

OPTIMALISASI BIOSEMEN KALSIUM FOSFAT DENGAN PEMANFAATAN KEDELAI SEBAGAI ALTERNATIF UREASE PADA PERBAIKAN TANAH PASIR

GEORGE MARTINUS



**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 SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Optimalisasi Biosemen Kalsium Fosfat dengan Pemanfaatan Kedelai Sebagai Alternatif *Urease* Pada Perbaikan Tanah Pasir” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. 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 skripsi ini.

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

Bogor, Juni 2025

George Martinus
F4401211036

- 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.



ABSTRAK

GEORGE MARTINUS. Optimalisasi Biosemen Kalsium Fosfat dengan Pemanfaatan Kedelai Sebagai Alternatif *Urease* Pada Perbaikan Tanah Pasir. Dibimbing oleh HERIANSYAH PUTRA.

Biosemen kalsium fosfat dengan kedelai sebagai alternatif *urease* dapat digunakan untuk stabilisasi tanah pasir. Larutan *bone meal* (BM) berfungsi sebagai sumber kalsium dan fosfat, sedangkan kedelai berperan sebagai katalis *urease* yang mendukung presipitasi mineral kalsium fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan komposisi optimal larutan biosemen kalsium fosfat dalam perbaikan tanah pasir dengan mengevaluasi parameter kuat geser langsung. Konsentrasi kedelai dan BM meningkatkan massa mineral presipitasi hingga 0,67 gram pada konsentrasi BM 0,4 mol/L dan kedelai 50 g/L yang menjadi komposisi optimal. Pada uji geser langsung terjadi peningkatan nilai kohesi dari 0 kPa menjadi 16,13 kPa setelah 28 hari waktu *curing*. Namun, terjadi sedikit penurunan sudut gesek internal dari 27,18° pada kondisi tanah tanpa perlakuan menjadi 18,49° setelah 28 hari waktu *curing*. Selain itu, terjadi peningkatan tegangan geser hingga maksimum mencapai 34,16 kPa pada tegangan normal 5,21 kPa setelah 28 hari waktu *curing*. Komposisi mineral yang terbentuk, yaitu hidroksiapatit, kalsit, dan *brushite*. Hidroksiapatit menjadi salah satu golongan kristal kalsium fosfat dan mendominasi dalam sampel tanah pasir dengan fase heksagonal, jarum, dan amorf.

Kata kunci : Biosementasi, Kalsium Fosfat, Kedelai.

ABSTRACT

GEORGE MARTINUS. Optimization of Calcium Phosphate Biocement with Soybean Utilization as an Alternative to Urease in Sand Soil Improvement. Supervised by HERIANSYAH PUTRA.

Calcium phosphate biocement with soybean as urease alternative can be used for sand soil stabilization. Bone meal (BM) solution serves as a source of calcium and phosphate, while soybean acts as a urease catalyst that supports the precipitation of calcium phosphate mineral ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). This study aims to determine the optimal composition of calcium phosphate biocement solution in sand soil improvement by evaluating direct shear strength parameters. The concentration of soybean and BM increased the precipitation mineral mass up to 0.67 gram at a BM concentration of 0.4 mol/L and 50 g/L soybean which became the optimal composition. In the direct shear test, there was an increase in the cohesion value from 0 kPa to 16.13 kPa after 28 days of curing. However, there was a slight decrease in internal friction angle from 27.18° in untreated soil conditions to 18.49° after 28 days of curing. In addition, there was an increase in shear stress to a maximum of 34.16 kPa at a normal stress of 5.21 kPa after 28 days of curing. The mineral compositions formed are hydroxyapatite, calcite, and brushite. Hydroxyapatite is one of the calcium phosphate crystal groups and dominates in sand soil samples with hexagonal, needle, and amorphous phases.

Keywords: Biocementation, Calcium Phosphate, Soybean.



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.

OPTIMALISASI BIOSEMEN KALSIUM FOSFAT DENGAN PEMANFAATAN KEDELAI SEBAGAI ALTERNATIF UREASE PADA PERBAIKAN TANAH PASIR

GEORGE MARTINUS

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

- 1 Muhammad Fauzan, S.T., M.T.
- 2 Prof. Dr. Satyanto Krido Saptomo, S.T.P., M.Si.



@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.



Judul Skripsi : Optimalisasi Biosemen Kalsium Fosfat dengan Pemanfaatan
Kedelai Sebagai Alternatif *Urease* Pada Perbaikan Tanah Pasir
Nama : George Martinus
NIM : F4401211036

@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.

IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

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



Diketahui oleh

Ketua Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan :

Dr. Ir. Erizal, M.Agr., IPU.
NIP. 19650106 199002 1 001



Tanggal Ujian:
(20 Mei 2025)

Tanggal Lulus: 12 JUN 2025

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari sampai Maret 2025 ini ialah perbaikan tanah, dengan judul “Optimalisasi Biosemen Kalsium Fosfat dengan Pemanfaatan Kedelai Sebagai Alternatif *Urease* Pada Perbaikan Tanah Pasir”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada seluruh pihak yang telah berperan serta membantu dalam penyelesaian skripsi ini, baik secara langsung maupun tidak langsung, khususnya kepada:

1. Dr. Eng. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan dukungan berupa arahan dan bimbingan dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.
2. Dr. Ir. Erizal, M. Agr., IPU. selaku Ketua Departemen/Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan yang telah memberikan arahan dalam penyusunan skripsi ini.
3. Ayahanda Fernando, Ibunda Evi Nelwati, Kakak Devina Teresha, dan Adik Reva Noviyanti serta Choky Aprilino yang selalu mendukung dan mendoakan selama penyusunan skripsi ini.
4. Stefani Christin sebagai orang yang spesial bagi penulis yang selalu menemani, memotivasi, mendukung, dan memberikan perhatian selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
5. Uda dan Nanguda Sheila serta Sheila dan Igo yang selalu memberikan motivasi dan dorongan dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Dzaki Ihsaan Tamba, Anthony Dwya Putra, M. Daffa Rivansyah, Gian Azaria, M. Aditiya Resqiyanto, M. Faiq Alghifari, dan M. Reza Nurmansyah sebagai teman kontrakan yang telah menemani, mendukung, dan kebersamaian proses penyusunan skripsi ini.
7. Anthony Dwya Putra, M. Reza Nurmansyah, Atika Huwaida, Niho Vegaliany Agnesia Panjaitan, dan Ridwan Adriansyah Puspita selaku rekan satu bimbingan yang telah kebersamaian jalannya penelitian dan penyusunan skripsi.
8. M. Adlijil Ikram dan M. Daffa Rivansyah selaku sahabat yang telah banyak membantu dan mendukung dalam proses penyusunan skripsi.
9. Teman-teman mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan angkatan 58 (SIL 58) yang telah memberikan pengalaman dan kenangan berharga selama masa perkuliahan.

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

Bogor, Juni 2025

George Martinus

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Biosemen Kalsium Fosfat	4
2.2 Metode <i>Soybean Crude Urease Calcite Precipitation</i> (SCU-CP)	6
2.3 Parameter Kuat Geser Tanah Pasir	7
III METODE	9
3.1 Waktu dan Tempat	9
3.2 Alat dan Bahan	9
3.3 Prosedur Penelitian	9
3.3.1 Pengujian <i>Properties</i> Tanah	11
3.3.2 Pembuatan Larutan Biosemen	11
3.3.3 <i>Precipitation Test</i>	12
3.3.4 Pengujian Kuat Geser Langsung	13
3.3.5 Pengujian SEM dan XRD	13
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Parameter Fisik Tanah	15
4.2 <i>Precipitation Test</i>	16
4.3 Stabilitas Larutan Biosemen	17
4.4 Parameter Kuat Geser	19
4.5 Komposisi, Fase, dan Morfologi Endapan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	21
V SIMPULAN DAN SARAN	25
5.1 Simpulan	25
5.2 Saran	25
DAFTAR PUSTAKA	26
LAMPIRAN	30
RIWAYAT HIDUP	33



DAFTAR TABEL

1	Jenis-jenis senyawa kalsium fosfat	4
2	Sifat properties senyawa kalsium fosfat	5
3	Konsentrasi BM <i>powder</i> , urea, dan kacang kedelai yang digunakan	12
4	Hasil uji properties tanah	15

DAFTAR GAMBAR

1	Kelarutan senyawa kalsium fosfat pada variasi pH larutan	5
2	Penerapan metode SCU-CP pada tanah	7
3	Grafik hubungan tegangan geser-tegangan normal	8
4	Bahan yang digunakan (a) BM <i>powder</i> ; (b) bubuk kedelai; (c) urea	9
5	Diagram alir penelitian	10
6	Proses pembuatan larutan biosemen kalsium fosfat	12
7	Skema prosedur <i>precipitation test</i>	13
8	Gradasi ukuran butiran sampel tanah pasir	15
9	Hasil <i>precipitation test</i> pada berbagai variasi konsentrasi BM dan kedelai	16
10	Hubungan pH dengan waktu pencampuran larutan biosemen kalsium fosfat	18
11	Kohesi dan sudut gesek internal sampel pasir	19
12	Peningkatan tegangan geser sampel pasir	20
13	Hasil analisis XRD (a) larutan biosemen; (b) sampel tanah <i>treated</i>	21
14	Hasil analisis SEM (a) larutan biosemen; (b) tanah <i>treated</i>	23

DAFTAR LAMPIRAN

1	Grafik hasil uji geser langsung	31
2	Dokumentasi pelaksanaan penelitian	32