

Contents list available at journal.uib.ac.id**Journal of Civil Engineering and Planning**Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>

Jurnal Penelitian

Analysis Of The Effect Of The Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP) Method On The Permeability Of Sandy Clay Soil

Analisis Pengaruh Metode Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP) Terhadap Permeabilitas Tanah Lempung Berpasir

Raudah Ahmad¹, IGN Aditya Dhiva², Insan Kamil¹, Dhinar Yoga Hanggung Legowo³, Jalung Alvin Leo¹

¹Rekayasa Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik sipil, Politeknik Negeri Samarinda

²Teknologi Rekayasa Kosntruksi Bangunan Gedung, Politeknik Negeri Samarinda

³Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Air, Politeknik Negeri Samarinda

Email korespondensi: raudah@polnes.ac.id

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
Kata kunci : Permeabilitas, SCU-CP, Tanah Lempung berpasir	Tanah dengan permeabilitas tinggi berpotensi menyebabkan rembesan yang memicu erosi buluh (piping), penurunan tanah, dan kelongsoran konstruksi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas metode <i>Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP)</i> dalam menurunkan koefisien permeabilitas tanah melalui uji <i>falling head</i> . Klasifikasi sampel tanah A-6 dengan nilai batas cair LL (39,97%) dan batas plastis PL (24,38%). Metode SCU-CP menggunakan larutan urea dan CaCl_2 berkonsentrasi 1 mol/L dan 1,5 mol/L dengan penambahan <i>soybean powder</i> 10–30 g/L. Hasil penelitian menunjukkan permeabilitas tanah menurun dari $4,01 \times 10^{-4}$ cm/s menjadi $1,07 \times 10^{-4}$ cm/s (73,32%) pada reagen 1 mol/L dan $4,77 \times 10^{-5}$ cm/s (88,10%) pada reagen 1,5 mol/L dengan <i>soybean powder</i> 30 g/L. Hasil ini menunjukkan bahwa metode SCU-CP efektif menurunkan permeabilitas tanah dan berpotensi sebagai alternatif stabilisasi tanah yang ramah lingkungan.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Keywords: permeability, SCU-CP, sandy clay soil	<i>Soil with high permeability has the potential to cause seepage, which can lead to piping, ground subsidence, and structural failure. This study aims to evaluate the effectiveness of the Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP) method in reducing soil permeability coefficients through a falling-head test. Soil sample A-6 was classified with a liquid limit (LL) of 39.97% and a plastic limit (PL) of 24.38%. The SCU-CP method used urea and CaCl_2 solutions at concentrations of 1 mol/L and 1.5 mol/L, with the addition of 10–30 g/L of soybean powder. The results showed that soil permeability decreased from 4.01×10^{-4} cm/s to 1.07×10^{-4} cm/s (73.32%) with the 1 mol/L reagent and to 4.77×10^{-5} cm/s (88.10%) with the 1.5 mol/L reagent, both using 30 g/L of soybean powder. These results indicate that the SCU-CP method is effective in reducing soil permeability and has the potential to serve as an environmentally friendly alternative for soil stabilization.</i>

1. Pendahuluan

Tanah adalah material dasar yang memikul beban suatu struktur bangunan, sehingga kestabilan strukturnya menjadi hal yang mutlak diperlukan. Karena itu, memahami bagaimana air bergerak melintasi rongga-rongga pori tanah menjadi hal yang krusial guna memperkirakan besarnya potensi rembesan yang mungkin terjadi. Untuk itu, dilakukan pengujian permeabilitas yang bertujuan memperoleh nilai koefisien permeabilitas tanah, yang kemudian dapat dimanfaatkan untuk melihat keterkaitan antara sifat-sifat fisik tanah beserta aktivitasnya dengan besaran nilai tersebut (Sumediyana et al., 2025). Parameter ini memiliki peran penting dalam berbagai perencanaan konstruksi sipil, seperti perencanaan bendungan, tanggul, timbunan jalan, hingga sistem drainase, karena tanah dengan permeabilitas yang terlalu tinggi berpotensi menimbulkan rembesan berlebih yang dapat memicu erosi buluh (piping), penurunan tanah, hingga kelongsoran.

Salah satu metode perbaikan tanah yang berkembang saat ini adalah Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP), metode yang memanfaatkan kedelai sebagai bio-katalis untuk menghidrolisis urea, sehingga terjadi reaksi antara urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) dan kalsium klorida (CaCl_2) dapat menghasilkan kristal kalsit (CaCO_3). Endapan kalsit berfungsi sebagai material sementasi yang mengikat antar butir tanah sehingga meningkatkan karakteristik tanah (Khairunnisa & Martinus, 2023). Endapan kalsit yang terbentuk mengisi rongga-rongga pori tanah serta memperkuat ikatan antarpartikel, sehingga ukuran pori dan jalur aliran air menjadi lebih kecil. Kondisi tersebut menyebabkan kemampuan tanah dalam meloloskan air menurun yang ditunjukkan dengan berkurangnya nilai koefisien permeabilitas.

Beberapa penelitian sebelumnya melaporkan efektivitas SCU-CP dalam meningkatkan kuat geser dan nilai CBR tanah gambut (Augusti et al., 2022; Putra & Yudhistira., 2022) dan dalam meningkatkan kuat tekan tanah lempung berpasir (Ahmad et al., 2026). Kajian mengenai penerapan metode SCU-CP terhadap permeabilitas tanah lempung masih relatif terbatas. Padahal, tanah lempung banyak dijumpai sebagai tanah dasar konstruksi di Indonesia dan memiliki karakteristik hidraulik yang dipengaruhi oleh ukuran pori serta kadar air. Keterbatasan penelitian tersebut menunjukkan adanya kesenjangan dalam mengetahui pengaruh variasi konsentrasi reagen dan dosis *soybean powder* terhadap perubahan nilai koefisien permeabilitas melalui mekanisme presipitasi kalsit non-mikroba.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas larutan SCU-CP dalam menurunkan nilai koefisien permeabilitas tanah melalui pengujian permeabilitas metode *falling head*, dengan variasi konsentrasi reagen sebesar 1 mol/L dan 1,5 mol/L serta kadar *soybean powder* 10–30 g/L. Penelitian ini menghadirkan kebaruan melalui pemanfaatan *Soybean Crude Urease* sebagai sumber urease nabati dalam metode *Calcite Precipitation* untuk memperbaiki sifat hidraulik tanah sebagai alternatif non-bakterial yang lebih ekonomis, ramah lingkungan, dan aplikatif dibandingkan metode konvensional.

2. Tinjauan Pustaka

Permeabilitas merupakan salah satu sifat hidraulik tanah yang menunjukkan kemampuan tanah dalam meloloskan air melalui rongga pori akibat adanya perbedaan tinggi hidraulik. Besarnya nilai permeabilitas dinyatakan dalam bentuk koefisien permeabilitas (k), yang dipengaruhi oleh ukuran dan distribusi butiran, angka pori, struktur tanah, tingkat kepadatan, serta viskositas fluida yang mengalir. Tanah berbutir kasar umumnya memiliki nilai permeabilitas yang lebih tinggi dibandingkan tanah berbutir halus karena memiliki ukuran pori yang lebih besar sehingga aliran air berlangsung lebih cepat (Tangdiombo et al., 2021).

Pengujian permeabilitas merupakan salah satu parameter penting dalam bidang geoteknik karena berkaitan dengan perencanaan pondasi, bendungan, timbunan, sistem drainase, serta evaluasi stabilitas

lereng. Nilai koefisien permeabilitas digunakan untuk memperkirakan besarnya rembesan air yang terjadi di dalam massa tanah. Tanah dengan permeabilitas tinggi berpotensi mengalami rembesan yang dapat menyebabkan erosi internal (*piping*), penurunan tanah, dan berkurangnya stabilitas konstruksi. Oleh karena itu, pengujian permeabilitas banyak digunakan untuk mengevaluasi efektivitas metode stabilisasi tanah dalam memperbaiki sifat hidrauliknya (Sumediyana et al., 2025)

Pada tanah berbutir halus, pengujian permeabilitas umumnya dilakukan menggunakan metode falling head karena metode ini sesuai untuk tanah dengan nilai permeabilitas rendah. Prinsip pengujian ini didasarkan pada pengamatan penurunan tinggi muka air di dalam pipa pengukur selama selang waktu tertentu, kemudian dihitung menjadi nilai koefisien permeabilitas. Penurunan nilai permeabilitas setelah proses stabilisasi menunjukkan bahwa struktur pori tanah menjadi lebih rapat sehingga kemampuan tanah dalam meloloskan air berkurang. Oleh karena itu, metode *falling head* banyak digunakan untuk mengevaluasi perubahan sifat hidraulik tanah akibat penambahan bahan stabilisasi.

3. Metode Penelitian

Pengujian indeks properti tanah lempung dalam penelitian ini meliputi pengujian kadar air (SNI 1965:2008), berat jenis tanah (SNI 1964:2008), analisis saringan, serta batas Atterberg yang terdiri atas batas cair (SNI 1967:2008) dan batas plastis (SNI 1966:2008). Hasil pengujian indeks properti tanah dapat dilihat pada **Tabel 1.** dibawah ini.

Tabel 1. Properti Tanah Lempung Berpasir

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
Kadar air	7,03%
Berat Jenis (Gs)	2,605
Tanah Lolos saringan No.200(<0,0075 mm)	95,98%
Batas Cair (LL)	39,97%
Batas Plastis (PL)	24,38%
Indeks Kelompok (GI)	15,69

Berdasarkan indeks properti tanah yang didapat, tanah ini dapat diklasifikasikan dengan metode AASHTO sebagai tanah kelompok A-6, yaitu tanah berlempung dengan kualitas sebagai tanah dasar yang dinilai sedang hingga buruk. Dan apabila menggunakan metode USCS, tanah ini dapat dikategorikan sebagai tanah CL, yaitu tanah lempung anorganik dengan plastisitas rendah hingga sedang. Jenis tanah ini umumnya berupa lempung berlanau, lempung berpasir, lempung kurus (*lean clay*), atau lempung yang mengandung kerikil.

Pengujian Pemadatan Ringan

Pengujian pemadatan ringan dilakukan sesuai dengan (SNI 1742:2008), untuk mengetahui nilai kadar air optimum (w_{opt}) dan berat isi kering maksimum (γ_{dmax}) dari tanah asli. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

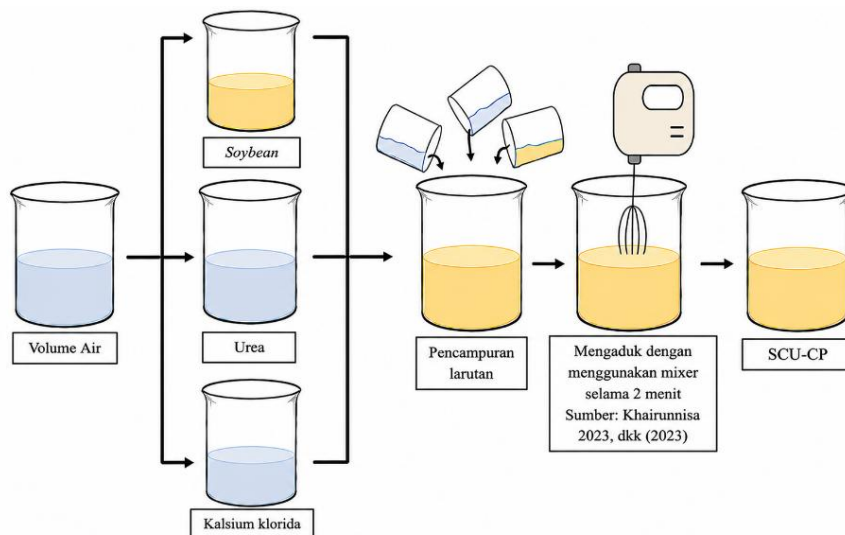
Tabel 2 Hasil Pengujian Pemadatan Ringan

Sampel	$w_{opt}(\%)$	$\gamma_{dmax}(gr/cm^3)$
Tanah Asli	26,01	1,39
1 mol/l reagen (CO(NH ₂) ₂ & CaCl ₂) + 10 g/l soybean	16,50	1,56
1 mol/l reagen (CO(NH ₂) ₂ & CaCl ₂) + 20 g/l soybean	16,60	1,59
1 mol/l reagen (CO(NH ₂) ₂ & CaCl ₂) + 30 g/l soybean	16,88	1,63
1,5 mol/l reagen (CO(NH ₂) ₂ & CaCl ₂) + 10 g/l soybean	15,49	1,56
1,5 mol/l reagen (CO(NH ₂) ₂ & CaCl ₂) + 20 g/l soybean	15,47	1,66
1,5mol/l reagen (CO(NH ₂) ₂ & CaCl ₂) + 30 g/l soybean	11,14	2,01

Berdasarkan hasil pengujian pemadatan ringan, metode *Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP)* terbukti mampu meningkatkan berat isi kering maksimum (γ_{dmax}) tanah lempung berpasir. Pada konsentrasi 1 mol/L, nilai γ_d meningkat dari 1,39 g/cm³ pada tanah asli menjadi 1,63 g/cm³ pada variasi *soybean powder* 30%, sedangkan pada konsentrasi 1,5 mol/L meningkat hingga 2,00 g/cm³ pada variasi yang sama. Peningkatan nilai γ_d menunjukkan bahwa pembentukan presipitasi kalsit mampu mengisi rongga antarpartikel sehingga porositas berkurang dan kepadatan tanah meningkat (Erizal et al., 2025). Hasil pengujian ini akan digunakan untuk mengetahui penambahan air dan kebutuhan campuran reagen dan soybean yang akan digunakan dalam pembuatan larutan SCU-CP.

Persiapan Larutan SCU-CP

Pembuatan larutan Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP) ditunjukkan pada Gambar 1. Variasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu, konsentrasi reagen 1 mol/L dan 1,5 mol/L serta variasi konsentrasi soybean 10–30 g/L, yaitu dengan melarutkan soybean, urea, dan CaCl₂ dalam air suling sesuai perhitungan kebutuhan berdasarkan parameter tanah asli (γ_{dmax} , w_{opt} , w_{asli} , dan V_{mold}), kemudian larutan soybean disaring dengan ayakan No. 200 sebelum dicampur dengan larutan urea dan CaCl₂.



Gambar 1. Prosedur Pembuatan Larutan SCU-CP
Sumber : Alfarsiki, dkk (2023)

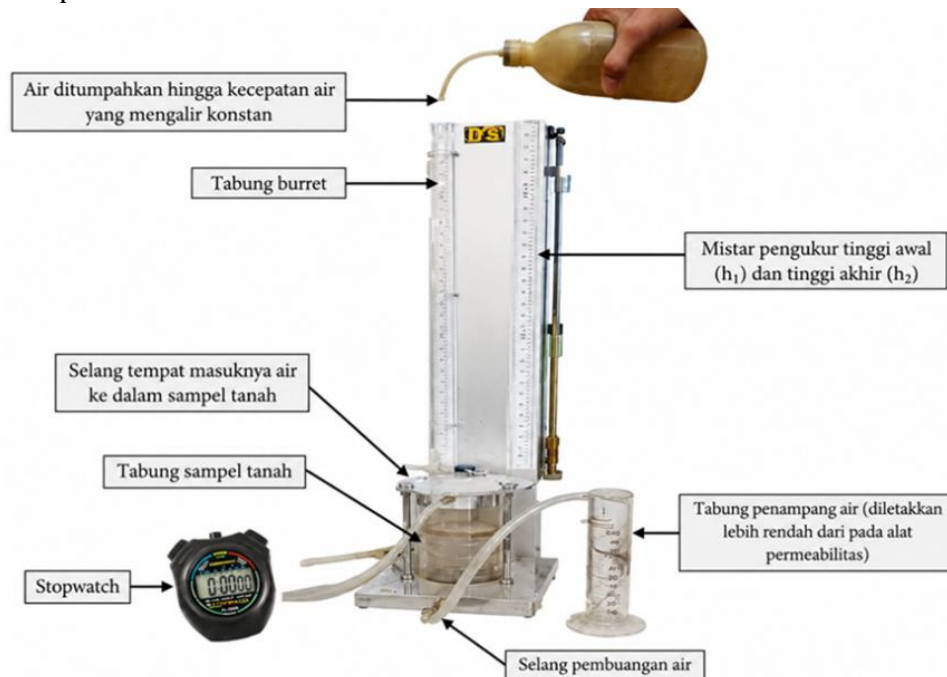
γ_{dmax}	=	Diperoleh dari hasil pengujian pemadatan tanah asli
w_{opt}	=	Diperoleh dari hasil pengujian pemadatan tanah asli
V_{mold}	=	Diperoleh dari mengukur volume mold permeabilitas
γ_{bmax}	=	$\gamma_{dmax} \times (1 + w_{opt})$
W_s	=	$\gamma_{dmax} \times V_{mold}$
Penambahan air	=	$\frac{W_{opt} - W_{asli}}{1 + W_{asli}} \times W_s$
Mr CaCl ₂	=	Ca = 40,08 g/mol Cl = 35,45 g/mol $\times 2 = 70,9$ g/mol Mr = 40,08 + 70,9 = 110,98 g/mol
Mr CO(NH ₂) ₂	=	C = 12,01 g/mol O = 16,00 g/mol N = 14,01 g/mol $\times 2 = 28,02$ g/mol H = 1,008 g/mol $\times 4 = 4,032$ g/mol

$$M_r = 12,01 + 16,00 + 28,02 + 4,032 = 60,06 \text{ g/mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan CaCl}_2 &= \text{Penambahan air} \times \text{konsentrasi campuran} \times M_r \text{ CaCl}_2 \\ \text{Kebutuhan CO(NH}_2)_2 &= \text{Penambahan air} \times \text{konsentrasi campuran} \times \text{CO(NH}_2)_2 \\ \text{Kebutuhan soyebean} &= \text{Penambahan air} \times \text{konsentrasi campuran} \end{aligned}$$

Pembuatan Sampel dan Pengujian Permeabilitas

Selanjutnya larutan SCU-CP dicampurkan ke dalam tanah lempung berpasir, Pengujian variasi 1 Permeabilitas dilakukan dengan menghitung kebutuhan tanah campuran sekitar 602 gram untuk mencapai γ_{dmax} 1,56 (gr/cm³) dengan volume tabung 316,53 cm³, Pengujian permeabilitas metode *falling head* diawali dengan memasang pegas lalu dipasang batu pori (*porous stone*), kemudian memasukkan sampel tanah sesuai dengan nilai kepadatan γ_{dmax} secara bertahap ke dalam tabung dengan tinggi 17 cm dan diameter 31,653 cm lalu dipadatkan ke dalam tabung permeabilitas, Selanjutnya, sampel dijenuhkan hingga seluruh pori-pori tanah terisi air. Setelah jenuh, tabung ukur (*standpipe*) diisi air hingga mencapai tinggi muka air awal (h_1). Katup kemudian dibuka sehingga air mengalir melewati sampel tanah, sementara waktu yang dibutuhkan muka air turun dari h_1 ke h_2 dicatat menggunakan stopwatch.



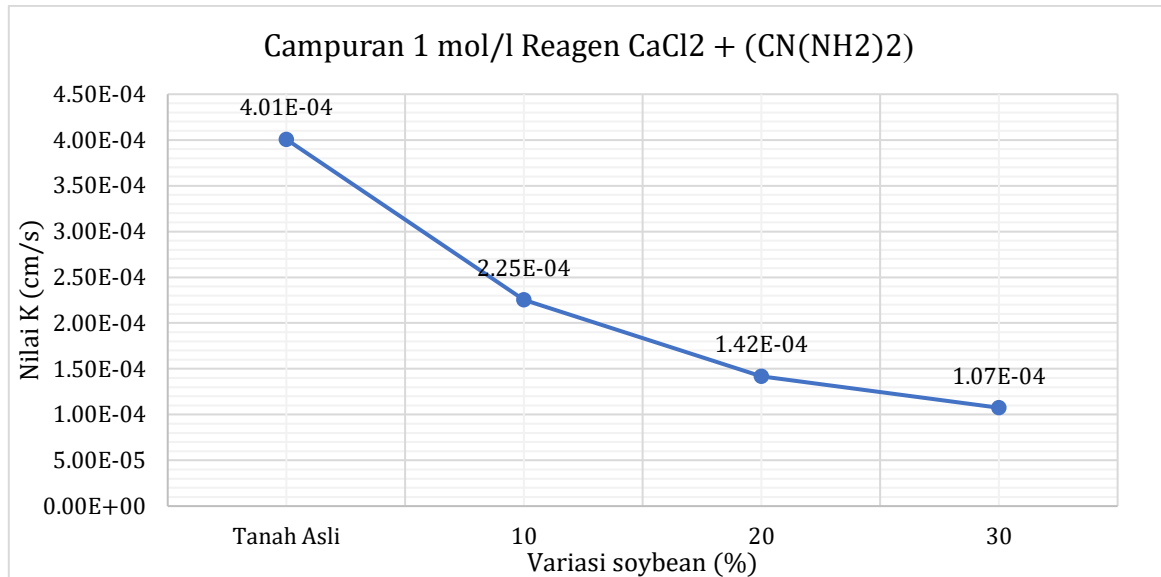
Gambar 2. Skema pengujian permeabilitas *falling head*

4. Hasil dan Pembahasan

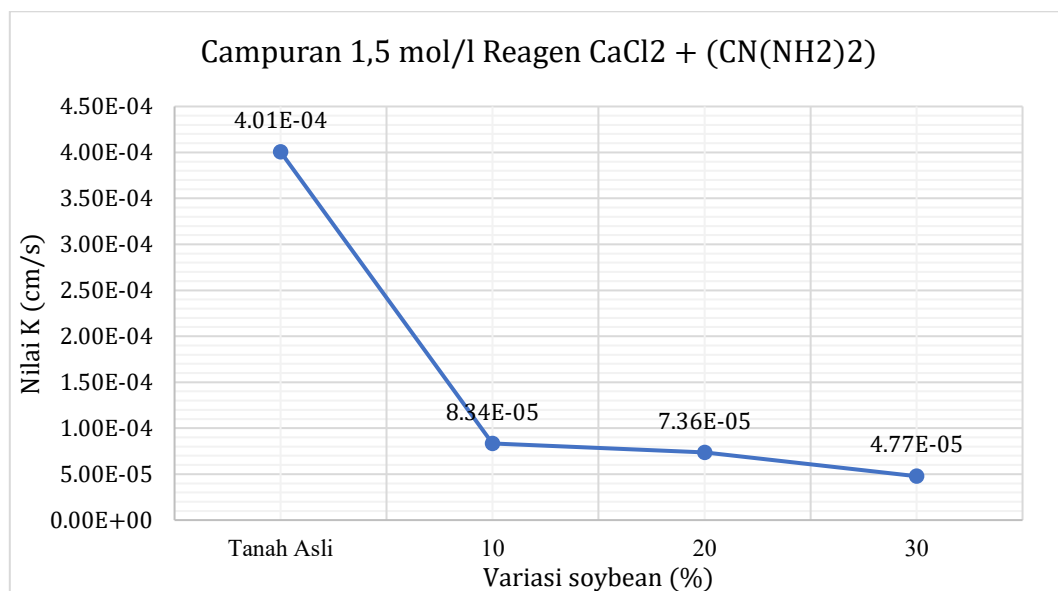
Berdasarkan hasil pengujian permeabilitas penambahan bahan tambahan berupa reagen (CaCl_2 dan $\text{CO(NH}_2)_2$) serta soyebean melalui metode *Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP)* terbukti mampu menurunkan nilai koefisien permeabilitas (k) pada sampel tanah. Rincian nilai (k) berdasarkan variasi campuran dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4 serta gambar 2 dan gambar 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Permeabilitas Reagen 1 mol/l

Satuan	Untreated Soil	Soybean 10 g/l	Soybean 20 g/l	Soybean 30 g/l
K (cm/s)	$4,01 \times 10^{-4}$	$2,25 \times 10^{-4}$	$1,42 \times 10^{-4}$	$1,07 \times 10^{-4}$

**Gambar 2.** Grafik Pengujian Permeabilitas 1 mol/l**Tabel 3.** Hasil Pengujian Permeabilitas 1,5 mol/l

Satuan	Untreated Soil	Soybean 10 g/l	Soybean 20 g/l	Soybean 30 g/l
K (cm/s)	$4,01 \times 10^{-4}$	$8,34 \times 10^{-5}$	$7,36 \times 10^{-5}$	$4,77 \times 10^{-5}$

**Gambar 3.** Grafik Pengujian Permeabilitas 1,5 mol/l

Penurunan nilai koefisien permeabilitas pada seluruh variasi campuran menunjukkan bahwa reaksi antara reagen (CaCl_2 dan $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) dengan bio-katalis dari soybean powder efektif menghasilkan endapan kalsit (CaCO_3) yang mengisi rongga pori tanah dan mengikat antar butiran, sehingga jalur aliran air melalui pori tanah menjadi lebih sempit dan menghambat pergerakan air (Erizal et al., 2025). nilai (k) tanah asli sebesar $4,01 \times 10^{-4}$ cm/s menurun hingga $1,07 \times 10^{-4}$ (penurunan 73,32%) pada campuran reagen 1 mol/l dengan soybean 30 g/l, serta $4,77 \times 10^{-5}$ cm/s (penurunan 88,10%) pada campuran 1,5 mol/l dengan soybean 30 g/l.

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa tanah asli memiliki berat isi kering maksimum (γ_d max) sebesar $1,60 \text{ g/cm}^3$ dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 15,30%, serta nilai koefisien permeabilitas rata-rata sebesar $4,01 \times 10^{-4} \text{ cm/detik}$. Penambahan larutan SCU-CP terbukti memengaruhi sifat mekanis tanah, yaitu meningkatkan kepadatan tanah (γ_d) dan menurunkan nilai koefisien permeabilitas (k) pada seluruh variasi campuran. Nilai k tanah asli sebesar $4,01 \times 10^{-4} \text{ cm/detik}$ menurun hingga $1,07 \times 10^{-4} \text{ cm/detik}$ (penurunan 73,32%) pada campuran reagen 1 mol/L dengan 30 g/L soybean powder, dan menurun hingga nilai terendah sebesar $4,77 \times 10^{-5} \text{ cm/detik}$ (penurunan 88,10%) pada campuran reagen 1,5 mol/L dengan 30 g/L soybean powder. Temuan ini mengindikasikan bahwa metode Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP) efektif dan berpotensi diaplikasikan sebagai alternatif stabilisasi tanah yang ramah lingkungan pada konstruksi sipil, khususnya untuk menurunkan permeabilitas tanah lempung berpasir. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambah variasi konsentrasi SCU-CP dan kadar soybean powder yang lebih luas guna mengetahui komposisi optimum, serta melakukan pengujian distribusi kalsit untuk dibandingkan dengan hasil kuat tekan bebas dan kuat geser langsung.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Pusat Penelitian & Pengabdian Masyarakat Politeknik Negeri Samarinda yang telah memberikan dukungan moril dan materil kepada penulis melalui skema pendanaan Penelitian Dosen Pemula (PDP) Tahun 2026.

Daftar Rujukan

- M. Y. A. et al. (n.d.) (2022). *Improvement of Peat Soil Settlement Parameter Using Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP) Method Improvement of Peat Soil Settlement Parameter Using Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP) Method*. 0–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1117/1/012021>
- Alfariski, M.Z., Ahmad, R., Ridwan, M. (2025). Penggunaan *Metode Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU- CP)* pada tanah Clay Shale dalam meningkatkan Nilai California Bearing Ratio Laboratorium Soaked. 17(2),35-41.
- Ahmad, R., Barakwan, M. H. V., Dhiva, I. G. N. A., & Nugroho, B. (2026). *Penggunaan Metode Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU- CP) dalam Meningkatkan Kuat Tekan Tanah Lempung Berpasir*. 21(1), 1–4.
- Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2008a). Cara uji berat jenis tanah. *SNI 1964:2008*.
- Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2008b). *Cara uji kepadatan ringan untuk tanah*.
- Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2008c). Cara uji penentuan batas plastis dan indeks plastisitas tanah. (*SNI 1967:2008*) (*SNI 1966:2008*).
- Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2008d). Cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium. (*SNI 1965:2008*).
- Khairunnisa, Z. N., & Martinus, G. (2023). *zayanna SCU-Cp*. November, 9–11.
- Putra, H., & Yudhistira, I. (2022). *Improvement of the California Bearing Ratio of Peat Soil Using Soybean Crude Urease Calcite Precipitation*. 8(11), 2411–2423.
- P. K., Annisa, C. N., & Putra, H. (2025). *Peningkatan Kekuatan Geser dan Pengurangan Permeabilitas Tanah Berpasir menggunakan Urease Mentah Kedelai*. 10(01), 27–34. <https://doi.org/10.29244/jsil.10.1.27-34>
- Sumediyana, R. A., Safitri, H., Padli, D., Dwiyantri, D. S., Saputri, I. N., Widiyanti, Y., Harielpaniadi, M. A., & Laksanawati, W. D. (2025). *Analisis Permeabilitas Tanah pada Lahan Terbuka di Lingkungan Kampus UHAMKA Jakarta Timur sebagai Indikator Daya Serap Air*. 3(2), 68–74. <https://doi.org/10.11594/timeinphys.2025.v3i2p68-74>
- Tangdiombo, S. M., Tanan, B., & Wong, I. L. K. (2021). *Analisis Permeabilitas Menggunakan Metode Falling head pada Tanah dengan Penambahan Abu Serabut Kelapa*. 3(3), 353–360.