan Kalimantan), pada umumnya endapan batu bara ekonomis tersebut dapat dikelompokkan sebagai batu bara berumur Eosen atau sekitar Tersier Bawah, kira-kira 45 juta tahun yang lalu dan Miosen atau sekitar Tersier Atas, kira-kira 20 juta tahun yang lalu menurut skala waktu geologi. Kebanyakan sumber daya batu bara ini tergolong sub-bituminus atau lignit.

#### **B.4 Karakteristik Batubara**

Karakteristik batubara dapat dinyatakan berdasarkan sifat fisika dan sifat kimia yang dimilikinya. Karakteristik batubara yang menunjukkan sifat fisiknya, antara lain diwakili oleh nilai kerapatan/densitas, kekerasan,

ketergerusan (*grindability*), kalor jenis (*specific heat*), fluiditas, *caking property*, dan sebagainya. Di lain pihak, sifat kimia batubara ditunjukkan dengan hasil analisis proksimat, analisis ultimat, nilai kalori, komposisi abu, dan sebagainya.

#### **B.4.1 Air (*Moisture*)**

Kandungan air yang tinggi ini tentu mempengaruhi tingkat stabilitas tanah yang terkontaminasi batu bara sehingga memperbesar potensi kelongsoran pada tanah. Air yang ada pada batubara terdapat pada:

- Permukaan dan di dalam rekahan-rekahan, disebut air bebas (*free moisture*) atau air permukaan (*surface moisture*)
- Rongga-rongga kapiler, disebut *inherent moisture*
- Pada kristal-kristal partikel- partikel yang ada pada batubara disebut air hidrasi
- Bagian organik dari batubara, disebut air dekomposisi

Air yang terikat secara mekanik dengan batubara dan mempunyai tekanan uap normal dimana kadarnya dipengaruhi oleh pengeringan dan pembasahan selama penambangan, transportasi, penyimpanan dan lain-lain. Air lembab (*moisture in air dried*) yaitu air yang terikat secara fisika dalam batubara dan mempunyai tekanan uap di bawah normal.

Air total adalah jumlah air permukaan dan *inherent moisture* dari batubara pada waktu analisis. Nama lain dari air total yaitu *as-received moisture*.

#### **B.4.2 Porositas**

Batubara mengandung dua sistem pori, yaitu pori dengan ukuran rata-rata  $500A^{\circ}$  dan yang lain dengan pori berukuran  $5-15A^{\circ}$  ( $1A^{\circ}=10^{-10}$  m). Pori yang kecil lebih sedikit dibandingkan dengan yang besar, tetapi luas permukaannya besar (kira-kira  $200 \text{ m}^2/\text{gr}$ ). Pori-pori yang lebih besar mempunyai total luas permukaan pori  $1 \text{ m}^2/\text{gr}$ .

#### **B.4.3 Berat Jenis (density)**

Ada beberapa macam pengukuran berat jenis, tergantung pada tujuan penggunaan diantaranya:

- *Bulk density* adalah berat persatuan volume batubara lepas, gunanya untuk menghitung besarnya stockpile
- *Appararent density* adalah berat jenis bingkah batubara termasuk inherent moisture, mineral matter dan udara di dalam pori.
- *True density* adalah berat jenis batubara yang bebas dari udara dan air yang tidak terikat, tetapi termasuk mineral matter.

Berat jenis (specific gravity) batubara berkisar dari  $1,25\text{g}/\text{cm}^3$  sampai  $1,70 \text{ g}/\text{cm}^3$ , pertambahannya sesuai dengan peningkatan derajat batubaranya. Tetapi berat jenis batubara turun sedikit dari lignit ( $1,5\text{g}/\text{cm}^3$ ) sampai batubara bituminous ( $1,25\text{g}/\text{cm}^3$ ), kemudian naik lagi menjadi  $1,5\text{g}/\text{cm}^3$  untuk antrasit sampai grafit ( $2,2\text{g}/\text{cm}^3$ ). Berat jenis batubara juga sangat bergantung pada jumlah dan jenis mineral yang dikandung abu dan juga kekompakan porositasnya.

## **C. Kapasitas Dukung Tanah**

### **C.1 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 (Das, 1995).

Ada pula menurut (Dunn, 1980) berdasarkan asalnya, tanah diklasifikasikan secara luas menjadi 2 macam yaitu :

- a. Tanah organik adalah campuran yang mengandung bagian-bagian yang cukup berarti berasal dari lapukan dan sisa tanaman dan kadang-kadang dari kumpulan kerangka dan kulit organisme.
- b. Tanah anorganik adalah tanah yang berasal dari pelapukan batuan secara kimia ataupun fisis.

### **C.2 Daya Dukung Tanah**

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan tekanan atau beban bangunan pada tanah dengan aman tanpa menimbulkan keruntuhan geser dan penurunan berlebihan (Najoan, 2020).

Daya dukung tanah berhubungan berat dengan kekuatan geser tanah. Sewaktu tanah menerima beban maka terjadi penurunan yang besarnya dapat ditentukan pada setiap penambahan beban (Hermin Tjahyati, 1992)

Daya dukung yang aman terhadap keruntuhan tidak berarti bahwa

penurunan pondasi akan berada dalam batas%batas yang diizinkan. Oleh karena itu, analisis penurunan harus dilakukan karena umumnya bangunan peka terhadap penurunan yang berlebihan. Kapasitas nilai daya dukung dari suatu tanah didasarkan pada karakteristik tanah dasar dan dipertimbangkan terhadap kriteria penurunan dan stabilitas yang diisyaratkan, termasuk faktor aman terhadap keruntuhan (Medio Agustian N, 2014)

Kapasitas atau daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kekuatan tanah untuk menahan suatu beban yang bekerja yang biasanya disalurkan melalui pondasi. Kapasitas/daya dukung tanah batas ( $q_u = q_{ult} = \textit{ultimate bearing capacity}$ ) adalah tekanan maksimum yang dapat diterima oleh tanah akibat beban yang bekerja tanpa menimbulkan kelongsoran geser pada tanah pendukung tepat di bawah dan sekeliling pondasi.

Penentuan kekuatan tanah untuk mendukung struktur di atasnya sangat ditentukan oleh koefisien reaksi tanah ( $K_s$ ) dan modulus elastisitas tanah ( $E_s$ ). Winkler, membuat model untuk mengasumsikan kekakuan tanah sebagai rasio antara tekanan ( $\Delta\sigma$ ) dan displacement vertical ( $\Delta\delta$ ) adalah linier, dan diketahui sebagai koefisien reaksi tanah,  $K_s$  ( $MN/m^3$ ). Teori ini banyak di kembangkan untuk perhitungan tegangan-tegangan pada pondasi fleksibel (Daloglu, dkk,2000). Nilai  $K_s$  dapat ditentukan berdasarkan pengujian lapangan, pengujian laboratorium, persamaan empiris dan nilai tabulasi. Uji lapangan menggunakan plate load test, ujilaboratorium menggunakan uji konsolidasi dan triaksial (Dutta,dkk,2000)

dan uji CBR(Nascimento, dkk, 1957).

#### **D. Nilai CBR ( California Bearing Ratio)**

Nilai daya dukung tanah dapat ditentukan antara lain dengan metode California Bearing Ratio (CBR). Nilai CBR adalah bilangan perbandingan antara tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston berpenampang bulat seluas 3 inch<sup>2</sup> (19,35 cm<sup>2</sup> ) dengan kecepatan penetrasi 0,05 inch / menit terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus suatu bahan standar tertentu. Nilai CBR dihitung pada penetrasi sebesar 0.1 inci dan penetrasi sebesar 0.2 inci dan selanjutnya hasil kedua perhitungan tersebut dibandingkan sesuai dengan SNI 03-1744-1989 diambil hasil terbesar. Nilai CBR dinyatakan dalam persen.

Semakin besar nilai CBR, semakin besar pula daya dukung tanah begitupun jika sebaliknya. Ada dua macam pengukuran pada pengujian CBR yaitu :

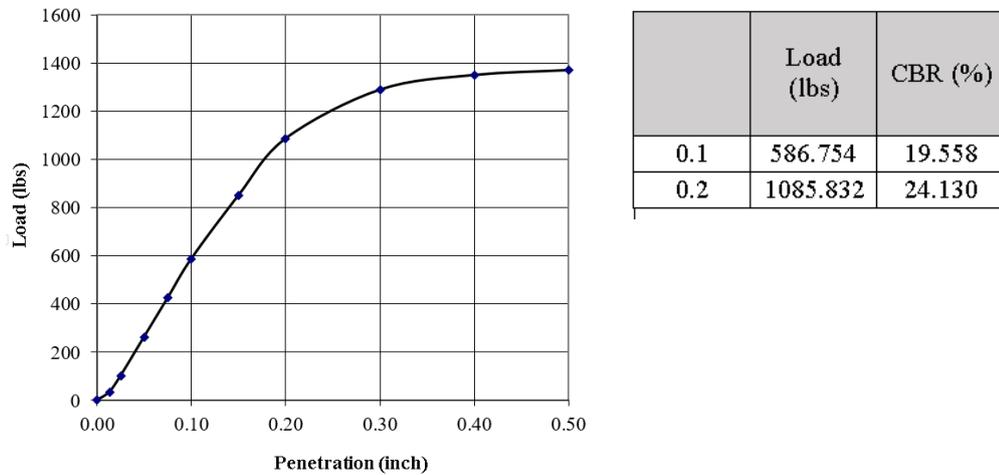
1. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada 0.254 cm (0,1") terhadap penetrasi standard besarnya 70,37 kg/cm<sup>2</sup> (1000 psi).

$$\text{Nilai CBR} = \frac{PI}{70,37} \times 100 \% \text{ ( PI dalam kg / cm}^2 \text{ )}$$

2. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada penetrasi 0,508 cm (0,2") terhadap penetrasi standard yang besarnya 105,56 kg/cm<sup>2</sup> (1500 psi)

$$\text{Nilai CBR} = \frac{PI}{105,56} \times 100 \% \text{ ( PI dalam kg / cm}^2 \text{ )}$$

Dari kedua hitungan tersebut digunakan nilai terbesar.



**Gambar 4.** Grafik Penetration CBR.

CBR laboratorium dapat dibedakan atas 2 macam yaitu :

- CBR laboratorium rendaman (*soaked design CBR*)
- CBR laboratorium tanpa rendaman (*Unsoaked Design CBR*)

## E. Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian terdahulu mengenai stabilisasi tanah dengan metode remediasi menggunakan bakteri telah banyak dilakukan.

Diantaranya yaitu sebagai berikut :

1. Andi Marini, 2019 : Efek penambahan bakteri dengan umur kultur yang berbeda dan persentasi volume bakteri yang berbeda diharapkan dapat terlihat dari hasil pengujian direct shear dan CBR sehingga dapat diketahui perubahan kekuatan tanah yang terjadi. Dari penambahan bakteri dengan umur kultur 3 hari dan 6 hari kemudian dilakukan perawatan selama 3, 7, 14 dan 28 hari lalu dilakukan pengujian direct shear dan

CBR. Penambahan bakteri dengan persentasi 3% dan 6% dari berat tanah juga dilakukan dengan perawatan selama 3, 7, 14 dan 28 hari kemudian dilakukan pengujian direct shear dan CBR diharapkan dapat terlihat tren perkembangan atau perubahan kekuatan yang terjadi

2. Hasriana 2017 : Tanah lunak dengan daya dukung rendah tidak mampu mendukung konstruksi di atasnya sehingga diperlukan suatu metode perbaikan tanah guna memperbaiki struktur tanah tersebut. Stabilisasi tanah dengan bahan kimia seperti kapur, semen , dan fly ash merupakan metode stabilisasi yang paling populer. Saat ini alternative bio stabilisasi ramah lingkungan semakin berkembang dengan pemanfaatan mikroorganisme (bakteri bacillus subtilis). Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan karakteristik tanah lunak yang dicampur larutan konsentrasi bakteri bacillus subtilis dengan melakukan pengujian kuat tekan Unconfined Compression Test (UCT). Medium larutan konsentrasi bakteri yang digunakan adalah bacillus subtilis cultur 6 hari dengan komposisi 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% pada kondisi kepadatan optimum. Waktu pemeraman dilakukan selama 3, 7, 14 dan 28 hari setelah pembuatan benda uji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan optimum didapatkan pada penambahan larutan konsentrasi bakteri bacillus subtilis 6% dengan waktu pemeraman 28 hari.

Peningkatan nilai kuat tekan dari 26 kN/m<sup>2</sup> menjadi 382,86 kN/m<sup>2</sup> atau sebesar 15 kali dari tanah tanpa stabilisasi. Hal ini menunjukkan penggunaan larutan konsentrasi bakteri bacillus subtilis cukup signifikan meningkatkan nilai kuat tekan 28 hari diperoleh nilai kuat tekan 382,84 kN/m<sup>2</sup>.

3. Leon, 2009 : Pada penelitian ini adalah meningkatkan untuk menemukan metode biologis untuk memperbaiki sifat tanah, biogrouting. Bila diaktifkan dengan substrat yang cocok, mikro-organisme dapat mengkatalisis konversi biokimia di bawah permukaan menghasilkan pengendapan mineral anorganik, yang mengubah sifat mekanik tanah. Salah satu proses tersebut adalah hidrolisis urea. Proses biogrouting menggunakan bakteri jenis Sporosarcina pasteurii, spesies bakteri yang mengandung sejumlah besar enzim urease yang dibudidayakan, disuntikkan di tanah dan disertakan dengan larutan yang mengandung urea dan kalsium klorida. Urease yang mengkatalisis konversi urea menjadi amonium dan karbonat dan karbonat dihasilkan presipitat dengan kalsium sebagai kristal kalsium karbonat. Kristal ini membentuk ikatan antara butiran pasir meningkatkan II – 29 kekuatan dan kekakuan dari pasir. amonium klorida tersisa diekstraksi dan dibuang.
4. Didiek Hadjar, 2015 : Aplikasi mikroba terbukti tidak hanya terbatas di dalam bidang pertanian dan semua turunannya

(pangan, kesehatan, dan lingkungan), tetapi terbukti juga memiliki peran penting di bidang keteknik sipil. Perakitan teknologi yang ramah lingkungan, mudah, dan murah menjadi sangat penting untuk mencapai efisiensi dan manfaat yang optimal. Pemanfaatan mikroba khususnya bakteri penghasil enzim urease yang memfasilitasi pembentukan kalsit dan/atau aragonit sangat prospektif untuk perbaikan sifat mekanis atau keteknik tanah. Keanekaragaman bakteri yang tinggi memberi peluang untuk memilih isolat yang paling unggul untuk dikembangkan menjadi produk komersial yang kompetitif. Bagaimanapun juga, penelitian perlu terus dilanjutkan guna menjawab tantangan ke depan khususnya menyangkut aplikasi secara luas dari perlakuan setempat dan ketahanan kinerja jangka panjang sementasi yang didorong dengan penggunaan mikroba.

5. Salwa Al-Thawadi, 2012 : Bakteri ureolitik diisolasi secara selektif dari sampel lumpur dan tanah (Perth, Australia Barat). Tiga isolat secara genetik diperiksa oleh 16S rRNA. Mereka sebagian besar jenis *Bacillus*. Bakteri yang menghasilkan aktivitas urease tertinggi, *Bacillus* sp. MCP11 (DSM 23526). Ditemukan bahwa vaterite (bola) dan kalsit (kristal rhombohedral) Diendapkan oleh bakteri pada permukaan butiran pasir sehingga menunjukkan kemungkinan

menggunakan kristal tersebut sebagai semen pengikat pasir lepas.

6. Dejong, 2006 : Pada penelitian ini menggunakan tanah umum mikroorganisme *Bacillus pasteurii*. Faktor penting untuk menentukan keberhasilan pengobatan mikroba meliputi pH, suplai oksigen, metabolisme status, dan konsentrasi mikroba, dan ion kalsium di flushes pengolahan biologis dan gizi, serta urutan waktunya suntikan. Spesimen disemen dengan gipsum dan mikroba diinduksi Kalsit keduanya menunjukkan perilaku serupa dalam hal diamati dan kecepatan gelombang geser dan normalisasi, Laju perubahan diamati juga terdeteksi. Awalnya, tingkat rendah, dan secara bertahap meningkat menjadi maksimal kemudian mulai berkurang, mendekati nol pada kesimpulan dari sementasi. Hasilnya menunjukkan kekakuan geser meningkat awal dan kapasitas elastis yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen longgar tidak diobati, dan  $\sigma - \epsilon$  mirip dengan kontrol gipsum-disemen perilaku spesimen. Degradasi sementasi baik gipsum dan spesimen.

7. Periasamy Anbu, 2017 : Dalam ulasan ini, kami membahas pengendapan kalsium karbonat (MICP) yang diinduksi secara mikroba. Dalam proses MICP, urease memainkan peran utama dalam hidrolisis urea oleh berbagai mikroorganisme yang

mampu menghasilkan urease tingkat tinggi. Kami juga menguraikan berbagai polimorf dan peran kalsium dalam pembentukan struktur kristal kalsit menggunakan berbagai sumber kalsium

8. Hamed A. Keykha, 2011 : Pada Penelitian ini Biogrouting adalah metode baru untuk pengendapan  $\text{CaCO}_3$  di tanah berpasir oleh aktivitas mikroba untuk meningkatkan kekuatan. *Pasteurii Bacillus* adalah jenis bakteri dengan enzim urease yang menghidrolisis amonia dan menghasilkan  $\text{Ca}^{+2}$ . Dalam larutan  $\text{CaCl}_2$ , kristal dari  $\text{CaCO}_3$  dibuat antara partikel tanah. Elektrokinetik adalah teknik berlaku untuk mengangkut partikel bermuatan dalam potensial listrik. Untuk menghasilkan urease harus bercampur dengan amonia dan ditransportasi di tanah baik dengan metode listrik. Akhirnya, solusi menambahkan kalsium klorida sebagai proses injeksi. Metode ini dapat membuat curah hujan karbonat diinduksi ( $\text{CaCO}_3$ ) II - 30 untuk memperbaiki tanah. Hal ini dapat beroperasi di tanah halus seperti tanah liat, lumpur dan gambut yang tidak memiliki kemampuan dalam perjalanan banyak mikroorganisme dan bakteri.
9. Lisdianti Puspita, 2011 : Pada penelitian ini peneliti mencari alternative bahan yang digunakan untuk meningkatkan

kekuatan tanah dengan memanfaatkan mikroorganisme. Mikroorganisme yang dimaksud didapatkan dari pengambilan sampel diantaranya batuan, tanah, dan air laut yang berada di wilayah Indonesia. Diteliti, observasi dan dilakukan pengamatan didapatkan jenis bakteri *Bacillus subtilis* menunjukkan bahwa bakteri yang dapat berkembang biak dengan suhu di Indonesia serta menghasilkan kalsit/Kristal terbanyak berasal dari wilayah Papua. Kemudian peneliti melakukan pengujian dengan mencampurkan bakteri dan pasir, lalu diperam atau didiamkan selama 1 bulan lamanya dengan suhu ruang. Hasil yang didapatkan menunjukkan perubahan dari pasir menjadi batuan pasir hal ini disebabkan oleh bakteri *Bacillus subtilis* selama masa pemeraman sudah mencapai tahap maksimal menghasilkan Kristal/kalsit yang membentuk batuan pasda pasir tersebut. Hasil penelitian ini juga didukung oleh dari hasil foto SEM yang menunjukkan adanya Kristal didalam kandungan pasir tersebut.

10. Cheng, L. 2012 : Pada penelitian ini menyajikan sebuah aplikasi baru yaitu Pengendapan Kalsium Karbonhidrat Padat (MICP) sebagai teknik konsolidasi untuk tanah jenuh dengan menggunakan metode permukaan isolasi yang mudah diterapkan. Bakteri dapat bergerak di kolom lebih dari 1 m panjang pada tingkat isolasi yang tinggi dengan menerapkan

lapisan bergantian beberapa suspensi bakteri dan solusi fiksasi diikuti dengan inkubasi. Peningkatan kekuatan kolom pasir mencapai tingkat yang wajar homogenitas tanpa pembentukan kerak di permukaan

11. Angelina Lynda 2013 : 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 dan nilai sudut geser dalam sebesar  $35.07^\circ$ . Terjadi peningkatan nilai kohesi sebesar 297% terhadap nilai kohesi sampel tanah asli dan terjadi peningkatan nilai sudut geser dalam sebesar 6,86 % terhadap nilai sudut geser dalam tanah asli.