



Studi Eksperimental Analisis Pengaruh Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus Subtilis* pada Tanah Lunak Terhadap Nilai Kepadatan dan Kuat Tekan Tanah di Kecamatan Wonoayu - Sidoarjo

Divia Rahma Putri^{1✉}, Laily Endah Fatmawati¹, Andi Patriadi¹

⁽¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

DOI: 10.31004/jutin.v9i2.58689

✉ Corresponding author:

[1432200113@surel.untag-sby.ac.id], [lailyendah@untag-sby.ac.id], [andipatriadi@untag-sby.ac.id]

Article Info	Abstrak
Kata kunci: Stabilisasi Tanah; Cangkang Bekicot; Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i>; Tanah Lempung; UCS	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri <i>Bacillus subtilis</i> terhadap sifat fisis dan mekanis tanah lempung di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo. Tanah asli berdasarkan klasifikasi USCS termasuk kelompok OH dengan plastisitas tinggi dan daya dukung rendah. Penelitian dilakukan melalui pengujian laboratorium meliputi kadar air, berat volume, berat jenis, Atterberg Limit, Proctor Test, dan <i>Unconfined Compression Strength</i> (UCS). Variasi campuran yang digunakan yaitu serbuk cangkang bekicot sebesar 5%, 10%, dan 15% dengan penambahan <i>Bacillus subtilis</i> 6% serta masa pemeraman 7 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa stabilisasi mampu menurunkan kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, serta nilai plastisitas tanah. Nilai berat isi kering maksimum meningkat dari 1,447 gr/cm³ menjadi 1,536 gr/cm³, sedangkan nilai UCS tertinggi diperoleh pada variasi 15% SCB + 6% BS sebesar 0,53108 kg/cm². Hasil tersebut menunjukkan bahwa campuran serbuk cangkang bekicot dan <i>Bacillus subtilis</i> efektif meningkatkan kestabilan dan kekuatan tanah lempung.
Keywords: Soil Stabilization; Snail Shell; <i>Bacillus Subtilis</i>; Clay Soil; UCS	Abstract <i>This study aims to analyze the effect of adding snail shell powder and Bacillus subtilis bacteria on the physical and mechanical properties of clay soil in Wonoayu District, Sidoarjo. Based on the USCS classification, the original soil was categorized as OH soil with high plasticity and low bearing capacity. Laboratory tests conducted in this study included water content, volumetric test, specific gravity, Atterberg limits, Proctor test, and Unconfined Compression Strength (UCS). The mixtures used consisted of 5%, 10%, and 15% snail shell powder combined with 6% Bacillus subtilis and cured for 7 days. The results showed that the stabilization process reduced water content, void ratio, degree of saturation, and soil plasticity values. The maximum</i>

*dry density increased from 1.447 gr/cm³ to 1.536 gr/cm³, while the highest UCS value was obtained in the 15% SCB + 6% BS mixture at 0.53108 kg/cm². These results indicate that the combination of snail shell powder and *Bacillus subtilis* effectively improves the stability and strength of clay soil.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan di Kabupaten Sidoarjo terus mengalami peningkatan pasca terjadinya bencana lumpur Lapindo yang mengubah pola pemanfaatan lahan di beberapa wilayah. Berdasarkan penelitian Nugraheni dan Sagala (2019) mengenai dampak perubahan tutupan lahan akibat lumpur lapindo Sidoarjo, pembangunan fisik diarahkan menuju wilayah bagian barat Kabupaten Sidoarjo, khususnya Kecamatan Wonoayu dan sekitarnya, sebagai kawasan pengembangan permukiman hingga tahun 2029. Kondisi tersebut menyebabkan kebutuhan lahan untuk pembangunan perumahan semakin meningkat sehingga diperlukan perhatian terhadap kondisi tanah dasar pada wilayah yang akan dikembangkan. Lokasi penelitian ini berada di area persawahan Desa Ploso, Kecamatan Wonoayu, Kabupaten Sidoarjo yang direncanakan akan dialihfungsikan menjadi kawasan perumahan. Namun, berdasarkan hasil pengujian tanah, lokasi penelitian memiliki jenis tanah lempung organik dengan plastisitas tinggi (OH) yang memiliki daya dukung rendah, mudah mengalami perubahan volume, serta kurang baik digunakan sebagai tanah dasar konstruksi. Oleh karena itu, diperlukan upaya stabilisasi tanah agar tanah di lokasi tersebut memiliki karakteristik yang lebih baik dan mampu mendukung pembangunan perumahan secara optimal.

Biogrouting berkembang sebagai metode yang lebih ramah lingkungan karena memanfaatkan bakteri penghasil enzim urease untuk membentuk endapan kalsium karbonat (CaCO₃) melalui proses biomineralisasi yang dapat mengisi rongga antarpartikel tanah dan meningkatkan kekuatannya (Indriani & Utomo, 2023). Salah satu bakteri yang sering digunakan adalah *Bacillus subtilis* karena mampu menghasilkan enzim urease dan eksopolisakarida (EPS) yang berfungsi sebagai perekat biologis antarpartikel tanah sehingga meningkatkan kohesi dan kestabilan tanah (Santi et al., 2016). Menurut Potorti et al., (2024) dalam proses biomineralisasi diperlukan sumber kalsium, salah satunya limbah cangkang bekicot yang mengandung sekitar 48,11% kalsium karbonat serta beberapa mineral lain yang dapat membantu meningkatkan kekuatan tanah. Selain meningkatkan karakteristik tanah, pemanfaatan limbah cangkang bekicot juga memberikan manfaat lingkungan karena dapat mengurangi limbah industri olahan bekicot dalam jumlah

Kombinasi kedua bahan tersebut diperkirakan dapat memberikan pengaruh yang lebih efektif dalam proses stabilisasi tanah. Serbuk cangkang bekicot berfungsi sebagai sumber kalsium karbonat (CaCO₃), sedangkan *Bacillus subtilis* membantu proses biomineralisasi melalui aktivitas enzim urease. Endapan CaCO₃ yang terbentuk dapat mengisi rongga antarpartikel tanah dan memperkuat ikatan antarbutiran. Selain itu, eksopolisakarida (EPS) yang dihasilkan bakteri berperan sebagai perekat yang dapat meningkatkan kohesi tanah dan mengurangi daya serap air.

2. METODE

a. Pengambilan Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan di area persawahan Desa Ploso, Kecamatan Wonoayu, Kabupaten Sidoarjo pada bulan September 2025. Lokasi tersebut dipilih karena direncanakan akan dialihfungsikan menjadi kawasan perumahan sehingga diperlukan penelitian mengenai karakteristik tanah dasarnya. Sampel tanah diambil pada kedalaman 100 - 150 cm dari permukaan tanah untuk memperoleh tanah lempung yang mewakili kondisi lapangan. Pengambilan sampel dilakukan dalam dua jenis, yaitu sampel terganggu (*disturbed sample*) dan sampel tidak terganggu (*undisturbed sample*). Sampel terganggu digunakan untuk pengujian dan proses pencampuran stabilisasi, sedangkan sampel tidak terganggu digunakan untuk mengetahui kondisi alami tanah di lapangan. Setelah pengambilan, sampel tanah disimpan dalam wadah tertutup agar kadar air alami tanah tetap terjaga sebelum dilakukan pengujian laboratorium.

b. Penyiapan Limbah Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus Subtilis*

Limbah cangkang bekicot diperoleh dari industri olahan bekicot di Kabupaten Kediri. Cangkang bekicot terlebih dahulu dibersihkan dari kotoran dan lemak menggunakan air bersih, kemudian dijemur hingga kering. Setelah proses pengeringan selesai, cangkang dihancurkan dan dihaluskan menggunakan alat penumbuk atau mesin penggiling hingga menjadi serbuk. Serbuk yang telah dihaluskan kemudian disaring agar diperoleh ukuran butiran yang seragam sebelum digunakan sebagai bahan campuran stabilisasi tanah (Ikhwan Ardi et al., 2023).

Bacillus subtilis merupakan bakteri gram positif berbentuk batang yang secara alami banyak ditemukan di tanah, air, debu, serta sisa bahan organik. Bakteri ini dikenal sebagai salah satu bakteri yang mampu membentuk

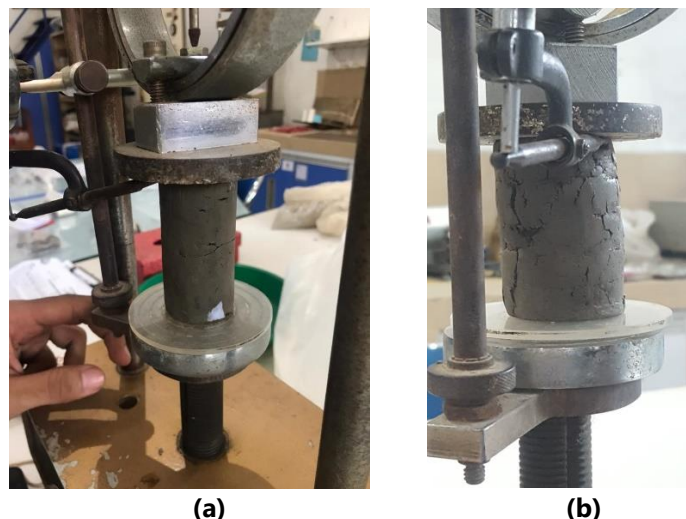
endospore sehingga tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem. *Bacillus subtilis* termasuk bakteri non-patogen yang sering dimanfaatkan dalam bidang bioteknologi, pertanian, kesehatan, dan rekayasa geoteknik karena kemampuannya menghasilkan enzim, termasuk enzim urease dan *eksopolisakarida* (EPS) (Sinambela et al., 2023).

c. Perencanaan Sampel dan Komposisi Campuran

Perencanaan campuran dilakukan berdasarkan berat kering tanah hasil pengujian pemadatan (*Proctor Test*). Tanah kering dicampur dengan serbuk cangkang bekicot dalam variasi persentase tertentu terhadap berat kering tanah (Trianoviany, 2021). Setelah pencampuran serbuk cangkang dilakukan secara merata, larutan *Bacillus subtilis* ditambahkan sesuai presentase yang telah ditentukan kemudian dicampur kembali dan ditambahkan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) hasil pengujian Proctor. Campuran tanah kemudian diaduk hingga homogen dan dimasukkan ke dalam cetakan sesuai jenis pengujian yang akan dilakukan. Selanjutnya sampel diperam (*curing*) selama 7 hari untuk mengetahui pengaruh waktu pemeraman terhadap perubahan sifat tanah (Hartono, 2020)

d. Pengujian Laboratorium

Penelitian laboratorium dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat fisik dan mekanis tanah akibat penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis*. Pengujian sifat fisik meliputi pengujian kadar air (*water content*), berat volume (*volumetry test*), berat jenis (*specific gravity test*), batas Atterberg yang terdiri dari batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*). Selain itu dilakukan pengujian pemadatan (*Proctor Test*) untuk memperoleh nilai kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum. Pengujian sifat mekanis dilakukan menggunakan pengujian kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Strength/UCS*) untuk mengetahui peningkatan kekuatan tanah setelah distabilisasi. Seluruh hasil pengujian dibandingkan antara tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi guna mengetahui pengaruh penambahan serbuk cangkang bekicot dan *Bacillus subtilis* terhadap karakteristik tanah lempung.



Gambar 1.1 a dan b Dokumentasi Sebelum dan Sesudah Pengujian *Unconfined Compressive Strength* (UCS)

Gambar diatas menunjukkan proses pengujian kuat tekan bebas (*Unconfined Compression Strength/UCS*) pada sampel tanah yang telah distabilisasi menggunakan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan tanah serta pengaruh campuran stabilisasi terhadap peningkatan kekuatan tanah lempung.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

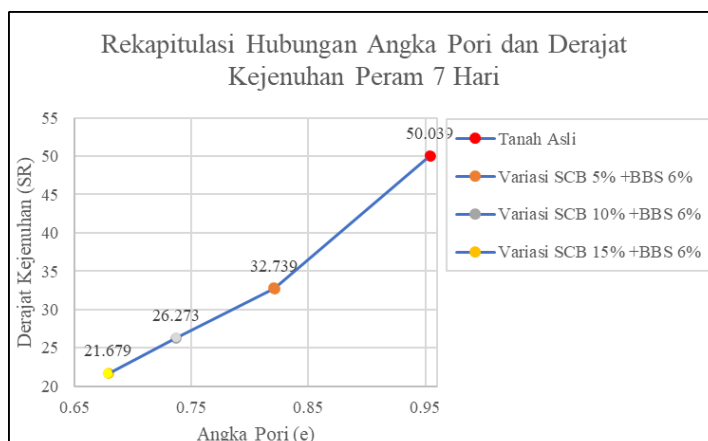
a. Pengujian Sifat Fisis Tanah

Pengujian sifat fisis tanah dilakukan untuk mengetahui karakteristik dasar tanah sebelum dan sesudah proses stabilisasi menggunakan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis*. Pengujian ini meliputi kadar air, angka pori (*e*), derajat kejenuhan (*SR*), dan *specific gravity* (*G_s*). Hasil pengujian sifat fisis dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Parameter Fisis pada Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus Subtilis*

Variasi Presentase Campuran	Kadar Air	(Angka Pori atau e)	(Derajat Kejenuhan atau SR)	Gravimetry (GS)
Tanah Natural	53,17%	0,954	50,039%	2,654
Tanah + Serbuk Cangkang Bekicot 5% + Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> 6%	29,12%	0,821	32,739%	2,594
Tanah + Serbuk Cangkang Bekicot 10% + Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> 6%	21,87%	0,737	26,273%	2,617
Tanah + Serbuk Cangkang Bekicot 15% + Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> 6%	15,73%	0,679	21,679%	2,639

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisis tanah, tanah asli memiliki kadar air sebesar 53,17%, angka pori (e) 0,954, derajat kejenuhan (SR) 50,039%, dan nilai specific gravity (Gs) 2,654. Setelah distabilisasi menggunakan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* 6%, terjadi penurunan nilai kadar air, angka pori, dan derajat kejenuhan pada seluruh variasi campuran. Nilai terendah diperoleh pada campuran 15% serbuk cangkang bekicot, yaitu kadar air 15,73%, angka pori 0,679, dan derajat kejenuhan 21,679%, sedangkan nilai Gs meningkat menjadi 2,639. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* mampu memperbaiki kepadatan serta mengurangi rongga dan kadar air dalam tanah sehingga tanah menjadi lebih stabil.

**Grafik 1. Rekapitulasi Hubungan Angka Pori dan Derajat Kejenuhan**

Berdasarkan grafik diatas nilai angka pori dan derajat kejenuhan mengalami penurunan pada setiap variasi campuran. Nilai terendah diperoleh pada variasi SCB 15% + BBS 6%, yaitu angka pori sebesar 0,67 dan derajat kejenuhan sebesar 21,679%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan campuran stabilisasi mampu mengurangi rongga pori tanah dan kandungan air di dalam tanah sehingga kondisi tanah menjadi lebih padat dan stabil.

Pengujian Atterberg Limit meliputi batas cair (*Liquid Limit*), batas plastis (*Plastic Limit*), dan indeks plastisitas (*Plasticity Index*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah memiliki nilai plastisitas tinggi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tanah memiliki potensi kembang-susut yang besar sehingga memerlukan proses stabilisasi untuk meningkatkan kualitas tanah (Hidayat & Kusumastuti, 2024).

Tabel 3. Hasil Pengujian Konsistensi pada Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot dan Bakteri *Bacillus Subtilis*

Variasi Presentase Campuran	LL	PL	PI	SL
Tanah Natural	76%	42,77%	33,33%	2,99%
Tanah + Serbuk Cangkang Bekicot 5% + Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> 6%	30,80%	18,09%	12,17%	12,62%
Tanah + Serbuk Cangkang Bekicot 10% + Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> 6%	25,90%	15,46%	10,44%	10,64%

Variasi Presentase Campuran	LL	PL	PI	SL
Tanah + Serbuk Cangkang Bekicot 15% + Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> 6%	18,40%	12,72%	5,68%	14,67%

Berdasarkan hasil pengujian Atterberg Limit, tanah asli memiliki nilai LL 76%, PL 42,77%, PI 33,33%, dan SL 2,99%. Setelah distabilisasi menggunakan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* dengan masa pemeraman 7 hari, nilai LL, PL, dan PI pada variasi campuran 5%, 10%, dan 15% mengalami penurunan, sedangkan nilai SL mengalami peningkatan. Nilai LL menurun menjadi 30,80%, 25,90%, dan 18,40%; nilai PL menurun menjadi 18,09%, 15,46%, dan 12,72%; serta nilai PI menurun menjadi 12,71%, 10,44%, dan 5,68%. Sementara itu, nilai SL meningkat menjadi 12,62%, 10,64%, dan 14,67%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses stabilisasi mampu mengurangi plastisitas, potensi kembang-susut, dan kemampuan tanah mengikat air sehingga tanah menjadi lebih padat dan stabil.

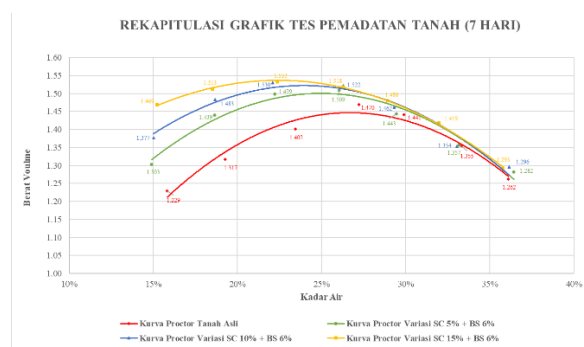
b. Pengujian Mekanis Tanah

Pengujian pemadatan dilakukan untuk memperoleh nilai kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*) dan kepadatan kering maksimum (*Maximum Dry Density/MDD*) (Salim & Rahmawati, 2019). Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan bahan stabilisasi memberikan pengaruh terhadap peningkatan kepadatan tanah, sehingga struktur tanah menjadi lebih padat dan stabil.

Tabel 4. Hasil Pengujian Proctor Test (Berat Kering Optimum Atau (γ_d) dan (Kuat Tekan Bebas atau q_u) Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot Dan Bakteri *Bacillus Subtilis*

Variasi Presentase Campuran	(Berat Kering Optimum Atau (γ_d))	(Kadar Air Optimum atau Wc Opt)	(Kuat Tekan Bebas atau q_u)
Tanah Natural	1,447 gr/cm ³	27%	0,29981 kg/cm ²
Tanah + Serbuk Cangkang Bekicot 5% + Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> 6%	1,505 gr/cm ³	25%	0,27839 kg/cm ²
Tanah + Serbuk Cangkang Bekicot 10% + Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> 6%	1,522 gr/cm ³	24%	0,37996 kg/cm ²
Tanah + Serbuk Cangkang Bekicot 15% + Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> 6%	1,536 gr/cm ³	22%	0,53108 kg/cm ²

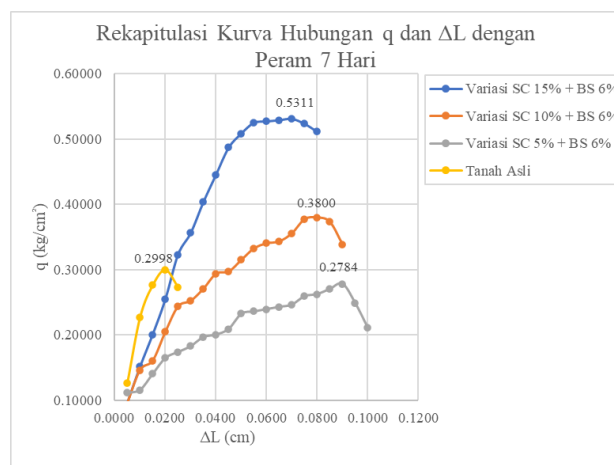
Berdasarkan hasil pengujian Proctor dan UCS, penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* memberikan pengaruh terhadap peningkatan sifat mekanis tanah. Nilai berat isi kering maksimum (MDD) mengalami peningkatan dari 1,447 gr/cm³ pada tanah asli menjadi 1,505 gr/cm³, 1,522 gr/cm³, dan 1,536 gr/cm³ pada variasi campuran 5%, 10%, dan 15%, sedangkan kadar air optimum (OMC) mengalami penurunan dari 27% menjadi 25%, 24%, dan 22%. Selain itu, nilai kuat tekan bebas (UCS) meningkat dari 0,29981 kg/cm² pada tanah asli menjadi 0,27839 kg/cm², 0,37996 kg/cm², dan 0,53108 kg/cm² pada masing-masing variasi campuran. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* mampu memperbaiki kepadatan dan meningkatkan kekuatan tanah.



Grafik 2. Rekapitulasi Pengujian Pemadatan Tanah Campuran Serbuk Cangkang Bekicot Dan Bakteri *Bacillus Subtilis*

Berdasarkan grafik rekapitulasi tes pemadatan tanah, stabilisasi menggunakan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* menyebabkan nilai kadar air optimum (OMC) menurun dan berat isi kering maksimum meningkat dibandingkan tanah asli. Variasi 15% SC + 6% BS menghasilkan nilai terbaik dengan OMC terendah sebesar 23% dan berat isi kering maksimum tertinggi sebesar 1,527 gr/cm³. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* mampu mengurangi kebutuhan kadar air optimum serta meningkatkan kepadatan tanah.

Data pengujian UCS pada tanah asli dan tanah campuran dapat dilihat pada grafik di bawah ini



Grafik 3. Rekapitulasi Pengujian UCS Campuran SCB 5%, 10%, 15% dan Bakteri Bacillus Subtilis 6%

Berdasarkan hasil pengujian UCS pada campuran tanah dengan serbuk cangkang bekicot (SCB) dan bakteri *Bacillus subtilis* 6% dengan masa pemeraman 7 hari, diperoleh peningkatan nilai kuat tekan bebas seiring bertambahnya kadar SCB. Nilai UCS pada variasi SCB 5% sebesar 0,27839 kg/cm², SCB 10% sebesar 0,37996 kg/cm², dan SCB 15% sebesar 0,53108 kg/cm². Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan SCB dan bakteri *Bacillus subtilis* mampu meningkatkan kekuatan tanah, dengan nilai UCS tertinggi diperoleh pada variasi SCB 15%.

4. KESIMPULAN

- Penambahan serbuk cangkang bekicot dan bakteri *Bacillus subtilis* dengan masa pemeraman 7 hari mampu memperbaiki sifat fisis dan mekanis tanah lempung di Kecamatan Wonoayu, Sidoarjo. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan kadar air sebesar 37,44%, penurunan nilai PI sebesar 27,65%, serta peningkatan nilai UCS sebesar 0,23127 kg/cm².
- Persentase campuran paling optimum diperoleh pada variasi 15% serbuk cangkang bekicot dan 6% bakteri *Bacillus subtilis* karena menghasilkan nilai berat isi kering maksimum (MDD) tertinggi sebesar 1,536 gr/cm³ dan nilai UCS tertinggi sebesar 0,53108 kg/cm².
- Variasi optimum mampu meningkatkan kestabilan tanah dengan menaikkan nilai MDD sebesar 0,089 gr/cm³ serta menurunkan kadar air optimum (OMC) sebesar 5%, sehingga tanah menjadi lebih padat dan stabil untuk konstruksi.

5. REFERENSI

- Hartono, A. (2020). Studi Ekperimental Perbaikan Sifat Fisik Tanah Gambut Menggunakan Campuran Pasir Dan Teknik Bio-Grouting Dengan Bantuan Bakteri Bacillus Subtili. *Perpustakaan Universitas Islam Riau*, 21(1), 1–9.
- Hidayat, N., & Kusumastuti, D. (2024). Penambahan Serbuk Cangkang Kerang Terhadap Perubahan Nilai Cbr Laboratorium Lempung Lunak. *Jurnal Forum Mekanika*, 13, 32–41.
- Ikhwan Ardi, Gusneli Yanti, & Muthia Angraini. (2023). Stabilitas Tanah Lempung Dengan Serbuk Cangkang Kerang Terhadap Nilai Kuat Geser. *Paduraksa: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 12(1), 1–7. <https://doi.org/10.22225/Pd.12.1.5519.1-7>
- Indriani, A. M., & Utomo, G. (2023). Pengaruh Microbially Induced Calcite Precipitation (Micp) Terhadap Perilaku Kuat Geser Tanah Terkontaminasi Batubara. *Journal Of Civil Engineering And Vocational Education*, 10(1), 53–60. <https://doi.org/10.24036/Cived.V10i1.362112>

- Nugraheni, P. W., & Sagala, S. A. H. (2019). *Analisis Perubahan Tutupan Lahankabupaten Sidoarjo Setelah Bencana Semburan Lumpur Sidoarjo*. 1.
- Potorti, A. G., Messina, L., Licata, P., Gugliandolo, E., Santini, A., & Di Bella, G. (2024). Snail Shell Waste Threat To Sustainability And Circular Economy: Novel Application In Food Industries. *Sustainability (Switzerland)*, 16(2), 1–17. <https://doi.org/10.3390/Su16020706>
- Salim, A., & Rahmawati, C. (2019). Issn 2407-9200 (Online) Pengaruh Penambahan Limbah Cangkang Tiram Terhadap Stabilisasi Tanah Daerah Rawa. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 9200, 10–16. www.jurnal.abulyatama.ac.id/tekniksipil
- Santi, L. P., Dariah, A., & Goenadi, D. H. (2016). Peningkatan Kemantapan Agregat Tanah Mineral Oleh Bakteri Penghasil Eksopolisakarida. *Menara Perkebunan*, 76(2), 93–103.
- Sinambela, E. A. N., Rondonuwu, S. G., & Legrans, R. R. I. (2023). Potensi Penggunaan Pembenah Tanah Dan Mikroorganisme Untuk Stabilisasi Tanah Bekas Tambang Emas. *Tekno*, 21(86), 1–49.
- Trianoviany, N. (2021). Pengaruh Penggunaan Konsep Enzyme Induced Calcite Precipitation (Eicp) Dalam Perbaikan Sifat Fisik Tanah Gambut Siak Dengan Metode Biogrouting. *Perpustakaan Universitas Islam Riau*, 6.