

Penggunaan Metode *Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP)* dalam Meningkatkan Kuat Tekan Tanah Lempung Berpasir

Raudah Ahmad^{1✉}, M. Hilmy Vaza Barakwan², IGN. Aditya Dhiva³, Budi Nugroho⁴, Dhiana Dwi Widiawati⁵

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.26623/teknika.v21i1.13108>

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Disubmit 4 November 2025

Direvisi 29 Januari 2026

Disetujui 17 Februari 2026

Keywords:

Calcite precipitation; sandy clay soil; soybean; standart proctor test; unconfined compressive strength

Abstrak

Kualitas tanah dasar, terutama jenis tanah lempung berpasir yang memiliki daya dukung lemah. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas metode *Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP)* dalam meningkatkan kekuatan tanah tersebut, dengan fokus pada pengujian kuat tekan bebas (*qu*) berdasarkan SNI 3638:2012. Sampel tanah dikumpulkan dari wilayah Jl. Vico Indonesia, Muara Badak, Kalimantan Timur. Metode *SCU-CP* dilakukan dengan mencampurkan larutan urea dan kalsium klorida (CaCl_2) pada konsentrasi 1 mol/L dan 1,5 mol/L, serta *soybean powder* dengan konsentrasi bervariasi antara 10 hingga 50 g/L. Setelah dilakukan pencampuran dan proses curing selama 7 hari, sampel diuji di laboratorium. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *SCU-CP* secara signifikan meningkatkan sifat mekanik tanah. Nilai *qu* tanah asli sebesar 3,47 kg/cm² meningkat hingga 5,07 kg/cm² (kenaikan 48,78%) pada campuran reagen 1 mol/L dengan *soybean* 50 g/L, serta 4,42 kg/cm² (kenaikan 29,24%) pada campuran reagen 1,5 mol/L dengan *soybean* 40 g/L. Temuan ini mengindikasikan bahwa metode *SCU-CP* berpotensi sebagai alternatif stabilisasi tanah yang ramah lingkungan dan efektif.

Abstract

One of the main causes of road infrastructure damage in Indonesia is the poor quality of subgrade soils, particularly sandy clay, which has a weak bearing capacity. This study aims to evaluate the effectiveness of the *Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP)* method in improving the strength of such soils, with a focus on unconfined compressive strength (*qu*) testing. Soil samples were collected from Jl. Vico Indonesia, Muara Badak, East Kalimantan. The *SCU-CP* method was carried out by mixing urea and calcium chloride (CaCl_2) solutions at concentrations of 1 mol/L and 1.5 mol/L with soybean powder at varying concentrations between 10 and 50 g/L. After mixing and a curing process of 7 days, the samples were tested in the laboratory. The results indicated that the *SCU-CP* method significantly improved the mechanical properties of the soil. The *qu* value of the untreated soil was 3.47 kg/cm², which increased to 5.07 kg/cm² (a 48.78% increase) with the 1 mol/L reagent and 50 g/L soybean mixture, and to 4.42 kg/cm² (a 29.24% increase) with the 1.5 mol/L reagent and 40 g/L soybean mixture. These findings suggest that the *SCU-CP* method has strong potential as an effective and environmentally friendly soil stabilization alternative.

This is an open access article under the CC BY license



✉ Alamat Korespondensi:

E-mail: raudah@polnes.ac.id

p-ISSN 1410-4202

PENDAHULUAN

Infrastruktur jalan memiliki peran krusial dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan pembangunan wilayah, karena berfungsi meningkatkan efisiensi mobilitas manusia maupun barang serta memperluas akses terhadap berbagai aktivitas sosial dan komersial (Ng et al., 2019). Namun, data Statistik Transportasi Darat BPS (2021) menunjukkan bahwa sekitar 31,91% jalan di Indonesia, dengan panjang sekitar 174.298 km, mengalami kerusakan (Kusumah et al., 2023). Kondisi tersebut menghambat konektivitas antarwilayah dan berdampak pada keselamatan pengguna jalan, di mana sekitar 30% kecelakaan lalu lintas disebabkan oleh kondisi infrastruktur jalan yang buruk (Kusumah et al., 2023). Salah satu faktor utama penyebab kerusakan jalan adalah ketidakstabilan lapisan subgrade yang berfungsi sebagai penyebar beban lalu lintas. Ketika lapisan ini gagal, kinerja perkerasan jalan secara keseluruhan menurun (Marecos et al., 2017).

Berbagai metode telah dikembangkan untuk memperbaiki lapisan subgrade, baik secara fisik seperti pemadatan, penggantian tanah, dan pengeringan (Evstatiev, 1988), maupun secara kimia melalui teknik stabilisasi dan injeksi (Kazemian et al., 2010). Salah satu pengembangan dari metode ini adalah *Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP)*, yang menggunakan enzim urease alami dari kedelai sebagai alternatif ramah lingkungan dan ekonomis dibandingkan penggunaan bakteri atau urease murni. *SCU-CP* adalah metode perbaikan tanah yang memanfaatkan kedelai sebagai katalis untuk pembentukan kalsit melalui reaksi urea dan CaCl_2 , yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tanah dengan mengikat butiran tanah. Prinsip kerja metode ini adalah dengan menggunakan enzim urease yang berasal dari kedelai sebagai katalis untuk mempercepat pemecahan urea, sehingga mempercepat pembentukan kalsit dalam reaksi antara urea dan kalsium klorida. Kalsit yang mengendap akan memadat di dalam tanah, melekatkan partikel tanah, membatasi mobilitas partikel, dan meningkatkan karakteristik tanah (Khairunnisa et al., 2023).

Meskipun beberapa penelitian sebelumnya melaporkan efektivitas *SCU-CP* dalam meningkatkan kekuatan geser dan nilai CBR tanah gambut (Augusti et al., 2022; Putra et al., 2021), kajian mengenai penerapan metode ini pada tanah lempung berpasir masih sangat terbatas. Padahal, jenis tanah ini banyak dijumpai pada lapisan dasar jalan di Indonesia dan memiliki karakteristik mekanik yang berbeda dengan tanah gambut atau pasir murni. Keterbatasan studi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan penelitian terkait optimasi konsentrasi reagen dan dosis *soybean powder* yang efektif dalam meningkatkan daya dukung tanah lempung berpasir melalui mekanisme presipitasi kalsit non-mikroba.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas larutan *SCU-CP* dalam meningkatkan daya dukung tanah lempung berpasir melalui pengujian kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength/ UCS*), dengan variasi konsentrasi reagen sebesar 1 mol/L dan 1,5 mol/L serta kadar *soybean powder* antara 10–50 g/L. Penelitian ini menghadirkan kebaruan melalui pemanfaatan *Soybean Crude Urease* sebagai sumber urease nabati dalam metode *Calcite Precipitation* untuk meningkatkan kuat tekan tanah lempung berpasir, sebagai alternatif non-bakterial yang lebih ekonomis, ramah lingkungan, dan aplikatif dibandingkan metode konvensional lainnya.

METODE

Pengujian sifat fisik dan mekanis tanah dilakukan di Laboratorium Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian indeks properti tanah dan pengujian indeks mekanis tanah.

Material

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung berpasir yaitu bertekstur kasar karena kandungan pasir cukup tinggi, terasa mudah pecah saat ditekan, berwarna coklat kemerahan, mampu menahan air, namun miskin nutrisi (Eni, 2022). Berasal dari Jl. Vico Indonesia Muara Badak, Desa Badak Baru, Kecamatan Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Bahan kimia yang digunakan sebagai reagen terdiri dari pupuk urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ dengan kandungan nitrogen 46% (*technical grade*, merek Nitrea) dan kalsium klorida (CaCl_2) dengan kandungan minimal 74% (*flakes, technical grade*, merek Shandong Haihua). Selain itu, *soybean powder* yang digunakan diproduksi oleh CGM, sedangkan air suling diperoleh dari Laboratorium Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda.

Pengujian Indeks Properti Tanah

Pengujian indeks properti tanah lempung dalam penelitian ini meliputi pengujian kadar air (SNI 1965:2008), berat jenis tanah (SNI 1964:2008), analisis saringan (SNI 3423:2008), 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	7,30%
Berat Jenis (Gs)	2,589
Tanah Lolos Saringan No. 200 (<0,0075 mm)	63,75%
Batas Cair (LL)	33,97%
Batas Plastis (PL)	21,54%
Indeks Plastis (PI)	12,53%
Indeks Kelompok (GI)	6,12

Berdasarkan indeks properti tanah yang didapat, tanah ini dapat diklasifikasikan dengan metode AASHTO sebagai tanah kelompok A-6 (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_d) dari tanah asli. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

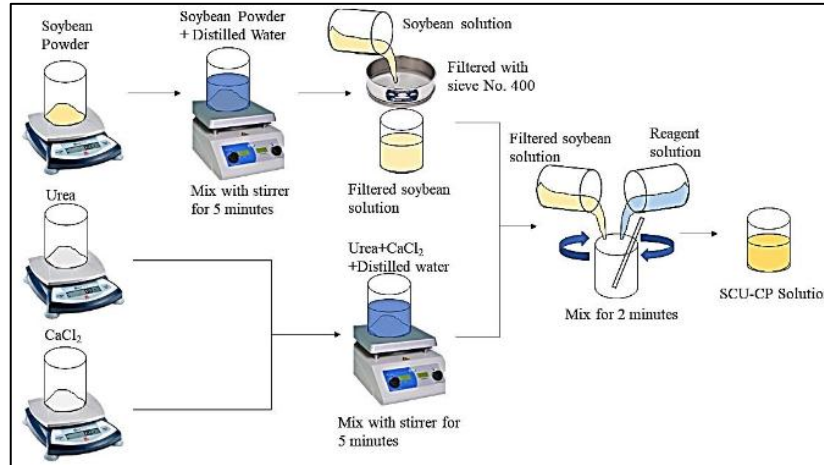
Tabel 2. Hasil Pengujian Pemadatan Ringan Tanah Asli		
Sampel	w_{opt} (%)	γ_d (gr/cm ³)
Tanah Lempung Berpasir (<i>Untreated</i>)	19	1,810

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* 10–50 g/L, yaitu dengan melarutkan *soybean*, urea, dan

CaCl_2 dalam air suling sesuai perhitungan kebutuhan berdasarkan parameter tanah asli ($\gamma_{d_{\max}}$, w_{opt} , w_{asli} , dan V_{mold}), kemudian larutan *soybean* disaring dengan ayakan No. 200 sebelum dicampur dengan larutan urea dan CaCl_2 .



Sumber: (Khairunnisa et al., 2023)

Gambar 1. Prosedur Pembuatan Larutan *SCU-CP*

$\gamma_{d_{\max}}$	=	Diperoleh dari hasil pengujian pemadatan tanah asli
w_{opt}	=	Diperoleh dari hasil pengujian pemadatan tanah asli
w_{asli}	=	Diperoleh dari pengujian kadar air tanah yang ingin digunakan
V_{mold}	=	Diperoleh dari mengukur volume mold kuat tekan bebas dan kuat geser langsung
$\gamma_{b_{\max}}$	=	$\gamma_{d_{\max}} \times (1 + w_{\text{opt}})$
W_s	=	$\gamma_{b_{\max}} \times V_{\text{mold}}$
Penambahan air	=	$\frac{W_{\text{opt}} - W_{\text{asli}}}{1 + W_{\text{asli}}} \times W_s$
Mr CaCl_2	=	Ca = 40,08 g/mol Cl = 35,45 g/mol $\times 2 = 70,90$ g/mol Mr = 40,08 + 70,90 = 110,98 g/mol
Mr $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	=	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 Mr = 12,01 + 16,00 + 28,02 + 4,032 = 60,06 g/mol
Kebutuhan CaCl_2	=	Penambahan air $\times$ konsentrasi campuran $\times$ Mr CaCl_2
Kebutuhan $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	=	Penambahan air $\times$ konsentrasi campuran $\times$ Mr $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
Kebutuhan <i>soybean</i>	=	Penambahan air $\times$ konsentrasi campuran

Selanjutnya larutan *SCU-CP* dicampurkan ke dalam tanah lempung berpasir yang telah dikeringkan dan lolos saringan No. 4 sesuai variasi yang ditentukan, sementara sampel kontrol disiapkan tanpa perlakuan dengan penambahan air setara.

Pembuatan Sampel dan Pengujian Kuat Tekan Bebas

Pengujian kuat tekan bebas dilakukan dengan menyiapkan tanah asli dan campuran, kemudian dimasukkan ke dalam ring cetakan yang berdimensi, tinggi 6,465 cm dan diameter 3,75 cm, lalu dipadatkan sebanyak 12 lapisan dengan 52 tumbukan per lapisan menggunakan batang penumbuk uji agregat halus berbobot 350 gram dan berdiameter 2,6 cm yang dijatuhkan dari ketinggian 5 cm hingga mencapai kepadatan sesuai $\gamma_{b_{max}}$ (*remolded*), selanjutnya sampel ditimbang bersama ring, ditempatkan pada alat uji, dan dilakukan pengujian. Pengujian kuat tekan bebas dilakukan sesuai dengan SNI 3638:2012.

HASIL DAN PEMBAHASAN

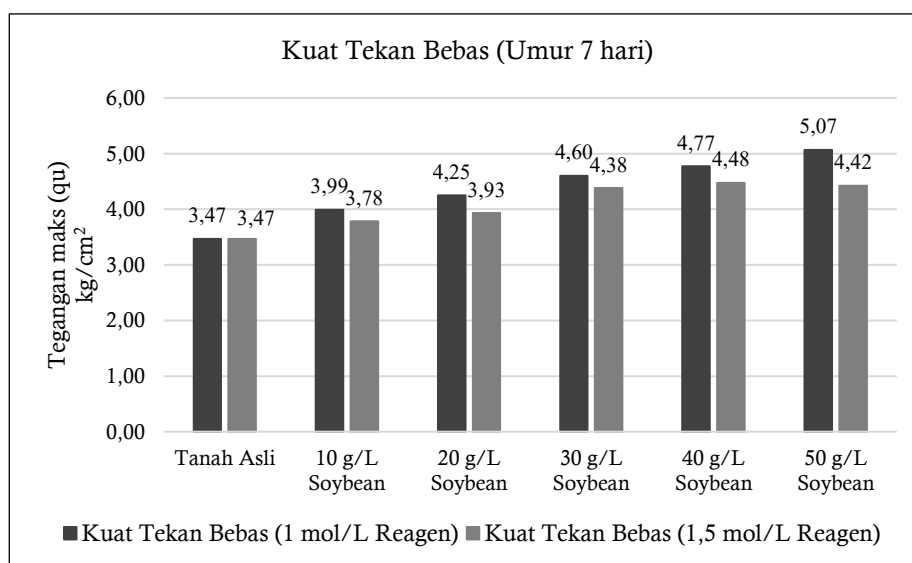
Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan bebas, penambahan bahan tambahan berupa reagen (CaCl₂ dan CO(NH₂)₂) serta *soybean* dengan proses curing selama 7 hari terbukti mampu meningkatkan nilai q_u pada sampel tanah. Peningkatan ini menunjukkan efektivitas kombinasi bahan tersebut dalam memperbaiki kekuatan tanah. Rincian nilai q_u berdasarkan variasi campuran dan durasi curing dapat dilihat pada Tabel 4, Tabel 5 serta Gambar 2 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah Asli

Sampel	Nilai q_u (kg/cm ²)	Berat isi basah, γ_b (gr/cm ³)
Tanah Lempung Berpasir (<i>Untreated</i>)	3,47	2,10

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah Campuran

Curing	Reagen	Hasil	<i>Soybean</i> 10 g/L	<i>Soybean</i> 20 g/L	<i>Soybean</i> 30 g/L	<i>Soybean</i> 40 g/L	<i>Soybean</i> 50 g/L
7 Hari	1 mol/L	q_u	3,99	4,25	4,60	4,77	5,07
		γ_b	2,10	2,09	2,09	2,08	2,10
	1,5 mol/L	q_u	3,78	3,93	4,38	4,48	4,42
		γ_b	2,10	2,08	2,08	2,09	2,09



Gambar 2. Grafik Hubungan Variasi Reagen (CaCl_2 & $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) dan *Soybean* terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas

Penambahan reagen (baik dengan konsentrasi 1 mol/L maupun 1,5 mol/L) serta *soybean* terbukti meningkatkan nilai q_u dibandingkan dengan tanah asli yang memiliki nilai q_u sebesar 3,47 kg/cm². Hal ini mengindikasikan bahwa campuran tersebut memberikan efek pemadatan melalui proses pengendapan kalsit di dalam tanah, yang berfungsi merekatkan partikel tanah, membatasi mobilitasnya, serta meningkatkan karakteristik mekanik tanah (Khairunnisa et al., 2023).

Pada campuran reagen 1 mol/L dengan konsentrasi *soybean* 50 g/L, nilai q_u mencapai puncaknya sebesar 5,07 kg/cm², atau meningkat 48,78% dibandingkan tanah asli. Sementara itu, pada campuran reagen 1,5 mol/L, nilai q_u maksimum diperoleh pada konsentrasi *soybean* 40 g/L, yaitu sebesar 4,42 kg/cm² atau meningkat 29,24% dari tanah asli. Namun, setelah konsentrasi *soybean* melebihi 40 g/L, nilai q_u mengalami penurunan meskipun tidak signifikan. Kondisi ini menunjukkan adanya titik optimum pada campuran reagen 1,5 mol/L (Putra et al., 2021).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis terhadap pencampuran tanah lempung berpasir dengan bahan tambahan berupa reagen (CaCl_2 dan $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) serta *soybean*, yang diuji melalui pengujian kuat tekan bebas dengan proses curing selama 7 hari, diperoleh kesimpulan bahwa, penambahan reagen (CaCl_2 dan $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) serta *soybean* memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan sifat mekanik tanah. Nilai kuat tekan bebas (q_u) tanah asli sebesar 3,47 kg/cm² mengalami peningkatan signifikan, dengan nilai tertinggi mencapai 5,07 kg/cm² atau meningkat 48,78% pada campuran reagen 1 mol/L dengan *soybean* 50 g/L. Pada campuran reagen 1,5 mol/L, nilai q_u optimum diperoleh pada konsentrasi *soybean* 40 g/L dengan nilai 4,42 kg/cm² atau meningkat 29,24% dibandingkan tanah asli. Temuan ini menunjukkan adanya titik optimum pada setiap kombinasi campuran, setelah itu nilai q_u cenderung menurun meskipun tidak signifikan. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa metode *Soybean Crude Urease–Calcite Precipitation (SCU-CP)* merupakan pendekatan perbaikan tanah yang efektif dalam meningkatkan kuat tekan tanah lempung berpasir. Kebaruan penelitian ini terletak pada pemanfaatan urease nabati enzim urease yang berasal dari kedelai sebagai katalis untuk mempercepat pemecahan urea, sehingga mempercepat pembentukan kalsit dalam reaksi antara urea dan kalsium klorida. Kalsit yang mengendap akan memadat di dalam tanah, melekatkan partikel tanah, membatasi mobilitas partikel, dan meningkatkan karakteristik tanah (Khairunnisa et al., 2023). Temuan ini menegaskan bahwa presipitasi kalsit dapat berlangsung secara efektif pada tanah dengan karakteristik campuran fraksi halus dan kasar, yang selama ini masih terbatas kajiannya dalam metode perbaikan tanah berbasis *Calcite Precipitation*.

DAFTAR PUSTAKA

- Augusti, M. Y., Putra, H., & Yudhistira, I. (2022). Improvement of Peat Soil Settlement Parameter Using *Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP)* Method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1117(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1117/1/012021>
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1964:2008 Cara Uji Berat Jenis tanah. In *Standar Nasional Indonesia, Badan Standardisasi Nasional: Vol.* (Nomor, hal. 1–14).
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1965:2008 Cara Uji Penentuan Kadar Air untuk Tanah dan Batuan di Laboratorium. In *Standar Nasional Indonesia, Badan Standardisasi Nasional* (hal. 1–16).
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1966:2008 Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah (hal. 1–15).
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1967:2008 Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah. In *Standar Nasional Indonesia, Badan Standardisasi Nasional* (hal. 1–25).

- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 3423:2008 Cara uji analisis ukuran butir tanah. In *Standar Nasional Indonesia, Badan Standardisasi Nasional* (hal. 1–33).
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 3638:2012 Metode Uji Kuat Tekan Bebas Tanah Kohesif* (hal. 19). https://www.academia.edu/37600885/SNI_3638_2012_Metode_uji_kuat_tekan_bebas_tanah_kohesif
- Eni. (2022). Menentukan Tingkat Kelongsoran Tanah Lempung menggunakan Uji Kuat Geser Langsung. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 04(Mi), 5–24.
- Evstatiev, D. (1988). *Engineering Geology*, 25 (1988) 341–366. 25.
- Kazemian, S., Huat, B. B. K., Prasad, A., & Barghchi, M. (2010). A review of stabilization of soft soils by injection of chemical grouting. *Journal of Applied Sciences Research*, 6(12), 5862–5868.
- Khairunnisa, Z. N., Putra, H., & Erizal. (2023). Applicability of Soybean Crude Urease-Calcite Precipitation (SCU-CP) Method for Improvement of Expansive Soil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1249(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1249/1/012036>
- Kusumah, H., Nurholik, M. R., Riani, C. P., & Nur Rahman, I. R. (2023). Deep Learning for Pothole Detection on Indonesian Roadways. *Journal Sensi*, 9(2), 175–186. <https://doi.org/10.33050/sensi.v9i2.2911>
- Marecos, V., Solla, M., Fontul, S., & Antunes, V. (2017). Assessing the pavement subgrade by combining different non-destructive methods. *Construction and Building Materials*, 135, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.003>
- Ng, C. P., Law, T. H., Jakarni, F. M., & Kulanthayan, S. (2019). Road infrastructure development and economic growth. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 512(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/512/1/012045>
- Putra, H., Erizal, Sutoyo, Simatupang, M., & Yanto, D. H. Y. (2021). Improvement of organic soil shear strength through calcite precipitation method using soybeans as bio-catalyst. *Crystals*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/cryst11091044>