

OPTIMALISASI ENZIM UREASE UNTUK MENINGKATKAN KAPASITAS DUKUNG TANAH LUNAK

Suparman¹⁾, Aiun Hayatu Rabinah^{1,*}, Lilik Satriyadi¹⁾, Sudarmono¹⁾, Warsiti¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Soedarto, S.H. Tembalang, Kota Semarang, 50275

*Correspondent Author: aiun.hayatu@polines.ac.id

Abstract

The main problems with soft clay soil are high water content, low soil mineral content, and high compressibility, so stabilization materials are needed that can increase the bearing capacity of soft soil. In this research, the urease enzyme was used as a catalyst to increase the bearing capacity of the soil. The material used is organic material, namely soybean powder. The stabilization materials used are urea (CH_4N_2O), calcium chloride ($CaCl_2$), and soybean powder (urease enzyme), which will form a lime compound so that it functions as a catalyst for adhesive in stabilizing soft soil. This research aims to improve soft soil by stabilizing it using the SICP (Soybean Induced Calcite Precipitation) method. The variations in urea and $CaCl_2$ concentrations used were 1 mol/L, 2 mol/L, 3 mol/L, 4 mol/L, and 5 mol/L. The soybean extract concentrate used was 30% with a curing time of 7 days. The most optimal test result and what is used is 3 mol/L. This is in line with the SEM and XRD test results. Test specimens were made and cured for 7, 14, 21, and 28 days and then tested for unconfined compressive strength (UCS) to determine the effect of adding calcium carbonat on soil strength. The UCS test shows that the optimum shear strength value of soil cemented with calcium carbonat is produced in a curring period of 14 days is 1.02 kg/cm². Meanwhile, for a curring period of more than 14 days, the increase in the unconfined compressive strength value is relatively very small. The increase in soil compressive strength after stabilization was 30.77%. The compressive strength value of the soil increases due to the presence of calcium carbonat formed between the soil grains.

Keywords: cementation, soil stability, UCS, calcium carbonat

PENDAHULUAN

Rencana pengembangan jalan di wilayah pesisir utara Kota Semarang merupakan salah satu rencana pengembangan oleh Pemerintah Kota Semarang. Berdasarkan beberapa penelitian wilayah pesisir utara Kota Semarang mempunyai tingkat penurunan tanah yang cukup besar mencapai 11-21 cm/tahun (Ramadhan et al., 2021; Yuwono et al., 2016). Penelitian terhadap kondisi geologi

diketahui bahwa ketebalan lapisan tanah lempung dan lanau dengan konsistensi lunak dan sedang berada pada kedalaman 15-28 m (Masvika et al., 2021). Besarnya penurunan tanah di Semarang Utara dipengaruhi oleh ketebalan lapisan tanah dan beban permukaan. Penurunan tanah terbesar terjadi di daerah Gedung BMKG dan Pelabuhan Tanjung Mas dengan nilai sekitar 397,72 cm dengan laju

penurunan sebesar 12,40 cm/tahun (Masvika et al., 2019).

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas dukung tanah yaitu dengan melakukan injeksi bahan kimia. Injeksi bahan kimia memiliki beberapa kelemahan, seperti meningkatkan pH tanah yang berpotensi menyebabkan permasalahan lingkungan (Cheng et al., 2016). Perkembangan teknologi perbaikan tanah akhir-akhir ini yaitu menggunakan campuran *bio-chemical*. Ada dua teknik *bio-chemical* yang paling dikenal yaitu *Microbially induced calcium carbonate precipitation* (MICP) dan *Enzyme Induced Calcite Precipitation* (EICP).

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian dengan menggunakan metode EICP dan menyatakan bahwa EICP merupakan salah satu metode stabilisasi tanah yang dapat meningkatkan kapasitas dukung tanah (Ahenkorah et al. (2021) dan Ghasemi. Et.al. (2022)). Karena metode ini cenderung mahal, Gao et al., (2019) melakukan beberapa penelitian dan didapatkan bahwa bubuk kedelai memiliki potensi sebagai bahan pengganti *urease*. Selain itu Lee & Kim, (2020) juga menggunakan *yellow soybeans* sebagai alternatif EICP yang digunakan untuk stabilisasi tanah. Penggunaan bubuk kedelai sudah dilakukan untuk meningkatkan kapasitas dukung tanah pasir (Pratama et al., 2021; Salim & Ardhani, 2019).

Selain itu penggunaan bubuk kedelai juga digunakan untuk meningkatkan kapasitas dukung tanah gambut (Putra & Yudhistira, 2022). *Soybean-urease induced calcite*

precipitation (SICP) juga digunakan untuk menahan longsoran pada gurun pasir (Gao et al., 2022).

Penelitian terkait perbaikan tanah lunak di daerah Semarang sudah dilakukan. Metode perbaikan yang digunakan adalah dengan menggunakan metode *Prefabricated Vertical and Horizontal Drain* (PVD & PHD) (Aini et al., 2023; Anggrahini & Fitriyana, 2022). Selain itu metode *Vacuum Preloading* dengan *Prefabricated Vertical Drain* juga menjadi salah satu metode perbaikan tanah lunak (Ralindra, 2022).

Aini, dkk (2023) melakukan penelitian terkait evaluasi metode perbaikan tanah lunak dengan preloading kombinasi PVD-PHD pada proyek pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Paket II. Dari hasil penelitian didapatkan adanya perbedaan penurunan dan waktu tunggu konsolidasi anatar perencanaan dengan kondisi aktual di lapangan. Berdasarkan kondisi geologi wilayah pesisir utara Kota Semarang perlu dilakukan penelitian terkait stabilisasi tanah lunak menggunakan campuran *bio-chemical* dari bubuk kedelai sebagai salah satu metode perkuatan tanah lunak.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode ekperimental di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang. Alur penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Uji Pengendapan Kalsium Karbonat

Pengujian pengendapan kalsium karbonat dilakukan untuk mendapatkan dan mengetahui jumlah endapan kalsium karbonat (CaCO_3) yang terbentuk pada variasi konsentrasi bubuk kedelai. Pencampuran bubuk kedelai dengan *distilled water* dan ditunggu selama 20 menit, setelah itu disaring dengan menggunakan kerta saring.

Dari hasil penyaringan didapatkan cairan ekstrak kedelai. Urea dilarutkan dengan *distilled water*, selanjutnya calcium chloride (CaCl_2) dilarutkan dengan *distilled water*. Semua bahan dibedakan pencampurannya di dalam masing-masing gelas ukur. Dimana konsentrasi urea dan CaCl_2 yang digunakan adalah 1 mol/L, 2 mol/L, 3 mol/L, 4 mol/L, dan 5 mol/L. Selanjutnya dari larutan yang telah dimasukkan ke dalam tube (*tube experiment*) dilakukan pemeraman (*curing time*) selama 7 hari. Selama pemeraman tube ditutup dan disimpan pada suhu ruangan. Setelah itu pencucian larutan dengan menggunakan NaOH. Hal ini dilakukan karena banyaknya ampas kedelai yang ikut terbentuk dalam endapan kalsit.

Selanjutnya tahap analisa yang akan didapatkan grafik hubungan antara presentase endapan calcite dengan variasi penambahan bubuk kedelai. Dari grafik didapatkan kondisi *calcite* optimum pada berapa berat penambahan bubuk kedelai. Selain itu didapatkan juga grafik

hubungan antara waktu pemeraman (*curing time*) dengan prosentase *calcite* pada variasi penambahan kedelai.

2. Uji SEM dan XRD

X-ray diffraction (XRD) *X-ray diffraction* (XRD) adalah alat yang digunakan secara intensif dalam mengidentifikasi mineral dan lempung yang mempunyai kristal. XRD ini dapat juga digunakan untuk mengkarakterisasi lempung apakah suatu lempung merupakan lempung yang dapat *swelling* atau *non-swelling*. Prinsip XRD ini adalah dengan cara melakukan penyinaran dengan berbagai sudut datang (*incident angle*) dari suatu sampel yang mengandung mineral.

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Elektron ditembakkan dan berinteraksi dengan bahan sehingga menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang permukaan bahan meliputi topografi, morfologi, komposisi serta informasi kristalogafi. SEM banyak digunakan untuk analisa permukaan material, SEM juga dapat digunakan untuk menganalisa data kristalogafi, sehingga dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa.

Pada prinsip kerja SEM, dua sinar elektron digunakan secara simultan.

3. Pengujian awal sampel yaitu jenis tanah, indeks propertis tanah, dan uji kuat tekan bebas. Sampel yang digunakan adalah sampel terganggu (*disturb sample*) dan tidak terganggu (*undisturbed*).
4. Ukuran sampel yang digunakan adalah diameter 3,8 cm dan tinggi 7,6 cm berdasarkan penelitian sebelumnya (Rabinah et al., 2023).
5. Pembuatan Sampel Uji dengan *Treatment* SICP. Berat volume tanah yang digunakan adalah berat volume tanah asli, dengan kadar air tanah asli. Sampel yang ditreatmen SICP di peram dengan variasi 7, 14, 21, dan 28 hari.
6. Pengujian sampel tanah setelah di *Treatment* SICP dan pemeraman. Pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan bebas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Klasifikasi Jenis Tanah

Klasifikasi tanah dilakukan untuk mengetahui jenis tanah yang akan digunakan sebagai benda uji. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui jenis tanah adalah uji berat jenis, kadar air, analisa saringan, hidrometer, dan bata-batas *Atterberg*. Pengujian ini menggunakan minimal 2 benda uji. Berdasarkan hasil pengujian indeks propertis tanah di laboratorium didapatkan hasil uji seperti Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Indeks Properti Tanah

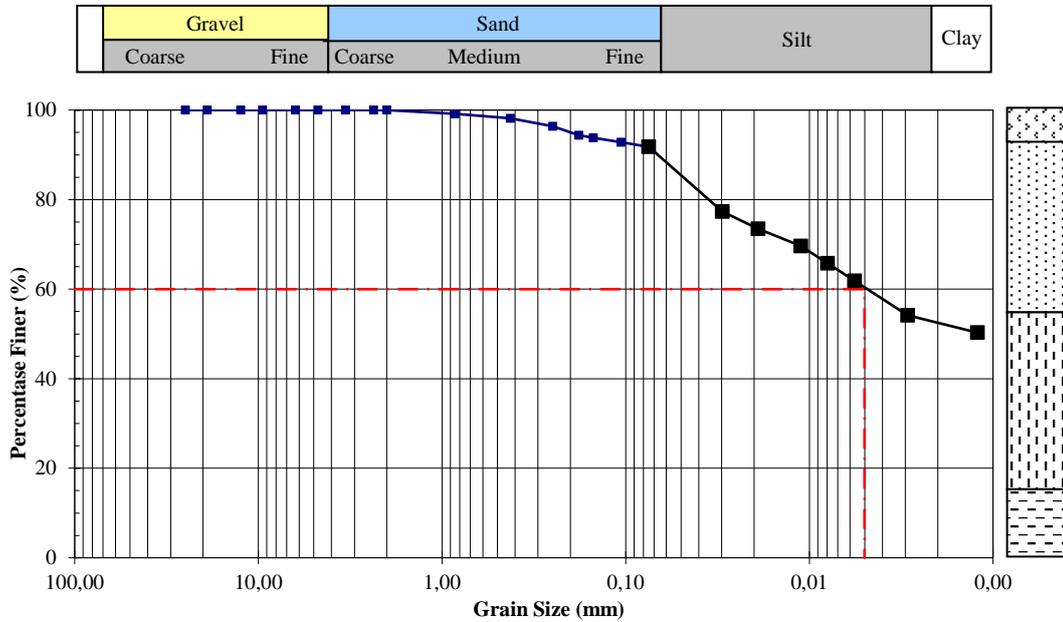
Pengujian <i>Bor Hole No.</i>	Indeks Propertis	
	A	B
<i>Sample Depth (m)</i>	2	3
<i>Specific Gravity (Gs)</i>	2,58	2,62
<i>Wet Density(g/cm³)</i>	1,60	1,61
<i>Dry Density (g/cm³)</i>	0,98	0,99
<i>Water Content(%)</i>	60,25	60,59
<i>Porosity</i>	0,61	0,61
<i>Void Ratio</i>	1,58	1,61
<i>Degree Of Saturation(%)</i>	98,81	98,75

Berat jenis tanah (*Gs*) yang didapatkan dari hasil pengujian adalah nilai berat jenis tanah adalah 2,58 dan 2,62. Berdasarkan nilai *Gs* dapat disimpulkan bahwa tanah termasuk lempung organik dengan kisaran nilai berat jenis tanah lempung organik 2,58 – 2,65 (Hardiyatmo, 2019). Derajat kejenuhan tanah didapat sebesar 98,81% dan 98,75%, sehingga dapat disimpulkan sampel dalam kondisi jenuh atau tanah basah walaupun nilainya belum 100% (Hardiyatmo, 2019). Hasil perhitungan didapatkan nilai porositas tanah adalah 0,61 dan 0,62, dapat didefinisikan sebagai tanah lempung lunak.

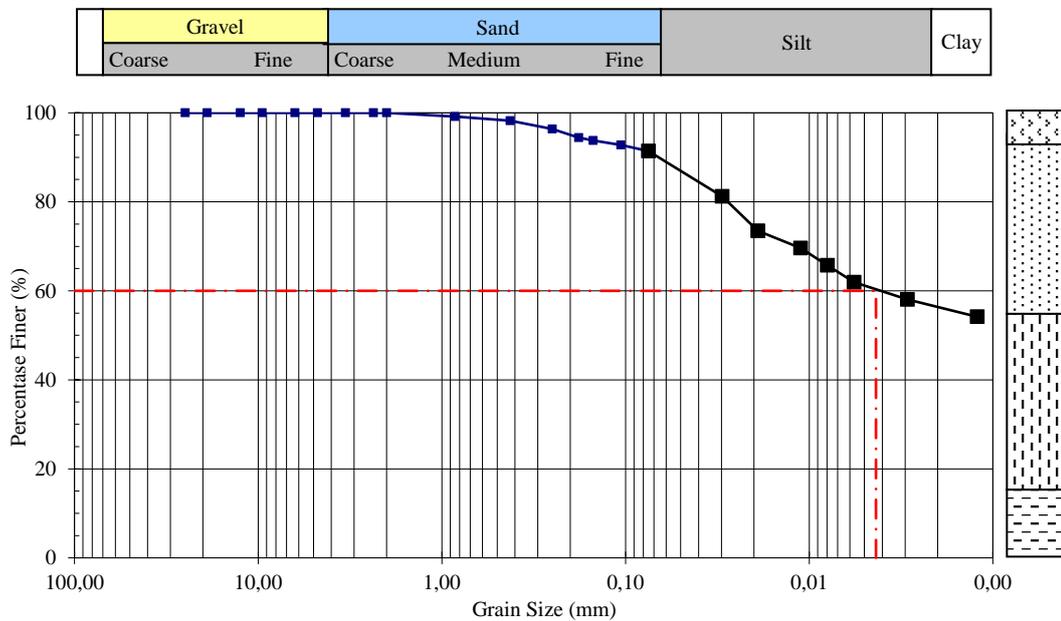
Pengujian selanjutnya yaitu uji klasifikasi tanah dengan menggunakan uji analisis saringan dan hidrometer. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 1. Dari hasil uji dapat dilihat bahwa tanah yang mengandung lempung sebanyak 52,08% dan 55,95%, dari Gambar 1 dan Gambar 2 dapat dilihat bahwa tanah yang lolos saringan nomor 200 lebih besar dari 50%.

Tabel 2. Pengujian Gradasi Tanah.

Pengujian	Uji Gradasi Tanah		Gravel(%)	-	-
Bor Hole No.	A	B	Sand(%)	8,20	8,60
Sample			Silt(%)	39,72	35,45
Depth(m)	1 – 1,5	2-2,5			



Gambar 1. Gradasi Butiran Benda Uji A



Gambar 2. Gradasi Butiran Benda Uji B

Salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah adalah batas-batas konsistensi tanah. Hasil dari pengujian

batas-batas konsistensi tanah dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan hasil uji didapatkan nilai *liquid limit* (LL) berturut-turut sebesar 86,51% dan 84,25%. Sedangkan nilai *plastic limit* (PL) berturut-turut sebesar 36,32% dan 36,02%. Dari nilai LL dan PL didapatkan nilai *plasticity index* (PI) sebesar 50,59% dan 48,18%. Berdasarkan nilai PI lebih besar dari 17% benda uji termasuk tanah berlempung dengan sifat plastisitas tinggi (Jumikis dalam Hardiyatmo, 2010).

Tabel 3. Pengujian Batas-Batas Konsistensi

Pengujian	Plastisitas	
	A	B
<i>Bor Hole No.</i>		
<i>Sample Depth(m)</i>	1-1,5	2 – 2,5
<i>Liquid Limit(%)</i>	78,51	75,25
<i>Plastic Limit(%)</i>	33,32	34,02
<i>Plasticity Index(%)</i>	45,19	41,23

Berdasarkan hasil uji didapatkan nilai *liquid limit* (LL) berturut-turut sebesar 78,51% dan 75,25%. Sedangkan nilai *plastic limit* (PL) berturut-turut sebesar 33,32% dan 34,02%. Dari nilai LL dan PL didapatkan nilai *plasticity index* (PI) sebesar 45,19% dan 41,23%. Berdasarkan nilai PI lebih besar dari 17% benda uji termasuk tanah berlempung dengan sifat plastisitas tinggi (Jumikis dalam Hardiyatmo, 2010).

Jenis tanah dapat ditentukan dengan menggunakan sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS) dan *American Association of State Highway Transportation Official* (AASTHO). Untuk menentukan jenis tanah berdasarkan klasifikasi USCS dan

AASTHO membutuhkan data analisis saringan, *hydrometer*, dan batas-batas Atterberg. Berdasarkan data yang diperoleh, jenis tanah benda uji klasifikasi USCS adalah lempung tak organik dengan plastisitas tinggi (CH), sedangkan berdasarkan klasifikasi AASTHO termasuk jenis tanah berlempung (A-7-5). Sehingga dari pengujian indeks properties tanah, analisis saringan, dan batas-batas konsistensi dapat disimpulkan bahwa sampel tanah termasuk tanah lempung tak organik dengan plastisitas tinggi.

Parameter Kekuatan Tanah Asli

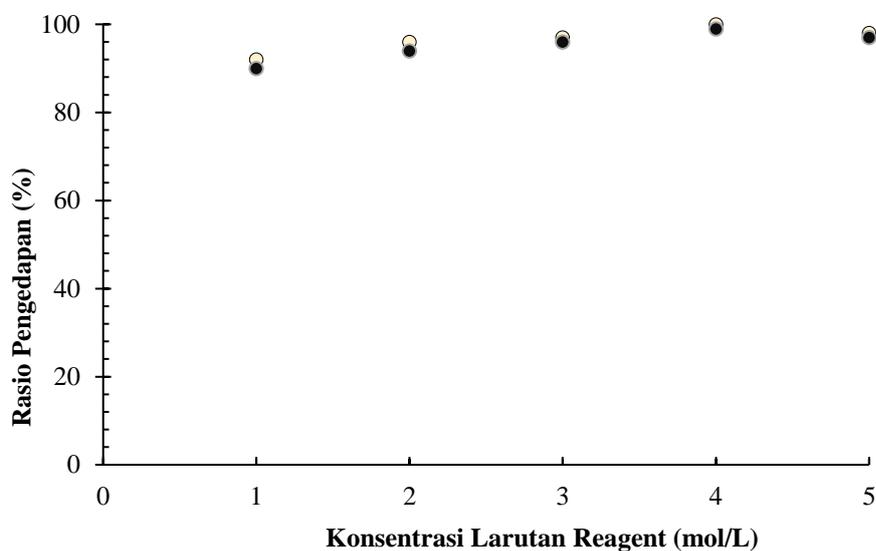
Parameter kekuatan tanah tanah asli didapatkan dari uji kuat tekan bebas pada sampel dengan diameter 3,8 cm dan tinggi 7,6 cm. Hasil uji kuat tekan bebas didapatkan bahwa nilai kohesi tanah sebesar 0,39 kg/cm² dan kuat tekan bebas sebesar 0,78 kg/cm².

Pengujian Endapan Kapur

Metode *calcite precipitation* merupakan metode yang memanfaatkan reaksi biokimia yang diinjeksikan ke dalam tanah dengan hasil akhir yaitu menghasilkan endapan kalsit yang dapat meningkatkan sifat teknik tanah. *Calcite precipitation* adalah metode perbaikan tanah yang memanfaatkan enzyme urease sebagai bahan proses hidrolisis urea yang menghasilkan ion NH₄⁺ dan CO₃²⁻. Selanjutnya ion CO₃²⁻ akan membentuk kalsit dan terpresipitasi kedalam tanah. Komposisi larutan optimum yang terpilih untuk dicampurkan kedalam benda uji sebelumnya harus ditentukan

dengan *test-tube experiment*. Pada penelitian ini digunakan jenis

katalisator berupa bubuk kedelai sebagai pengganti *urease enzyme*.



Gambar 3. Hasil uji pengendapan pada variasi konsentrasi larutan reagen

Rasio pengendapan atau pembentukan kalsit yaitu dengan membandingkan massa kalsit yang terbentuk dengan total massa kalsit yang dapat terbentuk dari reaksi kimia dengan efisiensi 100%. Larutan reagen terdiri dari senyawa kimia yang terdiri dari urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) dan kalsium klorida (CaCl_2). Pengujian ini menggunakan konsentrasi ekstrak kedelai 30% dan waktu peram selama 7 hari.

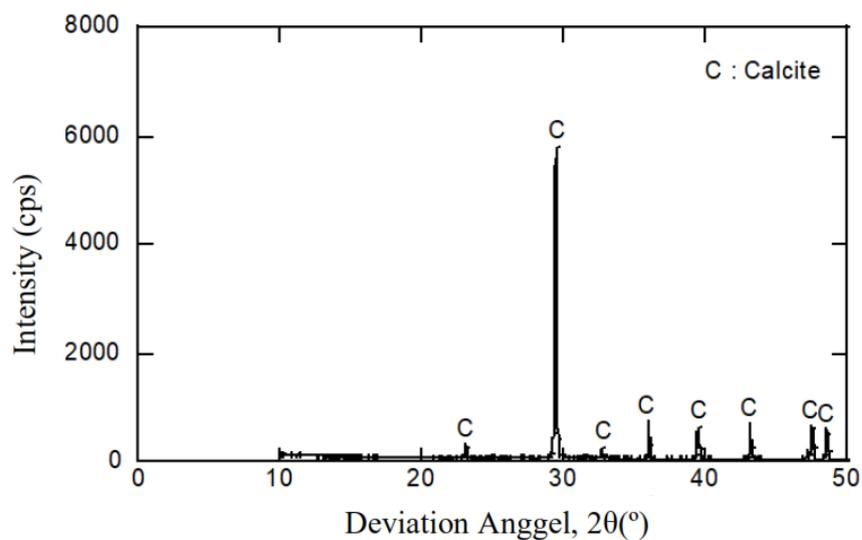
Adapun larutan yang dibuat yaitu 5 variasi konsentrasi larutan reagen yang berbeda yaitu 1 mol/L, 2 mol/L, 3 mol/L, 4 mol/L, dan 5 mol/L. Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa penggunaan larutan reagen dengan konsentrasi 1-2 mol/L menghasilkan rasio pengendapan < 100%, sedangkan konsentrasi 3-5 mol/L rasio pengendapan mencapai 100%. Sehingga konsentrasi optimum larutan reagent yang akan digunakan

berdasarkan pengujian *test tube experiment* yaitu 3 mol/L.

Analisa Mikrostruktur Mineral Endapan

Bahan yang diendapkan dilakukan validasi mineral dengan X-Ray Diffraction (XRD) untuk memastikan lebih tepat jenis kalsium karbonat yang telah terbentuk. Ada tiga polimorf kalsium karbonat: kalsit, vaterit, dan aragonit. Ketiga polimorf tersebut dapat terjadi secara bersamaan pada beberapa pengendapan material. Kalsit adalah mineral karbonat dan polimorf kalsium karbonat paling stabil.

Vaterit seperti aragonite adalah fase metastabil kalsium karbonat. Karena kurang stabil dibandingkan kalsit atau aragonit, vaterit memiliki kelarutan lebih tinggi dibandingkan salah satu fase ini. Ia berubah menjadi kalsit (pada suhu rendah) atau aragonit (pada suhu tinggi: $>60^\circ\text{C}$).



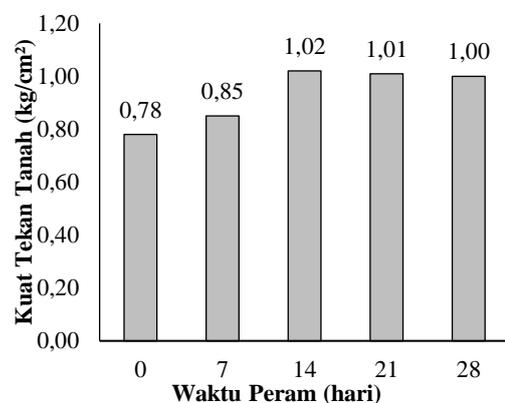
Gambar 4. Hasil uji XRD produk endapan

Pola XRD yang diperoleh untuk endapan yang menggunakan ekstrak kasar kedelai ditunjukkan pada Gambar 4. Intensitas puncak utama dari material yang diendapkan diplot pada kurva. Puncak pada hasil uji XRD menunjukkan bahwa material yang diendapkan adalah kalsit. Sehingga dapat disimpulkan penggunaan ekstrak kasar kedelai sebagai enzim urease layak untuk dipertimbangkan.

Parameter Kekuatan Tanah Setelah Stabilisasi

Konsentrasi larutan reagen yang digunakan adalah 3 mol/L yang merupakan konsentrasi optimum sesuai dengan pengujian endapan kapur (Gambar 3). Konsentrasi ekstrak kedelai yang digunakan sebesar 30% dengan variasi waktu peram sampel tanah yang telah dicampur dengan bahan stabilisasi adalah 7, 14, 21, dan 28 hari. Sampel tanah yang telah distabilisasi dan diperam selanjutnya dilakukan uji kuat tekan bebas.

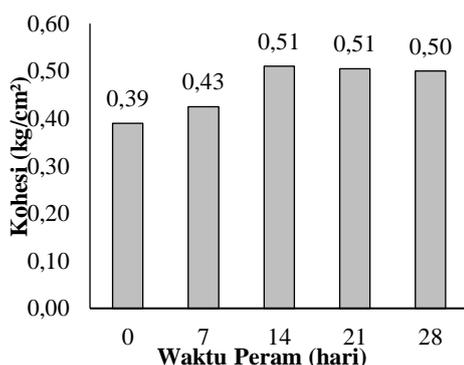
Uji kuat tekan bebas dimaksudkan untuk mengetahui kekuatan tanah setelah distabilisasi. Hasil uji kuat tekan bebas dapat dilihat pada Gambar 5.



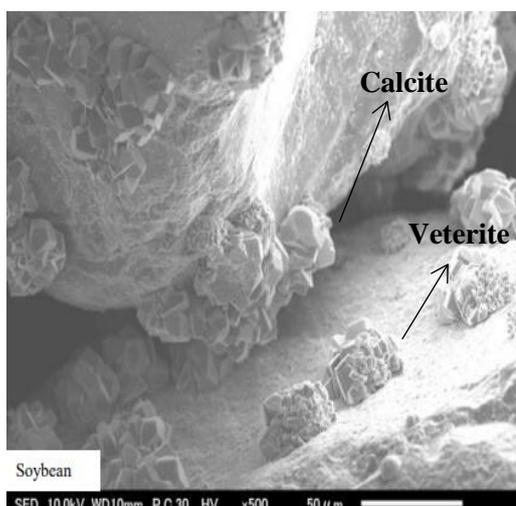
Gambar 5. Hubungan antara Kuat Tekan Tanah Setelah Stabilisasi dengan Waktu Peram

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa kenaikan kuat tekan tanah setelah stabilisasi tidak signifikan. Kuat tekan tertinggi terjadi pada waktu peram 14 hari sebesar 1,02 kg/cm², sedangkan kuat tekan tanah 21 hari dan 28 hari masih stabil tidak mengalami kenaikan. Persentase kenaikan kuat tekan bebas maksimum

sebelum dan setelah distabilisasi adalah sebesar 32%. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa bahan stabilisasi kapur dengan campuran 3 mol/L dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah lunak. Nilai kohesi tanah tertinggi terjadi pada tanah yang diperam selama 14 hari. Nilai kohesi maksimal setelah pemeraman adalah 0,51 kg/cm² (Gambar 6). Nilai kuat tekan tanah meningkat akibat kapur yang terbentuk diantara butiran tanah seperti yang terlihat pada Gambar 7 hasil uji SEM tanah. Kenaikan kuat tekan tanah setelah distabilisasi yaitu sebesar 30,77%.



Gambar 6. Hubungan antara Kohesi dan Waktu Peram



Gambar 7. Hasil Uji SEM

SIMPULAN

Metode SICP dieksplorasi untuk meningkatkan kapasitas dukung tanah lunak. Pengujian dilakukan menggunakan enzim urease yang berasal dari tanaman, khususnya menggunakan serbuk kedelai sebagai potensi sumber enzim urease baru. Suspensi ekstrak kasar dari serbuk kedelai diproses dengan penyaringan. Pengaruh persiapan ekstrak kasar diperiksa, dan ditemukan bahwa laju hidrolisis meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi ekstrak kasar. Pengujian ini menghasilkan penggunaan larutan reagen yang optimal sebesar 3 mol/L. Konsentrasi ekstrak kedelai yang digunakan sebesar 30% dengan variasi waktu peram 7, 14, 21, dan 28 hari. Kuat tekan tertinggi terjadi pada waktu peram 14 hari sebesar 1,02 kg/cm², sedangkan kuat tekan tanah 21 hari dan 28 hari masih stabil tidak mengalami kenaikan. Persentase kenaikan kuat tekan bebas maksimum sebelum dan setelah distabilisasi adalah sebesar 32%. Nilai kohesi tanah tertinggi terjadi pada tanah yang diperam selama 14 hari. Nilai kohesi maksimal setelah pemeraman adalah 0,51 kg/cm². Kenaikan kuat tekan tanah setelah distabilisasi yaitu sebesar 30,77%. Nilai kuat tekan tanah meningkat akibat kapur yang terbentuk diantara butiran tanah.

DAFTAR PUSTAKA

Ahenkorah, I., Rahman, M.M., Karim, M.R., & Beecham, S., 2021, Enzyme induced calcium

- carbonate precipitation and its engineering application: A systematic review and meta-analysis. *Construction and Building Materials*. Volume 308
- Aini, I.A., Maulana, E.I., & Santoso, H.T., 2023, Evaluasi Metode Perbaikan Tanah Lunak dengan Preloading Kombinasi PVD-PHD pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Paket II. *Bentang: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 11 (1), 21–36.
- Anggrahini, Z., & Fitriyana, L., 2022, Studi Kasus Perbaikan Tanah Lunak Pada Proyek Tol Semarang – Demak (STA 20 + 300 – STA 20 + 500). *Jurnal Ilmiah Sultan Agung*.
- Cheng, L., Shahin, M.A., Asce, M., & Mujah, D., 2016, Influence of Key Environmental Conditions on Microbially Induced Cementation for Soil Stabilization Influence of Key Environmental Conditions on Microbially Induced Cementation for Soil Stabilization. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, July.
- 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.
- Gao, Y., Hua, C., & Ke, T., 2022, Field Test on Soybean-Urease Induced Calcite Precipitation (SICP) for Desert Sand Stabilization against the Wind-Induced Erosion. *Sustainability (Switzerland)*, 14 (22), 1–11.
- 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.
- Masvika, H., Adi, A. D., & Faris, F., 2019, Evaluasi Penurunan Konsolidasi Tanah Di Semarang Utara Berdasarkan Korelasi N-Spt Dengan MV. *Rekayasa Sipil*, 7 (1), 1.
- Masvika, H., Cahyono, D.B., & Wanto, S., 2021, Pemodelan Kondisi Geologi Teknik Daerah Amblesan Tanah Jalan Semarang Outer Ring Road (SORR). *Pengembangan Rekayasa Dan Teknologi*, 17 (2), 53–61.
- Pratama, G.B.S., Yasuhara, H., Kinoshita, N., & Putra, H., 2021, Application of soybean powder as urease enzyme replacement on EICP method for soil improvement technique. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 622 (1).
- Putra, H., & Yudhistira, I., 2022, Improvement of the California Bearing Ratio of Peat Soil Using Soybean Crude Urease Calcite Precipitation. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 8 (11), 2411–2423.
- Rabinah, A.H., Pamungkas, N.S., Satriyadi, L., 2023, Parameter

- Desain Menggunakan Uji Triaksial. *Wahana Teknik Sipil Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*.
- Ralindra, D.F., 2022, Modifikasi Perbaikan Tanah Dasar Tol Semarang–Demak: Metode Vacuum Preloading dengan Prefabricated Vertical Drain. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 20 (2), 163.
- Ramadhan, I.S., Muslim, D., Zakaria, Z., & Pramudyo, T., 2021, Penurunan Permukaan Tanah di Pesisir Pantai Utara Jawa, Desa Bandarharjo dan Sekitarnya, Kota Semarang, Jawa Tengah. *Padjajaran Geoscience Journal*, 5 (4), 381–393.
- Salim, M.A., & Ardhani, M.S., 2019, Perbaikan Struktur Beton Bertulang, Dinding Dan Baja Pasca Gempa Lombok. *Prosiding SNST, 2017*, 95–100.
- Yuwono, B.D., Abidin, H.Z., Gumilar, I., Andreas, H., Awaluddin, M., Haqqi, K.F., & Khoirunisa, R., 2016, Preliminary survey and performance of land subsidence in North Semarang Demak. *AIP Conference Proceedings*, 1730 (May).