

PENINGKATAN KUALITAS MATERIAL ENDAPAN DENGAN PENGGUNAAN ETANOL PADA METODE SCU-CP SEBAGAI UPAYA PERBAIKAN TANAH

RESTI MAULASIH



**TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
Bogor Indonesia

- 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.

Perpustakaan 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 “Peningkatan Kualitas Material Endapan dengan Penggunaan Etanol pada Metode SCU-CP sebagai Upaya Perbaikan Tanah” 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 2024

Resti Maulasih
F4401201089



ABSTRAK

RESTI MAULASIH. Peningkatan Kualitas Material Endapan dengan Penggunaan Etanol pada Metode SCU-CP sebagai Upaya Perbaikan Tanah. Dibimbing oleh HERIANSYAH PUTRA.

Penggunaan konsentrasi kedelai yang tinggi dalam metode *calcite precipitation* dapat meningkatkan kadar organik. Kadar organik dapat diturunkan dengan menggunakan etanol pada rentang 20%-30% sehingga pengaruh perbedaan konsentrasi kedelai dan etanol perlu dievaluasi untuk mendapatkan endapan material CaCO_3 dengan kualitas terbaik. Evaluasi dilakukan dengan menggunakan parameter laju hidrolisis, pengendapan CaCO_3 , serta kuantifikasi massa CaCO_3 dan bentuk mineral yang terbentuk. Penggunaan etanol 20% pada konsentrasi kedelai 60 g/L menunjukkan hasil terbaik dengan nilai laju hidrolisis sebesar 1547 U/g dan nilai tersebut cukup dekat dengan nilai laju hidrolisis *urease* komersial Kishidan 2 g/L. Selain itu, massa CaCO_3 yang terbentuk sebesar 2,97 g dengan jumlah kalsit lebih tinggi dibanding vaterit dan aragonit. Massa organik yang tidak larut pada larutan kedelai dengan etanol lebih sedikit daripada variasi tanpa etanol. Hal ini berkaitan dengan penggunaan supernatan yang menurunkan jumlah kadar organik. Turunnya kadar organik mempengaruhi turunnya jumlah endapan CaCO_3 . Bentuk endapan yang terbentuk pada kristal kalsit (*rhombohedral*) menjadi bentuk terbaik dalam mengikat tanah sehingga dapat meningkatkan kekuatan tanah.

Kata kunci: etanol, kedelai, presipitasi, SCU-CP, stabilisasi, supernatan,

ABSTRACT

RESTI MAULASIH. Improving the Quality of Sludge Material by Using Ethanol in SCU-CP Method as a Soil Improvement Effort. Supervised by HERIANSYAH PUTRA.

The use of high soybean concentrations in the calcite precipitation method can increase organic content. Organic content can be reduced by using ethanol in the range of 20%-30% so that the effect of different soybean and ethanol concentrations needs to be evaluated to obtain the best quality CaCO_3 precipitated material. The evaluation was carried out using the parameters of hydrolysis rate, CaCO_3 precipitation, as well as quantification of CaCO_3 mass and mineral forms formed. The use of 20% ethanol at a soybean concentration of 60 g/L showed the best results with a hydrolysis rate of 1547 U/g and this value is quite close to the value of the hydrolysis rate of 2 g/L Kishidan commercial *urease*. In addition, the mass of CaCO_3 formed was 2,97 g with a higher amount of calcite than vaterite and aragonite. The insoluble organic mass in the soybean solution with ethanol is less than the variation without ethanol. This is related to the use of supernatant which reduces the amount of organic content. The decrease in organic content affects the decrease in the amount of CaCO_3 precipitate. The shape of the precipitate formed in calcite crystals (*rhombohedral*) is the best form to bind the soil so that it can increase soil strength.

Keywords: ethanol, soybean, precipitation, SCU-CP, stabilization, supernatant,



@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.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024¹
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.

PENINGKATAN KUALITAS MATERIAL ENDAPAN DENGAN PENGGUNAAN ETANOL PADA METODE SCU-CP SEBAGAI UPAYA PERBAIKAN TANAH

RESTI MAULASIH

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
2024**

- 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.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

- 1 Tri Sudibyو S.T., M.Sc., Ph.D.
- 2 Dr. Eng. Allen Kurniawan, S.T., M.T



@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 : Peningkatan Kualitas Material Endapan dengan Penggunaan Etanol pada Metode SCU-CP sebagai Upaya Perbaikan Tanah

Nama : Resti Maulasih
NIM : F4401201089

Disetujui oleh

Pembimbing:
Dr.Eng. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng.



Diketahui oleh

Ketua Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan:
Dr. Ir. Erizal, M.Agr., IPM.



Tanggal Ujian:
03 Juli 2024

Tanggal Lulus: 08 JUL 2024

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 penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Judul yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Oktober 2024 sampai bulan Mei 2024 ini berjudul “Peningkatan Kualitas Material Endapan dengan Penggunaan Etanol pada Metode SCU-CP sebagai Upaya Perbaikan Tanah”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada :

1. Dr.Eng. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng. yang telah membimbing dan banyak memberi saran serta masukan selama penyusunan skripsi ini.
2. Dr. Ir. Erizal, M.Agr., IPM selaku Ketua Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan yang telah memberikan arahan dalam penyusunan skripsi ini.
3. Ayahanda Wuriyanto dan Ibunda Kusyati yang telah memberikan doa dan dukungan selama penyusunan skripsi ini.
4. Teman-teman satu bimbingan (Maulina Lamuse, Chandra Ismail, Angga Prayoga, Nurwahid Dimas Saputro, Fauzan Raflynur Ananda, Zayyan Nabiila Khairunnisa, Rifqi Prayodi, dan Alfaris Baqir Arrazzaq atas dukungan, bantuan, doa, dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
5. M. Idham Nasution, Intan Dwi Amalina, Fathur Ramadhan, Nabila Khoerunnisa, dan Rahmat Hidayatullah yang telah sering membantu selama proses penyusunan skripsi ini.
6. Teman-teman seperjuangan mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan angkatan 57 (SIL 57) yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama penyusunan skripsi ini

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

Bogor, Juni 2024

Resti Maulasih

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Calcite Precipitation</i>	5
2.2 Laju Hidrolisis	6
2.3 Material Endapan CaCO ₃	6
III METODE	9
3.1 Waktu dan Tempat	9
3.2 Alat dan Bahan	9
3.3 Prosedur Penelitian	9
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Pengendapan CaCO ₃	15
4.2 Kuantifikasi Massa dan Bentuk Mineral Endapan CaCO ₃	18
V SIMPULAN DAN SARAN	24
5.1 Simpulan	24
5.2 Saran	24
DAFTAR PUSTAKA	25
RIWAYAT HIDUP	30



DAFTAR TABEL

1	Variasi Pengujian <i>Hydrolysis Rate</i>	12
2	<i>Expetimental Condition</i> Pengujian <i>Precipitation Test</i>	13

DAFTAR GAMBAR

1	Struktur kristal kalsit <i>rhombohedral</i> (Cygan <i>et al.</i> 2002)	7
2	Struktur kristal aragonit <i>orthorombic</i> (Zhang dan Chen 2013)	7
3	Struktur kristal vaterit <i>hexagonal</i> (Cygan <i>et al.</i> 2002)	8
4	Diagram alir penelitian	10
5	Skema pembuatan larutan ekstraksi kedelai	11
6	Skematik pengujian laju hidrolisis	12
7	Skematik prosedur <i>test tube experiment</i>	13
8	Kurva standar laju hidrolisis	15
9	Hasil pengujian laju hidrolisis (a) Pengukuran konduktivitas elektrik pada konsentrasi urea 1,0 mol/L tanpa etanol; (b) Pengukuran konduktivitas elektrik pada konsentrasi urea 1,0 mol/L dengan etanol 20%; (c) Pengukuran konduktivitas elektrik pada konsentrasi urea 1,0 mol/L dengan etanol 30%; (d) Rekapitulasi hasil laju hidrolisis pada variasi tanpa etanol, etanol 20%, dan 30%	16
10	Hasil <i>precipitation test</i> (a) Tanpa etanol; (b) Etanol 20%; (c) Etanol 30%; (d) Perbandingan rasio presipitasi tanpa etanol, etanol 20%, dan etanol 30%	17
11	Hasil pengujian pengendapan kalsit (a) Massa presipitasi; (b) Massa organik	18
12	Tingkat kekeruhan larutan ekstrak kedelai 20 g/L (a) Tanpa Etanol; (b) Etanol 20%; (c) Etanol 30%	19
13	Hasil uji XRD pada konsentrasi kedelai 50 g/L (a) Tanpa etanol; (b) Etanol 20%; (c) Etanol 30%	20
14	Komposisi endapan CaCO ₃ yang terbentuk pada <i>polyproylene tube</i> berdasarkan hasil XRD	21
15	Hasil pengujian SEM konsentrasi kedelai 50 g/L (a) Etanol 20%; (b) Etanol 30%	22

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.

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Persebaran pasir lepas dan tanah lunak di Indonesia jumlahnya cukup besar dan tersebar di seluruh Indonesia jika dilihat dari peta persebaran tanah. Bahkan luas tanah lunak di Indonesia mencakup 10% dari total luas daratan (Wardoyo *et al.* 2019). Tanah dapat diklasifikasikan menjadi tanah berbutir halus (koloid, lempung, dan lanau) dan tanah berbutir kasar (pasir, kerakal, dan kerikil). Tanah lunak masuk kedalam klasifikasi tanah berbutir halus yang mana tanah lunak ini memiliki nilai kohesif sedangkan pasir lepas masuk klasifikasi tanah berbutir kasar yang tidak memiliki nilai kohesi (Sari *et al.* 2021). Nilai kohesi menjadi komponen dari kekuatan geser tanah yang timbul akibat gaya-gaya internal yang menahan butiran tanah menjadi satu kesatuan dalam massa padat. Semakin besar nilai kohesi dan semakin besar sudut gesernya artinya pergeseran tanah (*settlement*) yang terjadi sedikit karena partikel antar butir tanah terikat sangat kuat (Wibawa dan Hisyam 2015).

Tanah mempunyai peranan yang penting pada bangunan infrastruktur seperti sebagai bahan dan beban bangunan infrastruktur serta sebagai pendukung. Peranan tanah sebagai pendukung berarti tanah harus memiliki daya dukung yang mampu mendukung bangunan infrastruktur yang berada di atasnya (Kuswanda 2015). Tanah dengan daya dukung rendah seperti tanah ekspansif dapat berpotensi menimbulkan kendala dalam pekerjaan konstruksi berupa *settlement* (perosakan) (Wardoyo *et al.* 2019). Daya dukung tanah yang rendah ini dapat ditingkatkan dengan metode perbaikan tanah (stabilisasi). Stabilisasi tanah menjadi metode yang digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dasar sehingga daya dukung tanah itu menjadi lebih baik. Daya dukung yang baik akan menyebabkan tanah menjadi stabil dan mampu memikul beban yang bekerja terhadap konstruksi yang ada di atas tanah (Arbianto 2022).

Metode stabilisasi dapat dilakukan dengan cara stabilisasi mekanis maupun stabilisasi kimiawi (Panjaitan 2017). Stabilisasi mekanis dapat dilakukan dengan cara perkuatan tanah (*geotextile*), penggantian tanah, maupun pemadatan (Muchlisin 2019). Stabilisasi kimiawi dilakukan dengan menambahkan bahan kimia sehingga memungkinkan terjadinya reaksi kimia dan menghasilkan senyawa baru yang sifatnya stabil sehingga dapat memperbaiki sifat-sifat teknis tanah (Anggara *et al.* 2021). Stabilisasi kimia dapat menggunakan bahan tambah seperti semen Portland, *limestone*, *fly ash*, *bottom ash*, *gypsum*, *calcium-based stabilization*, dan *microbial materials* (Chu *et al.* 2009; Fondjo *et al.* 2021). Menurut Muttaqien *et al.* (2023), penggunaan semen Portland sebagai bahan tambah perbaikan tanah telah banyak dilakukan akan tetapi emisi karbon yang dihasilkan meningkat serta energi yang dibutuhkan juga tinggi dalam produksi semen Portland sehingga diperlukan metode perbaikan tanah yang ramah lingkungan. Salah satu metode perbaikan tanah yang ramah lingkungan dengan *calcite precipitation* yang memanfaatkan organisme biologis. Substitusi penggunaan semen Portland dapat dilakukan dengan metode *Enzym-Induced Calcite Precipitation* (EICP) yang dapat mereduksi GWP (*Global Warming Potential*) sebesar 37% dengan pengontrolan emisi (seperti emisi CO₂) yang dihasilkan dari induksi kalsit di dalam tanah (Alotaibi *et al.* 2022).



Metode perbaikan tanah EICP banyak diteliti untuk meningkatkan kekuatan tanah (Hoang *et al.* 2019; Almajed *et al.* 2020; He *et al.* 2020; Renjith *et al.* 2020; Song *et al.* 2020; Liu *et al.* 2021) bahkan mitigasi erosi (Almajed *et al.* 2020). Metode EICP menggunakan enzim *urease* untuk memecah urea menjadi ion karbonat (CO_3^{2-}) dan ion amonium (NH_4^+). Ion karbonat ini akan bergabung dengan Ca^{2+} (ion kalsium) sehingga menghasilkan kalsit atau karbonat (CaCO_3) (Neupane *et al.* 2015). Komposisi mineral CaCO_3 yang diperlihatkan dapat berupa kalsit, aragonit, dan vaterit serta komposisi mineral yang tidak terdefinisi seperti hasil sampingan dari CaCO_3 seperti sal ammoniac (NH_4Cl) maupun material organik dari penggunaan kedelai yang tidak larut (Lee dan Kim 2020).

Mineral kalsit mempunyai sifat yang menempel kuat di permukaan dan bersifat stabil pada suhu ruang (Abdel-Aal *et al.* 2002). Berbeda dengan mineral kalsit, mineral aragonit mempunyai sifat metastabil serta kerak yang terbentuk pada dinding mudah lepas (*soft scale*) (Forster 2003) sedangkan mineral vaterit mempunyai sifat paling tidak stabil dan vaterit juga dapat bertransformasi menjadi kalsit yang bersifat stabil (Shen *et al.* 2007). Selain itu, garam yang dihasilkan dari proses presipitasi seperti garam *sal ammoniac* (NH_4Cl) justru akan berdampak pada kesehatan manusia dan organisme akuatik apabila kadar amonia yang dihasilkan terlalu tinggi (Azizah dan Humairoh 2015) karena kadar amonia yang terlalu tinggi akan mengurangi pasokan oksigen di dalam air (Wahyuningsih *et al.* 2020). Material organik hasil endapan kedelai yang tidak larut juga mempengaruhi reaksi pembentukan kalsit menjadi kurang efektif dan menyumbat pori-pori tanah sehingga kalsit tidak dapat terdistribusi secara merata di dalam tanah (Baiq *et al.* 2020) sehingga perlu dilakukan pengujian menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk menganalisis komposisi kristal hasil pengendapan kalsit serta SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk melihat bentuk dari presipitasi mineral CaCO_3 yang terbentuk.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pratama *et al.* (2021), material endapan yang terbentuk dari penggunaan ekstraksi kedelai sebagai pengganti enzim *urease* murni menghasilkan komposisi mineral CaCO_3 berupa kalsit dan vaterit, berbeda dengan penggunaan enzim *urease* murni yang hanya menghasilkan kalsit (Cuccurullo *et al.* 2022). Endapan CaCO_3 hasil penggunaan kedelai juga dapat berbentuk kristal, amorf, maupun campuran keduanya (Decho 2010). Endapan CaCO_3 dalam bentuk amorf umumnya kurang stabil dan lebih mudah larut dibandingkan bentuk kristal (Addadi *et al.* 2003). Menurut Gao *et al.* (2019) penggunaan kedelai dapat meningkatkan kadar organik dalam larutan yang mempengaruhi pembentukan endapan mineral CaCO_3 dimana semakin tinggi konsentrasi kedelai maka kadar organik yang dihasilkan juga meningkat sehingga memicu lebih banyak endapan CaCO_3 yang terbentuk.

Lai *et al.* (2023) melaporkan bahwa penggunaan etanol mampu mengurangi kadar organik yang dihasilkan pada metode *calcit precipitation* yang menggunakan kedelai sebagai biokatalis. Hasil penelitian Lai *et al.* (2023) juga menunjukkan kandungan etanol pada rentang 20%-30% (v/v) untuk pembuatan larutan *urease* kacang kedelai 100 g/L menghasilkan kuat tekan tertinggi dan tingkat kekeruhan menurun sampai rentang kadar etanol 35% namun meningkat kembali pada kadar etanol 40%-45% dan tingkat kekeruhan terendah terjadi pada kadar etanol 60%. Tingkat kekeruhan juga mempengaruhi sementasi pasir yang mana keseragaman

distribusi kalsium karbonat akan terganggu apabila larutan *urease* memiliki tingkat kekeruhan lebih dari 1273,3 NTU.

Pratama *et al.* (2021) juga melaporkan bahwa penggunaan kedelai menghasilkan laju hidrolisis yang lebih rendah dibandingkan *urease* murni. Penggunaan konsentrasi kedelai 50 g/L menghasilkan laju hidrolisis tertinggi dibandingkan konsentrasi kedelai 10, 20, 30, dan 40 g/L sebesar 3700 $\mu\text{mol/L}/\text{min}$. Penurunan laju hidrolisis yang dihasilkan dari penggunaan kedelai memiliki pengaruh terhadap pembentukan kalsit sehingga pembentukan kalsit tidak sempurna (Nemati dan Voordouw 2003). Peningkatan konsentrasi kedelai juga berhubungan linier dengan aktivitas *urease* seperti pada penelitian Putra *et al.* (2021) dimana hasil penelitian menunjukkan penggunaan konsentrasi kedelai 50 g/L menghasilkan laju hidrolisis terbesar sebesar 1600 U/g dibandingkan dengan konsentrasi kedelai 5, 10, 20, 30, dan 40 g/L. Oleh karena itu, pada penelitian ini penggunaan kedelai dengan konsentrasi tinggi dengan variasi etanol pada metode *calcit precipitation* perlu dilakukan. Pengaruh berbagai variasi konsentrasi kedelai dan etanol terhadap endapan CaCO_3 yang terbentuk perlu dievaluasi untuk mendapatkan kualitas terbaik melalui kecepatan hidrolisis, jumlah dan jenis endapan, serta bentuk material CaCO_3 yang terbentuk.

1.2 Rumusan Masalah

Penggunaan kedelai dengan konsentrasi tinggi yang diekstraksi menggunakan etanol pada metode *calcite precipitation* perlu dievaluasi untuk mendapatkan kualitas material endapan CaCO_3 terbaik sebagai upaya perbaikan tanah. Penambahan etanol sebagai pelarut dapat menurunkan kadar organik yang ikut terbentuk dalam endapan CaCO_3 sehingga pengaruh berbagai variasi konsentrasi kedelai dan etanol perlu dievaluasi berdasarkan parameter laju hidrolisis, jumlah dan komposisi endapan, serta bentuk material endapan CaCO_3 yang terbentuk.

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah:

- Menentukan komposisi terbaik konsentrasi kedelai yang diekstraksi menggunakan etanol pada metode *calcite precipitation*.
- Mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi kedelai yang diekstraksi menggunakan etanol terhadap pembentukan dan peningkatan kualitas material endapan CaCO_3 .
- Mengetahui pemanfaatan dan mekanisme perbaikan tanah menggunakan endapan CaCO_3 .

1.4 Manfaat

Manfaat penelitian ini diharapkan dapat memperoleh komposisi terbaik konsentrasi kedelai yang diekstraksi menggunakan etanol untuk perbaikan tanah sehingga dapat memberikan alternatif metode perbaikan tanah (stabilisasi) tanah yang ramah lingkungan.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

- a. Bahan *reagent* dan *urease* yang digunakan merupakan *laboratory grade* dan *food grade* (kedelai).
- b. Variasi yang digunakan adalah pada konsentrasi *reagent* (mol/L), jumlah atau berat kedelai (g/L), dan kadar etanol (%) yang dibuat sebanyak 10 sampel.
- c. Konsentrasi kedelai yang digunakan 20 g/L; 40 g/L; 60 g/L; 80 g/L; dan 100 g/L.
- d. Kadar etanol yang digunakan 20% dan 30%.

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

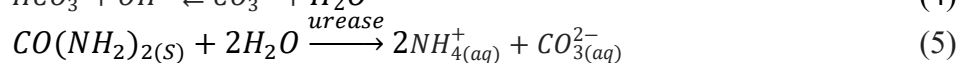
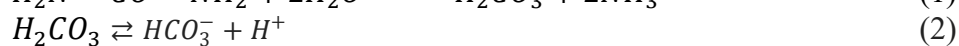
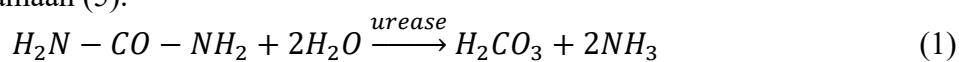
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Calcite Precipitation

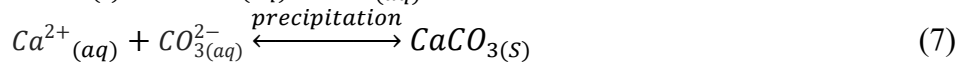
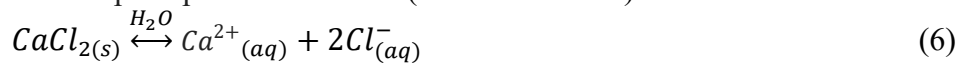
Calcite precipitation merupakan teknik perbaikan tanah secara kimiawi dengan melibatkan pengendapan kalsit yang memanfaatkan enzim *urease* sebagai katalis. Awalnya, pengendapan kalsit tersebut dibentuk oleh adanya metabolisme mikroba yang efektif untuk mengeraskan tanah (Stocks-Fischer *et al.* 1999; Nemati dan Voordouw 2003; DeJong *et al.* 2006). Mikroba yang diadopsi berupa bakteri *Sporosarcina pasteurii* untuk menghasilkan enzim *urease* dalam metode pengendapan kalsit yang kemudian metode ini dikenal dengan MICP (*Microbially Induced Calcite Precipitation*) (Whiffin 2004). Enzim *urease* ini digunakan sebagai katalis untuk memecah urea menjadi amonia dan karbondioksida (hidrolisis urea). Hidrolisis urea menyebabkan ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} mengendap menjadi CaCO_3 pada permukaan (Yasuhara *et al.* 2011). Lingkungan tempat hidup bakteri *Sporosarcina pasteurii* tentunya perlu dijaga dan dipertahankan dari segi pH, suhu, maupun oksigen yang tersedia sehingga ini menjadi tantangan sekaligus hambatan (Ivanov dan Chu 2008). Hambatan ini menyebabkan sumber presipitasi karbonat perlu dikembangkan lagi seperti penggunaan tanaman kacang-kacangan untuk menghasilkan enzim *urease*. Pemanfaatan tanaman jenis kacang-kacangan ini dikenal dengan metode EICP (*Enzym Induced Calcite Precipitation*). Tanaman yang dapat digunakan seperti kedelai (Gao *et al.* 2019; Lee dan Kim 2020; Wu *et al.* 2020), kacang koro (*jack bean*) (Park *et al.* 2014; Nam *et al.* 2015), biji semangka (Dilrukshi *et al.* 2016; Javadi *et al.* 2018), maupun kubis (Baiq *et al.* 2020).

Pemanfaatan tanaman sebagai *urease*, menghasilkan dua jenis ekstraksi yaitu ekstrak *urease* murni (*purified urease*) dan *urease* mentah/kasar (*crude urease*). *Urease* murni dinilai tergolong mahal dan kurang ekonomis jika diaplikasikan di lapangan sehingga *urease* murni jarang digunakan dan lebih banyak menggunakan *crude urease* dari tanaman salah satunya kedelai (Saif *et al.* 2022). EICP ini salah satu jenis dari UICP (*Ureolytic-Induced Carbonate Precipitation*) yang artinya enzim *urease* berperan penting sebagai katalias saat proses hidrolisis urea. Reaksi yang terjadi menghasilkan amonia (NH_3) dan karbamat yang tidak stabil dan kemudian terdegradasi menghasilkan amonia kedua dan asam karbonat (Zimmer 2000) seperti pada Persamaan (1). Hasil produk tersebut apabila tercampur dengan air, akan menghasilkan ion karbonat, amonium dan hidroksida (Krawjeska 2018) seperti pada Persamaan (2) dan (3) serta produksi ion hidroksida ini mengakibatkan peningkatan pH yang nantinya juga menyebabkan pembentukan ion karbonat seperti pada Persamaan (4). Hasil semua proses tersebut digambarkan pada Persamaan (5).



Keberadaan ion Ca^{2+} dari penambahan CaCl_2 menciptakan kondisi yang menguntungkan bagi ion-ion yang telah terbentuk sebelumnya untuk bergabung

dan menghasilkan endapan berupa kalsium karbonat (CaCO_3) seperti pada Persamaan (6) dan (7). Sehingga secara keseluruhan, presipitasi karbonat (*calcite precipitation*) terjadi melalui penyediaan ion karbonat dan alkalinitas yang dihasilkan dari proses hidrolisis urea yang mana kristal kalsium karbonat aktif nantinya akan mengisi rongga antar partikel tanah dengan CaCO_3 yang berkontribusi pada pemadatan tanah (Arab et al. 2021).



Penelitian lanjutan dari EICP terkait ekstraksi *crude urease* menggunakan tanaman kedelai terus ditingkatkan seperti pada penelitian Lai et al. (2023) yang menggunakan etanol dengan kandungan yang berbeda sebagai pelarut pada ekstraksi *urease* dari kedelai untuk menyelidiki efek dari pelarut yang digunakan. Parameter yang digunakan dalam mengkarakterisasi larutan *urease* kedelai mentah menggunakan tingkat kekeruhan dan aktivitas *urease*. Kekeruhan yang relatif tinggi menunjukkan bahwa ada sejumlah bahan organik yang relatif lebih besar di dalam larutan sehingga pengendapan bahan organik dapat menggunakan etanol. Selain itu, etanol juga dapat melarutkan komponen karbohidrat dalam tepung kedelai (Nagel et al. 1938).

2.2 Laju Hidrolisis

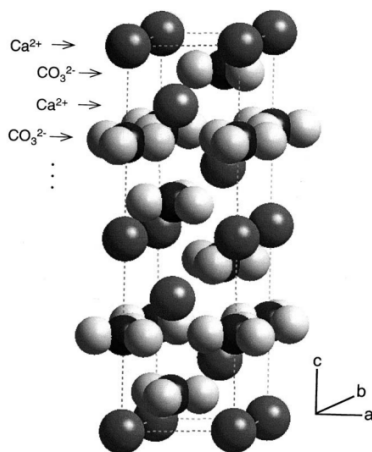
Laju hidrolisis (*hydrolysis rate*) merupakan salah satu cara untuk mengetahui tingkat kemampuan kedelai dalam mengkatalisis urea menjadi ion karbonat (CO_3^{2-}) dan ion amonium (NH_4^+). Ion ini menghasilkan peningkatan konduktivitas seluruh larutan dan laju peningkatan konduktivitas berarti sebanding dengan banyaknya *urease* yang ada. Laju peningkatan konduktivitas elektrik ($\text{mS}\cdot\text{min}^{-1}$) dikonversi ke laju hidrolisis urea dengan menghubungkan hasil konduktivitas elektrik terukur terhadap hasil konduktivitas standar yang diukur sampai seluruh urea terhidrolisis (Whiffin 2004). Laju hidrolisis mempengaruhi pembentukan karbonat (CaCO_3) yang mana proses hidrolisis urea akan terhambat jika konsentrasi kedelai yang digunakan terlalu tinggi dan akan membuat struktur kristal karbonat yang terpresipitasi berukuran kecil sehingga kurang kuat dalam mengikat partikel tanah. (Carmona et al. 2016).

2.3 Material Endapan CaCO_3

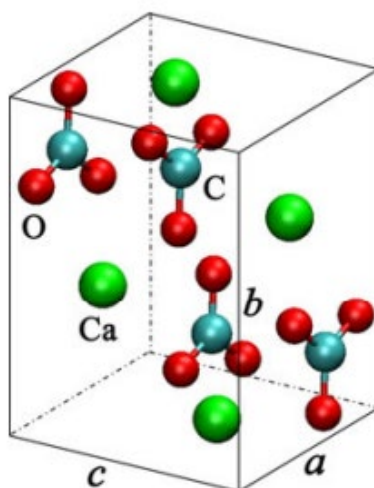
Penggunaan etanol pada pembuatan larutan ekstaksi kedelai mampu mengurangi kadar organik yang dihasilkan pada metode SCU-CP yang mana turunnya kadar organik mempengaruhi jumlah endapan CaCO_3 (Lai et al. 2023). Kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan biomaterial anorganik alami berupa padatan putih seperti kapur, marmer, dan kalsit yang terbentuk dari ikatan ion antara atom kalsium dan oksigen (Hariharan et al. 2014). Endapan kalsium karbonat (CaCO_3) yang terbentuk dari proses *calcite precipitation* dapat terjadi di fasa larutan dan di fasa permukaan berupa deposit. Total presipitasi CaCO_3 merupakan gabungan dari fasa larutan dan permukaan (Gabrielli et al. 2001). Morfologi partikel CaCO_3 yang terbentuk dapat berupa amorf maupun polimorf yang berupa kalsit, aragonit, serta vaterit. Kristal yang paling banyak dijumpai pada kerak CaCO_3 dan bersifat menempel kuat di permukaan (*hard scale*) dikenal dengan kristal kalsit (Abdel-Aal

et al. 2002). Kalsit terbentuk pada temperatur rendah yang merupakan fase stabil pada temperatur ruang. Aragonit dikenal sebagai kerak CaCO_3 yang mudah lepas di dinding (*soft scale*) dan terbentuk pada temperatur tinggi ($60^\circ\text{C} - 90^\circ\text{C}$) dengan fase metastabil. Vaterit pada temperatur antara $10^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}$ yang bersifat tidak stabil (Forster 2003) sehingga vaterit dan aragonit dapat mengalami perubahan menjadi kalsit (Apriliani 2016).

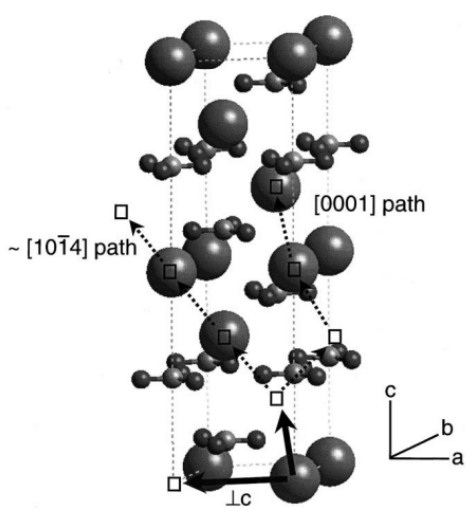
Struktur kristal pada polimorf kalsit, aragonit, dan vaterit berturut-turut *rhombohedral*, *orthorombic*, dan heksagonal (Wardhani *et al.* 2021). Fasa kalsit yang mempunyai struktur kristal *rhombohedral* dengan morfologi *rhombic* (kotak miring/kubus), fasa aragonit mempunyai morfologi *needle-like* (jarum), sedangkan fasa vaterit mempunyai morfologi *spherical* (bola) berpori ((Nan *et al.* 2008);Guo *et al.* 2011). Kalsit mempunyai struktur kristal *rhombohedral* dengan struktur kristal triagonal dapat dilihat seperti Gambar 1, aragonit dengan struktur kristal *orthorombic* ditunjukkan pada Gambar 2, serta fasa vaterit yang mempunyai struktur kristal *hexagonal* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 1 Struktur kristal kalsit *rhombohedral* (Cygan *et al.* 2002)



Gambar 2 Struktur kristal aragonit *orthorombic* (Zhang dan Chen 2013)



Gambar 3 Struktur kristal vaterit *hexagonal* (Cygan *et al.* 2002)

Secara termodinamika, bentuk CaCO_3 pada kondisi normal $\beta\text{-CaCO}_3$ (kalsit), polimorf aragonit $\lambda\text{-CaCO}_3$ dan $\mu\text{-CaCO}_3$ (vaterit) dapat terbentuk pada suhu sintesis tertentu (Ropp 2012). Berdasarkan Gambar 2, terlihat pada struktur aragonit mempunyai atom O paling banyak yang mengelilingi atom Ca dibandingkan struktur fasa kalsit maupun vaterit. Pembentukan kristal aragonit dilakukan pada temperatur tinggi karena ion karbonat akan mempunyai tambahan energi termal dari larutan sehingga terjadi vibrasi lebih kuat. Radius relatif dari atom ini juga menjadi lebih besar sehingga bersinggungan lebih banyak dengan atom oksigen (Maciejewski *et al.* 1994).

Fasa metastabil bertransformasi menuju fasa stabil pada endapan kalsium karbonat dapat terjadi secara spontan di dalam reaksi pelarut air. Ion Ca^{2+} yang bereaksi dengan ion CO_3^{2-} menghasilkan ACC (*Amorf Calcium Carbonate*) secara cepat saat kondisi jenuh pada suhu ruang. ACC mengalami perubahan fasa dalam beberapa menit. Pada temperatur $14^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}$, fase vaterit dan kalsit akan terbentuk sedangkan fase aragonit dan kalsit akan terbentuk pada temperatur $60^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}$. Ketiga fasa tersebut akan terbentuk secara bersama pada temperatur menengah yaitu saat $40^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}$ (Ogino *et al.* 1987). Pada fase amorf, molekul-molekul kalsium karbonat akan tersusun membentuk sel kristal saat nukleasi dan selanjutnya partikel-partikel halus ini terdegradasi dan membesar/growing sampai mencapai ukuran yang stabil. Kestabilan ukuran struktur ini sangat bergantung dari beberapa faktor seperti suhu, tekanan, dan kondisi supersaturasi (Perić *et al.* 1996; Jackson 2004).

Fasa metastabil secara bertahap akan berubak bentuk menjadi stabil (fasa kalsit). Saat temperatur $25^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}$, waktu yang dibutuhkan untuk vaterit bertransformasi menjadi kalsit berkisar 200 sampai 370 menit dan aragonit bertransformasi menjadi kalsit membutuhkan waktu 1000 sampai 1300 menit. Suhu yang lebih tinggi (50°C), vaterit hanya membutuhkan waktu 60 menit untuk bertransformasi menjadi aragonit dan dari aragonit menjadi kalsit membutuhkan waktu 900 menit. Sehingga, durasi waktu yang diperlukan vaterit dan aragonit berubah menjadi kalsit bergantung pada temperatur larutannya (Ogino *et al.* 1987).

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

III METODE

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2023 – Juli 2024. Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Infrastruktur, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan analitik, *stirer*, spatula laboratorium, gelas piala, gelas ukur, corong, cawan aluminium, oven, saringan nomor 50, saringan nomor 400, *shieve shaker*, *tube rack*, *polypropylene tube*, *filter paper*, lemari es, Hanna Instruments Edge Multiparameter HI2030, XRD Malvern PANalytical Empyrean Diffractometer (Belanda), dan SEM JEOL JSM-IT 200 (Jepang). Bahan yang digunakan yaitu bubuk kedelai *food grade*, urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) *GR for analysis ACS Merck* kadar minimum 99%, kalsium klorida dihidrat (CaCl_2) *for analysis Cryst Merck* kadar minimum 99%, etanol, dan air distilasi.

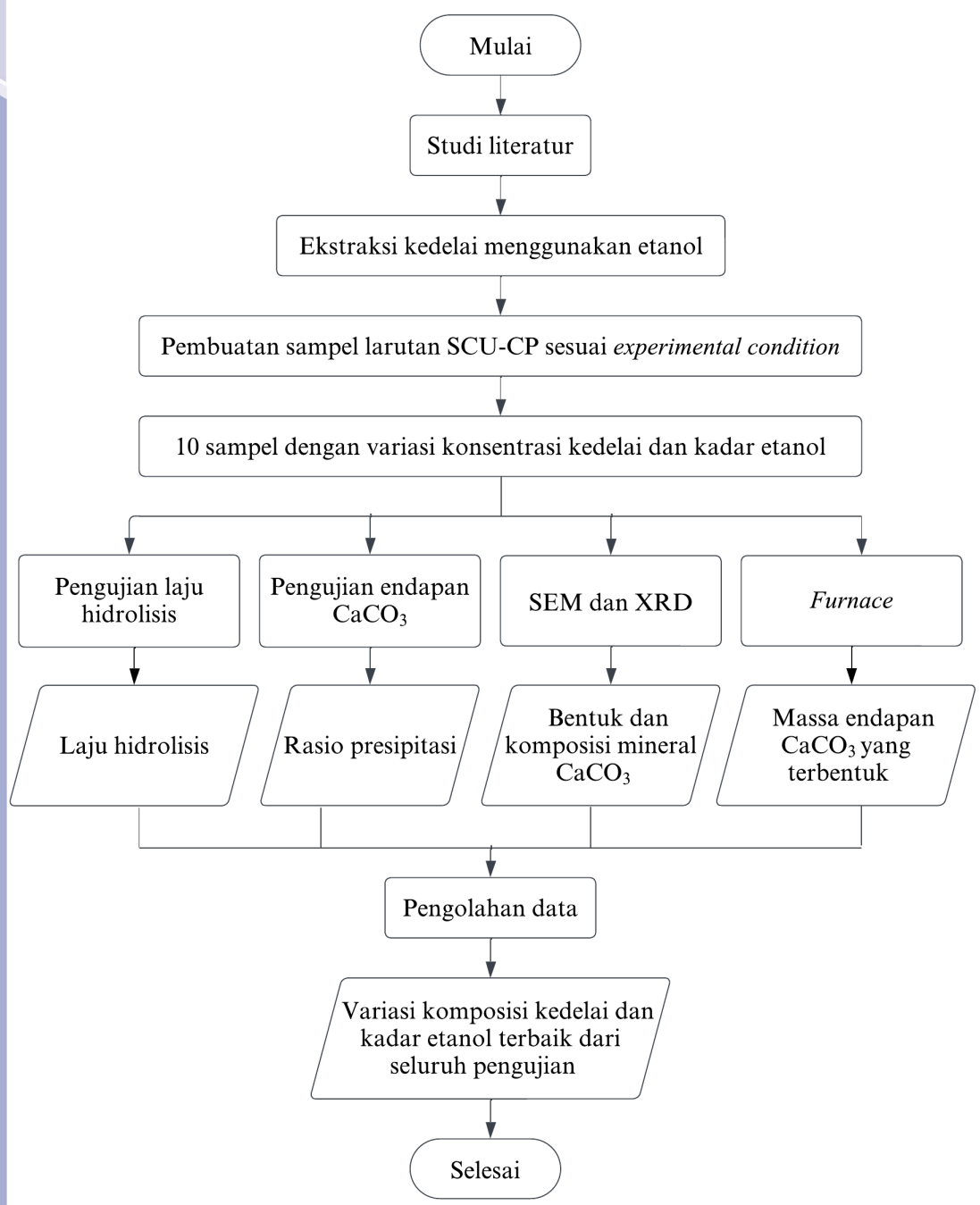
3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan, yaitu ekstraksi kedelai, laju hidrolisis (*hydrolysis rate*), *precipitation test*, serta kuantifikasi massa CaCO_3 , XRD, & SEM. Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 4. Sebelum digunakan pada pengujian, bubuk kedelai disaring terlebih dahulu dengan saringan nomor 50 menggunakan *sieve shaker*. Bubuk kedelai disimpan dalam sebuah kontainer yang tertutup rapat dan disimpan pada suhu ruang.

3.3.1 Larutan Ekstraksi Kedelai

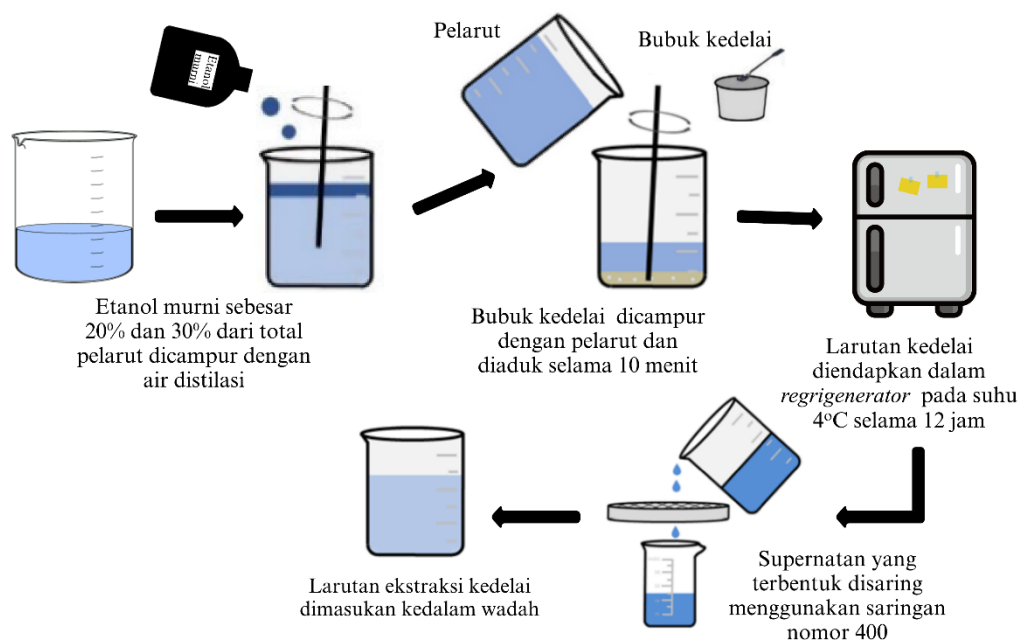
Ekstraksi kedelai dilakukan dengan mengacu pada penelitian (Lai *et al.* 2023). Pertama, bubuk kedelai disaring menggunakan saringan nomor 50. Selanjutnya, bubuk kedelai dicampurkan dengan pelarut dan diaduk selama 10 menit menggunakan *stirer*. Pelarut dibuat dengan mencampurkan etanol murni sebesar 20% dan 30% dari total larutan yang akan dibuat. Setelah mencampurkan kedelai dengan pelarut, larutan kedelai diendapkan di dalam lemari es pada suhu 4°C selama 12 jam (Lai *et al.* 2023). Hasil endapan yang terbentuk berupa supernatan. Kemudian, supernatan disaring menggunakan saringan nomor 400 dan hasil saringan dipindahkan ke dalam wadah. Hasil saringan ini disebut larutan ekstraksi kedelai yang akan digunakan untuk pembuatan larutan SCU-CP. Skema pembuatan larutan ekstraksi kedelai dapat dilihat pada Gambar 5.





Gambar 4 Diagram alir penelitian

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.



Gambar 5 Skema pembuatan larutan ekstraksi kedelai

3.3.2 *Hydrolysis Rate*

Pengujian *hydrolysis rate* (laju hidrolisis) dilakukan dengan mengadopsi penelitian dari (Whiffin 2004) untuk mengetahui tingkat kemampuan kedelai dalam menghidrolisis (menguraikan) urea. Rumus yang digunakan dalam perhitungan *hydrolysis rate* disajikan pada Persamaan (8).

$$\text{Hydrolysis rate } \frac{U}{g} = \frac{\theta_{ms}}{\theta_{sc}} \times v \times N \quad (8)$$

Keterangan:

θ_{ms} : kemiringan (*slope*) sampel hasil pengukuran

θ_{sc} : kemiringan (*slope*) sampel kurva standar

v : volume sampel (L)

N : konsentrasi akhir amonia (mMol/L)

Konsentrasi urea yang digunakan sebesar 100, 200, 300, 400, 500, dan 600 mmol/L yang dicampur dengan bubuk kedelai sebesar 20 g/L. Kurva standar ini dihasilkan setelah konduktivitas elektrik terukur mencapai nilai maksimumnya. Nilai konduktivitas elektrik dari setiap konsentrasi tersebut kemudian diplotkan ke dalam kurva standar. Nilai *slope* (kemiringan) pada kurva standar disimbolkan dengan θ_{sc} yang digunakan pada perhitungan setiap variasi konsentrasi kedelai dan urea berdasarkan Persamaan (8).

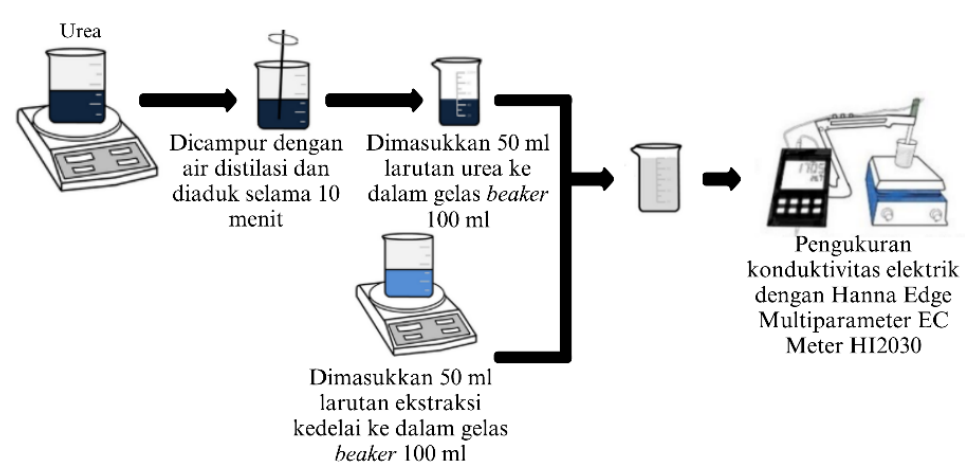
Selanjutnya, pengujian laju hidrolisis yang dilakukan terdiri dari berbagai variasi larutan urea dan larutan ekstraksi kedelai. Sejumlah 1,0 mol/L urea dicampurkan dengan berbagai konsentrasi bubuk kedelai masing-masing 20, 40, 60, 80, dan 100 g/L yang ditambah etanol murni dengan kadar 20% dan 30% seperti pada Tabel 1. Larutan urea dan larutan ekstraksi kedelai disiapkan secara terpisah. Setiap 1 kali pengujian, masing-masing larutan urea dan larutan ekstraksi kedelai yang dibutuhkan sebanyak 50 ml sehingga jumlah total kedua larutan setelah dicampur sebesar 100 ml.

Tabel 1 Variasi Pengujian *Hydrolysis Rate*

No sampel	Konsentrasi urea (mol/L)	Larutan Ekstraksi kedelai		
		Konsentrasi kedelai (g/L)	Air Distilasi (%)	Pelarut Etanol (%)
H1-20	1	20	80	20
H2-20	1	40	80	20
H3-20	1	60	80	20
H4-20	1	80	80	20
H5-20	1	100	80	20
H1-30	1	20	70	30
H2-30	1	40	70	30
H3-30	1	60	70	30
H4-30	1	80	70	30
H5-30	1	100	70	30

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

Hasil yang diperoleh dari pencampuran sejumlah mol urea dan ekstraksi larutan kedelai berupa grafik hubungan antara waktu (menit) dan nilai konduktivitas elektrik yang terukur. Grafik *hydrolysis rate* menghasilkan sebuah garis peningkatan yang akan dihitung *slope* atau kemiringannya. Nilai *slope* variasi konsentrasi urea maupun ekstraksi bubuk kedelai disimbolkan dengan θ_{ms} akan dihitung bersama dengan nilai *slope* kurva standar berdasarkan Persamaan (8) dan skema pengujian *hydrolysis rate* menggunakan Edge Multiparameter HI2030 disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6 Skematik pengujian laju hidrolisis

3.3.3 Precipitation Test

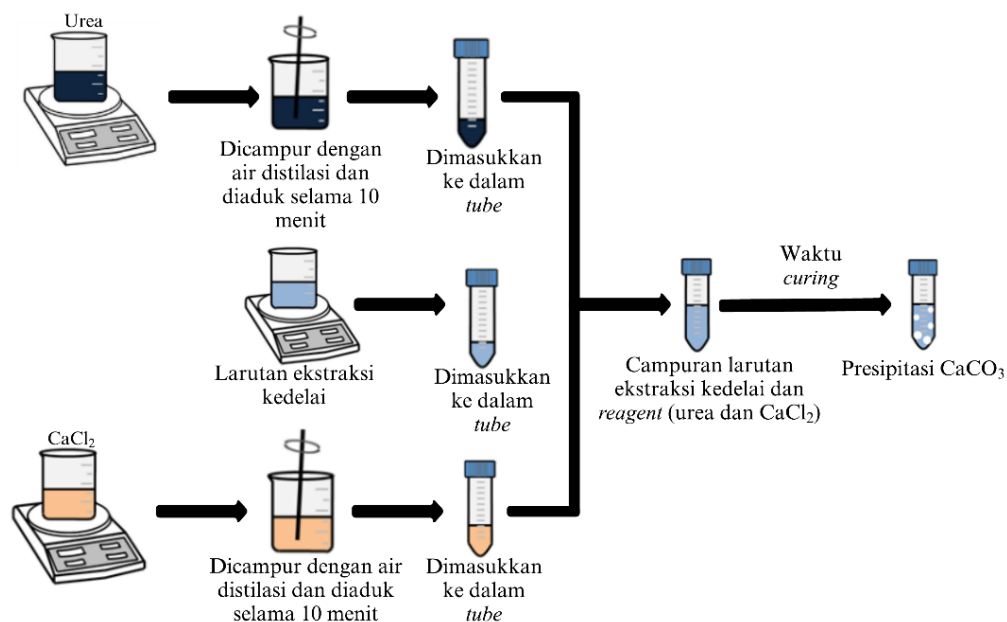
Precipitation test atau sering juga disebut *test tube experiment* dilakukan untuk mengetahui massa kalsium karbonat (CaCO_3) yang terbentuk atau terendapkan dari campuran larutan dengan variasi konsentrasi kedelai, konsentrasi *reagent*, dan kadar etanol. Jumlah larutan ekstraksi kedelai dan larutan *reagent* yang dibutuhkan sebanyak 30 ml setiap *tube* sampel pengujian. Perbandingan campuran CaCl_2 : urea : ekstraksi kedelai adalah 1:1:2. Semua sampel *tube* yang berisi larutan disusun pada *tube rack* dan di-*curing* selama 7 hari pada suhu ruang (Putra *et al.* 2020; Pratama *et al.* 2021; Loebis dan Putra 2022).

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Setelah 7 hari, larutan di dalam *tube* disaring menggunakan kertas *filter* dan endapan yang terbentuk pada dinding *tube* beserta kertas *filter* kemudian dipanaskan pada oven selama 3 hari dengan suhu 60°C sampai *tube* dan kertas *filter* kering. Variasi konsentrasi *test tube experiment* yang digunakan disajikan pada Tabel 2 dan skema *precipitation test* disajikan pada Gambar 7.

Tabel 2 *Expetimental Condition* Pengujian *Precipitation Test*

No sampel	Konsentrasi reagent (mol/L)	Larutan Ekstraksi kedelai		
		Konsentrasi kedelai (g/L)	Air Distilasi (%)	Pelarut Etanol (%)
P1	1	20	100	0
P2	1	40	100	0
P3	1	60	100	0
P4	1	80	100	0
P5	1	100	100	0
P1-20	1	20	80	20
P2-20	1	40	80	20
P3-20	1	60	80	20
P4-20	1	80	80	20
P5-20	1	100	80	20
P1-30	1	20	70	30
P2-30	1	40	70	30
P3-30	1	60	70	30
P4-30	1	80	70	30
P5-30	1	100	70	30



Gambar 7 Skematik prosedur *test tube experiment*

Hasil yang diperoleh dari *test tube experiment* berupa rasio presipitasi atau pengendapan CaCO₃. Rasio presipitasi merupakan rasio antara massa aktual endapan hasil pengujian dengan massa teoritis (massa CaCO₃ maksimum yang mampu terbentuk). Rumus rasio presipitasi disajikan pada Persamaan (9) – (10).

$$\text{Rasio presipitasi (\%)} = \frac{a_m}{t_m} \quad (9)$$

$$t_m = C \times V \times M \quad (10)$$

Keterangan:

- a_m : massa aktual hasil pengujian (gram)
- t_m : massa teoretis CaCO₃ (gram)
- C : konsentrasi larutan (mol/L)
- V : volume larutan (L)
- M : massa molar CaCO₃ (100,087 gram/mol)

3.3.4 Uji Kuantifikasi Massa Endapan CaCO₃

Kalsinasi menggunakan *furnace* ditujukan untuk menghilangkan senyawa organik endapan CaCO₃ yang dihasilkan selama masa curing time sehingga jumlah CaCO₃ yang terbentuk dapat diketahui dengan pasti jumlahnya (Afifah dan Cahyaningrum 2020). Persiapan dimulai dengan menimbang sampel hasil presipitasi test dipanaskan pada temperatur 500°C menggunakan tanur selama 1 jam pada variasi tanpa etanol, etanol 20% dan 30% dengan konsentrasi kedelai 20 g/L, 40 g/L, 60 g/L, 80 g/L, dan 100 g/L untuk mengetahui jumlah senyawa organik dan CaCO₃ dengan cara membakar habis senyawa organiknya (Kristianingrum 2012). Setelah dikeluarkan dari tanur, sampel dimasukkan ke dalam desikator sampai mencapai suhu ruang dan ditimbang kembali berat akhirnya. Perbedaan antara berat awal sebelum ditanur dengan berat akhir setelah ditanur dikatakan sebagai senyawa organik (kedelai).

3.3.5 XRD (*X-Ray Diffraction*)

Penelitian ini menggunakan instrumen XRD Malvern PANalytical Empyrean Diffractometer (Belanda) yang beroperasi dengan voltase 40 kV dan 40 mA. Panjang gelombang radiasi X-Ray Cu-Ka yang digunakan sebesar 1,542 Å serta pengolahan data XRD menggunakan software Match! yang dapat memberikan informasi mengenai komposisi mineral (kalsit, vaterit, aragonit, maupun mineral tidak terdefinisi hasil sampingan dari CaCO₃) dan komposisi fase kristal maupun fase *amorphous* yang terbentuk pada setiap sampel secara otomatis. Mekanisme software Match! dalam menentukan komposisi mineral, fase kristal dan amorphous melalui identifikasi kesesuaian *peak* (puncak) dengan sudut difraksi 2θ dan intensitasnya sesuai dengan mineralnya serta mencatat luas area dari setiap *peak* tersebut.

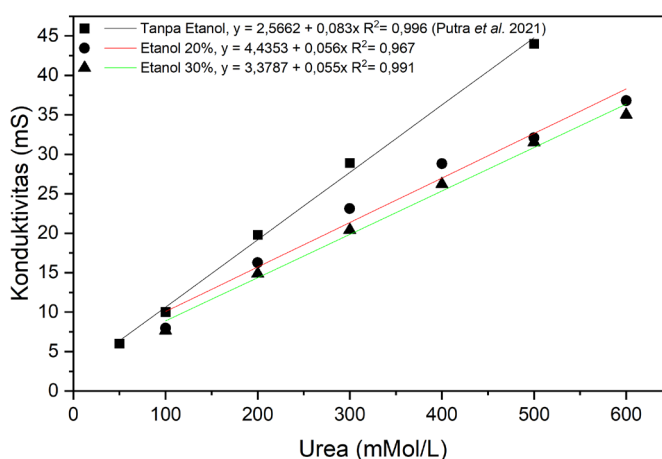
3.3.6 SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Penelitian ini menggunakan instrumen SEM JEOL JSM-IT 200 (Jepang) dengan parameter perbesaran 1000x, 5000x, 10000x, HV. 10kv, dan *spotsize* 4. Sampel yang digunakan untuk pengujian berbentuk bubuk dengan ukuran sampel lolos 270 mesh atau 325 mesh dengan sampel berada dalam keadaan kering/tidak basah dan lembab. Sebelum di uji, sampel di *coating* terlebih dahulu untuk meningkatkan kualitas citra.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengendapan CaCO_3

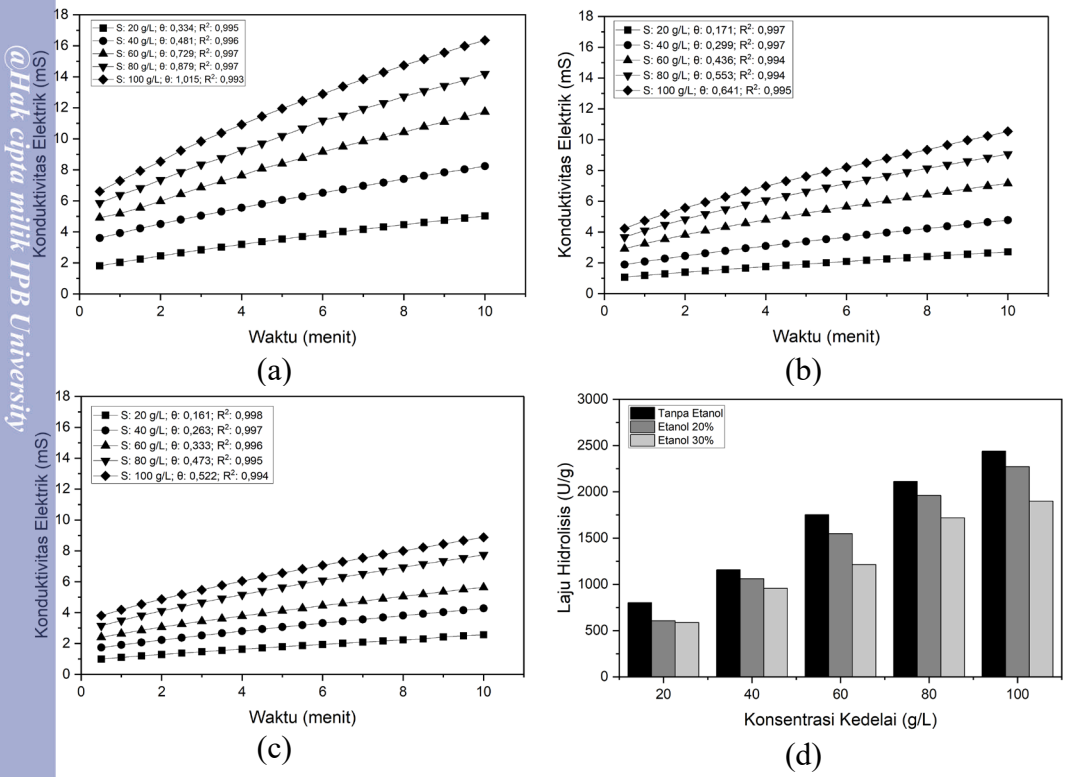
Grafik pencatatan konduktivitas elektrik akan menghasilkan nilai *slope* atau kemiringan. Nilai kemiringan pada grafik selanjutnya dibandingkan dengan kemiringan pada kurva standar dengan nilai 0,083 untuk tanpa etanol, nilai 0,056 untuk kemiringan kurva standar kadar etanol 20%, dan nilai 0,055 untuk kemiringan kurva standar kadar etanol 30% seperti Gambar 8. Kemiringan pada hasil pengukuran setiap konsentrasi kedelai dan kadar etanol dapat dilihat pada Gambar 9. Laju konduktivitas elektrik dan laju hidrolisis pada semua variasi dengan konsentrasi urea 1 mol/L digunakan untuk evaluasi bagaimana kemampuan kedelai dalam mengkatalisis urea. Nilai laju konduktivitas elektrik terus meningkat untuk variasi tanpa etanol, etanol 20%, dan etanol 30% pada setiap penambahan konsentrasi kedelai ditunjukkan seperti pada Gambar 9a, Gambar 9b, dan Gambar 9c. Hasil kemiringan laju konduktivitas elektrik dibandingkan dengan kemiringan grafik standar mengikuti Persamaan (8) menghasilkan nilai laju hidrolisis seperti Gambar 9d.



Gambar 8 Kurva standar laju hidrolisis

Berdasarkan Gambar 9d, nilai laju hidrolisis terendah tanpa penggunaan etanol ada pada konsentrasi kedelai 20 g/L sebesar 803 U/g sedangkan terbesar pada konsentrasi kedelai 100 g/L dengan nilai 2439 U/g. Nilai laju hidrolisis terendah kadar etanol 20% ada pada konsentrasi kedelai 20 g/L sebesar 605 U/g sedangkan terbesar pada konsentrasi kedelai 100 g/L dengan nilai 2271 U/g. Nilai laju hidrolisis terendah kadar etanol 30% ada pada konsentrasi kedelai 20 g/L sebesar 586 U/g sedangkan terbesar pada konsentrasi kedelai 100 g/L dengan nilai 1898 U/g. Satuan U/g (unit/gram) mempresentasikan 1 unit enzim *urease* mampu menghidrolisis 1 μmol urea per menitnya. Penggunaan enzim *urease* murni pada konsentrasi 1 g/L pada metode *calcite precipitation* memiliki nilai laju hidrolisis 200 U/g sehingga dapat disimpulkan dengan laju hidrolisis 200 U/g ini mampu untuk menghasilkan CaCO_3 sehingga untuk semua variasi dapat dijadikan pengganti enzim *urease* karena memiliki nilai laju hidrolisis lebih dari 200 U/g (Putra *et al.* 2021). Selain itu, laju hidrolisis yang semakin besar mengindikasikan bahwa reaksi terbentuknya CaCO_3 lebih cepat. Trend hasil perbandingan antara tiga variasi etanol

(Gambar 9d) menunjukkan nilai laju hidrolisis pengendapan semakin meningkat seiring meningkatnya konsentrasi kedelai yang digunakan dan akan mempengaruhi proses pengendapan CaCO_3 lebih cepat.

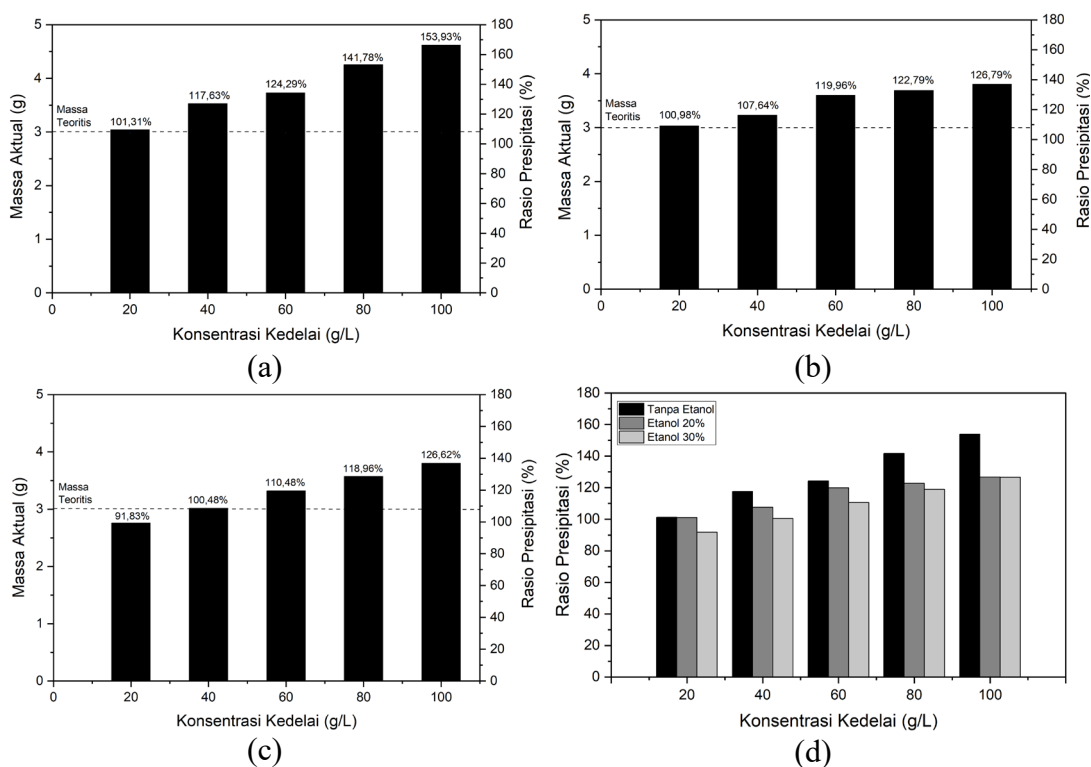


Gambar 9 Hasil pengujian laju hidrolisis (a) Pengukuran konduktivitas elektrik pada konsentrasi urea 1,0 mol/L tanpa etanol; (b) Pengukuran konduktivitas elektrik pada konsentrasi urea 1,0 mol/L dengan etanol 20%; (c) Pengukuran konduktivitas elektrik pada konsentrasi urea 1,0 mol/L dengan etanol 30%; (d) Rekapitulasi hasil laju hidrolisis pada variasi tanpa etanol, etanol 20%, dan 30%

Hasil endapan CaCO_3 yang terbentuk hasil tes presipitasi disajikan pada Gambar 10 yang mana hasil presipitasi disajikan dalam dua parameter yang berbeda seperti massa aktual yang terbentuk (g) dan rasio presipitasi CaCO_3 (%). Pada Gambar 10a, Gambar 10b, dan Gambar 10c rasio presipitasi mengalami peningkatan secara terus menerus dari konsentrasi kedelai 20 g/L menuju konsentrasi kedelai 100 g/L. Secara berurutan, nilai rasio presipitasi tanpa penggunaan etanol melebihi 100% mulai dari 20 g/L, 40 g/L, 60 g/L, 80 g/L, dan 100 g/L secara berurutan sebesar 101,31%; 117,63%; 124,29%; 141,78%; dan 153,93%. Rasio presipitasi penggunaan etanol 20% dapat dilihat pada Gambar 10b, juga mencapai nilai lebih dari 100% pada semua konsentrasi kedelai 20 g/L, 40 g/L, 60 g/L, 80 g/L, dan 100 g/L secara berurutan sebesar 100,98%; 107,64%; 119,6%; 122,79%; dan 126,79%. Pada penggunaan etanol 30%, rasio presipitasi melebihi 100% hanya pada konsentrasi kedelai 40 g/L, 60 g/L, 80 g/L, dan 100 g/L secara berurutan sebesar 100,48%; 110,48%; 118,96%; dan 126,62% sedangkan pada konsentrasi kedelai 20 g/L nilai rasio presipitasi yang terbentuk hanya sebesar 91,82%. Hal ini berarti semakin besar konsentrasi kedelai yang digunakan untuk menghidrolisis urea dengan konsentrasi yang sama akan menghasilkan laju

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

hidrolisis yang semakin besar dan menghasilkan rasio presipitasi yang besar juga. Hal ini berkaitan juga dengan meningkatnya konsentrasi bubuk kedelai sangat berperan dalam meningkatkan laju hidrolisis sehingga mampu meningkatkan massa kalsit (Loebis dan Putra 2022). Hasil massa aktual CaCO_3 yang terbentuk kebanyakan lebih besar daripada masa teoritisnya sehingga menghasilkan rasio presipitasi lebih dari 100%. Hal tersebut, terjadi karena endapan yang terbentuk pada *tube* tidak seluruhnya menghasilkan CaCO_3 tetapi terdapat juga material lain yang terbentuk seperti produk sampingan dan material organik.

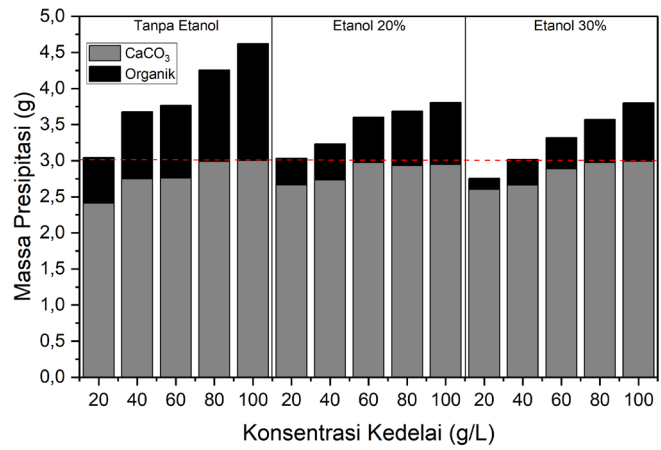


Gambar 10 Hasil *precipitation test* (a) Tanpa etanol; (b) Etanol 20%; (c) Etanol 30%; (d) Perbandingan rasio presipitasi tanpa etanol, etanol 20%, dan etanol 30%

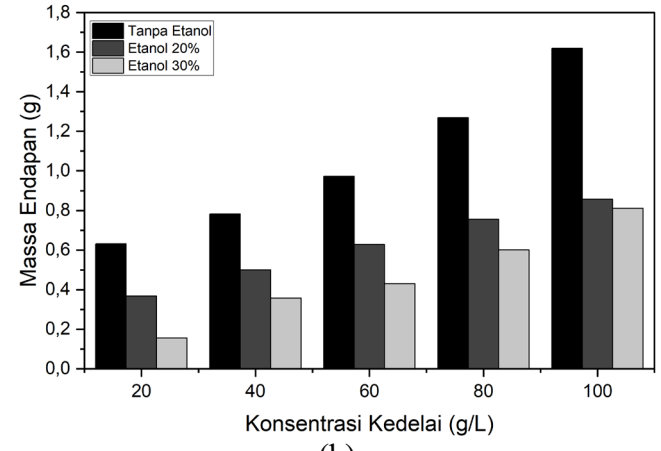
Hasil rasio presipitasi pada seluruh variasi konsentrasi kedelai pada kadar etanol yang berbeda disajikan pada Gambar 10d. Nilai laju hidrolisis sebesar 803 U/g pada konsentrasi 20 g/L tanpa penggunaan etanol mampu menghasilkan presipitasi 101,31%; laju hidrolisis 605 U/g pada konsentrasi kedelai 20 g/L saat penggunaan etanol 20% juga mampu menghasilkan rasio presipitasi sebesar 100,98% sedangkan nilai laju hidrolisis sebesar 585 U/g hanya mampu menghasilkan rasio presipitasi sebesar 91,82%. Hasil rasio presipitasi tanpa penggunaan etanol memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan etanol. Hal ini dipengaruhi saat pencampuran larutan kedelai dengan CaCl_2 dan urea yang mana larutan kedelai yang mengandung etanol menghasilkan supernatan (Lai *et al.* 2023) sedangkan larutan kedelai tanpa etanol tidak menghasilkan supernatan sehingga saat proses penyaringan menggunakan saringan nomor 400, butiran bubuk kedelai yang tidak larut dalam air ikut lolos saringan dan ikut mengendap di dalam *tube* (Cuccurullo *et al.* 2022).

4.2 Kuantifikasi Massa dan Bentuk Mineral Endapan CaCO₃

Konsentrasi kalsium klorida dan urea yang digunakan dipertahankan pada 1 mol/L dengan konsentrasi ekstrak kedelai yang digunakan berbeda dan pada kadar etanol yang juga berbeda. Hasil evaluasi kuantifikasi massa endapan CaCO₃ yang dilakukan pada larutan tanpa etanol, etanol 20%, etanol 30% dapat dilihat pada Gambar 11a. Berdasarkan komposisi massa CaCO₃ dan massa kedelai yang tidak larut, massa CaCO₃ maksimum terbentuk pada konsentrasi 60 g/L pada etanol 20% dan 100 g/L pada etanol 30% dengan secara berurutan sebesar 2,97 g dan 2,99 g. Pada larutan SCU-CP tanpa etanol, massa CaCO₃ maksimum juga terbentuk pada konsentrasi 100 g/L sebesar 3,00 g. Tanpa adanya etanol, massa CaCO₃ pada konsentrasi 20 g/L, 40 g/L, 60 g/L, dan 80 g/L secara berurutan sebesar 2,41 g; 2,76 g; 2,76 g; dan 2,99 g. Penggunaan etanol 20% dengan konsentrasi kedelai 20 g/L, 40 g/L, 80 g/L, dan 100 g/L menghasilkan massa CaCO₃ secara berurutan sebesar 2,66 g; 2,73 g; 2,93 g; dan 2,95 g. Penggunaan etanol 30% dengan konsentrasi kedelai 20 g/L, 40 g/L, 60 g/L, dan 80 g/L menghasilkan massa CaCO₃ secara berurutan sebesar 2,60 g; 2,66 g; 2,89 g; dan 2,97 g. Secara keseluruhan, kalsit yang dihasilkan dari penggunaan etanol 20% lebih tinggi dibanding penggunaan etanol 30% maupun tanpa etanol.



(a)

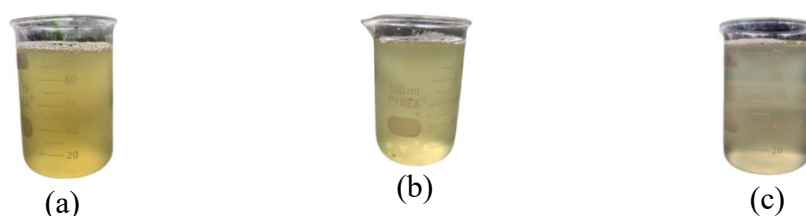


(b)

Gambar 11 Hasil pengujian pengendapan kalsit (a) Massa presipitasi; (b) Massa organik

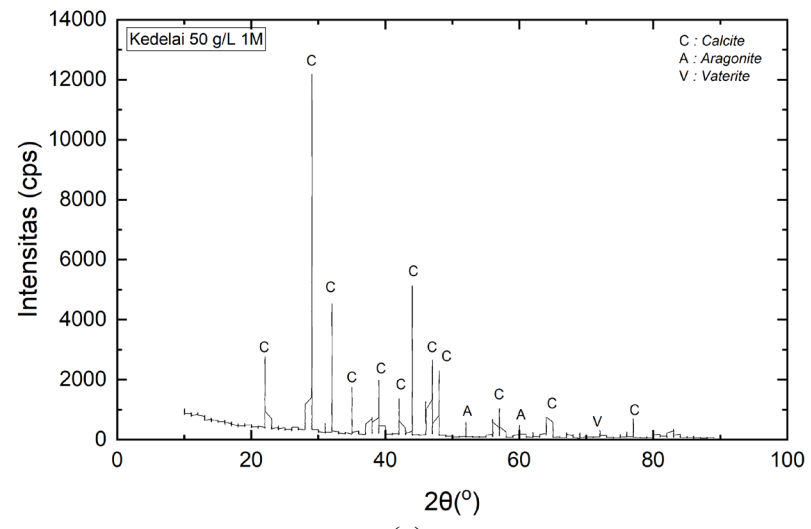
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan 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.

Gambar 11b menunjukkan bahwa massa organik yang tidak larut baik pada pembuatan larutan kedelai dengan penggunaan etanol 20% maupun etanol 30% lebih sedikit dibandingkan pembuatan larutan kedelai tanpa menggunakan etanol. Hal ini berkaitan dengan penggunaan etanol yang dapat mengurangi kadar organik yang dihasilkan pada metode *calcite precipitation* seperti penelitian yang dilakukan oleh Lai *et al.* 2023 (Lai *et al.* 2023). Saat penuangan larutan kedelai dengan larutan *reagent*, larutan ekstraksi kedelai yang terpakai hanya bagian supernatannya dan bubuk kedelai mengendap saat proses pembuatan larutan ekstraksi kedelai (Lai *et al.* 2023). Penggunaan supernatan tentunya ikut menurunkan jumlah bubuk kedelai yang ikut lolos ayakan No. 400 dan membuat larutan memiliki tingkat kekeruhan yang rendah (Gambar 12) sehingga turunnya kadar organik mempengaruhi jumlah endapan CaCO_3 menurun dan jumlah CaCO_3 meningkat. Jumlah CaCO_3 pada etanol 20% lebih tinggi daripada penggunaan etanol 30% (Gambar 11a) yang berarti enzim *urease* dalam supernatan larutan kedelai etanol 20% lebih tinggi dibanding supernatan larutan kedelai etanol 30%. Ekstraksi enzim yang optimal akan menghasilkan massa CaCO_3 yang lebih tinggi karena peningkatan laju reaksi dan aktivitas enzim *urease* (Robinson 2015).

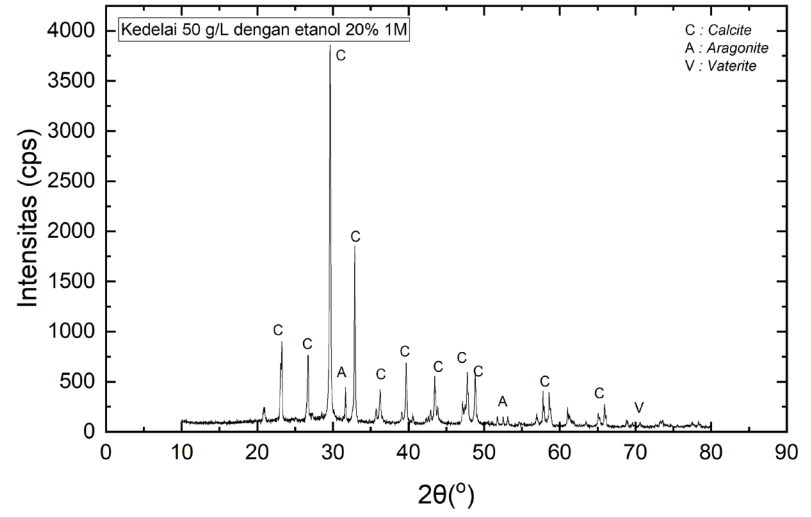


Gambar 12 Tingkat kekeruhan larutan ekstrak kedelai 20 g/L (a) Tanpa Etanol; (b) Etanol 20%; (c) Etanol 30%

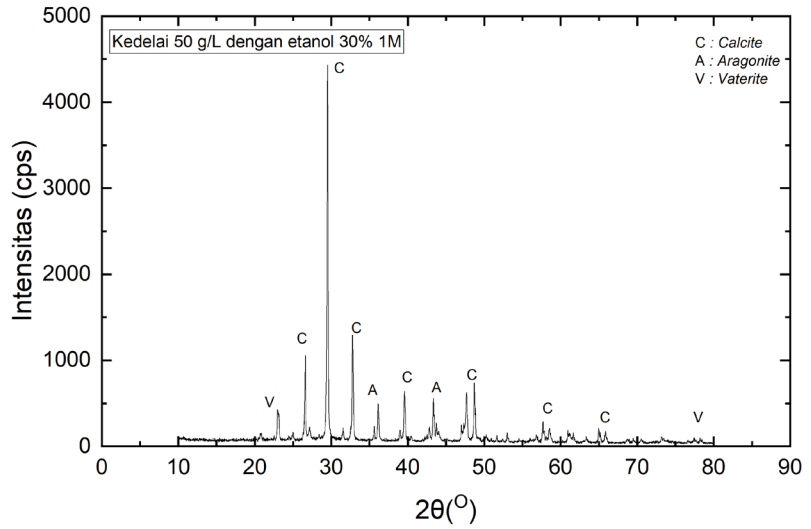
Peningkatan konsentrasi ekstraksi kedelai untuk berbagai perlakuan mengakibatkan peningkatan massa organik yang tidak terlarut. Massa organik tidak terlarut yang tersisa pada perlakuan tanpa menggunakan etanol lebih tinggi dibandingkan menggunakan etanol. Massa organik yang tidak terlarut sudah tidak berbentuk butiran lagi karena supernatan hanya mengandung nutrisi yang terdapat pada sel tanaman kedelai (Peng *et al.* 2020) dan lolos ayakan No. 400. Oleh karena itu, massa organik tidak terlarut pada perlakuan menggunakan etanol lebih rendah dibandingkan tanpa menggunakan etanol. Kandungan nutrisi termasuk enzim *urease* yang terkandung di dalam larutan kedelai menggunakan etanol lebih tinggi dibandingkan tanpa etanol. Ekstraksi enzim yang optimal akan menghasilkan massa presipitasi yang lebih tinggi karena meningkatkan aktivitas enzim *urease* dan laju reaksi (Robinson 2015). Selain itu, supernatan yang dihasilkan mampu meningkatkan laju hidrolisis (Fu *et al.* 2020) seperti penelitian yang dilakukan oleh Cuccurullo *et al.* 2022 membuktikan bahwa ekstrak kedelai dalam bentuk supernatan memiliki aktivitas enzim *urease* lebih tinggi dibandingkan ekstrak kedelai yang diperoleh dari larutan bubuk kedelai (Cuccurullo *et al.* 2022). Oleh karena itu, penggunaan etanol 20% pada konsentrasi kedelai 60 g/L dapat dipilih untuk larutan *grouting* sampel tanah pasir karena massa kalsit yang optimal dibandingkan dengan konsentrasi kedelai lainnya. Selain itu, konsentrasi kedelai 60 g/L dengan etanol 20% memiliki nilai laju hidrolisis (sebesar 1547 U/g) cukup dekat dengan nilai laju hidrolisis enzim *urease* komersial Kishida (sebesar 1615,7 U/g).



(a)



(b)



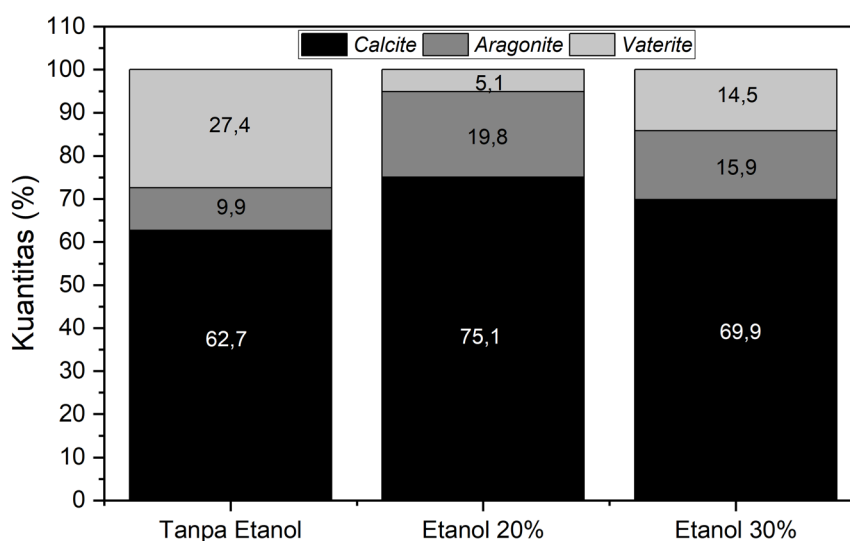
(c)

Gambar 13 Hasil uji XRD pada konsentrasi kedelai 50 g/L (a) Tanpa etanol; (b) Etanol 20%; (c) Etanol 30%

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.

Hasil XRD (*X-Ray Diffraction*) antara pembuatan larutan SCU-CP (*Soybean Crude Urease-Calcite Precipitation*) dengan penggunaan etanol maupun tanpa etanol pada mineral CaCO_3 disajikan pada Gambar 13 untuk kedelai 50 g/L. Penggunaan konsentrasi kedelai 50 g/L dalam analisis XRD dikarenakan konsentrasi tersebut cukup dekat dengan nilai optimum penggunaan konsentrasi kedelai 60 g/L. Pada penelitian yang dilakukan Putra *et al.* (2021) konsentrasi larutan kedelai 50 g/L tanpa penggunaan etanol dapat digunakan sebagai pengganti enzim *urease* komersial karena nilai laju hidrolisisnya 1600 U/g mendekati nilai laju hidrolisis *urease* komersial (Putra *et al.* 2021). Selain itu, pemilihan yang sedikit di bawah optimal (konsentrasi 50 g/L) dianggap cukup memadai untuk menghasilkan kristal dengan karakteristik dan komposisi yang diinginkan.

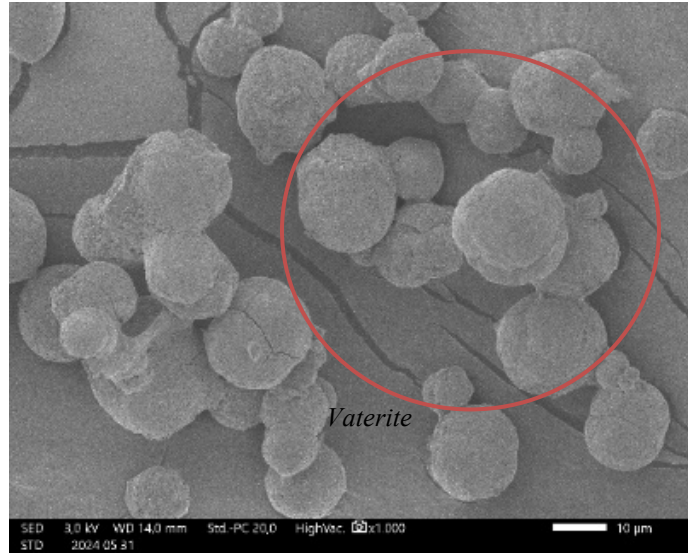
Komposisi mineral CaCO_3 pada variasi tanpa menggunakan etanol maupun menggunakan etanol disajikan pada Gambar 14. Pada penggunaan etanol baik etanol 20% maupun 30% menghasilkan komposisi kalsit tertinggi dibandingkan dengan pembuatan larutan SCU-CP tanpa menggunakan etanol. Penggunaan etanol juga dapat menurunkan vaterit yang mana vaterit memiliki sifat yang paling tidak stabil dibandingkan dengan kalsit dan aragonit (Shen *et al.* 2007). Dari tren yang dihasilkan, penggunaan etanol dapat meningkatkan kualitas material dengan semakin bertambahnya kalsit yang terbentuk. Berdasarkan hasil Gambar 14, penggunaan etanol 20% dalam pembuatan larutan SCU-CP dapat menghasilkan jumlah kalsit yang paling besar dibandingkan pembuatan larutan SCU-CP tanpa etanol maupun dengan etanol 30% sebesar 75,1% dengan vaterit hanya 5,1%.



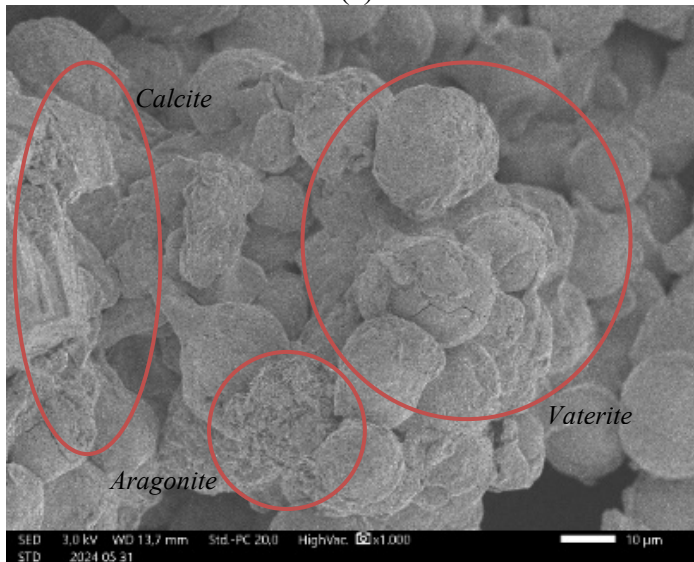
Gambar 14 Komposisi endapan CaCO_3 yang terbentuk pada *polypropylene tube* berdasarkan hasil XRD

Bentuk material endapan CaCO_3 berdasarkan uji SEM pada penggunaan etanol 20% dan 30% dapat dilihat pada Gambar 15 untuk konsentrasi kedelai 50 g/L dengan perbesaran 1000x. Hasil yang dominan pada masing-masing kadar etanol berupa kalsit dibandingkan dengan vaterit dan aragonit. Selain itu, mineral-mineral yang terbentuk dapat saling tumpang-tindih sehingga saling menutupi. Pada Gambar 15a, terlihat vaterit menempel pada kalsit dan Gambar 15b menunjukkan bahwa vaterit sedang rekristalisasi menjadi kalsit.

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.



(a)



(b)

Gambar 15 Hasil pengujian SEM konsentrasi kedelai 50 g/L (a) Etanol 20%; (b) Etanol 30%

Mineral CaCO_3 terbagi menjadi tiga bentuk kristal anhidrat (vaterit, aragonit, dan kalsit) (Beck dan Andreassen 2010). Kalsit menjadi polimorf yang paling stabil secara termodinamika dibandingkan dengan polimorf anhidrat lainnya (vaterit dan aragonit). Setiap polimorf memiliki bentuk yang khas seperti aragonit yang memiliki bentuk jarum (*orthorombic*), vaterit yang berbentuk bulat (*hexagonal*), dan kalsit yang berbentuk belah ketupat (*rhombohedral*) (Sand *et al.* 2012) seperti yang terlihat jelas pada Gambar 15b. Kristal bentuk *rhombohedral* merupakan bentuk yang terbaik dibandingkan bentuk *orthombic* maupun *hexagonal* karena permukaan kontak yang lebih besar dan sudut-sudut yang lebih tajam (Mulyaningsih 2018) memungkinkan kalsit lebih efektif dalam mengikat dan mengunci ruang antar partikel tanah sehingga dapat meningkatkan nilai kohesi dan kekuatan tanah.

Bentuk bulat justru memiliki bidang kontak yang kecil sehingga akan mengurangi kemampuan mengikat dan mengisi ruang diantara butiran tanah sehingga mengurangi efektivitas perkuatan. Sedangkan bentuk jarum yang pipih (Mulyaningsih 2018) tidak memberikan penguncian (*interlocking*) yang baik dengan tanah. Bentuk jarum dan bulat juga menunjukkan proses pengendapan kurang optimal dikarenakan proses kalsinasi yang terhambat (Putra *et al.* 2017). Selain itu, kandungan organik yang ada juga menyebabkan kedelai tidak larut sehingga menghambat proses kalsinasi (Baiq *et al.* 2020). Oleh karena itu, kadar organik sangat berpengaruh terhadap proses pembentukan kalsit yang mana semakin kecil kandungan organiknya akan memperlancar proses kalsinasi.

Penggunaan larutan *calcite precipitation* dengan ekstraksi menggunakan etanol pada metode SCU-CP dapat diaplikasikan ke lapangan menggunakan *grouting* dengan tekanan tertentu. Metode SCU-CP dengan penggunaan etanol memiliki sedikit perbedaan dengan beberapa metode *calcite precipitation* lainnya yang terletak pada agen *urease* dan tingkat kemurnian *urease*. Metode SCU-CP menggunakan enzim *urease* yang diekstrak dari kedelai mentah berbeda dengan metode *calcit precipitation* lainnya yang menggunakan enzim *urease* komersial maupun penggunaan bakteri. Penggunaan metode SCU-CP tanpa etanol terbukti dapat meningkatkan daya dukung tanah dengan pengukuran kekuatan geser tanah atau *shear direct* (Mubarrak dan Putra 2023). Penggunaan metode SCU-CP tanpa etanol pada pengujian *shear direct* membuat nilai kohesi dan sudut gesek semakin besar yang berarti tingkat kepadatan yang diperoleh dengan penggunaan SCU-CP semakin besar dan daya dukung tanah meningkat seperti penelitian yang dilakukan oleh Mubarrak dan Putra (2023). Hal ini terjadi karena endapan CaCO_3 mengisi ruang pori tanah membuat nilai kohesi dan sudut gesek meningkat sehingga endapan CaCO_3 dan partikel tanah berikatan dengan kuat (Wibawa dan Hisyam 2015). Pada penelitian ini, metode SCU-CP dengan penggunaan etanol menghasilkan jumlah fasa kalsit lebih besar daripada metode SCU-CP tanpa penggunaan etanol berarti hasil pengukuran *shear direct* juga akan menghasilkan kekuatan tanah yang lebih besar dibandingkan metode SCU-CP tanpa etanol dan dapat diaplikasikan langsung ke tanah untuk perbaikan tanah.

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang diperoleh sebagai berikut:

1. Semakin tinggi konsentrasi kedelai yang digunakan akan meningkatkan laju hidrolisis urea yang berpengaruh juga terhadap peningkatan rasio presipitasi. Komposisi terbaik diperoleh dengan penggunaan konsentrasi kedelai 60 g/L dengan kadar etanol 20% karena bisa menghasilkan masa CaCO_3 optimum sebesar 2,97 g. Selain itu, nilai laju hidrolisis konsentrasi kedelai 60 g/L pada etanol 20% sebesar 1547 U/g dan nilainya cukup dekat dengan nilai laju hidrolisis enzim *urease* komersial Kihside (1615,7 U/g) sehingga konsentrasi kedelai 60 g/L dengan kadar etanol 20% dapat digunakan sebagai larutan *grouting*.
2. Pembuatan larutan SCU-CP dengan menambahkan etanol terbukti dapat mengurangi kadar organik serta meningkatkan kualitas material endapan CaCO_3 dengan fasa kalsit terbentuk lebih banyak dibandingkan vaterit dan aragonit. Selain itu, bentuk kristal kalsit *rhombohedral* menjadi bentuk terbaik dalam mengikat tanah karena memiliki permukaan kontak yang lebih besar dibandingkan bentuk *orthombic* dan *hexagonal*.
3. Pemanfaatan larutan SCU-CP dengan penggunaan etanol dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan tanah dengan cara menyuntikan (*grouting*) larutan *calcite precipitation* ke tanah yang bermasalah tersebut. Endapan CaCO_3 yang dihasilkan dari larutan *calcite precipitation* akan mengisi ruang pori tanah dan meningkatkan nilai kohesi serta sudut gesek sehingga daya dukung tanahnya meningkat.

5.2 Saran

Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut tentang mekanisme bagaimana etanol dapat mengurangi kadar organik sehingga dapat diidentifikasi proses kimia yang terlibat dalam mengubah struktur kimia dan komposisi mineral karbonat terutama bagaimana menghasilkan lebih banyak kalsit dibandingkan vaterit dan aragonit.

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.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Aal N, Satoh K, Sawada K. 2002. Study of the adhesion mechanism of CaCO_3 using a combined bulk chemistry/QCM technique. *J Cryst Growth*. 245(1-2):87-100.
- Addadi L, Raz S, Weiner S. 2003. Taking advantage of disorder: amorphous calcium carbonate and its roles in biomineralization. *Advanced Materials*. 15(12):959-970.
- Afifah F, Cahyaningrum SE. 2020. Sintesis dan karakterisasi hidroksiapatit dari tulang sapi (Bos Taurus) menggunakan teknik kalsinasi synthesis and characterization of hydroxyapatite from cow bones (Bos Taurus) using calcination techniques. *UNESA Journal of Chemistry*. 9(3):189-196.
- Almajed A, Lemboye K, Arab MG, Alnuaim A. 2020. Mitigating wind erosion of sand using biopolymer-assisted EICP technique. *Soils and Foundations*. 60(2):356-371.
- Alotaibi E, Arab MG, Abdallah M, Nassif N, Omar M. 2022. Life cycle assessment of biocemented sands using enzyme induced carbonate precipitation (EICP) for soil stabilization applications. *Sci Rep*. 12(1):6032.
- Anggara RZ, Amran Y, Surandono A. 2021. Peningkatan daya dukung tanah lempung pada perkerasan jalan tanah menggunakan difa soil stabilizer dan abu sekam padi. *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*. 10(2):139-147.
- Apriliani NF. 2016. Studi literatur PCC (precipitated calcium carbonate) untuk aplikasi bidang teknik. *Jurnal Teknika*. 8(1):4-Halaman.
- Arab MG, Alsodi R, Almajed A, Yasuhara H, Zeiada W, Shahin MA. 2021. State-of-the-art review of enzyme-induced calcite precipitation (EICP) for ground improvement: Applications and prospects. *Geosciences (Basel)*. 11(12):492.
- Arbianto R. 2022. Pengaruh stabilisasi tanah menggunakan fly ash terhadap parameter kuat geser. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*. 2(2).
- Azizah M, Humairoh M. 2015. Analisis Kadar Amonia (NH_3) Dalam Air Di Sungai Cileungsi. *Jurnal Nusa Sylva*. 15(1):47-54.
- Baiq HS, Yasuhara H, Kinoshita N, Putra H, Johan E. 2020. Examination of calcite precipitation using plant-derived urease enzyme for soil improvement. *GEOMATE Journal*. 19(72):231-237.
- Beck R, Andreassen J-P. 2010. The onset of spherulitic growth in crystallization of calcium carbonate. *J Cryst Growth*. 312(15):2226-2238.
- Carmona JPSF, Oliveira PJV, Lemos L JL. 2016. Biostabilization of a sandy soil using enzymatic calcium carbonate precipitation. *Procedia Eng*. 143:1301-1308.
- Cuccurullo A, Gallipoli D, Bruno AW, Augarde C, Hughes P, La Borderie C. 2022. Earth stabilisation via carbonate precipitation by plant-derived urease for building applications. *Geomechanics for Energy and the Environment*. 30:100230.
- Cygan R, Wright K, Fisler D, gale julian, Slater B. 2002. Atomistic models of carbonate minerals: Bulk and surface structures, defects, and diffusion. *Mol Simul*. 28:475. doi:10.1080/08927020290030099.

- Decho AW. 2010. Overview of biopolymer-induced mineralization: what goes on in biofilms? *Ecol Eng.* 36(2):137–144.
- DeJong JT, Fritzsche MB, Nüsslein K. 2006. Microbially induced cementation to control sand response to undrained shear. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering.* 132(11):1381–1392.
- Dilrukshi RAN, Watanabe J, Kawasaki S. 2016. Strengthening of sand cemented with calcium phosphate compounds using plant-derived urease. *GEOMATE Journal.* 11(25):2461–2467.
- Fondjo AA, Theron E, Ray RP. 2021. Stabilization of expansive soils using mechanical and chemical methods: a comprehensive review. *Civ Eng Archit.* 9(5):1295–1308.
- Forster A. 2003. WALTHAM, T. 2002. Foundations of Engineering Geology, vi+92 pp. London, New York: Spon Press. Price£ 45.00 (hard covers). ISBN 0 415 25449 3. *Geol Mag.* 140(2):232.
- Fu H, Mo W, Shen X, Li B. 2020. Impact of centrifugation treatment on enzymatic hydrolysis of cellulose and xylan in poplar fibers with high lignin content. *Bioresour Technol.* 316:123866.
- Gabrielli C, Jaouhari R, Maurin G, Keddam M. 2001. Magnetic water treatment for scale prevention. *Water Res.* 35(13):3249–3259.
- Gao Y, He J, Tang X, Chu J. 2019. Calcium carbonate precipitation catalyzed by soybean urease as an improvement method for fine-grained soil. *Soils and Foundations.* 59(5):1631–1637.
- Guo H, Qin Z, Qian P, Yu P, Cui S, Wang W. 2011. Crystallization of aragonite CaCO₃ with complex structures. *Advanced Powder Technology.* 22(6):777–783.
- Hariharan M, Varghese N, Cherian AB, Sreenivasan P V, Paul J, Antony AKA. 2014. Synthesis and characterisation of CaCO₃ (Calcite) nano particles from cockle shells using chitosan as precursor. *International Journal of Scientific and Research Publications.* 4(10):1–5.
- He J, Gao Y, Gu Z, Chu J, Wang L. 2020. Characterization of crude bacterial urease for CaCO₃ precipitation and cementation of silty sand. *Journal of Materials in Civil Engineering.* 32(5):04020071.
- Hoang T, Alleman J, Cetin B, Ikuma K, Choi S-G. 2019. Sand and silty-sand soil stabilization using bacterial enzyme-induced calcite precipitation (BEICP). *Canadian Geotechnical Journal.* 56(6):808–822.
- Ivanov V, Chu J. 2008. Applications of microorganisms to geotechnical engineering for bioclogging and biocementation of soil in situ. *Rev Environ Sci Biotechnol.* 7:139–153.
- Jackson KA. 2004. Kinetic Processes (Crystal Growth, Diffusion and Phase Transitions In Materials), Wiley.
- Javadi N, Khodadadi H, Hamdan N, Kavazanjian Jr E. 2018. EICP treatment of soil by using urease enzyme extracted from watermelon seeds. Di dalam: *IFCEE 2018.* hlm 115–124.
- Kristianingrum S. 2012. Kajian berbagai proses destruksi sampel dan efeknya. Di dalam: *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.* Volume ke-2.
- Kuswanda WP. 2015. Problematika pembangunan infrastruktur pada tanah lempung lunak dan alternatif metoda penanganannya. *INFO-TEKNIK.*, siap terbit.

- Lai H-J, Cui M-J, Wu S-F, Yang Y, Chu J. 2023. Extraction of crude soybean urease using ethanol and its effect on soil cementation. *Soils and Foundations*. 63(3):101300.
- Lee S, Kim J. 2020. An experimental study on enzymatic-induced carbonate precipitation using yellow soybeans for soil stabilization. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 24(7):2026–2037.
- Liu K-W, Jiang N-J, Qin J-D, Wang Y-J, Tang C-S, Han X-L. 2021. An experimental study of mitigating coastal sand dune erosion by microbial-and enzymatic-induced carbonate precipitation. *Acta Geotech*. 16:467–480.
- Loebis AR, Putra H. 2022. Efektivitas metode calcite precipitation dengan biocatalyst bubuk kedelai sebagai metode biogrouting untuk mencegah likuifaksi tanah pasir. *TERAS JURNAL: Jurnal Teknik Sipil*. 12(1):23–34.
- Maciejewski M, Oswald H-R, Reller A. 1994. Thermal transformations of vaterite and calcite. *Thermochim Acta*. 234:315–328.
- Mubarrak R, Putra H. 2023. *Perkuatan Parameter Kuat Geser Tailing dengan Metode Soybean Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP)*.
- Muchlisin T. 2019. Analisis stabilitas timbunan dengan geotextile woven. *Jurnal Konstruksi*. 17(1):9–17.
- Mulyaningsih S. 2018. *Kristalografi & Mineralogi*. Yogyakarta: Akpind Press.
- Muttaqien A, Martono DN, Gusdini N. 2023. Analisis Daur Hidup Produksi Beton Fly Ash sebagai Upaya Mengurangi Dampak Emisi CO₂. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 21(1):68–75.
- Nagel RH, Becker HC, Milner RT. 1938. The solubility of some constituents of soybean meal in alcohol-water solutions. *Cereal Chem*. 15:766.
- Nam I-H, Chon C-M, Jung K-Y, Choi S-G, Choi H, Park S-S. 2015. Calcite precipitation by ureolytic plant (*Canavalia ensiformis*) extracts as effective biomaterials. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 19:1620–1625.
- Nan Z, Shi Z, Yan B, Guo R, Hou W. 2008. A novel morphology of aragonite and an abnormal polymorph transformation from calcite to aragonite with PAM and CTAB as additives. *J Colloid Interface Sci*. 317(1):77–82.
- Nemati M, Voordouw G. 2003. Modification of porous media permeability, using calcium carbonate produced enzymatically in situ. *Enzyme Microb Technol*. 33(5):635–642.
- Neupane D, Yasuhara H, Kinoshita N, Ando Y. 2015. Distribution of mineralized carbonate and its quantification method in enzyme mediated calcite precipitation technique. *Soils and Foundations*. 55(2):447–457.
- Ogino T, Suzuki T, Sawada K. 1987. The formation and transformation mechanism of calcium carbonate in water. *Geochim Cosmochim Acta*. 51(10):2757–2767.
- Panjaitan NH. 2017. Pengaruh Kapur Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung. *Jurnal Education Building*. 3(2):1–7.
- Park S-S, Choi S-G, Nam I-H. 2014. Effect of plant-induced calcite precipitation on the strength of sand. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 26(8):06014017.
- Peng Y, Kersten N, Kyriakopoulou K, van der Goot AJ. 2020. Functional properties of mildly fractionated soy protein as influenced by the processing pH. *J Food Eng*. 275:109875.
- Perić J, Vučak M, Krstulović R, Brečević L, Kralj D. 1996. Phase transformation of calcium carbonate polymorphs. *Thermochim Acta*. 277:175–186.

- Pratama GBS, Yasuhara H, Kinoshita N, Putra H. 2021. Application of soybean powder as urease enzyme replacement on EICP method for soil improvement technique. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 622(1):012035. doi:10.1088/1755-1315/622/1/012035.
- Putra H, Erizal, Sutoyo, Simatupang M, Yanto DHY. 2021. Improvement of organic soil shear strength through calcite precipitation method using soybeans as bio-catalyst. *Crystals (Basel)*. 11(9):1044.
- Putra H, Yasuhara H, Erizal, Sutoyo, Fauzan M. 2020. Review of enzyme-induced calcite precipitation as a ground-improvement technique. *Infrastructures (Basel)*. 5(8):66.
- Putra H, Yasuhara H, Kinoshita N, Hirata A. 2017. Optimization of enzyme-mediated calcite precipitation as a soil-improvement technique: The effect of aragonite and gypsum on the mechanical properties of treated sand. *Crystals (Basel)*. 7(2):59.
- Renjith R, Robert DJ, Gunasekara C, Setunge S, O'Donnell B. 2020. Optimization of enzyme-based soil stabilization. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 32(5):04020091.
- Robinson PK. 2015. Enzymes: principles and biotechnological applications. *Essays Biochem.* 59:1.
- Ropp RC. 2012. *Encyclopedia of the alkaline earth compounds*. Newnes.
- Saif A, Cuccurullo A, Gallipoli D, Perlot C, Bruno AW. 2022. Advances in enzyme induced carbonate precipitation and application to soil improvement: A review. *Materials*. 15(3):950.
- Sand KK, Rodriguez-Blanco JD, Makovicky E, Benning LG, Stipp SLS. 2012. Crystallization of CaCO₃ in water-alcohol mixtures: spherulitic growth, polymorph stabilization, and morphology change. *Cryst Growth Des.* 12(2):842–853.
- Sari UC, Sholeh MN, Pratama M. 2021. Efektivitas metode calcite precipitation dengan biocatalyst bubuk kedelai sebagai metode biogrouting untuk mencegah likuifaksi tanah pasir. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*. 10(2):92–100.
- Shen Y, Xie A, Chen Z, Xu W, Yao H, Li S, Huang L, Wu Z, Kong X. 2007. Controlled synthesis of calcium carbonate nanocrystals with multi-morphologies in different bicontinuous microemulsions. *Materials Science and Engineering: A*. 443(1–2):95–100.
- Song JY, Sim Y, Jang J, Hong W-T, Yun TS. 2020. Near-surface soil stabilization by enzyme-induced carbonate precipitation for fugitive dust suppression. *Acta Geotech.* 15:1967–1980.
- Stocks-Fischer S, Galinat JK, Bang SS. 1999. Microbiological precipitation of CaCO₃. *Soil Biol Biochem.* 31(11):1563–1571.
- Wahyuningsih S, Gitarama Arbi Mei, Gitarama A M. 2020. Amonia pada sistem budidaya ikan. *Jurnal Ilmiah Indonesia*. 5(2):112–125.
- Wardhani S, Syakirah M, Darjito D, Purwonugroho D. 2021. Pengaruh temperatur sintesis precipitated calcium carbonate (PCC) dengan modifier terhadap ukuran dan jenis kristal. *Jurnal Integrasi Proses*. 10(1):1–6.
- Wardoyo S, Destiasari F, Wayhudin W, Hasibuan G, Sollu WP. 2019. Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia. *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.*, siap terbit.

- Whiffin VS. 2004. Microbial CaCO₃ precipitation for the production of biocement. Australia: Murdoch University.
- Wibawa A, Hisyam ES. 2015. Pengaruh penambahan limbah gypsum terhadap nilai kuat geser tanah lempung. Di dalam: *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*. Volume ke-3. hlm 65–71.
- Wu M, Hu X, Zhang Q, Zhao Y, Sun J, Cheng W, Fan Y, Zhu S, Lu W, Song C. 2020. Preparation and performance evaluation of environment-friendly biological dust suppressant. *J Clean Prod.* 273:123162.
- Yasuhara H, Hayashi K, Okamura M. 2011. Evolution in mechanical and hydraulic properties of calcite-cemented sand mediated by biocatalyst. Di dalam: *Geo-Frontiers 2011: Advances in Geotechnical Engineering*. hlm 3984–3992.
- Zhang N, Chen Y. 2013. Nanoscale plastic deformation mechanism in single crystal aragonite. *J Mater Sci.* 48:785–796. doi:10.1007/s10853-012-6796-1.
- Zimmer M. 2000. Molecular mechanics evaluation of the proposed mechanisms for the degradation of urea by urease. *J Biomol Struct Dyn.* 17(5):787–797.



RIWAYAT HIDUP



@Hak cipta milik IPB University

Penulis dilahirkan di kota Purbalingga pada tanggal 4 bulan September tahun 2002 sebagai anak pertama dari pasangan bapak Wuriyanto dan ibu Kusyati. Pendidikan sekolah menengah atas (SMA) ditempuh di SMAN 2 Purbalingga dan lulus pada tahun 2020. Pada tahun 2020, penulis diterima sebagai mahasiswa program sarjana (S-1) di Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian melalui jalur SBMPTN di IPB.

Selama mengikuti program S-1, penulis aktif menjadi Sekretaris Badan Pengurus Harian di Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan (HIMATESIL). Selain itu, penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Kimia Dasar PPKU, Pengetahuan Bahan Konstruksi, Mekanika Tanah, serta Teknik Geometri dan Perkerasan Jalan di Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan. Penulis melaksanakan kegiatan Praktik Lapangan (PL) di Proyek Pembangunan Jalur Layang Kereta Api Medan-Binjai Paket 1, dengan judul “Metode Pelaksanaan Pekerjaan *Pier* P6 (STA 1+600) Jalur Layang Kereta Api Medan-Binjai (JLKAMB)”. Penulis juga pernah melakukan magang melalui program MSIB Batch 6 di Perum Perumnas sebagai QC dan Supervisor. Penulis menyusun skripsi dengan judul “Peningkatan Kualitas Material Endapan dengan Penggunaan Etanol pada Metode SCU-CP sebagai Upaya Perbaikan Tanah” yang dibimbing oleh Dr. Eng. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng.

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.