



## Evaluasi Nilai CBR Tanah Bekas Tambang Dengan Metode *Biogrouting*

Fonda D. S. Timbuleng<sup>#a</sup>, Steeva G. Rondonuwu<sup>#b</sup>, Lanny D. K. Manaroinsong<sup>#c</sup>

<sup>#a</sup>Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia  
<sup>a</sup>timbulengfonda@gmail.com; <sup>b</sup>steeva\_rondonuwu@unsrat.ac.id; <sup>c</sup>lannymanaroinsong@gmail.com

### Abstrak

Kegiatan menambang emas dengan sistem tambang terbuka dapat merubah sifat fisis dan mekanis tanah yang bisa menjadi masalah dalam pembangunan infrastruktur. Salah satu hal yang menjadi penilaian dari kondisi struktur tanah adalah nilai daya dukung tanah dalam menahan beban yang bekerja diatas tanah. Untuk mengetahui besarnya nilai daya dukung tanah dilakukan pengujian CBR (*California Bearing Ratio*). Pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* menunjukkan peningkatan nilai CBR tanah. Dalam penelitian ini, bakteri *Bacillus Subtilis* dan *Fly Ash* digunakan sebagai bahan stabilisasi, dengan variasi reagen bakteri *Bacillus Subtilis* 5%, 10% dan 15% terhadap kadar air optimum tanah dan *Fly Ash* sebanyak 5% terhadap berat sampel tanah. Berdasarkan hasil penelitian, penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* dan *Fly Ash* menyebabkan penurunan pada nilai CBR tanah, dengan nilai penurunan tertinggi sebesar 21,99% pada penambahan reagen bakteri 10% dan *Fly Ash* 5% (tanpa rendam) dengan waktu pemeraman 7 hari dan sebesar 54,53% pada penambahan reagen bakteri 15% dan *Fly Ash* 5% (rendaman) dengan waktu pemeraman 0 hari. Kondisi ini terjadi dengan asumsi bahwa bakteri tidak melakukan aktivitas biologi pada tanah dengan kadar air yang rendah sehingga nilai CBR tidak mengalami peningkatan.

*Kata kunci: CBR laboratorium, biogrouting, Bacillus Subtilis, fly ash, tanah bekas tambang*

### 1. Pendahuluan

Pertambangan emas di Indonesia umumnya dilakukan dengan sistem tambang terbuka yaitu dengan mengupas lapisan tanah atas dan batuan yang ada di atasnya sampai pada lapisan yang mengandung emas. Akibat dari kegiatan tersebut yaitu perubahan pada sifat dari tanah itu sendiri. Tanah bekas tambang dapat mengalami penurunan sifat fisis dan mekanis tanah yang menjadi masalah yang besar dalam pembangunan infrastuktur. Salah satu hal yang menjadi penilaian dari kondisi struktur tanah adalah nilai daya dukung tanah dalam menahan beban yang bekerja diatas tanah. Untuk mengetahui besarnya nilai daya dukung tanah, dilakukan pengujian CBR (*California Bearing Ratio*).

Teknologi *Biogrouting* merupakan teknologi yang mensimulasikan proses diagenesis, yaitu transformasi butiran pasir menjadi batuan pasir. Teknik perbaikan tanah dilakukan dengan menempatkan bakteri atau mikroorganisme tertentu dalam tanah yang akan distabilkan. Dalam hal ini bakteri *Bacillus Subtilis* dibiarkan beraktivitas dalam tanah, aktivitas mikroorganisme akan menimbulkan zat-zat tertentu yang dapat meningkatkan proses solidifikasi tanah sehingga menaikan daya dukung dan kekuatan tanah.

Pada penelitian ini ditambahkan juga *Fly Ash* (abu terbang). Penambahan *Fly Ash* sebagai bahan stabilisasi tanah diharapkan dapat menjadi alternatif untuk mendaur ulang limbah. *Fly Ash* itu sendiri merupakan limbah sisa hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik.

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dari penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh bakteri *Bacillus Subtilis* dalam penanganan kerusakan tanah pasca tambang. Agar penelitian yang dilakukan tidak melebar dan lebih terarah, maka perlu adanya batasan masalah.

Batasan masalah tersebut antara lain (1) tanah bekas tambang emas merupakan sampel tanah yang akan distabilisasi, (2) penelitian ini menggunakan bakteri *Bacillus Subtilis*, (3) variasi campuran reagen bakteri *Bacillus Subtilis* sebanyak 5%, 10%, dan 15%, (4) variasi campuran tambahan *Fly Ash* sebanyak 5% pada setiap sampel, (5) sifat-sifat kimia dari benda uji tidak diperiksa.

Tujuan dari penelitian ini adalah (1) mendapatkan indeks properti tanah akibat penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* dan *Fly Ash*, (2) pengaruh bakteri *Bacillus Subtilis* dalam meningkatkan nilai CBR tanah. Manfaat dari penelitian ini adalah (1) dapat menjadi terobosan teknologi bagi perbaikan kekuatan tanah yang sudah terkontaminasi logam berat tambang emas menggunakan teknik *Biogrouting* yaitu dengan penggunaan bakteri, (2) diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi kemajuan ilmu pengetahuan khususnya pada bidang geoteknik dan rekayasa lingkungan, (3) sebagai alternatif bahan material stabilisasi tanah yang lebih ramah lingkungan.

## 2. Landasan Teori

### 2.1 *Biogrouting*

Teknologi *Biogrouting* merupakan teknologi yang mensimulasikan proses diagenesis, yaitu transformasi butiran pasir menjadi batuan pasir (*calcarenite* atau *sandstone*). Kristal kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang terbentuk dari teknologi *biogrouting* akan menjadi pemersatu antara butiran pasir sehingga menyebabkan proses sementasi, dan mengubah pasir menjadi batuan pasir (Fadliah, 2013). Hal ini yang nantinya akan menentukan karakteristik sifat tanah seperti struktur dan kuat geser tanah. Namun, secara alami proses ini memerlukan waktu hingga jutaan tahun. Oleh karena itu, diperlukan bakteri dengan maksud mempercepat proses presipitasi karbonat hasil aktivitas metabolisme bakteri (DeJong et al, 2010).

### 2.2 *Bacillus Subtilis*

*Bacillus* adalah bakteri berbentuk gram-positif yang berbentuk batang dan katalase-positif dengan suhu optimal untuk pertumbuhan antara 25-35° C. Sel *Bacillus Subtilis* biasanya berbentuk batang, dengan panjang sekitar 4-10 mikrometer dan berdiameter 0.25-1,0 mikrometer.

Menurut Holt, et al (2000), *Bacillus* termasuk kedalam kelompok bakteri batang dan kokus pembentuk endospore dengan ciri-ciri memiliki bentuk sel batang, motil karena memiliki satu *flagel*, gram positif, bersifat aerobik, membentuk endospore. Meskipun *Bacillus* dianggap aerobik yang ketat, ditemukan kemudian bahwa mereka dapat hidup secara anaerob dalam kondisi yang ditentukan. Bakteri *Bacillus Subtilis* adalah bakteri yang mampu hidup dalam lingkungan kering dan suhu panas dengan membentuk endospora serta memiliki banyak flagela yang memberi kemampuan untuk bergerak cepat di dalam cairan.

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

#### 2.2.1 *Klasifikasi Bacillus Subtilis*

Menurut *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology 2<sup>nd</sup> Edition* (2001) *Bacillus Subtilis* diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Bacteria  
Filum : Firmicutes  
Kelas : Bacili  
Order : Bacillales  
Famili : Bacillaceae  
Genus : *Bacillus*  
Spesies : *Bacillus Subtilis*

### 2.3 *Fly Ash*

*Fly Ash* merupakan sisa atau limbah dari hasil pembakaran batu bara pada pembangkit

listrik. *Fly Ash* mempunyai titik lebur sekitar 1300°C dan mempunyai kerapatan massa (densitas), antara 2.0 – 2.5 g/cm<sup>3</sup>. *Fly Ash* adalah salah satu residu yang dihasilkan dalam pembakaran dan terdiri dari partikel-partikel halus.

*Fly Ash* umumnya ditangkap oleh pengendap elektrostatik atau peralatan filtrasi partikel lain sebelum gas buang mencapai cerobong asap pembangkit listrik batu bara dan mengendap di bawah tungku yang dikenal dengan abu batu bara. Komponen abu terbang sangat bervariasi (tergantung pada sumber dan tampilan batu bara yang dibakar), akan tetapi semua abu terbang memiliki komponen kimia silikon dioksida (SiO<sub>2</sub>) dan kalsium oksida (CaO) dengan jumlah yang cukup besar karena kedua bahan kimia tersebut banyak terdapat dalam lapisan batuan batu bara.

#### 2.4 California Bearing Ratio (CBR)

CBR merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan, dengan perbandingan antara beban penetrasi suatu lapisan tanah atau perkerasan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. CBR adalah perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0,1”/0,2” (Sukirman, 1995). Nilai CBR dipakai sebagai dasar perencanaan perkerasan yang terdapat pada timbunan jalan. Semakin tinggi nilai CBR maka semakin baik pula kondisi tanah dasar. Pengujian CBR dimaksudkan untuk mendapatkan daya dukung relatif tanah untuk keperluan desain perkerasan. Pengujian CBR dapat dilakukan di lapangan maupun di laboratorium.

$$CBR = \frac{\text{Beban terkoreksi}}{\text{Beban standar}} \times 100$$

### 3. Metode

Penelitian ini diawali dengan mengumpulkan literatur atau referensi yang penulis perlukan sebagai bahan acuan dalam menunjang penelitian ini. Kemudian, dilakukan pengambilan sampel tanah yang akan digunakan sebagai benda uji penelitian. Sampel tanah diambil di Kec. Ratatoto, Kab. Minahasa Tenggara, Provinsi Sulawesi Utara. Selanjutnya, dilakukan pengambilan bahan tambahan, yaitu *Fly Ash* yang diambil di PLTU Sulut 3 Kec. Kema, Kab. Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara. Setelah benda uji sudah ada, benda uji dijemur dibawah cahaya matahari kemudian dibawah ke laboratorium untuk diperiksa sifat-sifat fisik tanah dengan melakukan pengujian kadar air, berat jenis, analisa saringan, batas-batas *Atterberg*, pemadatan dan CBR. Setelah data awal sudah ada, dilanjutkan dengan pembuatan larutan sementasi (reagen bakteri) dengan komposisi larutan seperti pada Tabel 2, kemudian dilakukan pencampuran tanah asli dengan reagen bakteri dan *Fly Ash* dengan komposisi sebagai berikut:

**Tabel 1.** Komposisi Campuran Benda Uji

No.	Sampel Uji CBR	Waktu Pemeraman	Persentase <i>Fly Ash</i> (terhadap volume sampel tanah)	Persentase Reagen Bakteri (terhadap volume kadar air optimum sampel tanah)	Jumlah Sampel (Buah)
1	I	0 hari	5 %	5%	2
2	II	0 hari	5%	10%	2
3	III	0 hari	5%	15%	2
4	IV	7 hari	5%	5%	2
5	V	7 hari	5%	10%	2
6	VI	7 hari	5%	15%	2

**Tabel 2.** Komposisi Larutan Sementasi (Reagen Bakteri)

No.	Bahan	Kuantitas
1.	Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>	10 ml
2.	CaCl <sub>2</sub>	10 gr
3.	Urea	100 gr
4.	Air	50 ml

Setelah sampel tanah dicampur dengan reagen bakteri dan *Fly Ash* sesuai dengan komposisi diatas, maka selanjutnya dilakukan pemeraman selama 0 hari dan 7 hari. Kemudian setelah diperam, dilanjutkan dengan pengujian CBR.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

No	Karakteristik Tanah	Nilai	Satuan
1	Kadar Air (w)	1,15	%
2	Berat Jenis (Gs)	2,56	gr/m <sup>3</sup>
3	Batas-batas <i>Atterberg</i> : Batas Cair (LL) Batas Plastis (PL) Indeks Plastis (IP)	17,79 18,73 0 ( <i>not found</i> )	% % %
4	Analisa Saringan: Lolos saringan no. 4 Lolos saringan no. 40 Lolos saringan no. 200	100 32 9,91	% % %

##### 4.2 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Dari hasil pengujian sifat-sifat fisik tanah maka didapatkan banyaknya contoh tanah yang lolos saringan no. 200 adalah 9,91% atau kurang dari 10%, dan nilai indeks plastis 0 (*not found*) yang berarti tidak plastis maka tanah dikelompokkan dalam kelompok A3 dengan tipe material yang paling dominan adalah pasir halus.

##### 4.3 Klasifikasi Tanah Sistem USCS

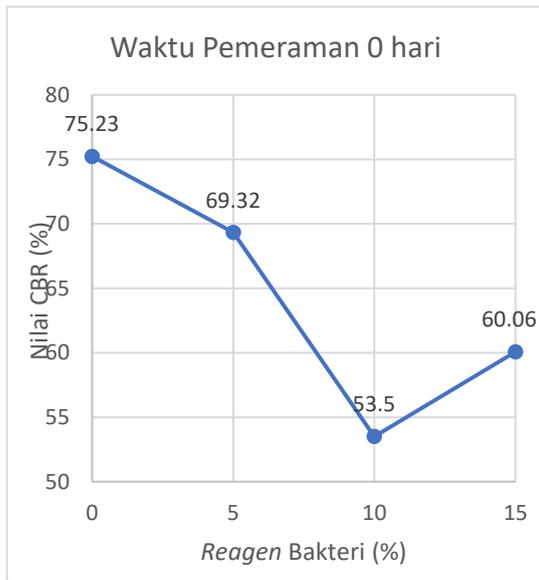
Dalam sistem klasifikasi tanah USCS, berdasarkan pengujian analisa saringan yang telah dilakukan, banyaknya tanah yang tertahan pada saringan no. 200 adalah 90,09% atau lebih dari 50% yang diklasifikasikan dalam tanah berbutir kasar (*coarse grained*) dengan simbol kelompok S. Karena dominan pasir, maka tanah diklasifikasikan sebagai jenis tanah berpasir dengan butiran halus berlanau.

##### 4.4 Pengujian CBR

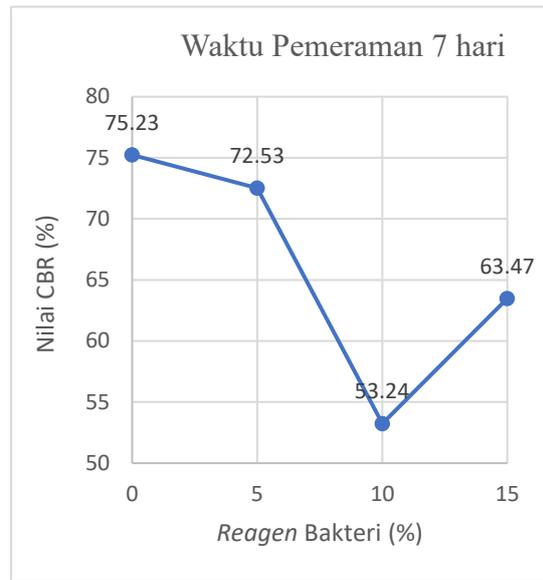
Hasil pengujian CBR didapatkan dari 2 kondisi yang berbeda, yaitu CBR tanpa rendam dan

CBR rendaman.

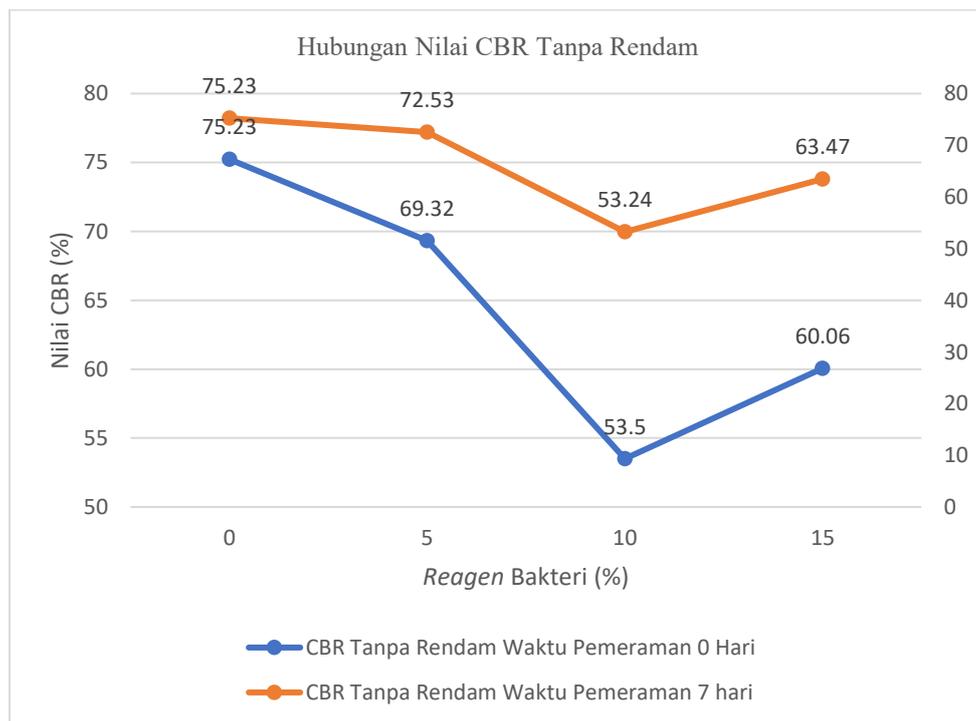
1. CBR Tanpa Rendam



Gambar 2a. Grafik Nilai CBR Tanpa Rendam dengan Waktu Pemeraman 0 Hari

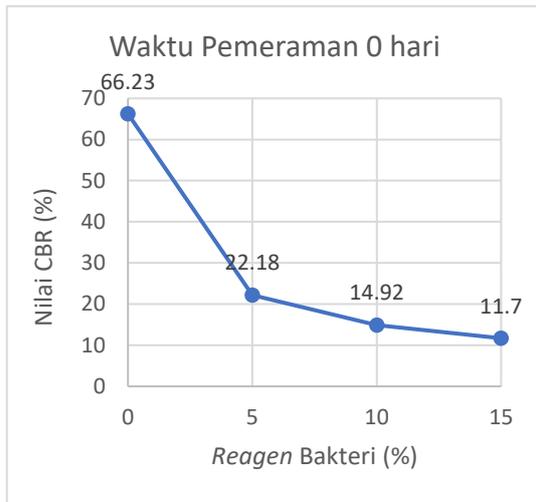


Gambar 2b. Grafik Nilai CBR Tanpa Rendam dengan Waktu Pemeraman 7 Hari

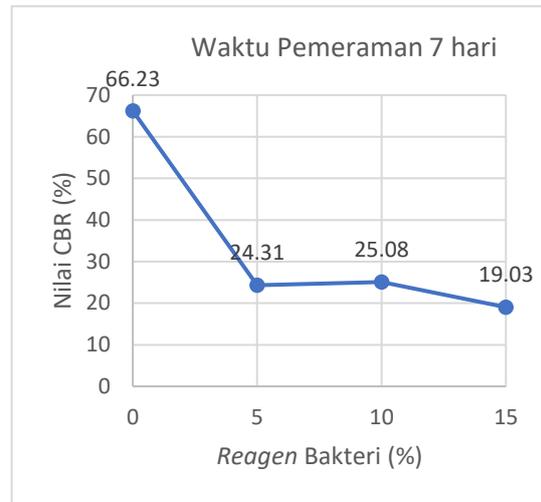


Gambar 3. Grafik Hubungan Nilai CBR Tanpa Rendam

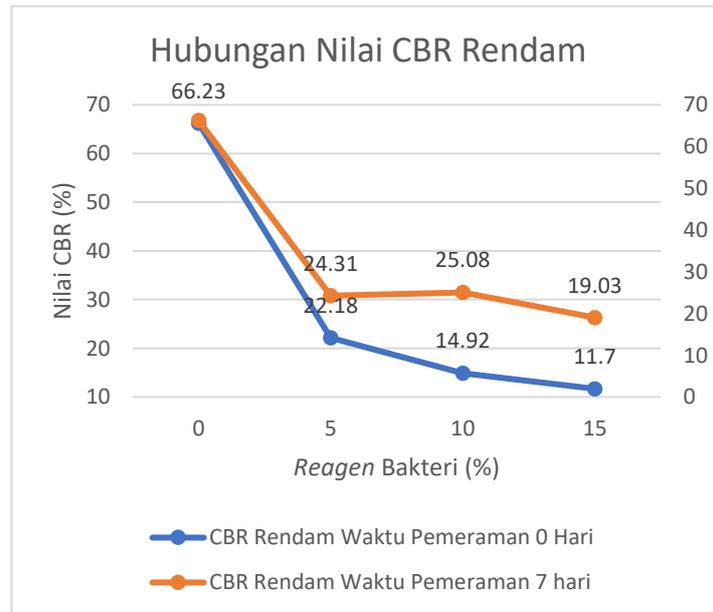
2. CBR Rendam



Gambar 4a. Grafik Nilai CBR Rendam dengan Waktu Pemeraman 0 Hari



Gambar 4b. Grafik Nilai CBR Rendam dengan Waktu Pemeraman 7 Hari



Gambar 5. Grafik Hubungan Nilai CBR Rendam

3. Analisis Hasil

Dikarenakan dalam penelitian ini tidak diuji sifat kimia dari sampel tanah maka berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Manullang dkk (2021), hasil pengujian karakteristik sifat kimia tanah bekas tambang di Kenagarian Tebing Tinggi Kecamatan Pulau Punjung di Kabupaten Dahrmasraya adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil Rata-rata Analisis Karakteristik Sifat Kimia Tanah

No.	Sifat Kimia	Lahan Akses Terbuka Bekas Tambang Emas		
		Segmen 1	Segmen 2	Segmen 3
1	pH (H2O) &	3,84 SM	3,70 SM	3,69 SM
	Al-dd	2,15	2,15	1,65

No.	Sifat Kimia	Lahan Akses Terbuka Bekas Tambang Emas		
		Segmen 1	Segmen 2	Segmen 3
2	C-Organik (%)	1,03 R	2,48 S	2,51 S
	Rasio C/N	19,82 T	24,96 T	17,73 T
3	N-Total (%)	0,05 SR	0,11 R	0,12 R
4	P Bray I (ppm)	0,43 SR	0,61 SR	0,47 SR
5	K-dd (cmol/kg)	0,60 T	0,60 T	0,77 T
6	Hg (mg/kg)	0,38 BK	0,44 BK	0,56 BK

Sumber: Manullang, dkk. (2021)

Tabel di atas menunjukkan hasil sampel tanah bekas tambang mengandung beberapa senyawa kimia yang berbahaya. Berdasarkan hasil tersebut maka diperkirakan pada penelitian ini, nilai CBR mengalami penurunan karena kemungkinan bakteri mati pada saat pemeraman, dikarenakan bahan-bahan kimia yang terkandung dalam tanah.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi dengan judul penelitian “Evaluasi Nilai CBR Tanah Bekas Tambang dengan Metode *Biogrouting*”, dengan sampel tanah yang diambil di Pertambangan Emas Rakyat Kec. Ratatotok, Kab. Minahasa Tenggara, Sulawesi Utara, maka dapat disimpulkan:

1. Sifat-sifat tanah asli yang menjadi objek penelitian ini adalah tanah pasir halus berlanau dengan berat jenis  $2,556 \text{ gr/m}^3$  dan kadar air 1,15%.
2. Penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* dan *Fly Ash* menyebabkan penurunan pada nilai CBR tanah, dengan nilai penurunan tertinggi sebesar 21,99% pada penambahan reagen bakteri 10% dan *Fly Ash* 5% (tanpa rendam) dengan waktu pemeraman 7 hari dan sebesar 54,53% pada penambahan reagen bakteri 15% dan *Fly Ash* 5% (rendaman) dengan waktu pemeraman 0 hari.

## Referensi

- Badan Standarisasi Nasional. (2015). *SNI 6371:2015*. Jakarta.
- Bowles, J. E. (1984). *Sifat-sifat Fisik dan Geoteknik Tanah*. Penerbit Erlangga.
- Budi, G. S. (2011). *Pengujian Tanah di Laboratorium; Penjelasan dan Panduan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Darwis, H. (2017). *Dasar-dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Yogyakarta: Pustaka AQ.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Fadliyah, I. (2013) Studi Eksperimental Stabilisasi *Biogrouting Bacillus Subtilis* pada Tanah Lempung Kepasiran. *Universitas Hasanuddin Makassar*.
- Hardiyatmo, H. C. (1992). *Mekanika Tanah I*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Hariato, T., Nur, S. H., & Arfandy, R. A. (2017). Stabilisasi Tanah Ekspansive Dengan Metode Bioremediasi. *Universitas Hasanuddin Makassar*.
- Holt, J. G., et al. (1994). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Ninth Ed. A Wolters Kluwer Company. Philadelphia.
- Indriani, A. M., & Utomo, G. (2023). Pengaruh *Microbially Induced Calcite Precipitation* (MICP) terhadap Perilaku Kuat Geser Tanah Terkontaminasi Batubara. *Jurnal Teknik Sipil UNP, Volume 10 No. 1*.
- Lynda, A. (2013). Karakteristik Kuat Geser Tanah Dengan Metode Stabilisasi *Biogrouting* Bakteri *Bacillus Subtilis*. *Universitas Hasanuddin Makassar*.
- Manullang, D. W. S., Gusmini., & Rezki, D. (2021). Karakteristik Sifat Kimia Tanah dan Kandungan Merkuri pada Lahan Bekas Tambang Emas dan Lahan Perkebunan Kelapa Sawit (*Elaeis guinensis* Jacq.). *Jurnal Riset Perkebunan (JRP), Volume 2 No.1*.
- Mawardi. (2021). Penambahan Mikroba *Bacillus Subtilis* dan Pasir Untuk Stabilisasi Tanah Gambut. *Universitas Islam Riau*.
- Mochtar, N. E., Yulianto, F. E., & S., Trihanyndio, R. (2014). Pengaruh Usia Stabilisasi pada Tanah Gambut Berserat yang Distabilisasi dengan Campuran  $\text{CaCO}_3$  dan Pozolan. *Jurnal Teknik Sipil ITS, Volume 21 No.1*.

- Syarif, F., Davino, G. M., & Ardianto, M. F. (2020). Penerapan Teknik *Biocementation* Oleh *Bacillus Subtilis* dan Pengaruhnya Terhadap Permeabilitas Pada Tanah Organik. *Jurnal Teknik Sipil UIR, Volume 20 No. 1*, 47-52.
- Tronics, A. (2011). Studi Awal Pemanfaatan Teknik *Biogrouting* pada Tanah Pasir Untuk Proses Sementasi. *Universitas Indonesia Depok*.
- Tumanan, I. V., Harianto, T., & Arsyad, A. (2014). Studi Karakteristik Mekanika Tanah Organik Terstabilisasi Bakteri *Bacillus Subtilis*.
- Walewangko, B. Y., & Sompie, O. B. A. (2020). Pengaruh Penambahan *Fly Ash* dan Tras pada Tanah Lempung Terhadap Nilai CBR. *Jurnal Sipil Statik, Volume 8 No. 1*, 71-76.
- Wuisan, I. R., Ticoh, J. H., & Rondonuwu, S. G. (2021). Stabilisasi Tanah Pasir Berlempung Menggunakan Campuran Kapur dan Garam Dapur Terhadap Nilai CBR. *Jurnal Teknik Sipil TEKNO, Volume 19 No. 77*.
- Yuliani, E. (2015). Studi Efektivitas Perbaikan Struktur Tanah Berpasir Dengan Metode *Bioclogging* dan *Biocementation*. *Jurnal Teknik Perairan UBM, Volume 6 No. 2*, 168-173.