

**PENGARUH KULTUR BAKTERI PADA PROSES BIOSEMENTASI TANAH LATERIT
TERHADAP NILAI CBR**

***THE INFLUENCE OF BACTERIAL CULTURE ON THE SOIL LATERITE
BIOSEMENTATION PROCESS ON CBR VALUE***

Andi Marini Indriani^{1*}, Gunaedy Utomo², Nurul Fitriyani³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Balikpapan

Korespondensi: andi.marini@uniba-bpn.ac.id

ABSTRAK

Tanah laterit memiliki tingkat pelapukan yang tinggi serta kembang susut yang tidak seragam. Sehingga pada tanah ini kurang baik untuk dilakukan pekerjaan konstruksi. Biosementasi adalah suatu cara perbaikan tanah dengan mempergunakan kemampuan bakteri yang telah hidup di tanah untuk melakukan proses MCIP (*Microbial-induced Calcite Precipitation*) yang di peroleh dari bakteri *Bacillus Subtilis*. Stabilisasi biosementasi ini dapat meningkatkan nilai kuat tanah dengan menambahkan bakteri *Bacillus Subtilis* sebagai bahan tambahan untuk menstabilkan tanah. Pengujian yang dilakukan yakni untuk mengetahui perubahan sifat mekanis tanah CBR Laboratorium, dengan mencampurkan 3% bakteri ke tanah yang akan di stabilisasi. Hasil pengujian nilai CBR Laboratorium *Soaked* dengan umur kultur satu hari mengalami peningkatan 4.8 kali lipat pada masa peram 28 hari serta meningkatkan nilai CBR Laboratorium *Soaked* umur kultur tiga hari mengalami peningkatan hingga 4.9 kali lipat dari nilai CBR sebelum di stabilisasi yaitu 19.5%. Hasil penelitian dengan stabilisasi menggunakan bakteri variasi 3% kultur satu hari meningkat hingga 95% dan meningkat hingga 96% pada kultur tiga hari. Sehingga dapat digunakan sebagai bahan tanah lapis pondasi jalan pada kelas B.

Kata kunci: Bakteri *Bacillus Subtilis*, Biosementasi, *California Bearing Ratio*, Stabilisasi Tanah, Tanah Laterit

ABSTRACT

Lateritic soils have a high rate of weathering and non-uniform shrinkage. So this land is not good for construction work. Biocementation is a method of soil improvement by using the ability of bacteria that have lived in the soil to do the MCIP (Microbial-induced Calcite Precipitation) process which is obtained from the bacterium Bacillus Subtilis. This biocementation stabilization can increase the strength of the soil by adding Bacillus Subtilis bacteria as an additive to stabilize the soil. The test was carried out to determine changes in the mechanical properties of CBR Laboratory soil, by mixing 3% bacteria into the soil to be stabilized. The results of testing the CBR value of the Soaked Laboratory with one day of culture increased 4.8-fold at the 28-day curing period and increasing the CBR value of the Soaked Laboratory of three-day culture increased up to 4.9 times the CBR value before stabilization, which was 19.5%. The results of the study with stabilization using bacteria variation of 3% one-day culture increased up to 95% and increased up to 96% in three-day culture. So that it can be used as a soil material for road foundations in class B.

Keywords: *Bacillus Subtilis* Bacteria, Biosementation, *California Bearing Ratio*, Soil Stabilization, Laterite Soil

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kalimantan Timur merupakan wilayah dengan sebagian besar memiliki karakteristik tanah yang bersifat lunak dan daya dukungnya rendah (Arianto, 2020). Salah satu jenis tanah yang di temukan di Kalimantan Timur adalah tanah laterit. Laterit merupakan batuan yang terbentuk dari hasil endapan zat-zat nikel dan besi tetapi pemanfaatan tanah ini kurang di maksimalkan karena kurang cocok sebagai tanah utama untuk pembangunan terutama sebagai tanah inti untuk struktural (Ain & Soeparlan, 2020).

Tanah laterit memiliki tingkat pelapukan yang tinggi serta kembang susut yang tidak seragam sehingga jenis tanah ini memiliki potensi kerusakan yang tinggi jika di lakukan pekerjaan konstruksi sehingga jenis tanah ini perlu untuk di stabilisasi. Pada tanah yang mudah mengalami kembang susut system pengaliran air juga harus diperhatikan agar keadaan tanah selalu dalam keadaan kering (Yusran et al., 2022) Pemilihan metode yang tepat (Hendriyani et al., 2018) untuk perbaikan dan pengujian tanah harus dilakukan guna mendapatkan hasil yang diinginkan, untuk menghindari kesalahan dan melakukan penghematan (Andi Marini Indriani et al., 2022) dalam proses stabilisasi Biosementasi merupakan metode perbaikan tanah dengan memanfaatkan kemampuan bakteri yang memang hidup di dalam tanah untuk menghasilkan enzim urease. (A. M. Indriani et al., 2021) Perbaikan tanah lempung dengan bakteri *Bacillus Subtilis* dapat meningkatkan nilai modulus reaksi dari 8,96% naik menjadi 20-40% (Lim et al., 2019). Selain itu proses biosementasi pula mampu meningkatkan nilai kuat geser tanah hingga 18,18% pada tanah pasir (Nurdin et al., 2017) serta meningkatkan nilai permeabilitas tanah sehingga pori-pori tanah semakin mengecil (Lim et al., 2019).

Bahkan pada tanah terkontaminasi batubara dimana memiliki pH tanah yang rendah, bakteri *Bacillus Subtilis* dapat hidup dan meningkatkan nilai UCS hingga 3 kali lipat dibandingkan dengan tanah asli (Andi Marini Indriani et al., 2021). Pengujian tanah yang distabilisasi harus dilakukan secara menyeluruh untuk melihat perubahan karakteristik tanah (Marini et al., n.d.) Maka perlu adanya kajian mengenai pengaruh penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap peningkatan nilai *California Bearing Ratio* tanah laterit.

Berdasarkan deskripsi pada latar belakang maka di dapatkan rumusan masalah yaitu:

bagaimana perubahan nilai CBR tanah laterit setelah di stabilisasi dengan metode biosementasi dapat digunakan sebagai tanah lapis pondasi jalan?

METODE

Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental yaitu dengan melakukan penelitian secara langsung di laboratorium dalam rangka untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada tanah laterit yang di stabilisasi dengan penambahan bakteri *Bacillus Subtilis*.

Tahapan pertama yaitu menganalisis kandungan senyawa kimiawi pada sampel tanah yang dipakai untuk memastikan bahwa sampel tanah tersebut termasuk kedalam kategori tanah laterit sesuai dengan standar dari badan penelitian dan pengembangan jalan dan jembatan (2012). Adapun bakteri *Bacillus Subtilis* di peroleh dari laboratorium mikrobiologi Universitas Hasanudin, Makassar.

Tahapan kedua yaitu menganalisis karakteristik sifat fisik dari sampel tanah yang didapatkan Serta melakukan pembiakan bakteri. Tahapan ketiga yaitu melakukan rancangan pencampuran dengan menambahkan bakteri *Bacillus Subtilis* sebanyak 3% dengan umur kultur satu hari dan tiga hari. Adapun penelitian ini di lakukan di laboratorium Universitas Balikpapan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji XRF (*X Ray Fluoresence Spectrometer*)

Berdasarkan dari hasil uji XRF (*X Ray Fluoresence Spectrometer*) yang dilakukan di laboratorium kimia dengan alat *Horiba Scientific* yang dilakukan pada sampel tanah yang di uji di perolehlah hasil sebagaimana ditampilkan pada **Tabel 1** berikut ini.

Element	Concentration	Unit
Si	49.8226	%
Fe	34.6313	%
Al	5.1521	%
Mn	0.2569	%

Sumber: Penelitian (2022)

Pada tabel di atas membuktikan bahwa sampel tanah yang di ambil memenuhi kriteria tanah laterit sebagaimana merujuk pada pusat penelitian jalan dan jembatan (2012) terkait unsur-unsur yang

terkandung di dalam tanah laterit di antaranya yaitu Fe, Al, dan Si.

Karakteristik Fisik Tanah Laterit Sebelum Stabilisasi

Setelah dilakukan pengujian di Laboratorium Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Balikpapan, diperoleh karakteristik tanah laterit sebagai berikut.

Tabel 2. Karakteristik Fisik Tanah

Jenis Pengujian	Hasil
Kadar air Natural	3.34%
Berat jenis	2.739 gr/cm ³
Batas cair	15.49%
Batas plastis	8.12%
Indeks Plastisitas	7.38%
Lolos saringan no.200 (dicuci)	57.62 %

Sumber: Penelitian (2022)

Berdasarkan **Tabel 2** Secara eksplisit tanah laterit yang diuji memiliki kadar air yang cukup rendah yakni 3.34%. Untuk uji berat jenis tanah rata-rata adalah sebesar 2,739 gr/cm³. Hasil nilai ini masuk termasuk kedalam jenis tanah lempung tak organik (Hardiyatmo, 1992).

Untuk nilai plastisitas tanah laterit, didapatkan nilai kadar air 15,49% dan indeks plastisitas 7.38%. Tanah ini terklasifikasi sebagai jenis tanah lempung anorganik dengan plastisitas rendah.

Karakteristik Mekanik Tanah Laterit Sebelum Stabilisasi

Pemadatan dilakukan dengan menggunakan pengujian *standar proctor* sehingga diperoleh nilai berat isi kering maksimum dan kadar air optimum seperti **Tabel 3** dibawah ini.

Tabel 3. Karakteristik Mekanik Tanah

Jenis Pengujian	Concentration
Kadar Air Optimum (OMC)	16.1%
Kepadatan kering maximum (MDD)	1,696 gr/cc

Sumber: Penelitian (2022)

Dari hasil diatas diperoleh hasil berat isi kering maksimum adalah 1,696 gr/cc dan kadar air optimum sebesar 16.1%. Hasil pemadatan standar proctor ini merupakan acuan terhadap pengujian *California Bearing Ratio* (CBR). Hasil pengujian CBR diperoleh nilai sebesar 22.2% untuk kondisi *unsoaked* dan 19.5% untuk *soaked*.

Karakteristik Mekanik Tanah Laterit Setelah Stabilisasi

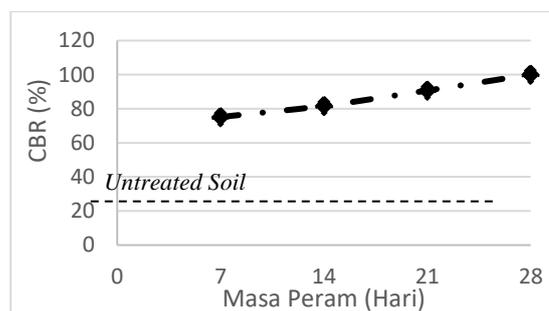
a. Bakteri culture 1 hari

Pengujian CBR laboratorium yang dilakukan adalah pengujian CBR yang bersifat *soaked* (rendaman) dan *unsoaked* (tanpa rendaman). Adapun sampel uji CBR kondisi harus di peram selama 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari sehingga diperoleh nilai seperti ditampilkan dalam **Tabel 4**.

Tabel 4. Nilai CBR dengan Penambahan 3% Bakteri *Bacillus Subtilis* pada Umur Kultur 1 Hari

Parameter	Masa Peram (Hari)			
	7	14	21	28
CBR <i>Unsoaked</i> (%)	75.2	81.7	90.7	100.1
CBR <i>Soaked</i> (%)	48.7	77.4	86.1	94.7

Sumber: Penelitian (2022)

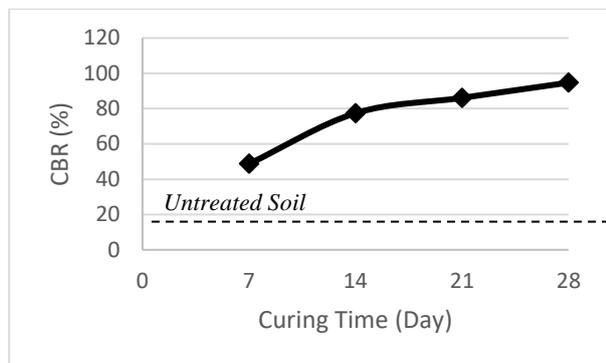


Sumber: Penelitian (2022)

Gambar 1. Grafik Hubungan CBR *Unsoaked* dengan Penambahan 3% Bakteri *Bacillus Subtilis* Kultur 1 Hari

Pada **Gambar 1** dapat terlihat bahwa pada penambahan bakteri 3% dengan umur kultur satu hari pada masa peram 7 hari mampu meningkatkan nilai CBR *Unsoaked* hingga 3.25 kali lipat dari nilai kuat tanah yang tidak distabilisasi (*Untreated Soil*) dimana yang sebelum di stabilisasi adalah 22.2% menjadi 75.2%. Sedangkan puncak nilai CBR maksimum terdapat pada masa peram 28 dimana nilai CBR *Unsoaked* meningkat hingga 4.5 kali lipat menjadi 100.1%.

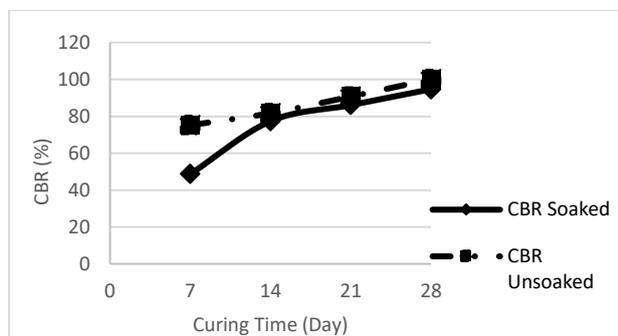
Pada penambahan bakteri 3% dengan umur kultur satu hari pada masa peram 7 hari mampu meningkatkan nilai CBR *Soaked* hingga 2.45 kali lipat dari nilai kuat tanah asli yang sebelum di stabilisasi adalah 19.5% menjadi 48.1%. Sedangkan puncak nilai CBR maksimum terdapat pada masa peram 28 dimana nilai CBR *Soaked* meningkat hingga 4.8 kali lipat menjadi 94.7% seperti terlihat pada **Gambar 2**.



Sumber: Penelitian (2022)

Gambar 2. Grafik Hubungan CBR *Soaked* dengan Penambahan 3% Bakteri *Bacillus Subtilis* Kultur 1 Hari

Terdapat perbedaan nilai CBR untuk tanah yang direndam (*soaked*) dimana nilai yang direndam lebih kecil hal ini disebabkan oleh kondisi kadar air yang lebih tinggi sehingga menyebabkan penurunan pada kekuatan (Marini et al., 2021) tanah laterit seperti terlihat pada **Gambar 3**.



Sumber: Penelitian (2022)

Gambar 3. Grafik Perbandingan Uji CBR *Unsoaked* dan *Soaked* dengan Penambahan 3% Bakteri *Bacillus Subtilis* Pada Umur Kultur 1 Hari

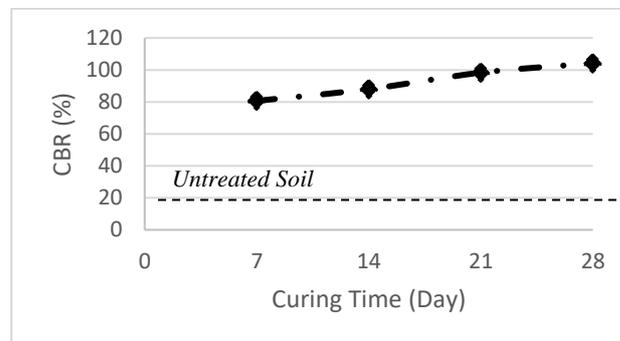
Selisih antara *soaked* dan *unsoaked* pada masa peram 7 hari cukup besar yaitu sebesar 26.5%. Sedangkan pada kondisi masa peram 14 hari hingga 28 hari perbedaan sudah mulai semakin kecil ini disebabkan kondisi tanah yang sudah mulai terjadi sementasi sehingga perendaman tidak terlalu memberikan pengaruh.

b. Bakteri culture 3 hari

Tabel 5. Nilai CBR dengan Penambahan 3% Bakteri *Bacillus Subtilis* pada Umur Kultur 3 Hari

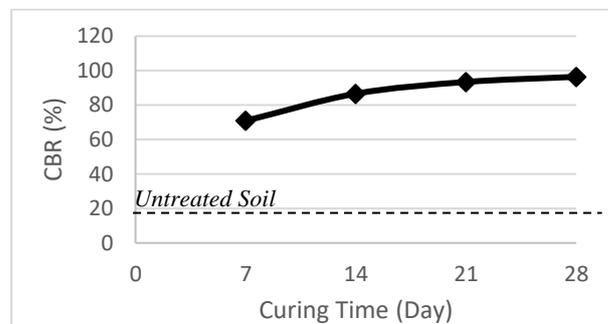
Parameter	Masa Peram (Hari)			
	7	14	21	28
CBR <i>Unsoaked</i> (%)	80.7	88	98.3	104.2
CBR <i>Soaked</i> (%)	70.9	86.6	93.4	96.4

Sumber: Penelitian (2022)



Sumber: Penelitian (2022)

Gambar 4. Grafik Hubungan CBR *Unsoaked* dengan Penambahan 3% Bakteri *Bacillus Subtilis* Kultur 3 Hari

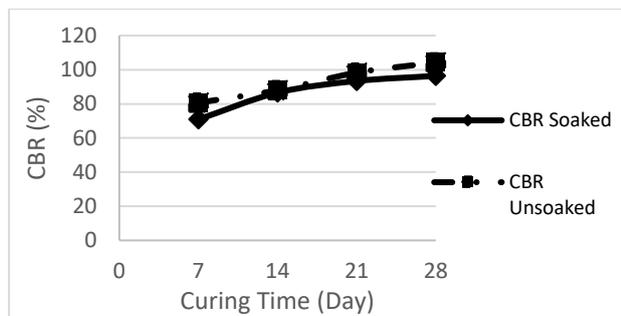


Sumber: Penelitian (2022)

Gambar 5. Grafik Hubungan CBR *Soaked* dengan Penambahan 3% Bakteri *Bacillus Subtilis* Kultur 3 Hari

Pada penambahan bakteri 3% dengan umur kultur tiga hari pada masa peram 7 hari mampu meningkatkan nilai CBR *Unsoaked* hingga 3.6 kali lipat dari nilai kuat tanah asli yang sebelum di stabilisasi adalah 22.2% menjadi 80.7%. Sedangkan puncak nilai CBR maksimum terdapat pada masa peram 28 dimana nilai CBR *Unsoaked* meningkat hingga 4.7 kali lipat menjadi 104.2%.

Pada penambahan bakteri 3% dengan umur kultur tiga hari pada masa peram 7 hari mampu meningkatkan nilai CBR *Soaked* hingga 3.6 kali lipat dari nilai kuat tanah asli yang sebelum di stabilisasi adalah 19.5% menjadi 70.9%. Pada masa peram 28 dimana nilai CBR *Soaked* meningkat hingga 4.9 kali lipat menjadi 96.4%.



Sumber: Penelitian (2022)

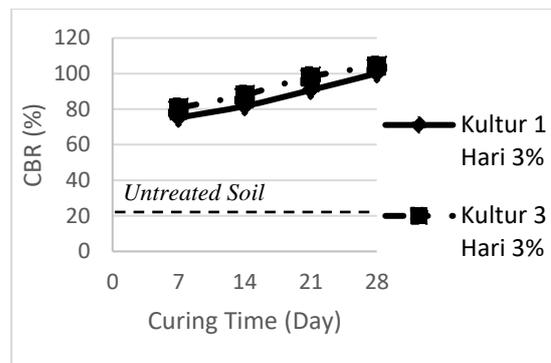
Gambar 6. Grafik Perbandingan Uji CBR *Unsoaked* dan *Soaked* dengan Penambahan 3% Bakteri *Bacillus Subtilis* Pada Umur Kultur 3 Hari

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 3% bakteri *Bacillus Subtilis* dengan umur kultur tiga hari mampu meningkatkan nilai CBR *soaked* dan *unsoaked* yang sangat tinggi. Akan tetapi pada masa peram 7 hari kondisi *soaked* mengalami selisih kenaikan yang cukup rendah di dibandingkan pada kondisi *unsoaked* yakni dengan selisih kurang lebih sebanyak 10%. Hal ini dapat di sebabkan karena adanya pengaruh air pada tanah sehingga membuat kenaikan pada kondisi *soaked* menjadi lebih rendah dibandingkan pada kondisi *unsoaked* (DeJong et al., 2006). Sedangkan pada kondisi masa peram 14 hari mulai mengalami kenaikan yang hampir sama dengan kondisi *unsoaked* karena pada masa peram ini bakteri mulai mengalami kestabilan dalam berkembangbiak dan terus mengalami peningkatan hingga pada masa peram 28 hari dengan selisih dari kedua nilai CBR ialah 7.8%. Proses perendaman sebenarnya membantu bakteri masuk lebih dalam ke kepori-pori tanah sehingga meningkatkan pengendapan calcite dan meningkatkan jumlah kontak antak butiran tanah (Oyediran & Ayeni, 2020).

Tabel 6. Nilai Perbandingan CBR *Unsoaked* Umur Kultur Satu Hari dan Umur Kultur Tiga Hari dengan Penambahan 3% Bakteri *Bacillus Subtilis*

Parameter	Umur Kultur	Masa Peram (Hari)			
		7	14	21	28
CBR Unsoaked (%)	1 Hari	75.2	81.7	90.7	100.1
	3 Hari	80.7	88	98.3	104.2

Sumber: Penelitian (2022)



Sumber: Penelitian (2022)

Gambar 7. Grafik Perbandingan Uji CBR *Unsoaked* Umur Kultur Satu Hari dan Umur Kultur Tiga Hari dengan Penambahan 3% Bakteri *Bacillus Subtilis*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 3% bakteri *Bacillus Subtilis* mengalami perbedaan kenaikan kuat tekan pada kondisi *unsoaked*, baik pada umur kultur satu hari maupun pada umur kultur tiga hari dengan selisih antar keduanya adalah 5%. Penyebab terjadinya perbedaan antar kedua hal ini karena pada umur kultur satu hari jumlah bakteri masih sedikit dibandingkan dengan umur kultur tiga hari. Pada umur kultur bakteri tiga hari jumlah bakteri cenderung lebih banyak karena bakteri sudah pada fase stationer atau puncak perkembangbiakan sehingga nilai kuat tekan yang diakibatkan pada umur kultur bakteri tiga hari cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan umur kultur satu hari (Mujah et al., 2019).

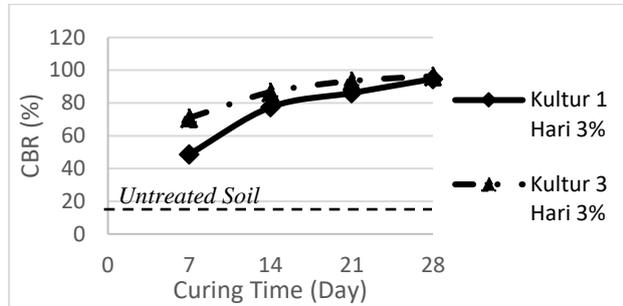
Tabel 7. Nilai Perbandingan CBR *Soaked* Umur Kultur Satu Hari dan Umur Kultur Tiga Hari dengan Penambahan 3% Bakteri *Bacillus Subtilis*

Parameter	Umur Kultur	Masa Peram (Hari)			
		7	14	21	28
CBR Soaked (%)	1 Hari	48.7	77.4	86.1	94.7
	3 Hari	70.9	86.6	93.4	96.4

Sumber: Penelitian (2022)

Pada masa peram 7 hari, kondisi *soaked* dengan umur kultur satu hari mengalami perbedaan nilai kuat tekan yang cukup tinggi yaitu dengan selisih sebesar 22.2%. Penyebab terjadinya perbedaan antar kedua hal ini karena pada umur kultur satu hari jumlah bakteri masih sedikit (Tang et al., 2020) dibandingkan dengan umur kultur tiga hari. Selain itu, air juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi tanah. Sedangkan pada masa peram

14 hari hingga 28 hari mulai mengalami kenaikan yang cenderung stabil bahkan hampir mendekati nilai kuat tekan yang di hasilkan pada umur kultur bakteri tiga hari. Hal ini di karenakan air sudah tidak berpengaruh tinggi terhadap tanah yang di stabilisasi dengan bakteri sebab bakteri sudah mampu berkembang biak dengan baik serta proses kristalisasi yang dihasilkan oleh bakteri merekatkan partikel-partikel tanah sehingga pori-pori tanah mengecil (Lim et al., 2019).



Sumber: Penelitian (2022)

Gambar 8. Grafik Perbandingan Uji CBR *Unsoaked* Umur Kultur Satu Hari dan Umur Kultur Tiga Hari dengan Penambahan 3% Bakteri *Bacillus Subtilis*

PENUTUP

Kesimpulan

Dapat disimpulkan dari hasil pengujian yang dilakukan antara lain:

- Hasil CBR *unsoaked* penambahan 3% bakteri *Bacillus Subtilis* menunjukkan penggunaan kultur 3 hari meningkatkan kekuatan tanah lebih baik dibandingkan penggunaan kultur 1 hari hal ini dikarenakan jumlah bakteri pada culture 3 hari lebih banyak dibandingkan di culture 1 hari karena telah masuk fase stasioner.
- Pada awal pemeraman selisih nilai CBR *unsoaked* terjadi selisih yang cukup besar tetapi seiring bertambahnya masa peram selisih nilai akan semakin kecil hal ini disebabkan karena air sudah tidak berpengaruh tinggi terhadap tanah yang di stabilisasi sebab proses kristalisasi yang dihasilkan oleh bakteri merekatkan partikel-partikel tanah sehingga pori-pori tanah mengecil.

Saran

Berdasarkan hasil analisa dan kesimpulan di atas terkait penelitian stabilisasi tanah laterit dicampur dengan bakteri *bacillus subtilis*, maka ada beberapa saran yang perlu disampaikan dan semoga berguna untuk penelitian selanjutnya.

- Menentukan kadar air dalam proses pengujian harus lebih jeli karena akan berpengaruh terhadap nilai CBR.
- Melakukan pengujian lanjutan terhadap nilai kuat geser terhadap tanah yang telah di stabilisasi dengan bakteri *Bacillus Subtilis*.
- Pengujian sampel yang telah di stabilisasi hendaknya dilakukan uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) agar dapat dilihat perubahan yang terjadi pada butiran tanah yang telah mengalami proses kimiawi dari proses stabilisasi dengan bakteri.
- Melakukan penelitian dengan bahan yang sama dengan meningkatkan persentase penambahan bakteri.
- Melakukan penelitian selanjutnya menggunakan bahan yang sama dengan memperhatikan berbagai aspek yang tidak diteliti dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ain, M. I. M., & Soeparlan, A. A. (2020). Pengaruh Penggunaan Batu Laterit Sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton. *Journal Dynamic Saint*, 4(2), 869–875.
- Arianto, B. (2020). Studi Potensi Resiko Tanah Lunak dalam Pembangunan Ibu Kota Negara dengan Ajuan Penanganan Menggunakan Metode Prefabricated Vertical Drain Berbahan Alami. *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik*, 19(2), 171–180.
- DeJong, J. T., Fritzes, M. B., & Nüsslein, K. (2006). Microbially Induced Cementation to Control Sand Response to Undrained Shear. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(11), 1381–1392.
- Hasriana, Samang, L., Harianto, T., & Djide, M. N. (2018). Bearing capacity improvement of soft soil subgrade layer with Bio Stabilized *Bacillus Subtilis*. *MATEC Web of Conferences*, 181, 0–5.
- Hendriyani, I., Marini, A., & Intan Putri, N. (2018). Analisis SWOT Pemilihan Material Dinding Bata Merah dan Bata Ringan di Penajam Paser Utara. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik*

Sipil, 2(1), 22.

Indriani, A. M., Harianto, T., Djamaluddin, A. R., & Arsyad, A. (2021). *Study on Bio-cementation of Ex-coal Mining Soil as a Road Construction Material* (pp. 193–201).

Indriani, Andi Marini, Harianto, T., Djamaluddin, A. R., & Arsyad, A. (2021). Bioremediation Of Coal Contaminated Soil As The Road Foundations Layer. *International Journal Of Geomate*, 21(84), 76–84.

Indriani, Andi Marini, Utomo, G., & Rizqy, M. (2022). Konstruksi Dengan Metode Earned Value Analysis. *Geo Ekonomi*, 13(September 2022), 128–137.

Lim, A., Muhammad, D. A., & Lestari, A. S. (2019). Studi Eksperimental Kemampuan Biosementasi Bakteri Lokal pada Tanah Pasir Lepas. *Jurnal Teknik Sipil*, 26(2), 129.

Marini, A., Harianto, T., Djamaluddin, D. A. R., & Arsyad, A. (n.d.). *Karakteristik Tanah Terkontaminasi Batubara Terstabilisasi Bakteri Sebagai Lapis Pondasi Jalan*.

Marini, A., Utomo, G., & Nur Fadhillah, M. (2021). Pengaruh Semen Pada Tanah Lempung Plastisitas Rendah Terhadap Nilai Cbr. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil TRANSUKMA*, 4(1), 23–32.

Mujah, D., Cheng, L., & Shahin, M. A. (2019). Microstructural and Geomechanical Study on Biocemented Sand for Optimization of MICP Process. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(4), 1–10.

Nurdin, M., Purwana, Y. M., & Setiawan, B. (2017). Pengaruh Microbakteri Bacillus Suptilus Dan Psidomonas Sp Terhadap Penurunan Permeabilitas Dan Peningkatan Kuat Geser Tanah Pasir. *Matriks Teknik Sipil*, 5(3), 1122–1129.

Oyediran, I. A., & Ayeni, O. O. (2020). Comparative effect of microbial induced calcite precipitate, cement and rice husk ash on the geotechnical properties of soils. *SN Applied Sciences*, 2(7).

Tang, C. S., Yin, L. yang, Jiang, N. jun, Zhu, C., Zeng, H., Li, H., & Shi, B. (2020). Factors affecting the performance of microbial-induced carbonate precipitation (MICP) treated soil: a review. *Environmental Earth Sciences*, 79(5).

Yusran, M., Indriani, A. M., & Utomo, G. (2022). *Perumahan Graha Indah Balikpapan Drainage System Planning In Graha Indah Housing Area Balikpapan. 2022*(Senastika), 90–99.