

# Efektivitas Metode Calcite Precipitation Dengan Biocatalyst Bubuk Kedelai Sebagai Metode Biogrouting Untuk Mencegah Likuifaksi Tanah Pasir

Akbar Renaldi Loebis<sup>1)</sup>, Heriansyah Putra<sup>2)</sup>

<sup>1, 2)</sup> Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor  
Jalan Raya Dramaga, Babakan, Kota Bogor, Jawa Barat 16680

Email: [akbar\\_renaldi7@apps.ipb.ac.id](mailto:akbar_renaldi7@apps.ipb.ac.id)<sup>1)</sup>, [heriansyahptr@apps.ipb.ac.id](mailto:heriansyahptr@apps.ipb.ac.id)<sup>2)</sup>

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v12i1.595>

(Received: July 2021 / Revised: December 2021 / Accepted: January 2022)

## Abstrak

Likuifaksi merupakan fenomena perubahan konsistensi tanah dari keadaan padat menjadi keadaan cair akibat gempa bumi. Metode *calcite precipitation* merupakan salah satu metode inovatif untuk mitigasi likuifaksi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas metode *calcite precipitation* dengan *biocatalyst* bubuk kedelai sebagai metode *biogrouting* pada tanah terlikuifaksi. Penelitian ini menggunakan sampel tanah berpotensi likuifaksi dengan variasi gradasi. Pengujian pengendapan kalsit diperlukan untuk menentukan komposisi optimum larutan *calcite precipitation*. Evaluasi efektivitas pada tanah dilakukan dengan pengujian distribusi kalsit dan penentuan nilai kekuatan tanah berdasarkan kurva hubungan antara kadar kalsit dan nilai UCS. Hasil pengujian pengendapan kalsit didapatkan konsentrasi bubuk kedelai 15 g/L sebagai komposisi optimum larutan *calcite precipitation*. Nilai kadar kalsit maksimum yang terbentuk di sampel pasir halus, sedang, dan kasar berturut-turut sebesar 4,96; 6,12; dan 1,32 % sehingga mampu menghasilkan nilai prediksi UCS sebesar 132, 172, dan 59 kPa. Hasil penelitian ini didapatkan metode *calcite precipitation* dengan *biocatalyst* bubuk kedelai terbukti efektif diaplikasikan pada sampel pasir untuk meningkatkan kekuatan tanah sehingga mampu mencegah terjadinya peristiwa likuifaksi.

Kata kunci: *bubuk kedelai, gradasi tanah, kalsit, likuifaksi*

## Abstract

Liquefaction was a phenomenon of change in soil consistency from a solid state to a liquid state due to the earthquake. Calcite precipitation method may be one of the innovative methods for liquefaction mitigation. The purpose of this research was to evaluate the effectiveness of the calcite precipitation method with soybean powder biocatalyst as a biogrouting method in liquefied soil. This research used potentially liquefied soil samples with various gradations. A precipitation test was needed to determine the optimum composition of the calcite precipitation solution. Evaluation of the effectiveness on soil was carried out by calcite distribution test and determining the value of soil strength based on the correlation curve between calcite contents and UCS values. The result of the precipitation test showed that 15 g/L soybean powder concentration was the optimum composition of the calcite precipitation solution. Maximum calcite content values had formed in fine, medium, and coarse sand sample was 4,96; 6,12; and 1,32 % so that able to produced UCS prediction values of 132, 172, and, 59 kPa. The results of this research show that calcite precipitation method with soybean powder biocatalyst proved to be effective on sand samples to improved the strength of the soils so can prevented liquefaction.

Keywords: *calcite, liquefaction, soil gradation, soybean powder*

## 1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang terletak pada jalur cincin api pasifik sehingga Indonesia sering kali mengalami bencana gempa bumi, salah satu masalah lanjutan akibat gempa bumi yang dihadapi Indonesia yaitu peristiwa likuifaksi (Sausan et al., 2017). Peristiwa likuifaksi sudah pernah terjadi di Indonesia sebelumnya yaitu di Kota Palu pada tahun 2018. Peristiwa tersebut mengakibatkan korban jiwa yang cukup besar bagi masyarakat Kota Palu sehingga perlu dilakukan penanggulangan lebih lanjut untuk mencegah kembali terjadinya peristiwa likuifaksi (Mangunparaja and Prihatiningsih, 2019). Peristiwa tersebut dapat ditanggulangi secara bersama-sama dengan mitigasi bencana yaitu dengan teknik perbaikan tanah salah satunya yaitu metode *calcite precipitation* (Putra et al., 2020b). Metode *calcite precipitation* merupakan teknik perbaikan tanah dengan enzim urease sebagai *biocatalyst* yang digunakan untuk menghidrolisis urea menjadi ion ammonium dan ion karbonat sehingga dengan adanya ion kalsium maka terjadi pencampuran antara ion karbonat dan ion kalsium membentuk kalsium karbonat atau kalsit (Putra et al., 2017a). Metode ini diinjeksikan ke tanah berpotensi likuifaksi sehingga akan terbentuk kalsit untuk meningkatkan kekuatan tanah (Putra et al., 2020b). Evaluasi peningkatan kekuatan tanah dengan uji *Unconfined Compression Strength* (UCS) didapatkan rentang nilai sebesar 0,2-1,6 MPa (Putra et al., 2020a).

Metode *calcite precipitation* memiliki berbagai macam keuntungan salah satunya yaitu mampu meningkatkan kekuatan tanah. Namun, enzim urease memiliki harga yang tinggi yaitu sekitar 90% dari total pengeluaran yang dikeluarkan (Zulfikar et al., 2021), oleh karena itu, diperlukan alternatif bahan lain sebagai pengganti enzim urease tanpa mengurangi efektivitas metode tersebut. Bahan alternatif yang dapat digunakan yaitu pada jenis tanaman tingkat tinggi salah satunya yaitu kacang kedelai (Dilrukshi et al., 2018). Penelitian sebelumnya telah dilakukan penggantian enzim urease dengan bubuk kedelai sebagai *biocatalyst* pada metode *calcite precipitation* (Baiq et al., 2020; Gao et al., 2019; Lee and Kim, 2020; Pratama et al., 2021). Evaluasi peningkatan kekuatan tanah dengan uji UCS didapatkan rentang nilai sebesar 65-870 kPa (Lee and Kim, 2020; Pratama et al., 2021). Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa bubuk kedelai berpotensi sebagai bahan pengganti enzim urease sebagai *biocatalyst* pada metode *calcite precipitation*.

Penggunaan bubuk kedelai sebagai *biocatalyst* pada penelitian sebelumnya, diekstrak dengan menggunakan teknik sentrifugasi untuk memisahkan endapan bubuk kedelai tidak terlarut dengan supernatan (Baiq et al., 2020; Gao et al., 2019; Lee and Kim, 2020; Pratama et al., 2021). Teknik tersebut terbukti cukup baik menghasilkan larutan bubuk kedelai murni untuk digunakan sebagai *biocatalyst* pada metode *calcite precipitation*. Namun, teknik sentrifugasi membutuhkan waktu proses yang lama sehingga teknik ini tidak cukup efisien digunakan dari segi waktu. Salah satu teknik yang belum pernah digunakan untuk mengekstrak bubuk kedelai pada metode *calcite precipitation* yaitu teknik saring. Penggunaan teknik saring cukup familier untuk memurnikan larutan enzim urease untuk digunakan sebagai *biocatalyst* pada metode *calcite precipitation* (Putra et al., 2020a), hal ini dikarenakan teknik ini membutuhkan waktu proses yang tidak lama dan mampu

menghasilkan larutan enzim urease murni sehingga dari segi waktu teknik ini cukup efisien digunakan. Oleh karena itu, penelitian kali ini digunakan teknik saring untuk mengekstrak bubuk kedelai sebagai pengganti enzim urease sebagai *biocatalyst* pada metode *calcite precipitation*. Pengujian pengendapan kalsit diperlukan untuk mengevaluasi pengaruh dan efektivitas penggunaan bubuk kedelai dengan teknik saring sebagai pengganti enzim urease sebagai *biocatalyst* pada metode *calcite precipitation* dan didapatkan komposisi optimum larutan *calcite precipitation* untuk diaplikasikan ke dalam sampel tanah.

Tanah berpotensi likuifaksi mempunyai *properties* yang berbeda-beda salah satunya yaitu gradasi tanah. Perbedaan gradasi tanah berpengaruh terhadap perbedaan sifat fisik dan mekanik tanah (Yang et al., 2020). Agar metode ini dapat diterapkan di lapangan sebagai metode *biogrouting* pada tanah terlikuifaksi maka diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai efektivitasnya pada tanah yaitu dengan variasi gradasi. Penelitian ini menggunakan tanah dengan variasi gradasi dalam batas gradasi tanah berpotensi likuifaksi menurut Tsuchida, (1970).

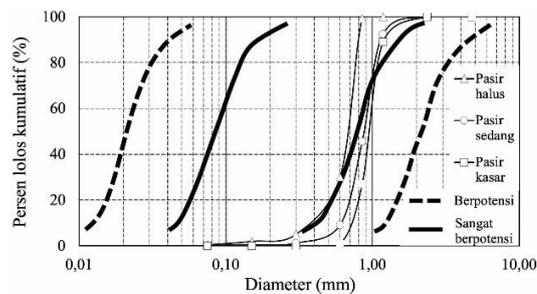
Neupane et al., (2015) menyatakan bahwa terdapat tiga parameter penting agar metode *calcite precipitation* dapat diterapkan di lapangan yaitu jumlah kalsit yang terbentuk di dalam tanah, keseragaman distribusi kalsit yang terbentuk di dalam tanah, dan peningkatan kekuatan tanah. Oleh karena itu, evaluasi efektivitas pada tanah dilakukan dengan pengujian distribusi kalsit dan penentuan nilai kekuatan tanah berdasarkan kurva hubungan antara kadar kalsit dan nilai UCS (Putra et al., 2020a). Efektivitas dari metode ini dapat dicapai apabila sampel tanah mempunyai keseragaman distribusi kalsit yang terbentuk di dalam tanah dan peningkatan nilai kekuatan tanah lebih dari 50 kPa (Kawasaki and Akiyama, 2013). Variasi *curing time* larutan *calcite precipitation* di dalam sampel tanah diperlukan untuk melihat pengaruhnya terhadap efektivitas metode *calcite precipitation* pada tanah. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengevaluasi pengaruh dan efektivitas penggunaan bubuk kedelai dengan teknik saring sebagai pengganti enzim urease sebagai *biocatalyst* metode *calcite precipitation* sebagai metode *biogrouting* pada tanah terlikuifaksi. Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu mengembangkan metode *calcite precipitation* dengan *biocatalyst* bubuk kedelai sebagai metode *biogrouting* pada tanah terlikuifaksi.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Material

Bahan yang digunakan untuk membuat larutan *calcite precipitation* pada penelitian ini antara lain yaitu urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ), kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2$ ), dan bubuk kedelai dengan tingkat kemurnian sebesar 95%. Urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) dan kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2$ ) diperoleh dari Ajax Finechem Pty Ltd sedangkan bubuk kedelai diperoleh dari Gasol Pertanian Organik. Sampel tanah yang digunakan pada penelitian ini yaitu pasir berpotensi likuifaksi yang divariasikan berdasarkan gradasi yaitu dengan cara dipisahkan menggunakan saringan agregat nomor 30 sehingga dihasilkan variasi pasir yaitu pasir halus, pasir sedang, dan pasir kasar. Pasir halus merupakan pasir berpotensi likuifaksi yang lolos saringan agregat nomor 30, pasir sedang merupakan pasir berpotensi likuifaksi sebelum divariasikan gradasinya, dan pasir kasar merupakan pasir berpotensi likuifaksi yang tertahan

saringan agregat nomor 30. Berdasarkan sistem klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS) variasi pasir termasuk pasir bergradasi buruk (SP) (ASTM, 2006). Dapat dilihat pada Gambar 1, berdasarkan kurva gradasi tanah menurut Tsuchida, (1970) pasir halus mempunyai potensi paling besar terjadi peristiwa likuifaksi dibandingkan pasir lainnya sedangkan pasir kasar mempunyai potensi paling kecil terjadi peristiwa likuifaksi dibandingkan pasir lainnya dan pasir sedang berada di antara pasir halus dan pasir kasar.



Gambar 1 Kurva distribusi ukuran butiran variasi pasir

Nilai *properties* variasi pasir halus, pasir sedang dan pasir kasar seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai *properties* variasi pasir

Keterangan	D <sub>10</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	e <sub>max</sub>	e <sub>min</sub>	C <sub>u</sub>	G <sub>s</sub>	ρ <sub>dmax</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>dmin</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
Pasir halus	0,40	0,60	0,82	0,57	1,75	2,63	1,67	1,45
Pasir sedang	0,60	0,89	0,83	0,59	1,53	2,64	1,66	1,44
Pasir kasar	0,75	0,95	0,85	0,60	1,33	2,65	1,65	1,43

## 2.2 Pengujian Pengendapan Kalsit

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh dan efektivitas penggunaan bubuk kedelai dengan teknik saring sebagai pengganti enzim urease sebagai *biocatalyst* pada metode *calcite precipitation*. Pengujian ini juga dilakukan untuk menentukan nilai rasio pengendapan sebagai perbandingan massa kalsit yang terbentuk dengan massa kalsit teoritis.

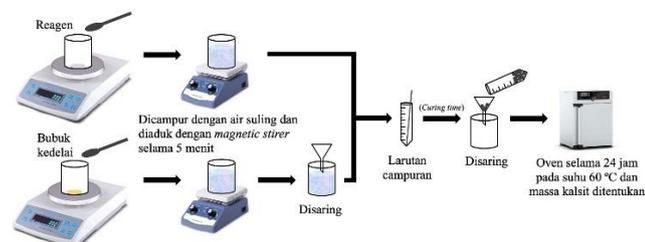
Tabel 2 Variasi komposisi larutan *calcite precipitation* dalam pengujian pengendapan kalsit

No. Sampel	Bubuk Kedelai (g/L)	CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O (mol/L)	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (mol/L)
A	5	1	1
B	10	1	1
C	15	1	1
D	20	1	1

Nilai rasio pengendapan dijadikan bahan pertimbangan untuk menentukan komposisi optimum larutan *calcite precipitation* untuk diaplikasikan ke dalam sampel tanah. Larutan *calcite precipitation* divariasikan komposisinya berdasarkan

konsentrasi bubuk kedelai dan konsentrasi *reagent* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Pengujian pengendapan kalsit dilakukan dengan prosedur mengacu menurut Putra et al., (2016). Langkah pertama, air distilasi dicampur dengan bubuk kedelai dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 5 menit, selanjutnya disaring dengan menggunakan saringan agregat nomor 200 (diameter 0,075  $\mu\text{m}$ ) dan diambil larutan bubuk kedelai dari hasil penyaringan tersebut. Kemudian, air distilasi dicampur dengan *reagent* dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 5 menit. Langkah berikutnya, larutan bubuk kedelai dan larutan *reagent* dicampur ke dalam tabung reaksi pengendapan dengan volume total sebesar 30 mL dan dibiarkan pada suhu ruang selama 7 hari. Kemudian, larutan disaring dengan menggunakan kertas saring nomor 41 (diameter 20-25  $\mu\text{m}$ ) dan massa kalsit yang terbentuk dapat ditentukan setelah dikeringkan menggunakan oven selama 24 jam pada suhu 60 °C. Prosedur pengujian pengendapan kalsit seperti diperlihatkan pada Gambar 2.

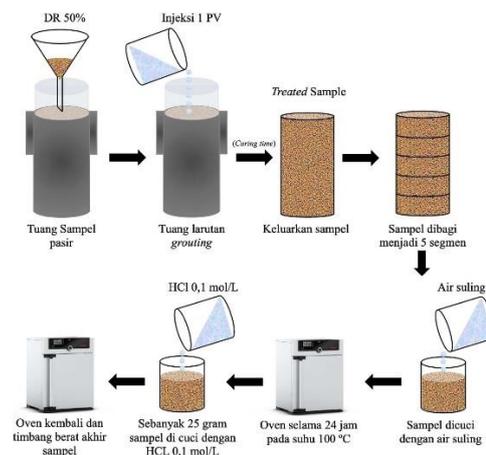


Gambar 2 Prosedur pengujian pengendapan kalsit

### 2.3 Pengujian Distribusi Kalsit

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar dan persebaran kalsit yang terbentuk pada variasi pasir sehingga evaluasi efektivitas metode *calcite precipitation* dengan *biocatalyst* bubuk kedelai sebagai metode *biogrouting* pada tanah terlikuifaksi dapat dilakukan. Pengujian ini mengacu menurut Putra et al., (2016), dengan persentase *error* sebesar 1,8%. Langkah pertama, pasir dimasukkan ke dalam *mold sample* dengan diameter 5 cm dan tinggi 10 cm. Pasir dimasukkan dengan cara dituangkan menggunakan corong pada ketinggian tertentu, agar didapatkan kepadatan relatif (DR) sebesar 50%. Kemudian, larutan *calcite precipitation* diinjeksi dengan volume tertentu yang dikontrol dengan jumlah *pore volume* (PV) dan dibiarkan selama 14 dan 28 hari untuk *curing time*.

Langkah berikutnya, sampel pasir dikeluarkan dari *mold sample* dan dibagi menjadi 5 segmen. Masing-masing segmen dicuci dengan air suling untuk memisahkan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  yang terbentuk. Kemudian, dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 100 °C selama 24 jam. Selanjutnya masing-masing segmen yang telah dikeringkan, diambil sebanyak 25 gram untuk dicuci kembali dengan menggunakan 0,1 mol/L larutan HCl secara berulang-ulang hingga tidak ada lagi gelembung. Kemudian, dikeringkan kembali dan berat kering pasir yang hilang ditentukan dan diasumsikan sebagai berat kalsit yang terbentuk di dalam tanah (Putra et al., 2016). Prosedur pengujian distribusi kalsit seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Prosedur pengujian distribusi kalsit

### 3. Hasil dan Pembahasan

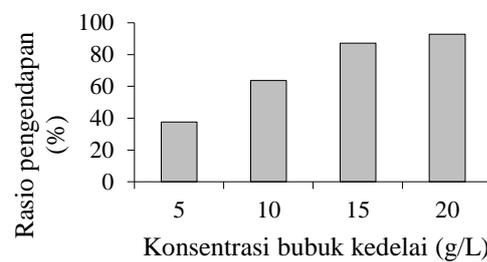
#### 3.1 Evaluasi Pengendapan Kalsit

Hasil pengujian pengendapan kalsit menunjukkan peningkatan nilai rasio pengendapan seiring dengan penambahan konsentrasi bubuk kedelai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai rasio pengendapan terkecil diperoleh dengan menggunakan konsentrasi bubuk kedelai 5 g/L yaitu sebesar 38% sedangkan nilai rasio pengendapan terbesar diperoleh dengan menggunakan konsentrasi bubuk kedelai 20 g/L yaitu sebesar 93%. Dapat dilihat bahwa penambahan konsentrasi bubuk kedelai dari 5 g/L menjadi 20 g/L menunjukkan peningkatan nilai rasio pengendapan sebesar 146%. Peningkatan ini tidak hanya merepresentasikan peningkatan jumlah kalsit yang terbentuk tetapi juga peningkatan kandungan kedelai tidak terlarut. Kandungan kedelai tidak terlarut dapat memberikan efek pada aplikasi di tanah yaitu terbentuk sedimen di permukaan tanah yang dapat mempengaruhi permease larutan *calcite precipitation* di tanah, oleh karena itu diperlukan pengujian *X-Ray Diffraction (XRD)* untuk melihat komposisi dari kristal hasil pengendapan kalsit. Hasil ini membuktikan bahwa penggunaan bubuk kedelai dengan teknik saring terbukti mampu menghasilkan kalsit sehingga dapat diaplikasikan sebagai pengganti enzim urease sebagai *biocatalyst* pada metode *calcite precipitation*.

Komposisi optimum larutan *calcite precipitation* ditentukan berdasarkan nilai rasio pengendapan diperlihatkan pada Gambar 4, peningkatan konsentrasi bubuk kedelai dari 5 g/L menjadi 10 g/L menunjukkan peningkatan rasio pengendapan terbesar yaitu sebesar 69%. Namun, penggunaan konsentrasi bubuk kedelai tersebut menunjukkan nilai rasio pengendapan yang relatif kecil yaitu sebesar 37-65% sehingga konsentrasi bubuk kedelai 5 dan 10 g/L tidak digunakan pada penelitian ini. Nilai rasio pengendapan terbesar diperoleh dengan menggunakan konsentrasi bubuk kedelai 20 g/L yaitu sebesar 93%. Namun, peningkatan konsentrasi bubuk kedelai dari 15 g/L menjadi 20 g/L menunjukkan peningkatan nilai rasio pengendapan terkecil yaitu sebesar 6% sehingga konsentrasi bubuk kedelai 20 g/L tidak digunakan pada penelitian ini. Berbeda dengan peningkatan konsentrasi bubuk kedelai dari 10 g/L menjadi 15 g/L menunjukkan peningkatan nilai rasio

pengendapan yang relatif besar yaitu sebesar 37%. Konsentrasi bubuk kedelai 15 g/L menunjukkan nilai rasio pengendapan yang relatif besar yaitu sebesar 88% sehingga konsentrasi bubuk kedelai 15 g/L merupakan komposisi optimum larutan *calcite precipitation*.

Menurut Putra et al., (2021), nilai rasio pengendapan mengalami peningkatan secara signifikan ketika konsentrasi bubuk kedelai ditingkatkan dari 5 g/L menjadi 20 g/L dengan menggunakan konsentrasi *reagent* sebesar 1 mol/L. Kemudian, nilai rasio pengendapan mencapai kondisi stabil bahkan ketika konsentrasi bubuk kedelai terus ditingkatkan. Hal ini dikarenakan, peningkatan konsentrasi bubuk kedelai berperan penting untuk meningkatkan laju hidrolisis larutan sehingga mampu meningkatkan massa kalsit. Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi bubuk kedelai merupakan parameter penting dalam metode ini.

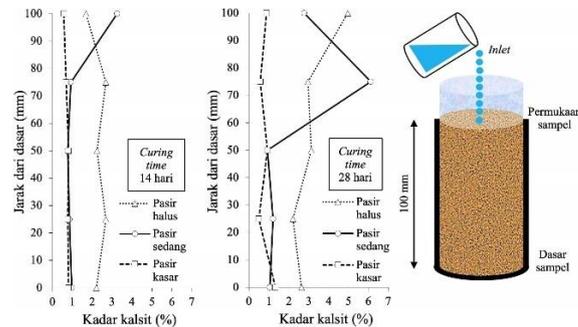


Gambar 4 Hasil pengujian pengendapan kalsit

### 3.2 Evaluasi Distribusi Kalsit

Keseragaman distribusi kalsit yang terbentuk di dalam tanah merupakan parameter penting, agar metode *calcite precipitation* dengan *biocatalyst* bubuk kedelai dengan teknik saring dapat diaplikasikan di lapangan sebagai metode *biogrouting* pada tanah terlikuifaksi (Yang et al., 2020). Nilai standar deviasi distribusi kalsit digunakan untuk mengevaluasi keseragaman distribusi kalsit yang terbentuk di dalam tanah, semakin kecil nilai standar deviasi distribusi kalsit, maka semakin seragam persebaran kalsit yang terbentuk di dalam tanah. Hasil pengujian distribusi kalsit diperlihatkan pada Gambar 5. Nilai kadar kalsit merupakan rasio massa kalsit yang terbentuk di dalam tanah terhadap massa tanah (Putra et al., 2017b). Hasil pengujian distribusi kalsit variasi pasir menunjukkan kadar dan persebaran kalsit yang berbeda-beda. Nilai standar deviasi distribusi kalsit sampel pasir halus, sampel pasir sedang, dan sampel pasir kasar untuk *curing time* larutan *calcite precipitation* selama 14 hari berturut-turut sebesar 0,41; 1,06; dan 0,10. Nilai ini menunjukkan bahwa sampel pasir kasar mempunyai distribusi kalsit paling seragam dibandingkan sampel pasir lainnya sedangkan sampel pasir sedang mempunyai distribusi kalsit paling tidak seragam dibandingkan sampel pasir lainnya. Nilai standar deviasi distribusi kalsit sampel pasir halus, sampel pasir sedang, dan sampel pasir kasar untuk *curing time* larutan *calcite precipitation* selama 28 hari berturut-turut sebesar 1,06; 2,20; dan 0,33. Dapat dilihat bahwa dari segi perbandingan sampel pasir, tidak ada perbedaan dibandingkan dengan hasil sebelumnya dan terdapat peningkatan nilai standar deviasi distribusi kalsit untuk seluruh sampel pasir dibandingkan hasil sebelumnya. Hasil ini menunjukkan bahwa

distribusi kalsit yang terbentuk di dalam tanah dipengaruhi oleh karakteristik tanah dan penambahan *curing time* larutan *calcite precipitation* pada tanah tidak mampu meningkatkan keseragaman distribusi kalsit di dalam tanah.



Gambar 5 Hasil pengujian distribusi kalsit

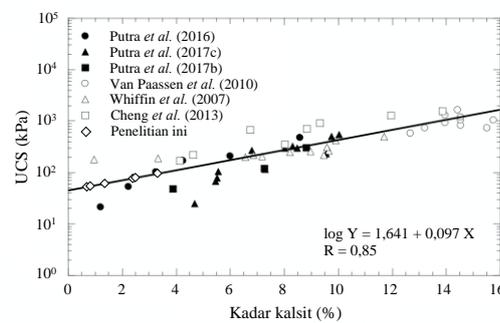
Nilai kadar kalsit variasi pasir menunjukkan nilai yang berbeda-beda. Nilai ini didapatkan dengan cara dirata-ratakan distribusi kalsit masing-masing sampel pasir dari hasil pengujian distribusi kalsit. Nilai kadar kalsit sampel pasir halus, sampel pasir sedang, dan sampel pasir kasar untuk *curing time* larutan *calcite precipitation* selama 14 hari berturut-turut sebesar 2,30; 1,34; dan 0,72%. Dapat dilihat bahwa sampel pasir halus mempunyai nilai kadar kalsit terbesar dibandingkan sampel pasir lainnya sedangkan sampel pasir kasar mempunyai nilai kadar kalsit terkecil dibandingkan sampel pasir lainnya. Nilai kadar kalsit sampel pasir halus, sampel pasir sedang, dan sampel pasir kasar untuk *curing time* larutan *calcite precipitation* selama 28 hari berturut-turut sebesar 3,18; 2,41; dan 0,81%. Dapat dilihat bahwa dari segi perbandingan sampel pasir tidak ada perbedaan dibandingkan dengan hasil sebelumnya. Namun, terhadap peningkatan nilai kadar kalsit untuk sampel pasir halus, sampel pasir sedang, dan sampel pasir kasar berturut-turut sebesar 38, 80, dan 13% dibandingkan dengan hasil sebelumnya sehingga penambahan *curing time* larutan *calcite precipitation* di dalam tanah mampu meningkatkan nilai kadar kalsit yang terbentuk di dalam tanah.

Hasil pengujian distribusi kalsit variasi pasir menunjukkan metode *calcite precipitation* dengan *biocatalyst* bubuk kedelai dengan teknik saring terbukti efektif diaplikasikan pada sampel pasir halus dibandingkan sampel pasir lainnya dari parameter kadar dan distribusi kalsit. Hal ini dikarenakan sampel pasir halus mempunyai nilai kadar kalsit paling besar dibandingkan dengan sampel pasir lainnya dan distribusi kalsit yang terbentuk di dalam sampel pasir halus mendekati distribusi kalsit yang terbentuk di dalam sampel pasir kasar. Sampel pasir kasar mempunyai distribusi kalsit paling seragam dibandingkan sampel pasir lainnya. Namun, nilai kadar kalsit yang terbentuk di dalam sampel pasir kasar mempunyai nilai paling kecil dibandingkan dengan sampel pasir lainnya sehingga dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan kadar kalsit yang terbentuk di dalam sampel pasir kasar. Nilai kadar kalsit sampel pasir sedang mendekati nilai kadar kalsit sampel pasir halus, namun distribusi kalsit yang terbentuk di dalam sampel pasir sedang paling tidak seragam dibandingkan sampel pasir lainnya sehingga

diperlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan keseragaman distribusi kalsit yang terbentuk di dalam sampel pasir sedang.

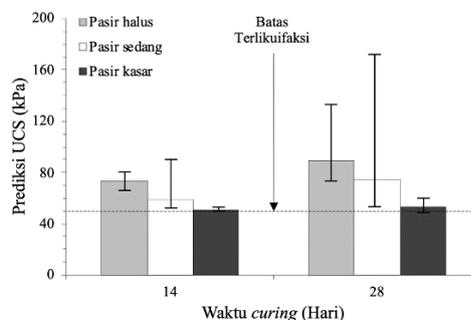
### 3.3 Evaluasi Kekuatan Tanah

Peningkatan kekuatan tanah merupakan salah satu parameter penting agar metode *calcite precipitation* dapat diaplikasikan di lapangan (Neupane et al., 2015). Menurut Kawasaki and Akiyama, (2013), peningkatan kekuatan tanah dengan uji UCS sebesar 50-100 kPa, mampu menahan peristiwa likuifaksi saat terjadi gempa bumi. Oleh karena itu, pada penelitian ini dievaluasi peningkatan kekuatan tanah variasi pasir setelah diinjeksi larutan *calcite precipitation* dengan *biocatalyst* bubuk kedelai dengan teknik saring. Nilai kekuatan tanah variasi pasir diperoleh dengan cara diplotkan nilai kadar kalsit dari evaluasi distribusi kalsit pada Gambar 6 (Putra et al., 2020a).



Gambar 6 Kurva hubungan antara nilai UCS dengan nilai kadar kalsit

Nilai kekuatan tanah dengan prediksi UCS variasi pasir menunjukkan nilai yang berbeda-beda. Nilai kadar kalsit sampel pasir halus, sampel pasir sedang, dan sampel pasir kasar untuk *curing time* larutan *calcite precipitation* selama 14 hari berturut-turut sebesar 2,30; 1,34; dan 0,72% sehingga dengan diplotkan pada Gambar 6, didapatkan nilai kekuatan tanah dengan dengan prediksi UCS sebesar 73, 59, dan 51 kPa. Dapat dilihat bahwa sampel pasir halus mempunyai nilai kekuatan tanah paling besar dibandingkan sampel pasir lainnya sedangkan sampel pasir kasar mempunyai nilai kekuatan tanah terkecil dibandingkan sampel pasir lainnya. Perbandingan ini tidak berbeda jauh dengan perbandingan pada evaluasi distribusi kalsit sebelumnya dikarenakan menurut Putra et al., (2017b), nilai kadar kalsit yang terbentuk di dalam tanah berbanding lurus dengan nilai kekuatan tanah.



Gambar 7 Nilai prediksi UCS seluruh sampel pasir

Nilai kadar kalsit sampel pasir halus, sampel pasir sedang, dan sampel pasir kasar untuk *curing time* larutan *calcite precipitation* selama 28 hari berturut-turut sebesar 3,18; 2,41; dan 0,81 % sehingga dengan diplotkan pada Gambar 6, didapatkan nilai kekuatan tanah dengan prediksi UCS sebesar 89, 75, dan 53 kPa. Dapat dilihat bahwa dari segi perbandingan sampel pasir, tidak ada perbedaan dibandingkan dengan hasil sebelumnya. Namun, terhadap peningkatan kekuatan tanah untuk sampel pasir halus, sampel pasir sedang, dan sampel pasir kasar berturut-turut sebesar 22, 27, dan 4% dibandingkan dengan hasil sebelumnya sehingga penambahan *curing time* larutan *calcite precipitation* di dalam tanah mampu meningkatkan kekuatan tanah. Nilai prediksi UCS seluruh sampel pasir dapat dilihat pada Gambar 7.

Hasil evaluasi distribusi kalsit menunjukkan nilai kadar kalsit yang bervariasi untuk masing-masing sampel pasir sehingga terdapat rentang nilai kekuatan tanah dengan prediksi UCS untuk masing-masing sampel pasir baik untuk *curing time* larutan *calcite precipitation* selama 14 hari maupun 28 hari. Variasi nilai kadar kalsit ini menunjukkan adanya nilai kadar kalsit minimum dan nilai kadar kalsit maksimum untuk masing-masing sampel pasir baik untuk *curing time* larutan *calcite precipitation* selama 14 hari maupun 28 hari. Nilai-nilai ini diperoleh dari distribusi kalsit yang terbentuk di dalam masing-masing sampel pasir pada evaluasi distribusi kalsit yang dapat dilihat pada Gambar 5 dan diplotkan pada Gambar 6. Didapatkan rentang nilai kekuatan tanah dengan prediksi UCS untuk *curing time* larutan *calcite precipitation* selama 14 hari untuk sampel pasir halus sebesar 64-80 kPa, untuk sampel pasir sedang sebesar 52-90 kPa, dan untuk sampel pasir kasar sebesar 50-52 kPa sedangkan untuk *curing time* larutan *calcite precipitation* selama 28 hari untuk sampel pasir halus sebesar 72-132 kPa, untuk sampel pasir sedang sebesar 54-172 kPa, dan untuk sampel pasir kasar sebesar 49-59 kPa. Rentang nilai ini berfungsi untuk memprediksi nilai kekuatan tanah dengan prediksi UCS yang dapat dicapai dengan metode *calcite precipitation* dengan *biocatalyst* bubuk kedelai dengan teknik saring pada masing-masing sampel pasir.

Hasil evaluasi kekuatan tanah variasi pasir menunjukkan seluruh sampel pasir mempunyai nilai kekuatan tanah dengan prediksi UCS lebih besar dari 50 kPa baik untuk *curing time* larutan *calcite precipitation* selama 14 hari maupun 28 hari. Peningkatan kekuatan tanah dengan prediksi UCS lebih besar dari 50 kPa, mampu menahan peristiwa likuifaksi saat terjadi gempa bumi sehingga metode *calcite precipitation* dengan *biocatalyst* bubuk kedelai dengan teknik saring dapat diaplikasikan sebagai metode *biogrouting* pada tanah terlikuifaksi (Kawasaki and Akiyama, 2013). Hasil evaluasi kekuatan tanah variasi pasir menunjukkan metode *calcite precipitation* dengan *biocatalyst* bubuk kedelai dengan teknik saring terbukti efektif pada sampel pasir halus dibandingkan sampel pasir lainnya. Hal ini dikarenakan sampel pasir halus mempunyai nilai kekuatan tanah dengan prediksi UCS lebih besar dibandingkan sampel pasir lainnya.

## 4. Kesimpulan dan Saran

### 4.1 Kesimpulan

Penggunaan bubuk kedelai dengan teknik saring terbukti mampu menghasilkan kalsit sehingga dapat diaplikasikan sebagai pengganti enzim urease

sebagai *biocatalyst* pada metode *calcite precipitation*. Hasil pengujian pengendapan kalsit didapatkan konsentrasi bubuk kedelai 15 g/L merupakan komposisi optimum larutan *calcite precipitation* untuk diaplikasikan ke dalam sampel tanah. Nilai kadar kalsit sampel pasir halus, sampel pasir sedang, dan sampel pasir kasar untuk *curing time* larutan *calcite precipitation* selama 14 hari berturut-turut sebesar 2,30; 1,34; dan 0,72% sehingga mampu menghasilkan nilai prediksi UCS sebesar 73, 59, dan 51 kPa. Nilai kadar kalsit sampel pasir halus, sampel pasir sedang, dan sampel pasir kasar untuk *curing time* larutan *calcite precipitation* selama 28 hari berturut-turut sebesar 3,18; 2,41; dan 0,81% sehingga mampu menghasilkan nilai prediksi UCS sebesar 89, 75, dan 53 kPa. Metode *calcite precipitation* dengan *biocatalyst* bubuk kedelai dapat diaplikasikan sebagai metode *biogrouting* pada tanah terlikuifaksi dan terbukti efektif diaplikasikan pada sampel pasir halus dibandingkan sampel pasir lainnya dari parameter kekuatan tanah, kadar kalsit, dan distribusi kalsit.

#### 4.2 Saran

Perlu dilakukan pengujian *X-Ray Diffraction* untuk melihat komposisi dari kristal hasil pengendapan kalsit. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan keseragaman distribusi kalsit yang terbentuk di dalam sampel pasir sedang dan kasar kalsit yang terbentuk di dalam sampel pasir kasar.

#### Daftar Kepustakaan

- ASTM 2006, *ASTM D: 2487-06 Standar practice for classification of soils for engineering purpose (unified soil classification system)*, American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.
- Baiq, H., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Putra, H., Johan, E., 2020. Examination of calcite precipitation using plant-derived urease enzyme for soil improvement'. *International Journal of GEOMATE* 19, 231–237.
- Dilrukshi, R., Nakashima, K., Kawasaki, S., 2018. Soil improvement using plant-derived urease-induced calcium carbonate precipitation'. *Soils and Foundation* 58, 894–910.
- 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 Foundation* 59, 1631–1637.
- Kawasaki, S., Akiyama, M., 2013. Effect of addition of phosphate powder on unconfined compressive strength of sand cemented with calcium phosphate compound. *Materials Transactions* 54, 1–6.
- 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, 1–12.
- Mangunparaja, D., Prihatiningsih, A., 2019. Analisis perbaikan tanah sebagai bentuk mitigasi bencana likuifaksi yang dapat diaplikasikan masyarakat di Palu. *Jurnal Mitra Teknik Sipil* 2, 95–104.

- Neupane, D., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Putra, H., 2015. Distribution of grout material within 1-m sand column in insitu calcite precipitation technique. *Soils and Foundation* 55, 1512–1518.
- Pratama, G., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Putra, H., 2021. Application of soybean powder as urease enzyme replacement on EICP method for soil improvement technique, in: *The 1st International Seminar on Civil and Environmental Engineering (ISCEE) 2020*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Bogor, Indonesia, pp. 1–7.
- Putra, H., Erizal, Sutoyo, Simatupang, M., Yanto, D., 2021. Improvement of organic soil shear strength through calcite precipitation method using soybeans as bio-catalyst. *Crystals* 11, 1–14.
- Putra, H., Yasuhara, H., Erizal, Sutoyo, Fauzan, M., 2020a. Review of enzyme-induced calcite precipitation as a ground-improvement technique. *Infrastructures* 5, 1–14.
- Putra, H., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Fauzan, M., 2020b. Promoting precipitation technique using bio-chemical grouting for soil liquefaction prevention. *Civil Engineering Dimension* 22, 1–5.
- Putra, H., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Hirata, A., 2017a. 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* 7, 1–15.
- Putra, H., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Hirata, A., 2017b. Application of magnesium to improve uniform distribution of precipitated minerals in 1-m column specimens. *Geomechanics and Engineering* 12, 803–813.
- Putra, H., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Neupane, D., Lu, C.-W., 2016. Effect of magnesium as substitute material in enzyme-mediated calcite precipitation for soil-improvement technique. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 4, 1–9.
- Sausan, S., Sakti, B., Leo, H., Yuliani, A., 2017. Robot pointer sebagai penunjuk jalan tim SAR untuk mempermudah pencarian korban bencana gempa. *Jurnal Rekayasa Elektrika* 13, 112–118.
- Tsuchida, H., 1970. Evaluation of liquefaction potential of sandy deposit and measures against liquefaction induced damage, in: *Proceedings of the Annual Seminar of the Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport*. Yokosuka, Japan, pp. 1–3.
- Yang, D., Xu, G., Duan, Y., 2020. Effect of particle size on mechanical property of bio-treated sand foundation. *Applied Science* 10, 1–16.
- Zulfikar, R., Putra, H., Yasuhara, H., 2021. Utilization of soybean as catalyst material in enzyme-mediated calcite precipitation (EMCP) for crack healing concrete. *Journal of the Civil Engineering Forum* 7, 59–70.

Copyright (c) Akbar Renaldi Loebis, Heriansyah Putra