STUDI PENELITIAN MICROBIALLY INDUCED CALCITE PRECIPITATION PADA TANAH LANAU SERTA PENGARUHNYA TERHADAP NILAI KUAT GESER TANAH

M. Bagus Budiono[1], Eding Iskak Imananto[2], dan Eri Andrian Yudianto[3]

[1] *Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang*
Email: Budibagus989@gmail.com
[2] *Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang*
Email: edingiskak@yahoo.com
[3]*Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang*
Email: erindianto@ftsp.itn.ac.id

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the effect of Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) on improving the mechanical properties of Lanau soil using Bacillus subtilis bacteria. Tanah lanau memiliki kohesi yang rendah, mudah tererosi, dan tidak stabil untuk konstruksi. MICP (Microbially Induced Calcite Precipitation) is an environmentally friendly method of stabilization that utilizes the process of biocementation to form calcium carbonate ($CaCO_3$) deposits that bind soil particles. The research method included varying the concentration of the sementation solution (2.5%, 4.5%, 6.5%, and 8.5%) and the duration of the curing period (3, 7, 14, and 28 days). Pengujian dilakukan untuk parameter fisika (kadar air, berat jenis, dan batas Atterberg) dan mekanik (Direct Shear, Triaxial UU, dan Unconfined Compressive Strength). The results showed that MICP increased the cohesion, internal friction angle, and compressive strength of the clayey soil, with an optimum value at a concentration of 8.5% and a curing time of 28 days. ANOVA testing proved that variations in concentration and incubation time significantly affect the mechanical properties of the soil.

Keywords: *Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP), Silt, Shear Strength Of Soil, Bacillus subtilis, Biocementation*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) terhadap peningkatan sifat mekanik tanah lanau menggunakan bakteri *Bacillus subtilis*. Tanah lanau memiliki kohesi rendah, mudah tererosi, dan kurang stabil untuk konstruksi. MICP dipilih sebagai metode stabilisasi karena ramah lingkungan dan memanfaatkan proses biocementation melalui pembentukan endapan kalsium karbonat ($CaCO_3$) yang mengikat butir tanah. Metode penelitian meliputi variasi konsentrasi larutan sementasi (2,5%, 4,5%, 6,5%, 8,5%) dan lama pemeraman (3, 7, 14, 28 hari). Pengujian dilakukan untuk parameter fisik (kadar air, berat jenis, batas Atterberg) dan mekanik (Direct Shear, Triaxial UU, Unconfined Compressive Strength). Hasil menunjukkan bahwa MICP meningkatkan kohesi, sudut geser dalam, dan kuat tekan bebas tanah lanau, dengan nilai optimum pada konsentrasi 8,5% dan pemeraman 28 hari. Uji ANOVA membuktikan bahwa variasi konsentrasi dan waktu pemeraman berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik tanah.

Kata kunci: *Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP), Tanah Lanau, Kuat Geser Tanah, Bacillus subtilis, Biocementation*

1. PENDAHULUAN

Tanah lanau memiliki karakteristik butiran halus dengan ukuran partikel antara 0,002–0,05 mm, kohesi rendah, dan permeabilitas sedang, sehingga rentan terhadap erosi dan kurang stabil untuk konstruksi (USDA, 2023). Permasalahan stabilitas tanah lanau mendorong pengembangan metode perbaikan tanah, salah satunya dengan teknologi **Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP)**. MICP memanfaatkan bakteri *Bacillus subtilis* untuk menghasilkan enzim urease yang mengubah urea dan kalsium klorida menjadi kalsium karbonat ($CaCO_3$), mengikat partikel tanah dan meningkatkan kekuatan geser (DeJong et al., 2006).

Penelitian ini bertujuan untuk Menganalisis perubahan sifat mekanik tanah lanau setelah perlakuan MICP dari Kabupaten Malang, Jawa Timur. Variasi konsentrasi bakteri (2,5%, 4,5%, 6,5%, 8,5%) serta masa pemeraman (3, 7, 14, dan 28

hari) diuji melalui serangkaian pengujian laboratorium, termasuk *Direct Shear Test*, *Triaxial Compression Test*, dan *Unconfined Compressive Strength*. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode perbaikan tanah yang berkelanjutan dan efektif untuk mengatasi permasalahan tanah lanau di Indonesia.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tanah Lanau

Tanah Lanau adalah jenis tanah yang memiliki butiran material yang halus yang memiliki nilai kohesi rendah dengan nilai permeabilitas sedang juga memiliki potensi besar untuk mengembang ketika jenuh air dan menyusut saat mengering. Perilaku ini disebabkan oleh adanya mineral lempung tertentu, terutama *montmorillonite*, yang memiliki kemampuan menyerap air dan mengalami perubahan volume signifikan.

Karakteristik utama tanah lanau:

- Memiliki nilai indeks plastis antara <7.
- Mudah tererosi dan daya dukung tanahnya rendah.
- Kurang cocok untuk proyek stabilitas bangunan, apabila ingin digunakan harus melalui proses stabilitasi material.

Potensi ekspansi tanah dapat diidentifikasi melalui **Plasticity Index (PI)** yang diperoleh dari uji batas cair (*Liquid Limit*, LL) dan batas plastis (*Plastic Limit*, PL). Nilai PI dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat ekspansivitas tanah.

$$PI = LL - PL$$

dimana:
PI = *Plasticity Index*

LL = *Liquid Limit*

PL = *Plastic Limit*

Tabel 1. Potensi Ekspansi tanah Berdasar Nilai PI

Plasticity Index (%)	Expansion Potential
0–15	Low
0–35	Medium
20–55	High
> 35	Very high

Nilai Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan geseran antarpartikel tanah akibat gaya eksternal sebelum mengalami deformasi atau kegagalan geser. Parameter ini sangat penting dalam mekanika tanah dan rekayasa geoteknik karena menentukan stabilitas lereng, daya dukung pondasi, dan perilaku tanah di bawah beban. Secara umum kuat geser tanah dimodelkan dengan kriteria keruntuhan Mohr–Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan(\phi)$$

dimana:

τ = Kuat geser tanah

c = Kohesi

ϕ = Sudut geser dalam

σ = Tegangan normal pada bidang runtuh

Tanah berbutir kasar umumnya memiliki sudut geser dalam tinggi (30°–45°) dengan kohesi rendah, sedangkan tanah berbutir halus memiliki sudut geser dalam rendah (< 30°) dengan kohesi tinggi. Pengukuran parameter kuat geser dilakukan melalui *Direct Shear Test*, *Triaxial Compression Test*, dan *Unconfined Compressive Strength* sesuai standar pengujian geoteknik.

Microbially Induced Calcite Precipitation

MICP merupakan metode perbaikan tanah ramah lingkungan yang memanfaatkan bakteri penghasil enzim urease untuk menghidrolisis urea, menghasilkan ion karbonat (CO_3^{2-}) yang bereaksi dengan ion kalsium (Ca^{2+}) membentuk endapan kalsium karbonat ($CaCO_3$). Endapan ini berfungsi mengikat partikel tanah, meningkatkan kepadatan, mengurangi porositas, serta memperbaiki sifat mekanik seperti kuat geser dan daya dukung.

Bacillus subtilis adalah bakteri Gram-positif berbentuk batang yang dapat membentuk endospora, sehingga tahan terhadap kondisi ekstrem. Bakteri ini dapat hidup aerob maupun anaerob, banyak ditemukan di lapisan tanah atas (0–30 cm) dan di sekitar rizosfer tanaman. Pada proses MICP, *B. subtilis* memproduksi enzim urease yang menghidrolisis urea menjadi ion karbonat dan amonia:

$$CO(NH_2)_2 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + CO_3^{2-}$$

$$CO_32- + Ca^{2+} \rightarrow CaCO_3$$

dimana:

$CO(NH_2)_2$ = Urea

H_2O = Air

NH_4^+ = Amonia

CO_3^{2-} = Ion Karbonat

Ca^{2+} = Ion Kalsium

$CaCO_3$ = Kalsium Karbonat

3. METEDOLOGI PENELITIAN

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium Mekanika Tanah, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang. Sampel tanah lanau diambil dari Kabupaten Malang

(kebonagung), Jawa Timur. Variasi campuran *Bacillus subtilis* yang digunakan adalah 2,5%, 4,5%, 6,8%, dan 8,5% dari berat tanah kering, dengan masa pemeraman 3, 7, 14, dan 28 hari.

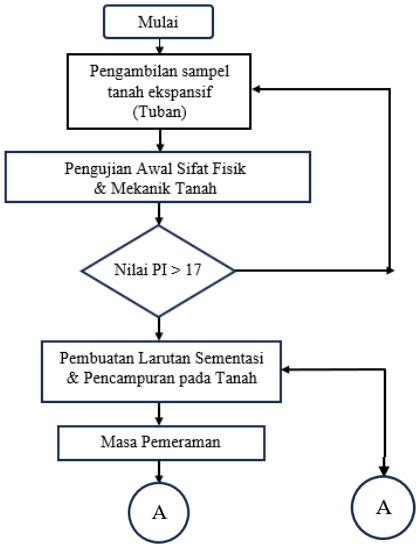
Alat dan Bahan

Bahan penelitian meliputi tanah lanau, kultur bakteri *Bacillus subtilis*, urea $CO(NH_2)_2$, kalsium klorida ($CaCl_2$), dan air. Peralatan yang digunakan antara lain oven, piknometer, hidrometer, perangkat batas cair dan batas plastis, alat *Direct Shear*, *Triaxial Compression*, dan *Unconfined Compressive Strength* (UCS).

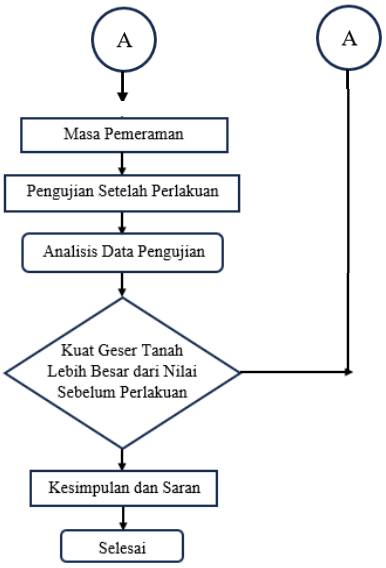
Prosedur Pengujian

- **Pengujian Awal** – Sampel tanah diuji sifat fisik (kadar air, berat jenis, batas Atterberg, analisis hidrometer) dan sifat mekanik (UCS, *Direct Shear*, *Triaxial UU*).
- **Pembuatan Larutan Sementasi** – Mencampur urea dan $CaCl_2$ sesuai konsentrasi yang direncanakan.
- **Pencampuran Bakteri dan Tanah** – Tanah kering dicampur dengan larutan bakteri dan larutan sementasi sesuai variasi.
- **Pemeraman** – Sampel disimpan selama periode 3, 7, 14, dan 28 hari.
- **Pengujian Setelah Perlakuan** – Dilakukan pengujian fisik dan mekanik yang sama seperti pengujian awal untuk membandingkan perubahan sifat tanah.

Bagan Alir



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah lanau diambil dari Kabupaten Malang, Jawa Timur, pada kedalaman 0,5 – 1,0 m dari permukaan tanah asli. Kabupaten Malang tepatnya di Kebonagung kecamatan Pakisaji dipilih sebagai lokasi pengambilan sampel karena memiliki perbedaan musim hujan dan kemarau yang jelas, yang menyebabkan fluktuasi kadar air tanah cukup signifikan.



Gambar 3. Pengambilan Sampel Tanah lanau

Pengujian Awal

Hasil pengujian fisik tanah menunjukkan bahwa sampel tanah Lanau asal Kabupaten Malang termasuk dalam klasifikasi lempung berplastisitas tinggi. Nilai batas Atterberg menunjukkan **batas**

cair (LL) sebesar 54,62% dan **batas plastis (PL)** sebesar 47,88%, sehingga **indeks plastisitas (PI)** mencapai 6,74%, mengindikasikan potensi kembang-susut tinggi (*highly expansive*). Lalu pada pengujian sifat mekanik tanah dengan parameter pengujian nilai kuat geser tanah maka berikut adalah hasil pengujiannya:

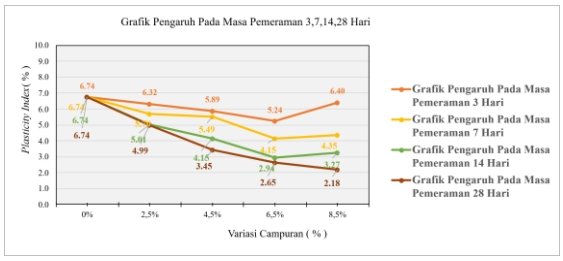
Tabel 2. Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian	Kuat Geser Tanah
Direct Shear	0,213 Kgf/cm^2
Triaxial Compression UU	0,365 Kgf/cm^2
Unconfined Compressive Strength	0,192 Kgf/cm^2

Pengujian Setelah Perlakuan

Setelah perlakuan MICP menggunakan *Bacillus subtilis* dengan variasi konsentrasi 2,5%, 4,5%, 6,5%, dan 8,5% serta masa pemeraman 3, 7, 14, dan 28 hari, terjadi perubahan signifikan pada sifat fisik dan mekanik tanah.

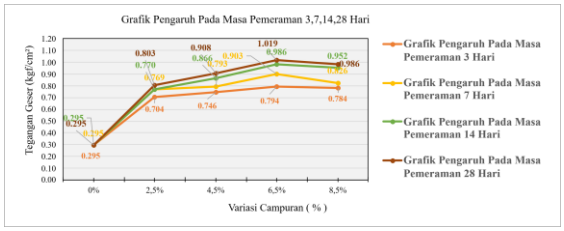
Plasticity Index



Gambar 4. Grafik Pengaruh Bakteri Terhadap Nilai PI

Berdasarkan hasil pengujian, nilai PI pada sampel kontrol (tanpa campuran bakteri) adalah **6,74%**. Penurunan PI paling signifikan terjadi pada masa pemeraman 28 hari dengan variasi campuran bakteri 8,5%, yaitu menjadi **2,18%** atau mengalami penurunan sebesar **67,65%** dari nilai kontrol.

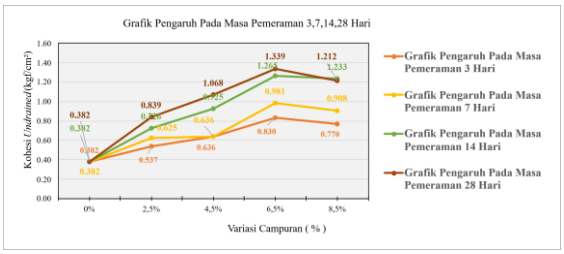
Direct Shear



Gambar 5. Grafik Pengaruh Bakteri Terhadap Nilai Tegangan Geser

Nilai tegangan geser maksimum pada sampel kontrol (tanpa campuran bakteri) mengalami peningkatan signifikan setelah perlakuan MICP. Tegangan geser tertinggi tercatat sebesar **0,295 kgf/cm²** dengan sudut geser dalam (ϕ) **30°** dan kohesi (*c*) **0,152 kgf/cm²** pada masa pemeraman 28 hari dengan variasi campuran bakteri 8,5%, atau meningkat sebesar **70,08%** dibandingkan nilai kontrol.

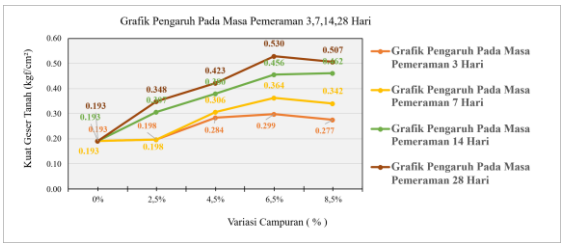
Triaxial Compression UU



Gambar 6. Grafik Pengaruh Bakteri Terhadap Nilai Kohesi *Undrained*

Pengujian *Triaxial UU* menunjukkan bahwa nilai kohesi undrained (cuc_ucu) pada sampel kontrol sebesar **0,382 kgf/cm²** mengalami peningkatan signifikan setelah perlakuan MICP. Peningkatan tertinggi dicapai pada masa pemeraman 28 hari dengan variasi campuran bakteri 6,5%, yaitu menjadi **1,339 kgf/cm²**, atau setara dengan kenaikan **71,47%** dari nilai kontrol.

Unconfined Compressive Strength



Gambar 7. Grafik Pengaruh Bakteri Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah

Hasil pengujian *Unconfined Compressive Strength* (UCS) menunjukkan bahwa nilai UCS pada sampel kontrol sebesar **0,193 kgf/cm²** mengalami peningkatan optimal pada masa pemeraman 28 hari dengan variasi campuran bakteri 6,5%, yaitu mencapai **0,507 kgf/cm²** atau meningkat sebesar **62,71%** dari nilai kontrol.

Perubahan nilai PI, parameter kuat geser (*direct shear*, *triaxial UU* dan *Unconfined Compressive Strength*), secara konsisten dipengaruhi oleh aktivitas bakteri *Bacillus subtilis* dalam proses MICP. Bakteri ini menghasilkan endapan kalsium karbonat ($CaCO_3$) yang mengisi pori tanah, menyebabkan penggumpalan butiran, dan memperkuat ikatan antarpartikel. Akibatnya, gesekan internal meningkat, struktur tanah menjadi lebih rapat, dan kemampuan tanah untuk menahan gaya geser maupun beban tekan bebas bertambah signifikan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, berikut ini beberapa hal yang dapat disimpulkan:

1. Penerapan teknologi MICP dengan *Bacillus subtilis* terbukti meningkatkan kuat geser tanah lanau secara signifikan. Hasil uji *Direct Shear*, *Triaxial UU*, dan UCS menunjukkan peningkatan nilai kohesi, sudut geser dalam, dan kuat tekan bebas dibandingkan kondisi kontrol, sedangkan uji sifat fisik menunjukkan penurunan indeks plastisitas (PI).
2. Mekanisme perbaikan terjadi melalui pengendapan kalsium karbonat ($CaCO_3$) hasil aktivitas bakteri, yang berfungsi sebagai semen alami antarpartikel tanah, mengurangi porositas, dan memperkuat struktur tanah.
3. Variasi campuran bakteri dan masa pemeraman berpengaruh signifikan terhadap hasil akhir. Nilai PI awal sebesar 6,74% dapat diturunkan hingga 2,18% (penurunan 67,65%) pada campuran 8.5% dengan pemeraman 28 hari. Peningkatan tertinggi pada parameter mekanik terjadi pada kondisi yang sama, yaitu tegangan geser maksimum naik 70,08%, kohesi *undrained* naik 76,73, dan UCS naik 62,71% dari nilai kontrol.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Rawas, A. A., & Goosen, M. F. (Eds.). (2006). *Expansive soils: recent advances in characterization and treatment*.

Braja, M. D., Noor, T. E., & Indrasurya, B. M. (1998). *Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis*).

Das, B. M., & Sobhan, K. (1990). *Principles of geotechnical engineering eight edition*.

Hardiyatmo, H. C. (2010). *Mekanika_Tanah_II_H_C_Hardiyatmo* (Vol. 3).

Li, L., Liu, S., Wen, K., & Lu, X. (Eds.). (2025). *The Immersion Method for Microbially Induced Calcite Precipitation:: Applications for Sustainability*. CRC Press.

.