

APLIKASI METODE BIOSEMENTASI MENGGUNAKAN *CALCITE PRECIPITATION* DAN *XANTHAN GUM* UNTUK PERBAIKAN LAPISAN *SUBGRADE* JALAN

FATHUR RAMADHAN



**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “ Aplikasi Metode Biosementasi Menggunakan *Calcite Precipitation* dan *Xanthan Gum* untuk Perbaikan Lapisan *Subgrade* Jalan” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2025

Fathur Ramadhan

F4501241021

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

FATHUR RAMADHAN. Aplikasi Metode Biosementasi Menggunakan *Calcite Precipitation* dan *Xanthan Gum* untuk Perbaikan Lapisan *Subgrade* Jalan. Dibimbing oleh HERIANSYAH PUTRA dan TRI SUDIBYO.

Aplikasi metode *Soybean Crude Urease-Calcite Precipitation* (SCU-CP) untuk perbaikan tanah pasir sebagai lapisan subgrade seringkali terhambat oleh distribusi endapan kalsit yang tidak homogen, terutama saat menggunakan metode aplikasi penuangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan polimer *Xanthan Gum* (XG) sebagai aditif untuk meningkatkan homogenitas larutan dan menganalisis distribusi spasial dari metode SCU-CP konvensional. Evaluasi dilakukan melalui uji laboratorium pada sampel tanah pasir dengan variasi konsentrasi XG (0-4%) dan aplikasi penuangan pada skala *up-scale*. Hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa penambahan XG justru menurunkan nilai CBR secara drastis dari 54,7% (tanpa polimer) menjadi di bawah 3%, akibat inkompatibilitas kimia-fisik di mana hidrogel polimer menghambat sementasi kalsit. Analisis spasial 3D pada aplikasi penuangan mengonfirmasi distribusi yang sangat heterogen, dengan akumulasi endapan kalsit dan kekuatan UCS (>450 kPa) terkonsentrasi di dasar wadah. Meskipun terdapat korelasi positif antara konsentrasi kalsit dan kekuatan, penelitian ini menyimpulkan bahwa XG tidak sesuai untuk aplikasi ini. Faktor pembatas utama keberhasilan SCU-CP adalah metode pelaksanaan, di mana distribusi yang merata (minimal 3% kalsit untuk mencapai CBR 10%) lebih krusial daripada kuantitas kalsit yang tinggi namun terlokalisasi.

Kata kunci: cbr; distribusi; perbaikan tanah; scu-cp; ucs; xanthan gum

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



SUMMARY

FATHUR RAMADHAN. *Application of the Biosementation Method Using Calcite Precipitation and Xanthan Gum for Subgrade Layer Improvement in Roads.*
Supervised by HERIANSYAH PUTRA and TRI SUDIBYO..

The application of the Soybean Crude Urease-Calcite Precipitation (SCU-CP) method for improving sandy soil as a subgrade layer is often hindered by the non-homogeneous distribution of calcite precipitate, particularly when using simple pouring application methods. This research aimed to evaluate the use of Xanthan Gum (XG) polymer as an additive to improve solution homogeneity and to analyze the spatial distribution of the conventional SCU-CP method. The evaluation was conducted through laboratory tests on sand samples with varying XG concentrations (0-4%) and a *scale-up* pouring application. Laboratory results showed that the addition of XG drastically decreased the California Bearing Ratio (CBR) value from 54.7% (without polymer) to below 3%, due to a chemical-physical incompatibility where the polymer hydrogel inhibited calcite cementation. 3D spatial analysis of the pouring application confirmed a highly heterogeneous distribution, with an accumulation of calcite precipitate and Unconfined Compressive Strength (UCS) (>450 kPa) concentrated at the base of the container. Although a positive correlation between calcite concentration and strength exists, this study concludes that XG is unsuitable for this application. The main limiting factor for the success of SCU-CP is the application method, where a uniform distribution (a minimum of 3% calcite to achieve a 10% CBR) is more crucial than a high but localized quantity of calcite.

Keywords: cbr, distribution, scu-cp, soil improvement, ucs, xanthan gum

@HakCipta milik IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



- 

APLIKASI METODE BIOSEMENTASI MENGGUNAKAN *CALCITE PRECIPITATION* DAN *XANTHAN GUM* UNTUK PERBAIKAN LAPISAN *SUBGRADE* JALAN

FATHUR RAMADHAN

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:
1. Prof. Dr. Ir. Asep Sapei, M.S.

Judul Tesis : Aplikasi Metode Biosementasi Menggunakan *Calcite Precipitation* dan *Xanthan Gum* untuk Perbaikan Lapisan *Subgrade* Jalan

Nama : Fathur Ramadhan
NIM : F4501241021

Disetujui oleh

Ketua Komisi Pembimbing:

Dr.Eng. Ir. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng. IPM
NIP. 19900209 201803 1 001



Anggota Komisi Pembimbing:

Ir. Tri Sudibyo, S.T., M.Sc., Ph.D
NIP. 19840530201404 1 001



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Ir. Satyanto K Saptomo, S.TP., M.Si. IPM
NIP. 19730411 200501 1 002



Dekan Fakultas Teknologi Pertanian:

Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr.
NIP. 19610502 198603 1 002



Tanggal Ujian: 15 Agustus 2025

Tanggal Lulus:

25 AUG 2025



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur disampaikan atas segala rahmat dan hidayah yang diberikan oleh Allah SWT. sehingga tesis yang berjudul “ Aplikasi Metode Biosementasi Menggunakan *Calcite Precipitation* dan *Xanthan Gum* untuk Perbaikan Lapisan *Subgrade* Jalan” ini dapat diselesaikan. Penyusunan tesis ini dilakukan sebagai salah satu persyaratan akademik Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor untuk mendapatkan gelar magister.

Terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Dr.Eng. Ir. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng. IPM, selaku ketua komisi pembimbing serta Ir. Tri Sudibyo, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku anggota komisi pembimbing atas arahan dan bimbingan yang diberikan dalam penyusunan tesis ini;
2. Prof. Dr. Ir. Satyanto Krido Saptomo, S.TP., M.Si., IPM., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil dan Lingkungan yang telah membantu dalam memberikan saran dalam penyusunan tesis;
3. Ayahanda Mustaviv, Ibunda Diah Lestari, kakak-kakak Faris Fawzan Azim, Syifa Sakinah Mawaddah, Nida Karima, dan Safira Sholihah serta keluarga besar Sidik yang senantiasa memberikan do’a dan dukungan;
4. Gagas, Maulina, Naufal, rekan-rekan satu bimbingan yang membantu selama penelitian;
5. Rahmat, Nabila, Resti, Idham Nastuion, Zaki, Raihan AT, Anisa, Rama, Farid, Shaquille sebagai teman terdekat penulis selama penyusunan tesis;
6. Teman-teman mahasiswa pascasarjana Teknik Sipil dan Lingkungan yang telah memberikan dukungan selama proses penelitian dan penyusunan tesis.

Semoga karya ilmiah tesis ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2025

Fathur Ramadhan



- 

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Lingkup/Batasan.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Lapisan Tanah Dasar	4
2.2 <i>Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP)</i>	4
2.3 Xanthan Gum sebagai Perbaikan Tanah	5
III. METODE PENELITIAN	7
3.1 Waktu dan Tempat	7
3.2 Alat dan Bahan	7
3.3 Prosedur.....	7
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	14
4.1 <i>Properties</i> Tanah Pasir	14
4.2 Formulasi Optimum Polymer Calcite Precipitation (PCP)	15
4.3 Mekanisme Perkuatan SCU-CP dan PCP	18
4.4 Aplikasi <i>Scale-Up</i> Metode Penuangan SCU-CP.....	20
4.5 Analisis Heterogenitas Distribusi Metode SCU-CP secara <i>Scale-Up</i>	24
4.6 Hubungan Konsentrasi Kalsit dengan Daya Dukung Tanah.....	26
4.7 Efektivitas dan Potensi Metode SCU-CP dan Kombinasi XG.....	28
V. SIMPULAN DAN SARAN	30
5.1 Simpulan.....	30
5.2 Saran.....	30
DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN.....	37
RIWAYAT HIDUP	43

DAFTAR GAMBAR

1.	Proses pengendapan kalsit (Putra <i>et al.</i> 2017b)	5
2.	Skema pembuatan larutan SCU-CP dengan tambahan XG	9
3.	Skema pengujian kekuatan mekanis	10
4.	Skema pengujian <i>acid leaching</i>	11
5.	Skema aplikasi <i>scale-up</i>	12
6.	Bagan alir penelitian	13
7.	Grafik distribusi ukuran butiran tanah pasir	14
8.	Hasil pengujian CBR dan UCS metode <i>premixing</i>	15
9.	Hasil pengujian kadar air tanah	16
10.	Hasil pengujian kepadatan kering tanah	17
11.	Ilustrasi perkuatan tanah dengan SCU-CP	18
12.	Ilustrasi mekanisme perkuatan PCP	19
13.	Visualisasi 3D distribusi endapan kalsium karbonat keseluruhan	20
14.	Visualisasi 3D distribusi endapan kalsium karbonat pada dasar	20
15.	Visualisasi 3D distribusi kekuatan UCS tanah keseluruhan	21
16.	Visualisasi 3D distribusi kekuatan UCS pada bagian dasar	21
17.	Nilai rata-rata konsentrasi kalsit dan UCS per kedalaman	22
18.	Visualisasi distribusi kadar air tanah keseluruhan	23
19.	Grafik distribusi endapan kalsit untuk setiap kedalaman	24
20.	Kurva hubungan antara nilai UCS dengan nilai kadar kalsit	26
21.	Kurva prediksi nilai CBR dengan konsentrasi kalsit	28

DAFTAR TABEL

1.	Klasifikasi nilai CBR tanah (Bowles 2012)	4
2.	Standar pengujian <i>properties</i> tanah	8
3.	Kondisi eksperimental variasi Xanthan Gum	9
4.	Hasil analisis Anova dua arah untuk distribusi endapan kalsit	25
5.	Hasil Tukey HSD untuk Perbandingan Berpasangan Titik Uji	25
6.	Hasil Tukey HSD untuk Perbandingan Berpasangan Kedalaman	26

DAFTAR LAMPIRAN

1.	Gambar potongan 3D konsentrasi kalsit, UCS, dan kadar air	38
2.	Skema pembagian area distribusi dan statistik deskriptif	41
3.	Dokumentasi penelitian	42