

Pengaruh Siklus Basah Kering terhadap Perilaku Mekanik Tanah Lempung Stabilisasi Biosementasi dengan Bakteri *Bacillus Subtilis*

Andi Marini Indriani^{1*}, Gunaedy Utomo², M Ryan Syahputra³

^{1,2}Teknik Sipil, Universitas Balikpapan, 76114, Indonesia

*Corresponding author, e-mail: andi.marini@uniba-bpn.ac.id

Received 2nd May 2023; 1st Revision 10th May 2023; Accepted 19th June 2023

ABSTRAK

Tanah lempung mempunyai daya dukung sangat kecil sehingga banyak menjadi masalah pada pekerjaan di bidang Teknik Sipil terutama pada negara dengan 2 musim seperti Indonesia. Siklus basah kering akibat perubahan musim ini tentu akan menyebabkan perubahan pada daya dukung tanah. Pada musim panas biasanya daya dukung cukup tinggi tetapi dimusim hujan daya dukung akan sangat rendah. Perkembangan metode stabilisasi tanah semakin baik dengan munculnya beberapa ide inovatif salah satunya dengan metode stabilisasi menggunakan mikroorganisme yang dikenal dengan istilah biosementasi. Tetapi metode ini harus terus dikaji terutama pengaruh siklus basah kering terhadap perubahan nilai CBR_{soaked} tanah lempung. Salah satu jenis mikroorganisme yang mampu menghasilkan $CaCO_3$ yang dapat meningkatkan daya dukung tanah adalah bakteri *Bacillus Subtilis*. Penelitian yang dilakukan dengan menerapkan metode curing yang berbeda dimana tanah diperam selama 14 hari dengan metode soaked yaitu dikeringkan selama 10 hari dan direndam selama 4 hari, Metode 1 Siklus A dengan cara di rendam selama 6 hari kemudian dikeringkan selama 8 hari dan metode 1 siklus B di keringkan selama 6 hari lalu dilakukan perendaman selama 6 hari dan dikeringkan selama 2 hari baru di uji untuk mengetahui perubahan sifat mekanis tanah California Bearing Ratio (CBR) dengan variasi campuran bakteri umur kultur 1 hari sebanyak 3%, 4.5% dan 6%. Hasil pengujian menunjukkan metode Soaked lebih baik dibandingkan metode 1 Siklus A dan B. Terjadi peningkatan nilai CBR dibandingkan dengan tanah asli dimana dengan metode Soaked meningkat hingga 5 kali lipat, metode 1 Siklus A sebesar 89% sedangkan metode 1 Siklus B hanya meningkat 15%.

Kata Kunci: lempung; daya dukung; mikroorganisme; siklus basah kering; bakteri

ABSTRACT

Clay soil has a very small bearing capacity so it becomes a problem for many Civil Engineering constructions, especially in country with 2 seasons like Indonesia. The dry wet cycle due to seasonal changes will certainly cause changes in soil bearing capacity. In the summer usually high but in the rainy season the bearing capacity will be very low. The soil stabilization methods is getting better with some new innovative ideas, one of which is the stabilization method using microorganisms known as biocementation. But this method must continue to be studied, especially the effect of the wet-dry cycle on changes in the CBR_{soaked} clay value. One type of microorganism capable of producing $CaCO_3$ which can increase the bearing capacity of soil is the bacterium *Bacillus Subtilis*. The research was conducted by applying different curing methods where the soil was cured for 14 days with the soaked method which was dried for 8 days and wetting for 4 days then 2 days for dried, Method 1 Cycle A by wetting for 6 days then dried for 8 days and method 1 cycle B dried for 6 days and then wetting for 6 days and dried for 2 days and then tested to determine changes in the mechanical

properties of the California Bearing Ratio (CBR) soil with variations in the mixture of bacteria culture 1 day culture as much as 3%, 4.5% and 6%. The test results showed that the Soaked method was better than the 1st Cycle A and B methods. There was an increase in the CBR value compared to the untreated soil where the Soaked method increased up to 5 times, 1st Cycle A method was 89% while the 1st Cycle B method only increased 15%.

Keywords: clay ; soil stabilization; microorganism; wet-dry cycle; bacteria.

Copyright © Andi Marini, Gunaedy Utomo, M Ryan Syahputra

This is an open access article under the: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

PENDAHULUAN

Tanah mempunyai karakteristik yang berbeda-beda, tanah lempung terutama lempung lunak mempunyai daya dukung sangat kecil sehingga hal tersebut banyak menjadi masalah pada pekerjaan di bidang Teknik Sipil[1]. Kerusakan struktur bisa terjadi akibat penurunan tanah terutama pada jenis tanah yang memiliki potensi penurunan yang besar seperti lempung lunak, maka dengan hal ini para perencana harus mengetahui karakteristik tanah pada suatu lokasi yang akan didirikan suatu konstruksi bangunan[2]. Tanah merupakan komponen yang penting dalam suatu pekerjaan yang berhubungan terhadap konstruksi atau pembangunan[3]. Untuk tanah lunak yang memiliki daya dukung rendah, kembang susut tinggi dan penurunan yang besar harus dilakukan usaha stabilisasi untuk meningkatkan daya dukung dan mengatasi penurunan yang berlebihan[4]. Terdapat beberapa metode perbaikan tanah, yaitu mencampur tanah dengan material lain (kimiawi), perbaikan tanah secara mekanis, metode perbaikan tanah dengan cara konsolidasi (*vertical drain*), metode *geotextile* dan seterusnya[5].

Perkembangan di bidang konstruksi tepatnya pada stabilisasi tanah atau dapat dikatakan perbaikan tanah berkembang dengan munculnya beberapa ide yang inovatif, terutama pada metode dan bahan utama yang digunakan. Bahan utama yang dipakai biasanya memakai bahan yang dapat mencemari lingkungan. Dari suatu permasalahan tersebut terciptanya sebuah ide perbaikan tanah yang ramah lingkungan, salah satunya dengan metode stabilisasi menggunakan mikroorganisme *Bacillus Subtilis*[6]. Stabilisasi tanah dengan menggunakan mikroorganisme dikenal dengan istilah biosementasi yaitu teknik perbaikan tanah dengan menggunakan kalsit (CaCO_3) yang diperoleh dari siklus hidup/metabolisme makhluk hidup[7]. Salah satu jenis mikroorganisme yang mampu menghasilkan CaCO_3 adalah bakteri *Bacillus Subtilis*[8].

Hasil penelitian terdahulu menunjukkan penggunaan bakteri sebagai bahan stabilisasi memberikan hasil yang menjanjikan dalam meningkatkan daya dukung tanah[9]. Beberapa penelitian menunjukkan daya dukung meningkat hingga 15 (lima belas) kali lipat dari daya dukung tanah asli untuk tanah yang tidak direndam (*unsoaked*) akan tetapi mengalami penurunan daya dukung hingga setengahnya pada tanah yang direndam (*soaked*)[10]. Hal ini menjadi perhatian penting bagi peneliti di negara yang memiliki 2 (dua) musim yaitu musim kemarau dan musim hujan, hasil penelitian yang dilakukan oleh Liu terhadap tanah pasir yang diberi perlakuan siklus basah kering mengalami penurunan kekuatan hingga 84%[11] oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian terkait pengaruh siklus basah kering pada tanah lempung yang di stabilisasi bakteri untuk dapat mengetahui proses stabilisasi di lapangan sebaiknya dilakukan pada musim kemarau atau pada musim penghujan, maka masalah dalam penelitian adalah bagaimana nilai *California Bearing Ratio* (CBR) tanah lempung yang di stabilisasi bakteri *Bacillus Subtilis* dengan mengalami proses basah kering satu siklus

METODE

1. Pengujian sifat fisik dan mekanis

Uji Laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat fisik yang meliputi kadar air, analisa saringan dan *specific gravity* sedangkan uji sifat mekanis meliputi uji pemadatan, uji kuat tekan, uji kuat geser dan uji daya dukung. Alat yang akan digunakan pada penelitian ini sebelumnya diperiksa kondisi dan kemampuannya serta dikalibrasi terlebih dahulu, sampel tanah dipersiapkan sesuai dengan standar prosedur masing-masing pengujian.

2. Rancangan benda uji

Tanah lempung ditimbang dengan komposisi rencana untuk menghasilkan campuran material benda uji sesuai dengan yang telah ditetapkan mengikuti standard proktor, pencampuran dilakukan secara teliti dan diperam selama 24 jam sampai mencapai kondisi setimbang sebelum dilakukan pencetakan benda uji.

Tabel 1: Pengujian sebelum proses stabilisasi

Test	Material	Sample	Description
Water Content (Wc)	Clay	3	Physical Parameters
Specific Gravity (Gs)		3	
γ		5	
Sieve Analysis		3	
Hydrometer		3	
Atterberg (LL,PL)		3	
Proctor		5	Mechanical Parameters
UCT		3	
CBR		3	
- Unsoaked - Soaked			

Tabel 2: Rancangan benda uji proses stabilisasi dan metode siklus basah kering

Test	Material	Curring Method	Curring Time (day)	Sample Concentration Variations (%)			Description
				3	4,5	6	
CBR Test	Clay + Bacteria Culture 1 Day	Unsoaked	14	3	3	3	
		8 D Dry - 4 D Wet - 2 D Dry	14	3	3	3	Soaked
		6 D Wet - 8 D Dry	14	3	3	3	1 Siklus A
		6 D Dry - 6 D Wet - 2 D Dry	14	3	3	3	1 Siklus B

3. Kultur Bakteri

Kultur mikrobiologi adalah metode memperbanyak mikroba pada media kultur dengan pembiakan di laboratorium yang terkendali. Pada proses kultur, *isolate* bakteri yang berumur 24 jam diinokulasikan pada media Nutrient Broth dengan masa inkubasi pada *shaker* selama 24 jam dengan kecepatan putaran adalah 150 rpm.

Pembiakan bakteri *Bacillus Subtilis* dilakukan pada media B4 dengan komposisi:

- Urea (20 gr)
- Nutrient Broth (3 gr)
- NaHCO₃ (2,12 gr)
- CaCl₂.2H₂O (4,14 gr)
- NH₄Cl (10 gr)

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium untuk menguji karakteristik tanah lempung dengan stabilisasi bakteri untuk meningkatkan daya dukung tanah guna memenuhi standar Bina Marga sebagai material alternatif pengganti *subgrade course* perkerasan jalan dan mengetahui waktu yang tepat untuk melaksanakan proses stabilisasi di lapangan. Tahapan yang dilakukan:

- Melakukan kajian literatur dan survey pendahuluan untuk mengidentifikasi masalah dan lokasi pengambilan sampel.
- Melakukan uji pendahuluan terhadap sampel untuk mengetahui karakteristik tanah lempung.
- Uji CBR tanah lempung terstabilisasi bakteri.
- Uji CBR tanah lempung terstabilisasi bakteri dengan metode siklus basah kering.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Sifat Fisik Tanah

Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik sampel tanah yang terdiri dari: Hasil uji kadar air, berat jenis, analisa saringan dan hidrometer dengan metode pengujian yang berstandar SNI dan berikut adalah hasil pengujian pada sifat fisik tanah yang diperoleh.

Tabel 1: Hasil pengujian sifat fisik tanah

Jenis Pengujian (<i>Test</i>)	Hasil (<i>Result</i>)
Kadar Air Natural (<i>Water Content</i>)	33,43%
Berat Jenis (<i>Specific Gravity, G_s</i>)	2.72 gr/cm ³
Batas Cair (<i>Liquid Limit, LL</i>)	39.00%
Batas Plastis (<i>Plastic Limit, PL</i>)	22,22%
Indeks Plastisitas (<i>Plasticity Index, IP</i>)	16,78%
Lolos Saringan no.200	71,8%
Hidrometer	45%

2. Karakteristik Sifat Mekanik Tanah

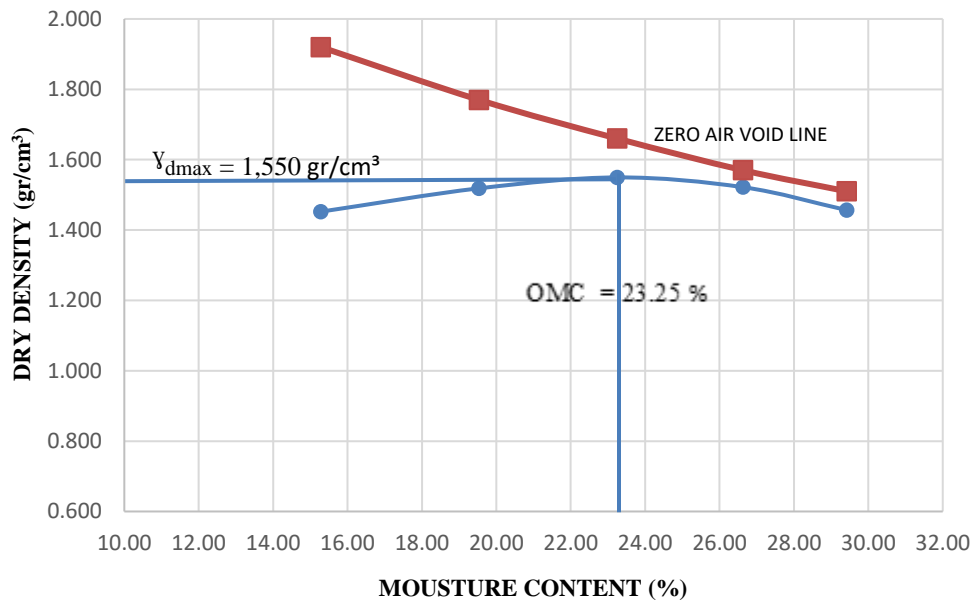
Setelah dilakukan pengujian karakteristik mekanik pada tanah asli maka diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 2: Karakteristik Mekanik Tanah Asli

Jenis Pengujian (<i>Test</i>)	Hasil (<i>Result</i>)
Kadar air optimum (<i>Optimum Moisture Content, OMC</i>)	23,25%
Kepadatan kering max (<i>Maximum Dry Density, MDD</i>)	1,550 gr/cm ³
CBR Soaked (<i>California Bearing Ratio Soaked</i>)	1,38%
CBR Unsoaked (<i>California Bearing Ratio Unsoaked</i>)	2,49%

Uji Kepadatan Standar (Proktor)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan pepadatan tanah dan parameternya yaitu kadar air optimum dan berat volume tanah kering maksimum dengan energi pepadatan standar, berikut hasil uji proktor yang diperoleh.



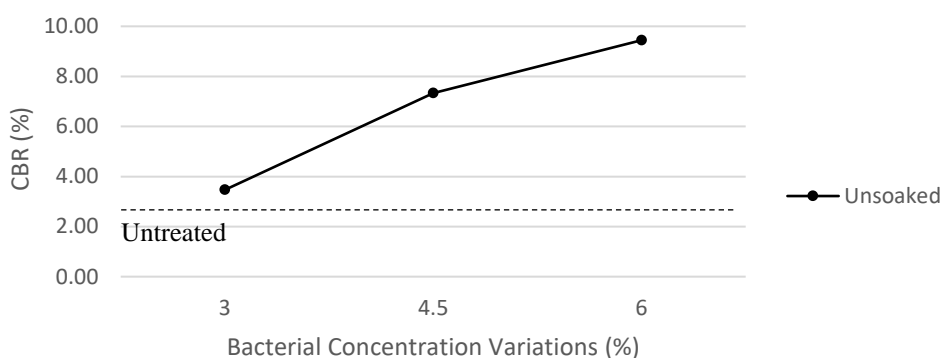
Gambar 1: Grafik uji proktor

Hasil Pengujian CBR Laboratorium dengan Penambahan Bakteri *Bacillus Subtilis* Setelah didapat nilai berat volume kering tanah maksimum (*maximum dry density*) dan ditentukannya kadar air optimum (*optimum moisture content*) dari hasil percobaan *standard proctor test* maka dilanjutkan percobaan uji tes CBR dengan rendaman (*soaked*) dan tanpa rendaman (*unsoaked*) dengan penambahan larutan bakteri *Bacillus Subtilis*, maka dapat dilihat perbedaan nilai dari setiap variasi penambahan. Rincian hasil percobaan untuk masing-masing variasi campuran adalah sebagai berikut.

- a. Hasil pengujian CBR dengan penambahan 3%, 4.5% dan 6% bakteri *bacillus subtilis*

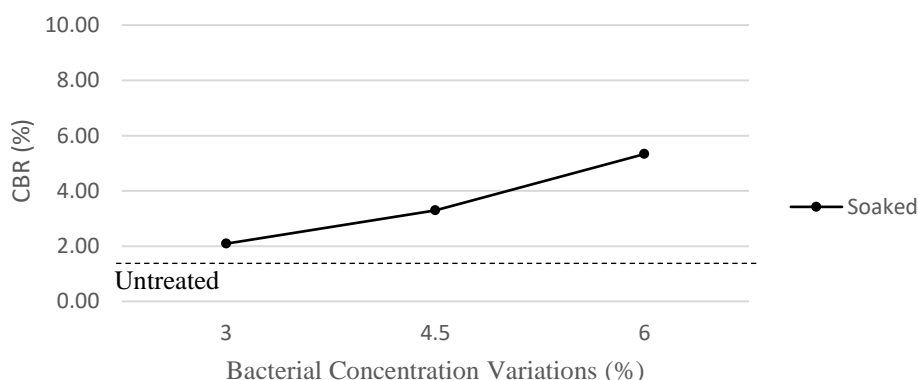
Tabel 3: Nilai CBR *Unsoaked* dan *Soaked* Stabilisasi Bakteri *Bacillus Subtilis*

Method	Culture	Curing Time	Bacterial Concentration Variations (%)		
			3	4,5	6
CBR Unsoaked (%)	1 day	14 days	3,47	7,33	9,44
CBR Soaked (%)			2,09	3,29	5,33



Gambar 2: Grafik hubungan CBR *unsoaked*

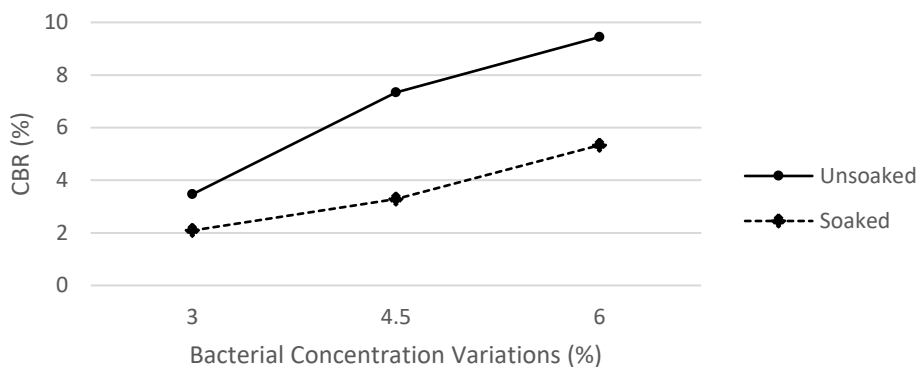
Pada Gambar 2 diatas menunjukkan bahwa dengan penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* mengalami kenaikan nilai CBR yang cukup signifikan dari nilai CBR tanah asli. Pengendapan calcite dari penambahan bakteri mampu meningkatkan kekuatan tanah dan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Indriani sebelumnya dimana kekuatan geser tanah meningkat seiring dengan penambahan persentase bakteri[12]. Pada penambahan bakteri 3% dengan umur kultur satu hari dengan masa peram selama 14 (empat belas) hari mampu meningkatkan nilai CBR *Unsoaked* hingga 39% dari nilai CBR tanah asli yang sebelum di stabilisasi adalah 2,49 menjadi 3,47. Dengan penambahan bakteri 4,5% mampu meningkatkan nilai CBR *Unsoaked* hingga hampir 2 kali lipat dari nilai CBR tanah asli menjadi 7,33. Sedangkan pada penambahan bakteri 6% mampu meningkatkan nilai CBR *Unsoaked* hingga hampir 3 kali lipat menjadi 9,44.



Gambar 3: Grafik hubungan CBR *soaked*

Dari Gambar 3 dapat diketahui bahwa pada penambahan bakteri 3% dengan umur kultur satu hari dengan masa peram selama 14 (empat belas) hari mampu meningkatkan nilai CBR *Soaked*

hingga 52% dari CBR tanah asli yang sebelum di stabilisasi adalah 1,38 menjadi 2,09. Dengan penambahan bakteri 4,5% mampu meningkatkan nilai CBR *Soaked* hingga hampir 1,5 kali lipat dari nilai CBR tanah asli menjadi 3,29. Sedangkan pada penambahan bakteri 6% mampu meningkatkan nilai CBR *Soaked* hingga hampir 3 kali lipat menjadi 5,33.



Gambar 4: Grafik perbandingan uji CBR *unsoaked* & *soaked*

Pada Gambar 4 diatas menunjukkan bahwa pada penambahan bakteri *Bacillus Subtilis* pada umur kultur satu hari dengan masa peram 14 hari mengalami peningkatan yang cukup signifikan dari nilai CBR tanah asli pada kondisi *Unsoaked* akan tetapi pada kondisi *Soaked* mengalami peningkatan yang tidak signifikan seperti pada kondisi *Unsoaked*.

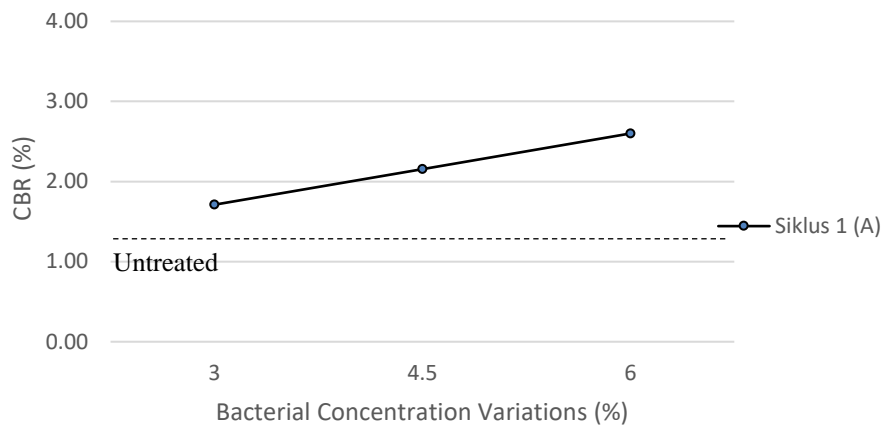
Hal ini dikarenakan adanya faktor air yang mempengaruhi kekuatan tanah, penambahan kadar air akan menyebabkan tanah menjadi lunak sehingga menurunkan kekuatan tanah [13]. Kadar air sangat berpengaruh terhadap tanah, apabila tanah tidak dalam kondisi dipadatkan dan kadar air tanah berada pada kondisi dibawah atau diatas nilai OMC maka dapat berpengaruh terhadap kepadatan kering tanah yang selanjutnya akan berpengaruh terhadap kekuatannya [14].

b. Hasil pengujian CBR dengan metode 1 siklus A dan B stabilisasi bakteri *bacillus subtilis*

Tabel 4: Nilai CBR Metode 1 Siklus A (6 hari *Soaked*, 8 hari *Unsoaked*)

Method	Culture	Curring Time	Bacterial Variations (%)		
			3	4,5	6
Metode 1 Siklus A	1 day	6 D Wet - 8 D Dry	1,71	2,16	2,60

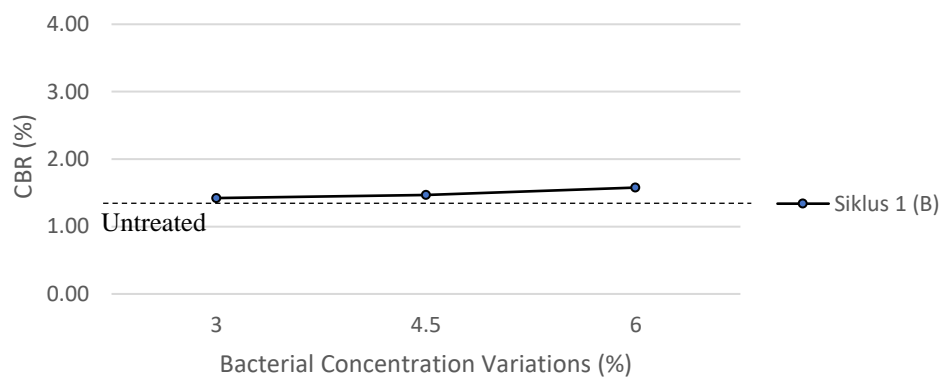
Gambar 5 menunjukkan bahwa dengan metode 1 siklus A stabilisasi bakteri *Bacillus Subtilis* mengalami peningkatan namun peningkatannya yang terjadi lebih rendah dibandingkan nilai CBR *Soaked* yang sudah di stabilisasi. Pada penambahan bakteri 3% mampu meningkatkan nilai CBR hingga 24% dari nilai CBR tanah asli yang sebelum di stabilisasi adalah 1,38 menjadi 1,71. Dengan penambahan bakteri 4,5% mampu meningkatkan nilai CBR hingga 56% dari nilai CBR tanah asli menjadi 2,16. Sedangkan pada penambahan 6% mampu meningkatkan nilai CBR hingga 89% menjadi 2,60.



Gambar 5: Grafik hubungan CBR metode 1 siklus A

Tabel 5: Nilai CBR Metode 1 Siklus B (6 hari *Unsoaked*, 6 hari *Soaked* & 2 hari *Unsoaked*)

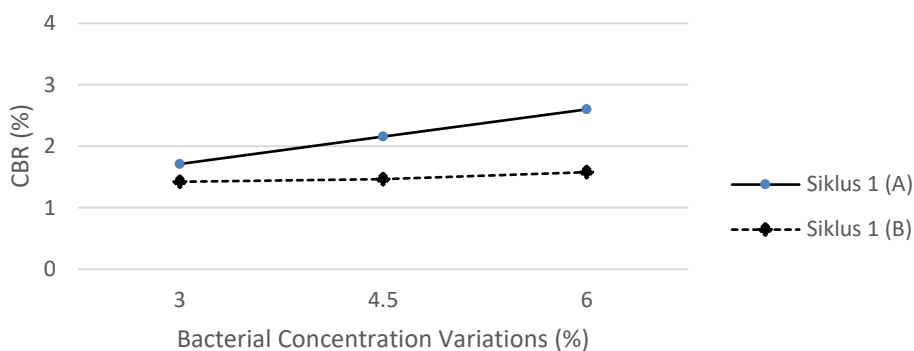
Method	Culture	Curing Time	Bacterial Variations (%)		
			3	4,5	6
Metode 1 Siklus B	1 day	14 days	1,42	1,47	1,58



Gambar 6: Grafik hubungan CBR metode 1 siklus B

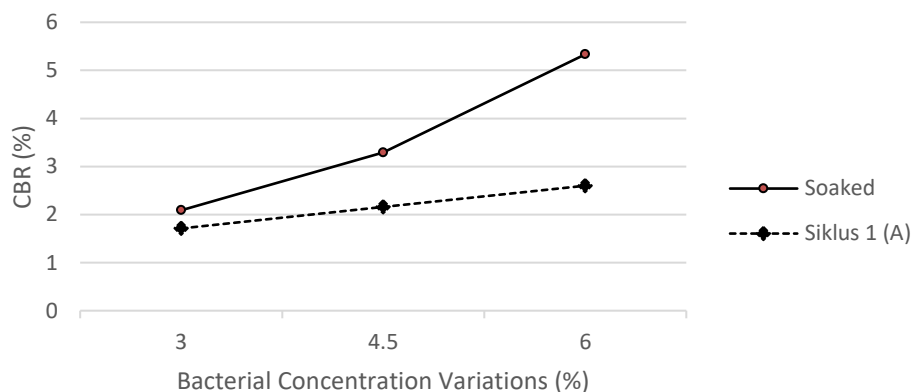
Pada grafik diatas menunjukkan bahwa dengan metode 1 siklus B stabilisasi bakteri *Bacillus Subtilis* mengalami peningkatan nilai CBR yang tidak terlalu signifikan dari nilai CBR tanah asli, namun mengalami penurunan dari nilai CBR *Unsoaked* dan *Soaked* yang sesudah di stabilisasi.

- Pada penambahan bakteri 3% yaitu mampu meningkatkan nilai CBR hingga 3% dari nilai CBR tanah asli yang sebelum di stabilisasi adalah 1,38 menjadi 1,42.
- Dengan penambahan bakteri 4,5% mampu meningkatkan nilai CBR hingga 6% dari nilai CBR tanah asli menjadi 1,47.
- Sedangkan pada penambahan bakteri 6% mampu meningkatkan nilai CBR hingga 15% menjadi 1,58.



Gambar 7: Grafik perbandingan uji CBR metode 1 siklus A dan B

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa pada penambahan 3%, 4.5% dan 6% bakteri *Bacillus Subtilis* pada umur kultur satu hari dengan masa peram 14 (empat belas) hari dalam metode 1 siklus A mengalami peningkatan yang lebih baik dibandingkan pada metode 1 siklus B. Hal ini dikarenakan sampel tanah pada metode A memiliki masa kering yang lebih lama sebelum sampel diuji yaitu 8 hari, sedangkan metode B hanya memiliki waktu 2 hari masa kering sebelum sampel diuji sehingga sampel masih dalam keadaan basah. Menurut Diana dan kawan kawan penggunaan metode 1 siklus akan menyebabkan penurunan kekuatan pada tanah tetapi akan mengalami peningkatan kekuatan setelah perlakuan hingga 4 siklus [15].

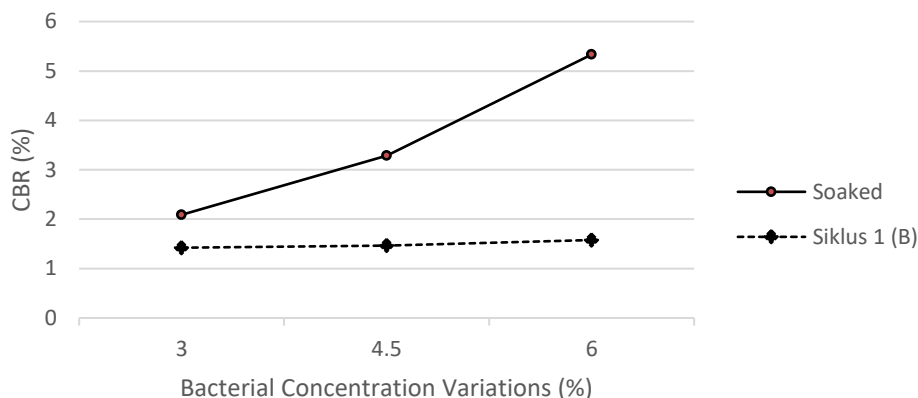


Gambar 8: Grafik perbandingan uji CBR soaked dan metode 1 siklus A

Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa dalam kondisi *soaked* mengalami peningkatan yang cukup signifikan dibandingkan metode satu siklus A yang mana mengalami peningkatan tetapi tidak sebaik seperti pada kondisi *soaked*.

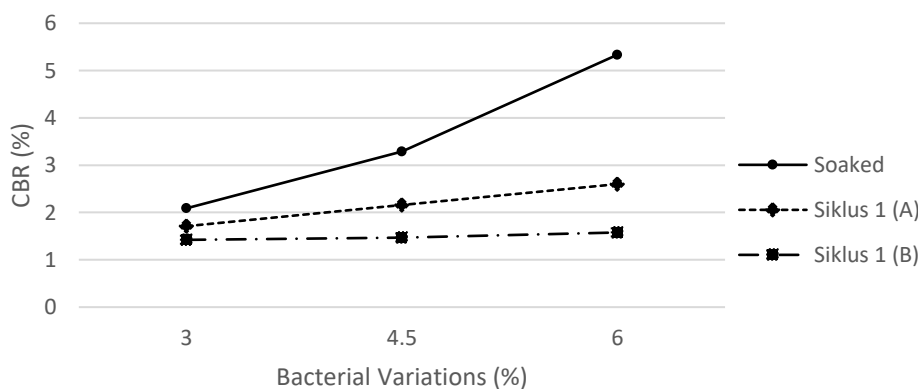
Pada penambahan bakteri 3% dengan umur kultur satu hari pada masa peram selama 14 hari yaitu mampu meningkatkan nilai CBR hingga 24% dari nilai CBR tanah asli yang sebelum di stabilisasi adalah 1.38 menjadi 1.71, namun mengalami penurunan pada nilai CBR hingga 38% dari nilai CBR *soaked* yang sesudah di stabilisasi adalah 2.09 menjadi 1.71. Dengan penambahan bakteri 4,5% mampu meningkatkan nilai CBR hingga 56% dari nilai CBR tanah asli menjadi 2.16, namun mengalami penurunan pada nilai CBR hingga hampir 1,5 kali lipat dari 3.29 menjadi 2.16. Sedangkan pada penambahan bakteri 6% mampu meningkatkan nilai CBR hingga 89% menjadi 2.60, namun mengalami penurunan pada nilai CBR hingga hampir 3 kali lipat dari 5.33 menjadi 2.60.

Jika metode A dibandingkan dengan kondisi *soaked* dimana metode A mengalami peningkatan nilai CBR yang tidak sebesar pada kondisi *soaked*, hal ini dikarenakan metode tersebut dapat menghancurkan kekuatan antara partikel lempung dan mempengaruhi struktur tanah.



Gambar 9: Grafik perbandingan uji CBR *soaked* dan metode 1 siklus B

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa dalam kondisi *soaked* mengalami peningkatan yang cukup signifikan dari nilai CBR tanah asli akan tetapi pada metode satu siklus B mengalami peningkatan yang jauh lebih rendah dibandingkan kondisi *soaked*. Pada penambahan bakteri 3% dengan umur kultur satu hari pada masa peram selama 14 hari yaitu mampu meningkatkan nilai CBR hingga 3% dari nilai CBR tanah asli yang sebelum di stabilisasi adalah 1.38 menjadi 1.42, namun mengalami penurunan pada nilai CBR hingga 67% dari nilai CBR *soaked* yang sesudah di stabilisasi adalah 2.09 menjadi 1.42. Dengan penambahan bakteri 4,5% mampu meningkatkan nilai CBR hingga 6% dari nilai CBR tanah asli menjadi 1.47, namun mengalami penurunan pada nilai CBR hingga hampir dua kali lipat dari 3.29 menjadi 1.47. Sedangkan pada penambahan bakteri 6% mampu meningkatkan nilai CBR hingga 15% menjadi 1.58, namun mengalami penurunan pada nilai CBR hingga hampir empat kali lipat dari 5.33 menjadi 1.58. Dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai CBR pada metode B dibandingkan dengan metode *soaked* hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Liu dimana terjadi penurunan kekuatan akibat siklus basah kering bahkan hingga mencapai 84% pada tanah pasir sedangkan pada tanah lempung yang distabilisasi dengan 6% bakteri terjadi penurunan sampai 4 kali lipat



Gambar 10: Grafik perbandingan uji CBR *soaked*, metode 1 siklus A dan B

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa dalam kondisi *soaked* mengalami peningkatan yang cukup signifikan dari CBR tanah asli, akan tetapi metode satu siklus A serta metode satu siklus B mengalami peningkatan yang tidak signifikan seperti pada kondisi *soaked*. Pada penambahan bakteri 3% dengan umur kultur satu hari pada masa peram selama 14 hari dalam metode satu siklus A (6 hari *soaked*, 8 hari *unsoaked*) yaitu mampu meningkatkan nilai CBR hingga 24% dari nilai CBR tanah asli yang sebelum di stabilisasi adalah 1.38 menjadi 1.71, dalam metode satu siklus B (6 hari *unsoaked*, 6 hari *soaked* & 2 hari *unsoaked*) mampu meningkatkan nilai CBR hingga 3% menjadi 1.42, serta pada kondisi *soaked* mampu meningkatkan nilai CBR hingga 52% menjadi 2.09. Dengan penambahan bakteri 4,5% dalam metode satu siklus A meningkatkan nilai CBR hingga 56% menjadi 2.16, dalam metode satu siklus B meningkatkan nilai CBR hingga 6% menjadi 1.47, serta pada kondisi *soaked* mampu meningkatkan nilai CBR hingga hampir 1,5 kali lipat menjadi 3.29. Sedangkan pada penambahan bakteri 6% dalam metode satu siklus A meningkatkan nilai CBR hingga 89% menjadi 2.60, dalam metode satu siklus B meningkatkan nilai CBR hingga 15% menjadi 1.58, serta pada kondisi *soaked* mampu meningkatkan nilai CBR hingga hampir 3 kali lipat menjadi 5.33.

Jika pada kondisi *soaked* mampu meningkatkan nilai CBR setelah di stabilisasi bakteri *Bacillus Subtilis* yang signifikan daripada nilai CBR metode satu siklus A dan B, hal ini dikarenakan masa perendaman untuk metode siklus lebih lama dibandingkan metode *soaked*. Penelitian ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [5] dimana penelitian yang dilakukan juga mengalami penurunan nilai CBR pada metode siklus kering-basah dan basah-kering.

KESIMPULAN

Berdasarkan pada sifat fisik tanah asli dimana pada perhitungan berat jenis (*specific gravity*) memiliki nilai 2,72 gr/cm³ yang menunjukkan bahwa tanah termasuk pada klasifikasi tanah lempung anorganik dengan plastisitas sedang. Serta pada sifat mekanik tanah asli diperoleh nilai kadar air optimum sebesar 23,25%, kepadatan kering maksimum sebesar 1,550 gr/cc, CBR rendaman (*soaked*) sebesar 1% dan CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) sebesar 2%.

Nilai CBR tanah lempung yang di stabilisasi bakteri *Bacillus Subtilis* dengan penambahan 3%, 4.5% dan 6% ternyata memiliki nilai CBR maksimum pada penambahan 6%, dalam kondisi CBR *unsoaked* mampu meningkatkan nilai CBR hingga tiga kali lipat dari nilai CBR tanah asli yang sebelum di stabilisasi yaitu 2% menjadi 9%. Kemudian pada kondisi *soaked* nilai CBR juga meningkat hingga lima kali lipat yaitu 1% menjadi 5%. Pada nilai CBR tanah lempung yang di stabilisasi bakteri *Bacillus Subtilis* dengan metode satu siklus kuat tekan maksimumnya juga terdapat pada penambahan 6% sama seperti kondisi *unsoaked* dan *soaked*. Dalam metode satu siklus A (6 hari *soaked*, 8 hari *unsoaked*) mampu meningkatkan nilai CBR hingga 89% dari nilai CBR tanah asli yang sebelum di stabilisasi, sedangkan metode satu siklus B (6 hari *unsoaked*, 6 hari *soaked* & 2 hari *unsoaked*) mampu meningkatkan nilai CBR hingga 15%. Antara kedua metode siklus ternyata metode A memiliki peningkatan nilai CBR yang lebih baik dari metode B.

REFERENSI

- [1] N. Tiwari, N. Satyam, and M. Sharma, "Micro-mechanical performance evaluation of expansive soil biotreated with indigenous bacteria using MICP method," *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–12, 2021.

- [2] M. Uba Zango, K. Anuar Kassim, A. Sadiq Muhammed, K. Ahmad, M. Umar, and J. Makinda, "Improvement in plasticity behavior of residual clay soil via bio-cementation technique," *Curr. Appl. Sci. Technol.*, vol. 21, no. 3, pp. 557–568, 2021.
- [3] A. M. Indriani, G. Utomo, H. Ryka, and E. Kalimantan, "THE EFFECT OF MICROBIALLY INDUCED CALCITE PRECIPITATION (MICP) ON SHEAR STRENGTH OF," pp. 28–32, 2022.
- [4] A. Marini, G. Utomo, and M. Nur Fadhillah, "Pengaruh Semen Pada Tanah Lempung Plastisitas Rendah Terhadap Nilai Cbr," *J. Ilm. Tek. Sipil TRANSUKMA*, vol. 4, no. 1, pp. 23–32, 2021.
- [5] M. Panjaitan, A. R. Djameluddin, T. Harianto, and A. B. Muhiddin, "Preloading model on soft soil with inclusion thermal induction vertical and incline types," *Civ. Eng. J.*, vol. 7, no. 6, pp. 998–1007, 2021.
- [6] A. A. Indriani, Andi Marini, Tri Harianto, A. Rachman Djameluddin, "KARAKTERISTIK TANAH TERKONTAMINASI BATUBARA TERSTABILISASI BAKTERI SEBAGAI LAPIS PONDASI JALAN," *Pros. KNPTS ITB*, no. November, pp. 313–320, 2019.
- [7] S. Viswanathan, "International Journal of Earth Science and Engineering," *J. Geol. Soc. India*, vol. 74, no. 1, pp. 146–146, 2009.
- [8] Hasriana, L. Samang, T. Harianto, and M. N. Djide, "Bearing capacity improvement of soft soil subgrade layer with Bio Stabilized Bacillus Subtilis," *MATEC Web Conf.*, vol. 181, pp. 0–5, 2018.
- [9] A. M. Indriani, T. Harianto, A. R. Djameluddin, and A. Arsyad, "Study on Bio-cementation of Ex-coal Mining Soil as a Road Construction Material," *Lect. Notes Civ. Eng.*, vol. 144 LNCE, pp. 193–201, 2021.
- [10] A. M. Indriani, T. Harianto, A. R. Djameluddin, and A. Arsyad, "Bioremediation of Coal Contaminated Soil As the Road Foundations Layer," *Int. J. GEOMATE*, vol. 21, no. 84, pp. 76–84, 2021.
- [11] S. Liu *et al.*, "Enhancement of MICP-Treated Sandy Soils against Environmental Deterioration," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 31, no. 12, pp. 1–13, 2019.
- [12] A. M. Indriani and G. Utomo, "Pengaruh Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) terhadap Perilaku Kuat Geser Tanah Terkontaminasi Batubara," *CIVED* vol. 10, no. 1, pp. 53–60, 2023.
- [13] M. M. Kim, *Soil Dynamics (흙의 동역학)*. 2008.
- [14] W. Diana, I. M. Finanda, and H. F. Firdaus, "Pengaruh Substitusi Bubuk Cangkang Telur dan Siklus Basah Kering Terhadap Kuat Tekan Bebas Tanah Lanau yang Distabilisasi dengan Kapur," *Pros. UMY Grace*, vol. 2020, 2020.