

Pengaruh *Dissolved Organic Carbon* (DOC) pada Efektivitas Perbaikan Tanah Gambut dengan Metode *Calcite Precipitation*

Pradyta Galuh Oktafiani^{1,*}, Heriansyah Putra¹, Sutoyo¹

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor¹

Koresponden*, Email: galuh_pradyta@apps.ipb.ac.id

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	07 Juli 2021	<p><i>The problems that are generally found in land preparation for infrastructure developments are the characteristics of soils that have low bearing capacity, such as peat soils. Calcite precipitation is a soil improvement method that utilizes biochemical reactions with the final product being calcite. Peat soil has different characteristics from other soils, that it has high levels of Dissolved Organic Carbon (DOC). The amount of DOC present in peat soil significantly affects the specific gravity, liquid limit, density, and strength of the soil. Therefore, it is necessary to evaluate whether DOC in peat soil can affect the effectiveness of the calcite precipitation method. The research was conducted on soil with high organic content (95.35%) and soil with moderate organic content (73.51%). The research was carried out through five stages, namely soil properties, test-tube experiment, soil samples treatment, Unconfined Compressive Strength (UCS) test, and evaluating the soil pH. The results of this study obtained in the form of high organic content have an additional strength of 76.47%. Medium organic content soil has an additional strength of 137.50%. Thus, DOC has an effect on increasing soil strength in the calcite precipitation method.</i></p>
Diperbaiki	16 Februari 2022	
Disetujui	16 Februari 2022	

Keywords: Dissolved Organic Carbon, calcite precipitation, peat

Abstrak

Permasalahan dalam persiapan lahan guna pembangunan adalah karakteristik tanah yang memiliki daya dukung yang rendah, seperti tanah gambut. *Calcite precipitation* adalah metode perbaikan tanah yang memanfaatkan reaksi biokimia dengan hasil akhir adalah kalsit. Tanah gambut memiliki karakteristik yang berbeda dengan tanah lain, salah satunya yaitu kadar *Dissolved Organic Carbon* (DOC) yang tinggi. Jumlah DOC yang ada di dalam tanah gambut mempengaruhi berat jenis, batas cair, kepadatan, dan kekuatan tanah. Maka, perlu dievaluasi apakah DOC dalam tanah gambut mempengaruhi efektivitas metode *calcite precipitation*. Penelitian dilakukan pada tanah kadar organik tinggi yaitu 95,35% dan tanah kadar organik sedang yaitu 73,51%. Penelitian dilakukan melalui lima tahapan, yaitu pengujian properties tanah, *test-tube experiment*, pembuatan sampel, *Unconfined Compressive Strength* (UCS) test, dan pengujian pH tanah. Hasil didapat berupa tanah kadar organik tinggi memiliki penambahan kekuatan 76,47%. Tanah kadar organik sedang memiliki penambahan kekuatan 137,50%. Sehingga, DOC berpengaruh dalam peningkatan kekuatan tanah pada metode *calcite precipitation*.

Kata kunci: *Dissolved Organic Carbon, calcite precipitation, gambut*

1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk di Indonesia pada tahun 2010-2019 meningkat sebesar 1,31% dimana pada daerah Kepulauan Riau memiliki laju pertumbuhan penduduk tertinggi yaitu 2,90% [1]. Pertumbuhan penduduk serta peningkatan perekonomian nasional menjadikan pembangunan infrastruktur menjadi salah satu prioritas penting. Menurut Badan Pengembangan Infrastruktur Wilayah Tahun 2020 salah satu prioritas pemulihan perekonomian nasional akibat *pandemic covid-19* adalah peningkatan pembangunan infrastruktur dengan total anggaran 149,8 triliun dimana anggaran dialokasikan untuk program pembangunan padat karya [2]. Anggaran tersebut merupakan anggaran negara tertinggi dibandingkan dengan kementerian lain. Meningkatnya pembangunan infrastruktur sebanding dengan permintaan lahan. Dimana masalah yang sering dihadapi dalam persiapan lahan

adalah masalah tanah lunak [3]. Permasalahan lain yang umumnya ditemukan adalah karakteristik tanah yang memiliki daya dukung yang rendah dan tingginya kompresibilitas tanah. Pada daerah tropis seperti Indonesia permasalahan tanah lunak ditambah dengan infiltrasi yang tinggi sehingga tanah menjadi rentan bencana dan memiliki daya dukung yang kecil [4]. Maka dari itu, perbaikan tanah menjadi penting terutama untuk peningkatan kekuatan tanah.

Tanah lunak yang sering dijumpai di Indonesia adalah tanah gambut. Tanah gambut tersebar di Indonesia sebanyak 20 juta hektar dimana menempati peringkat keempat terbesar di dunia. Persebaran tanah gambut terbanyak berada di daerah Sumatera yaitu 35% dari total tanah gambut di Indonesia dengan Provinsi Riau yang menjadi provinsi terbanyak sebaran tanah gambut yaitu seluas 4,04 juta Ha atau 56,1% dari total luas wilayah Sumatra [5].

Sementara itu, tanah gambut memiliki banyak masalah jika dijadikan sebagai tanah dasar pembangunan suatu konstruksi. Tanah gambut memiliki sifat kuat geser yang sangat rendah, kompresibilitas yang tinggi, dan konsolidasi jangka panjang yang menghasilkan deformasi besar. Sifat-sifat teknis tersebut menyebabkan tanah gambut sangat sulit dijadikan sebagai tanah dasar untuk pembangunan jalan, perumahan, fasilitas umum, industri dan lain-lain [6].

Metode perbaikan tanah gambut sudah banyak dilakukan dan pada umumnya dilakukan dengan pembebanan atau perlakuan fisik dan kimia [7]. Perbaikan tanah gambut secara fisik umumnya dilakukan dengan mengganti lapisan tanah gambut dengan tanah lain. Hal tersebut hanya bisa dilakukan jika lapisan tanah gambut tidak terlalu tebal. Penurunan tanah gambut yang terjadi dalam jangka waktu lama dapat dikurangi dengan metode *Preloading*. Namun, metode tersebut membutuhkan waktu yang lama [8]. Perbaikan tanah gambut secara kimia dapat dilakukan dengan menggunakan kapur dan *grouting* semen [9]. Kedua metode tersebut cenderung memiliki biaya mahal dan kurang ramah lingkungan [10]. Perbaikan tanah dengan menggunakan semen dapat mengurangi permeabilitas tanah secara signifikan karena pengerasan yang cepat dari semen sehingga menghalangi jalur air tanah [11]. Semen merupakan bahan yang tidak ramah lingkungan karena dalam pembuatan satu ton semen menghasilkan 5% CO₂ dari total CO₂ yang dihasilkan seluruh dunia dalam satu tahun [12]. Tentunya pekerjaan konstruksi yang berorientasi masa depan atau berkelanjutan memiliki ciri yaitu ramah lingkungan dan efisien dari segi biaya dan waktu. Metode perbaikan tanah yang memungkinkan bersifat berkelanjutan dan ramah lingkungan adalah pengendapan kalsium karbonat (CaCO₃). Pengendapan kalsium karbonat ini, terutama dalam bentuk *calcite*, dapat mengurangi permeabilitas mengurangi kompresibilitas dan meningkatkan kuat geser tanah [13]. Salah satu penggunaan metode *calcite* ini adalah *Enzyme Mediated Calcite Precipitation* (EMCP).

EMCP 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 menambah kekuatan tanah [14]–[17]. Metode EMCP sendiri dapat digunakan sebagai penambah kekuatan pada tanah yaitu meningkatkan *shear strength*, *stiffness* dan mengurangi permeabilitas tanah [18], [19]. Metode EMCP sudah berhasil meningkatkan kekuatan tanah berpasir dan dapat digunakan dalam pencegahan liquifaksi [20], [21]. Hal yang perlu dipertimbangkan dari penerapan metode EMCP diantaranya yaitu tipe tanah, presipitasi dan infiltrasi material kalsit.

Karakteristik dari tanah gambut sendiri memiliki sifat fisik dan teknis yang tidak menguntungkan bagi pembangunan di atasnya, antara lain kadar air (*Wc*) mencapai 900%, berat volume tanah kecil (0,8-1,04 gr/cm³), pori-pori banyak berkisar 5-15, dan kandungan DOC (*Dissolved Organic Carbon*) tinggi >75%. Jumlah DOC yang ada didalam tanah secara signifikan mempengaruhi sifat geoteknik tanah seperti, berat jenis, kadar air, batas cair dan plastis, kepadatan, konduktivitas hidrolis, kompresibilitas, dan kekuatan [5]. Perbedaan sifat fisik antara tanah gambut dan tanah berpasir salah satunya adalah jumlah kadar organik tanah pada tanah gambut yang lebih tinggi. Tentunya hal tersebut dapat mempengaruhi tingkat efektivitas dari teknik perbaikan tanah dengan menggunakan metode EMCP. Oleh karena itu, perlu dievaluasi apakah DOC dalam tanah gambut yang tinggi dapat mempengaruhi efek tivas dari metode EMCP.

Penelitian mengenai perbaikan tanah gambut dengan menggunakan metode *calcite precipitation* sebelumnya telah dilakukan yaitu menjelaskan bahwa metode *calcite precipitation* berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan tanah gambut dengan kekuatan maksimum hingga 375 kPa [22]. Untuk meninjau lebih dalam pengaruh penambahan kekuatan dengan kadar DOC dalam tanah gambut selanjutnya penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas dari metode *calcite precipitation* khususnya EMCP pada perbaikan tanah gambut dan kaitannya dengan DOC tanah gambut. Lalu akan diketahui berapa penambahan kekuatan dari metode *calcite precipitation* terhadap perbaikan tanah gambut dengan variasi kadar DOC. Pembentukan *calcite* akan dievaluasi dengan *test-tube experiment*. *Unconfined compressive strength* (UCS) *test* juga digunakan untuk mengevaluasi pengaruh pembentukan *calcite* terhadap kekuatan tanah gambut pada beberapa variasi kadar DOC tanah gambut.

2. Metode

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tabung mold, corong, timbangan, kertas saring, cawan aluminium, cawan porselen saringan, shieve shaker, stirer, wadah pemisah, oven, alat UCS test, pH meter, dan saringan nomor 200. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah gambut, urea dengan spesifikasi *laboratory grade* dengan merek ACS, Reng. Ph Eur dengan grade reag. Ph. Eur, *purity guaranteed*, dan pH 9 (20°C, 100 g/L in H₂O) kalsium klorida (CaCl₂) dihidrat dengan *spesifikasi laboratory grade* dengan merek Emsure dengan grade ACS, Reag. Ph Eur dan pH 5,4-8,5 (50 g/L, H₂O, 20°C), bubuk kedelai dengan *food grade* dengan merek gasol yang memiliki kemurnian 100%, dan air destilasi.

Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan melalui lima tahapan, yaitu tahap pengujian properties tanah gambut, *test-tube experiment*, pembuatan sampel tanah dengan variasi kadar *Dissolved Organic Carbon* (DOC), *Unconfined Compressive Strength* (UCS) test, dan pengujian pH tanah.

a. Pengujian Properties Tanah

Pengujian properties tanah dilakukan guna memastikan tanah yang digunakan adalah tanah gambut. Secara visual tanah gambut umumnya memiliki warna coklat tua sampai hitam [23]. Proses pembentukan tanah gambut menyebabkan sifat fisik tanah gambut yang berbeda dari tanah pada umumnya. Tanah gambut cenderung memiliki kadar air yang tinggi hingga mencapai 900% dengan berat volume yang kecil (0,8-1,04 gr/cm³), angka pori pada tanah gambut besar berkisar 5-15 dengan kadar organik yang tinggi yaitu bisa mencapai 75% [23].

Pengujian properties tanah dilakukan berdasarkan SNI 1965 2008 tentang Cara Uji Penentuan Kadar Air untuk Tanah dan Batuan di Indonesia, SNI 1964 2008 tentang Cara Uji Berat Jenis Tanah, SNI 3432 2008 tentang Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah, serta SNI 6788 2002 tentang Metode Pengujian Ph Bahan Gambut dengan Alat Ph Meter. Pengujian kadar organik didasarkan pada Pengujian kadar abu dan kadar organik tanah didasarkan pada SNI 6793 2002 tentang Metode Pengujian Kadar Air, Kadar Abu, dan Bahan Organik dari Tanah Gambut dan Tanah Organik Lainnya. Pengujian kadar organik tanah dilakukan sebelum pembuatan benda uji, untuk memastikan variasi DOC tanah gambut. Secara ringkas jenis pengujian properties, parameter yang diperoleh dan standar pengujian yang digunakan ditampilkan pada **Tabel 1**.

b. *Test-tube Experiment*

Test-tube experiment dilakukan untuk mengetahui komposisi *reagent*, enzim dan *urease* optimum yang dapat membentuk *calcite* (CaCO₃). Penelitian ini didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Putra dkk. [20]. Pengujian ini menggunakan 5 jenis benda uji dengan konsentrasi kedelai yang dibuat bervariasi dengan rentang 2 gram/L sementara konsentrasi *reagent* disamakan yaitu menggunakan konsentrasi 1,0. Dimana konsentrasi tersebut merupakan konsentrasi *reagent* yang memiliki tingkat keoptimalan yang baik [24]. Secara lengkap kondisi benda uji disajikan pada **Tabel 2** dan Langkah kerja *test-tube* disajikan pada **Gambar 1**.

c. Pengujian kekuatan tanah

Pengujian UCS dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh jumlah *calcite* yang terbentuk pada sampel tanah dengan

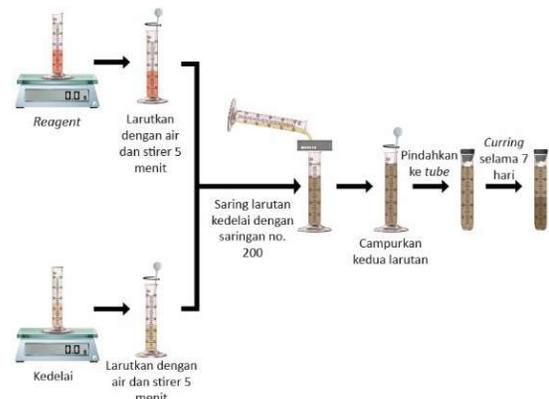
kekuatan nilai UCS tanah. Pengujian ini akan didapatkan hasil berupa kuat tekan. Pengujian kekuatan tanah dilakukan menggunakan alat UCS untuk mengetahui peningkatan nilai kuat tekan tanah sebelum dan sesudah perbaikan dengan larutan *calcite precipitation*. Pembuatan sampel tanah dilakukan dengan menentukan kepadatan 0,6 g/cm³. Skema dari pembuatan benda uji sendiri dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Tabel 1 Pengujian properties tanah

No	Jenis Pengujian Properties Tanah	Parameter	Standar Pengujian
1	Kadar air tanah	ω	ASTM D 2216 dan SNI 1965 Tahun 2008
2	Berat jenis tanah	Gs	ASTM D 854 dan SNI 1964 Tahun 2008
3	Analisis ukuran butir tanah/gradasi tanah	Cu dan Cc	ASTM D 6914 dan SNI 3431 Tahun 2008
4	pH tanah gambut		SNI 6788 Tahun 2002
5	Kadar <i>Dissolved Organic Carbon</i> (DOC) tanah	%	SNI 6793 2002

Tabel 2 Kondisi bahan uji pada *test-tube experiment*

Benda Uji	Konsentrasi Kedelai (gram/L)	Konsentrasi <i>reagent</i>	
		Urea (mol/L)	CaCl ₂ (mol/L)
A	2	1,0	1,0
B	4	1,0	1,0
C	6	1,0	1,0
D	8	1,0	1,0
E	10	1,0	1,0



Gambar 1 Skema *test-tube experiment*



Gambar 2 Skema pembuatan sampel tanah gambut

Setelah sampel dibuat sebagaimana yang dijelaskan pada **Gambar 2**. Sampel kemudian diberikan perlakuan *curring time* selama 7 hari. Pada hari ketujuh sampel diuji dengan menggunakan alat UCS. Pengujian menggunakan UCS dilakukan dengan meletakkan benda uji pada UCS lalu memberikan tekanan secara berkala hingga tanah mencapai titik ultimate yaitu ditandai dengan hancurnya tanah atau nilai dial yang menurun. Selanjutnya nilai ultimate dijadikan nilai kekuatan tanah yang dievaluasi.

d. Pengujian pH tanah

Pengujian didasarkan pada SNI 6788 2002 tentang Metode pengujian pH bahan gambut dengan alat pH meter. Pengujian pH menggunakan bahan uji berupa 3 gram tanah yang dilarutkan pada 100 gram air distilasi. Tanah yang telah dilarutkan kemudian diaduk dengan menggunakan *stirrer* selama 30 menit. pH meter yang digunakan adalah Hanna HI 2002 pH meter/ORP meter. Dengan spesifikasi pH dalam rentang -2,00 sampai 16,00 (*Standard mode*) dan -2,00 sampai 16,00 (*Basic mode*). pH meter ini memiliki resolusi 0.001 pH, 0.01 pH dengan akurasi (@25°C/77°F): ±0,01 pH, ±0.002 pH. pH dikalibrasi dengan standart mode 3 poin yaitu 4,01, 7,01, dan 10,01.

3. Hasil dan Pembahasan

Properties Tanah

Tanah gambut merupakan kategori tanah yang memiliki sifat masam dengan pH rendah. Tingkat keasaman dari tanah gambut ini berhubungan dengan kandungan asam-asam organik yaitu asam humat dan asam fulvat [25]. Secara umum, tanah gambut menurut sistem *Unified Soil Classification System* (USCS) diberi symbol Pt atau *peat*. USCS membagi tanah kedalam tiga kategori utama yaitu tanah berbutir kasar, tanah berbutir halus, dan tanah dengan kadar organik tinggi. Tanah dengan konsentrasi kadar organik lebih dari 50%

tergolong kedalam tanah gambut. Tanah gambut yang digunakan pada penelitian ini yaitu dua tanah gambut yang memiliki perbedaan properties tanah. Tanah pertama yaitu tanah dengan kadar organik tinggi, tanah ini memiliki kadar organik 95,35%. Tanah kedua adalah tanah dengan kadar organik sedang yaitu dengan kadar organik 73,51%. Kedua tanah tersebut menurut klasifikasi USCS termasuk kedalam tanah organik atau tanah gambut. Properties kedua tanah secara detail disajikan pada **Tabel 3**.

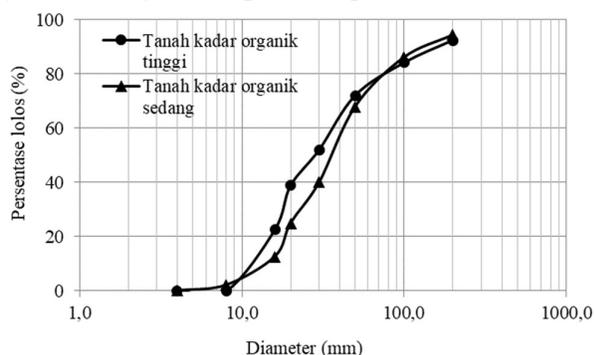
Tabel 3 Properties tanah

Properties Tanah	Tanah kadar organik tinggi		Tanah kadar organik sedang	
	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
Berat jenis spesifik (Gs)	1,16	-	1,09	-
Batas cair (LL)	172,79	%	95,57	%
Kadar abu	4,64	%	26,48	%
Kadar organik	95,35	%	73,51	%
pH	4,19	%	3,19	%
Kadar air	-	-	-	-

Hasil yang diperoleh berdasarkan dari berat jenis tanah, yaitu tanah kadar organik tinggi mendapatkan nilai Gs 1,16 sedangkan tanah dengan kadar organik sedang mendapat nilai 1,09 kedua tanah tergolong kedalam tanah gambut. Berdasarkan klasifikasi tanah oleh Terzaghi tanah dibagi menjadi empat jenis berdasarkan berat jenis partikel tanah, tanah gambut merupakan tanah dengan GS antara 1,00-2,60. Berdasarkan kualifikasi ASTM D4427-92 tentang klasifikasi tanah gambut didasarkan pada lima hal dari sifat fisika tanah yaitu kadar serat, kadar abu, tingkat keasaman, tingkat penyerapan dan komposisi tumbuhan. Berdasarkan dari kadar organik atau serat, tanah kadar organik tinggi dan tanah kadar organik sedang digolongkan kedalam tanah gambut *fibric*. Tanah *fibric* atau gambut mentah merupakan tanah gambut yang memiliki kadar serat atau organik diatas 67%.

Berdasarkan kadar abu, tanah kadar organik tinggi tergolong kedalam tanah gambut dengan kadar abu rendah (kadar abu kurang dari 5%), sedangkan tanah kadar organik sedang tergolong kedalam tanah gambut dengan kadar abu tinggi (kadar abu lebih dari 15%). Berdasarkan kapasitas simpan air yang dapat dilihat dari batas cair tanah, tanah kadar organik tinggi dan tanah kadar organik sedang termasuk kedalam tanah gambut kecil. Gambut kecil ini merupakan gambut dengan kapasitas menyimpan air kurang dari 300%. Jika ditinjau dari gradasi tanah, kedua tanah gambut memiliki gra-

dasi yang hampir serupa yang mana ditunjukkan pada grafik gradasi tanah gambut dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Gradasi tanah gambut

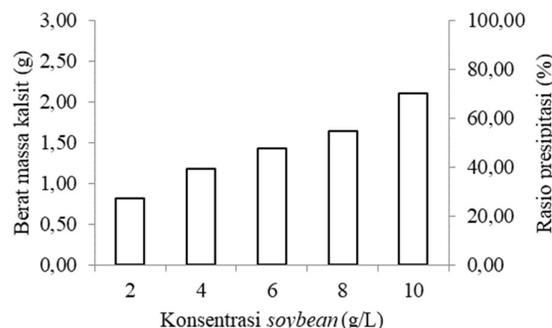
Jika ditinjau dari gradasi tanah, tanah kadar organik tinggi memiliki nilai $C_u=7,08$ dan $C_c=1,07$ termasuk kedalam klasifikasi SM yang memiliki gradasi baik. Sementara tanah kadar organik sedang memiliki nilai $C_u=4,29$ dan $C_c=1,07$ termasuk dalam klasifikasi pasir berlanau atau SM yang memiliki gradasi buruk. Grafik tanah kadar organik sedang lebih tegak daripada tanah kadar organik tinggi. Grafik yang tegak menandakan tanah homogen dimana memiliki sudut geser yang kecil.

Calcite Precipitation

Calcite precipitation merupakan salah satu metode yang terbukti dapat meningkatkan kekuatan tanah. Metode *calcite precipitation* merupakan metode yang memanfaatkan reaksi biokimia dalam tanah dengan hasil akhir yaitu menghasilkan endapan kalsit yang dapat meningkatkan sifat teknik tanah [26], [27]. *Calcite precipitation* adalah metode perbaikan tanah yang memanfaatkan *enzyme urease* sebagai bahan proses hidrolisis urea yang menghasilkan ion NH_4^+ dan CO_3^{2-} . Selanjutnya ion CO_3^{2-} akan membentuk kalsit dan terpresipitasi kedalam tanah [17], [20].

Komposisi larutan optimum yang terpilih untuk dicampurkan kedalam benda uji sebelumnya harus ditentukan dengan *test-tube experiment*. Pada penelitian ini digunakan jenis katalis berupa bubuk kedelai sebagai pengganti *urease enzyme*. Evaluasi efisiensi pembentukan kalsit yaitu dengan membandingkan massa kalsit yang terbentuk dengan total massa kalsit yang dapat terbentuk dari reaksi kimia dengan efisiensi 100%. Adapun larutan yang dibuat yaitu 5 jenis dengan konsentrasi bubuk kedelai yang berbeda yaitu 2 g/L, 4 g/L, 6 g/L, 8 g/L, dan 10 g/L. Untuk konsentrasi *reagent* yang digunakan adalah 1 mol/Liter. Setelah pengujian dengan waktu *curing time* 7 hari, maka didapatkan hasil berat kalsit dan rasio presipitasi yang dapat dilihat pada **Gambar 4**. Hasil

yang menunjukkan semakin tinggi konsentrasi bubuk kedelai akan semakin tinggi juga kalsit yang terbentuk dan sebanding dengan meningkatnya rasio presipitasi.



Gambar 4 Konsentrasi larutan *calcite precipitation*

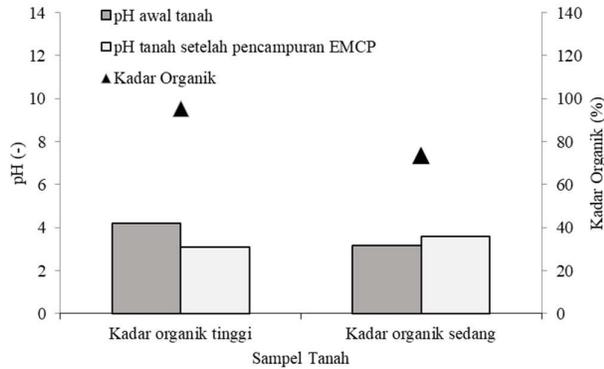
Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa grafik hubungan antara konsentrasi kedelai dengan berat kalsit dan rasio presipitasi menghasilkan tren yang terus meningkat. Semakin tinggi konsentrasi kedelai yang digunakan maka akan semakin tinggi juga kalsit yang terbentuk serta memiliki rasio presipitasi yang tinggi. Peningkatan tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Gao dkk dimana semakin besar konsentrasi dari kedelai maka aktivitas enzim *urease* semakin besar, sehingga akan semakin banyak kalsit yang terbentuk [28].

Pemilihan konsentrasi untuk diaplikasikan kedalam benda uji digunakan larutan dengan konsentrasi soybean 6 g/L. Dimana larutan ini menghasilkan berat kalsit 1,43 gram dengan rasio presipitasi 47,56%. Pemilihan larutan dipilih nilai tengah dengan konsentrasi 6 g/L. Nilai tengah diambil dikarenakan peningkatan massa kalsit maupun rasio presipitasi cenderung stabil atau dalam kata lain tidak ada peningkatan yang cukup signifikan pada konsentrasi tertentu. Menurut Putra dkk penggunaan *urease* sebesar 1 g/liter sudah cukup untuk menguatkan tanah dalam 1 PV mold [29] sehingga konsentrasi kedelai 6 g/L yang terpilih dinilai sudah cukup untuk mereaksikan kalsit dan menguatkan tanah. Walaupun nilai konsentrasi 2 dan 4 g/L juga cukup, tapi konsentrasi ini tidak dipilih untuk mengantisipasi efek dari *curing time* dan kecepatan dalam pembentukan kalsit [30].

Pengaruh Kadar Organik dan pH pada Kekuatan Tanah

Kadar DOC dalam tanah dipengaruhi oleh berbagai variabel kondisi lapang dan laboratorium termasuk suhu, kelembapan tanah, rasio C/N, saturasi logam, dan pH [31]. Kandungan DOC dalam tanah berhubungan dengan pemenuhan unsur hara tanah. Konsentrasi DOC dapat dilihat dari prosedur ekstraksi bahan kimia [32]. DOC sendiri banyak di-

jumpai pada tanah gambut. Bahkan tanah gambut memiliki kadar DOC hingga 75% [23]. Tanah gambut yang menjadi benda uji memiliki kadar organik atau DOC yaitu Tanah kadar organik tinggi sebesar 95,35% dan Tanah kadar organik sedang sebesar 73,51%. Kadar organik dari tanah gambut berkaitan dengan pH tanah. Tanah gambut memiliki pH dalam rentang 3-4 atau dalam keadaan asam [25]. Hubungan antara pH dan kadar organik dalam tanah gambut disajikan dalam **Gambar 5**.

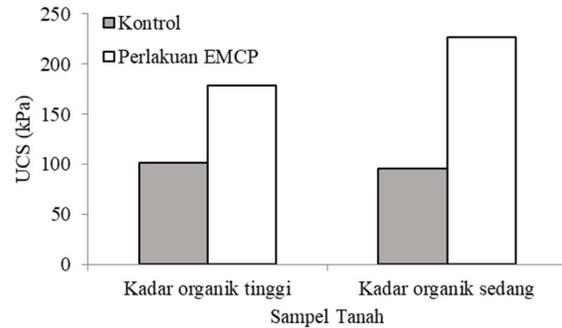


Gambar 5 Hubungan pH dan kadar organik tanah

Hasil yang didapatkan pH tanah gambut sebelum dicampurkan larutan EMCP dan pH sesudah dicampurkan larutan EMCP memiliki kisaran pH yaitu 3-4. Hal ini sesuai dengan pH tanah gambut normal yaitu dalam rentang 3-4 atau keadaan asam [33]. Metode *calcite precipitation* ini tidak merubah sifat kimiawi tanah sehingga metode ini tergolong ramah lingkungan. Tanah kadar organik tinggi mengalami perbedaan pH 1,11 setelah reaksi, sementara dengan kadar sedang mengalami perbedaan 0,38. Hal tersebut menunjukkan semakin tinggi kadar organik atau DOC dari tanah gambut maka akan semakin berdampak juga pada perubahan pH sesudah reaksi. Dimana keasaman gambut berbeda menurut dengan tingkat kematangannya. Dimana gambut yang mentah akan lebih asam daripada gambut matang. Gambut yang tersusun dari bahan gambut yang belum atau kurang matang, nisbi pH belum terurai dan mengandung asam-asam organik dengan konsentrasi yang lebih tinggi sehingga nisbi masam. Tanah gambut yang mengalami perombakan mengandung abu yang lebih banyak sebagai sumber basa [34]. Tanah kadar organik tinggi mengalami penambahan pH sebesar 1,11 hal tersebut dikarenakan kapur kalsit (CaCO_3) mampu meningkatkan nilai pH tanah [35].

Perbedaan kadar organik pada dua sampel tanah yang telah diberi perlakuan penambahan larutan *calcite precipitation* atau EMCP selanjutnya dilihat pengaruhnya terhadap kekuatan tanah. Penelitian dilakukan dengan perlakuan tanah yang telah diberikan EMCP diberikan waktu *curing time*

selama 7 hari. Setelah itu, dilakukan pengujian kekuatan tanah dengan menggunakan UCS test. Hasil dari pengujian ini dapat terlihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6 Kekuatan tanah hasil test UCS

Tanah kadar organik tinggi dengan kadar organik yang tinggi memiliki penambahan kekuatan 176,47% dari tanah kontrolnya yaitu mendapat nilai UCS 178,808 kPa. Sedangkan untuk Tanah kadar organik sedang dengan kadar organik lebih kecil memiliki penambahan kekuatan 237,50% dari tanah kontrolnya dengan mendapatkan nilai UCS mencapai 226,49 kPa. Dari hasil yang didapatkan terlihat bahwa tanah dengan kadar organik yang lebih rendah memiliki kekuatan yang lebih tinggi. Menandakan bahwa kadar organik dalam tanah gambut berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan tanah. Dimana tanah dengan kadar organik yang lebih kecil memiliki potensi peningkatan kekuatan yang lebih besar. Kematangan pada tanah gambut berpengaruh pada porositas tanah gambut. Tanah gambut yang matang memiliki DOC yang lebih kecil. Semakin matang tanah gambut maka porositas tanah akan semakin kecil serta kemampuan menahan air akan semakin tinggi [34]. Hal tersebut menandakan semakin tinggi kadar DOC maka porositas tanah akan semakin tinggi. Porositas tanah gambut berhubungan dengan daya konduktivitas hidrolis, dimana secara horizontal lebih cepat atau lebih tinggi dibandingkan dengan daya konduktivitas hidrolis secara vertikal. Maka, tanah dengan DOC yang lebih tinggi mengalami penambahan kekuatan yang lebih rendah dikarenakan porositas tanah tinggi dan karena konduktivitas hidrolis secara vertikal juga rendah maka ikatan kalsit secara vertikal lemah yang berdampak efektivitas EMCP.

Tanah dengan kadar DOC yang tinggi memiliki kadar abu yang rendah. Dimana tanah tersebut tergolong pada tanah belum matang/*fibrik*. Jika dilihat dari hasil yang didapatkan tanah gambut yang dengan kadar abu yang lebih besar memiliki peningkatan kekuatan yang lebih besar. Semakin matang tanah gambut maka efektivitas perbaikan tanah dengan metode *calcite precipitation* akan semakin tinggi. Hal tersebut

sejalan dengan proses dekomposisi tanah gambut yang sudah matang akan semakin berkurang dan butiran tanah serta sifat fisika dan kimia tanah semakin stabil. Kadar organik sendiri juga dapat mempengaruhi dari proses *enzymatic* dan juga pengikatan kalsit terhadap tanah. Hal tersebut dikarenakan terjadi dua proses kimiawi tanah yang bisa mempengaruhi satu sama lain yaitu proses pembentukan kalsit dan proses dekomposisi tanah gambut yang masih aktif dimana tanah *fibrik* atau dengan kadar DOC yang tinggi masih mengalami proses dekomposisi tanah [34]. Untuk mengetahui lebih ikatan dan hasil reaksi yang terjadi diperlukan penelitian yang lebih komprehensif dengan melihat molekul kecil tanah dengan SEM dan FTIR. Terlepas dari hal tersebut, tanah dengan kadar organik tinggi masih bisa dilakukan perbaikan dengan menggunakan metode *calcite precipitation*. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan dilakukan pemadatan terlebih dahulu, dimana tanah dengan kadar organik yang sama dengan perlakuan kepadatan yang berbeda memperoleh nilai kekuatan yang berbeda yaitu kepadatan yang semakin tinggi maka nilai peningkatan kekuatan tanah gambut dengan metode *calcite precipitation* semakin tinggi [22]. Penentuan kadar organik pada tanah gambut sendiri diperlukan untuk hipotesis perkiraan kekuatan tanah.

4. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan:

1. Perbedaan kadar organik dalam tanah berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan tanah dengan menggunakan metode perbaikan tanah *calcite precipitation*. Tanah dengan kadar organik sedang memiliki peningkatan kekuatan yang lebih tinggi dibanding dengan tanah yang memiliki kadar organik tinggi.
2. Tanah kadar organik tinggi dengan kadar organik yang tinggi memiliki penambahan kekuatan 76,47% dari tanah kontrolnya yaitu mendapat nilai UCS 178,808 kPa. Sedangkan untuk Tanah kadar organik rendah dengan kadar organik lebih kecil memiliki penambahan kekuatan tanah gambut 137,50% dari tanah kontrolnya dengan mendapatkan nilai UCS mencapai 226,49 kPa.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistika, "Pertumbuhan Penduduk 2010-2019," in *Pertumbuhan Penduduk Indonesia 2010-2019*, Jakarta: BPS, 2019.
- [2] PUPR, "5 KSPN Unggulan," *Maj. Kiprah*, vol. 103, pp. 1–100, 2021.
- [3] A. Lesmana and E. Susila, "Studi Perilaku dan Mekanisme Interaksi Penggabungan Prefabricated Vertical Drain dan Deep Cement Mixing untuk Perbaikan

- Tanah Lunak," *J. Tek. Sipil*, vol. 23, no. 3, pp. 203–212, 2016, doi: 10.5614/jts.2016.23.3.5.
- [4] N. W. Soon, L. M. Lee, T. C. Khun, and H. S. Ling, "Improvements in engineering properties of soils through microbial-induced calcite precipitation," *KSCE J. Civ. Eng.*, vol. 17, no. 4, pp. 718–728, 2013, doi: 10.1007/s12205-013-0149-8.
- [5] F. Syarif, M. F. Hardianto, and G. M. Davino, "Microbially induce calcite precipitation as bio grouting by *bacillus subtilis* on its shear strength parameter effects on organic soil (peat) from Siak Regency Riau Province Indonesia," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 615, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/615/1/012045.
- [6] S. Kazemian, A. Asadi, B. B. K. Huat, A. Prasad, and I. B. A. Rahim, "Settlement Problems in Peat Due to Their High Compressibility and Possible Solution Using Cement Columns," in *Forensic Engineering: Pathology of the Built Environment*, 2009, no. 1980, pp. 255–264.
- [7] W. L. Sing, R. Hashim, and F. H. Ali, "A review on experimental investigations of peat stabilization," *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, vol. 3, no. 4, pp. 3537–3552, 2009.
- [8] S. Kazemian, B. B. K. Huat, A. Prasad, and M. Barghchi, "A state of art review of peat: Geotechnical engineering perspective," *Int. J. Phys. Sci.*, vol. 6, no. 8, pp. 1974–1981, 2011, doi: 10.5897/IJPS11.396.
- [9] D. Silva, F. Gameiro, J. De Brito, and J. de Brito, "Mechanical Properties of Structural Concrete Containing Fine Aggregates from Waste Generated by the Marble Quarrying Industry," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 26, no. 6, pp. 1–8, 2013, doi: 10.1061/(ASCE)MT.
- [10] M. M. Rahman, R. N. Hora, I. Ahenkorah, S. Beecham, M. R. Karim, and A. Iqbal, "State-of-the-art review of microbial-induced calcite precipitation and its sustainability in engineering applications," *Sustain* vol. 12, no. 15, 2020, doi: 10.3390/SU12156281.
- [11] D. Mujah, M. A. Shahin, and L. Cheng, "State-of-the-Art Review of Biocementation by Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) for Soil Stabilization," *Geomicrobiol. J.*, vol. 34, no. 6, pp. 524–537, 2017, doi:10.1080/01490451.2016.1225866
- [12] N. Latifi, S. Horpibulsuk, C. L. Meehan, M. Z. A. Majid, and A. S. A. Rashid, "Xanthan gum biopolymer: an eco-friendly additive for stabilization of tropical organic peat," *Environ. Earth Sci.*, vol. 75, no. 9, pp. 2–11, 2016, doi:10.1007/s12665-016-5643-0
- [13] M. Burbank, T. Weaver, R. Lewis, T. Williams, B. Williams, and R. Crawford, "Geotechnical tests of sands following bioinduced calcite precipitation catalyzed by indigenous bacteria," *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, vol. 139, no. 6, pp. 928–936, 2013, doi: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000781.
- [14] H. Putra, H. Yasuhara, N. Kinoshita, and D. Neupane, "Optimization of Calcite Precipitation as a Soil Improvement Technique," *Proc. 2nd Makassar Int.*

- Conf. Civ. Eng.*, no. August, pp. 9–14, 2015, doi: 10.13140/RG.2.1.1979.1848.
- [15] H. Putra, H. Yasuhara, and N. Kinoshita, “Applicability of natural zeolite for NH-forms removal in enzyme-mediated calcite precipitation technique,” *Geosci.*, vol. 7, no. 3, 2017, doi: 10.3390/geosciences-7030061.
- [16] H. Putra, “Evaluation of Enzyme-Mediated Calcite Precipitation (EMCP) Technique by Substitution of Magnesium as a Soil Improvement Method,” *jsce7-082-2016 Heriansyah*, no. May 2016, pp. 5–7, 2017.
- [17] H. Putra, H. Yasuhara, N. Kinoshita, D. Neupane, and C. W. Lu, “Effect of magnesium as substitute material in enzyme-mediated calcite precipitation for soil-improvement technique,” *Front. Bioeng. Biotechnol.*, vol. 4, no. MAY, 2016, doi: 10.3389/fbioe.2016.000-37.
- [18] H. Putra, H. Yasuhara, N. Kinoshita, . E., and T. Sudiby, “Improving Shear Strength Parameters of Sandy Soil using Enzyme-Mediated Calcite Precipitation Technique,” *Civ. Eng. Dimens.*, vol. 20, no. 2, p. 91, 2018, doi: 10.9744/ced.20.2.91-95.
- [19] H. Putra, H. Yasuhara, Erizal, Sutoyo, and M. Fauzan, “Review of enzyme-induced calcite precipitation as a ground-improvement technique,” *Infrastructures*, vol. 5, no. 8, 2020, doi: 10.3390/INFRASTRUCTURES-5080066.
- [20] H. Putra, H. Yasuhara, N. Kinoshita, and A. Hirata, “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*, vol. 7, no. 2, 2017, doi: 10.3390/cryst7020059.
- [21] H. Putra, H. Yasuhara, N. Kinoshita, and M. Fauzan, “Promoting Precipitation Technique using Bio-Chemical Grouting for Soil Liquefaction Prevention,” *Civ. Eng. Dimens.*, vol. 22, no. 1, pp. 1–5, 2020, doi: 10.9744/ced.22.1.1-5.
- [22] M. R. Ramadhan and H. Putra, “Evaluation of carbonate precipitation methods for improving the strength of peat soil,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 622, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/622/1/012032.
- [23] N. E. Mochtar, F. E. Yulianto, and T. R. S, “Pengaruh Usia Stabilisasi pada Tanah Gambut Berserat yang Distabilisasi dengan Campuran CaCO₃ dan Pozolan,” *J. Tek. Sipil*, vol. 21, no. 1, p. 57, 2014, doi: 10.5614/jts.2014.21.1.6.
- [24] G. B. S. Pratama, H. Yasuhara, N. Kinoshita, and H. Putra, “Application of soybean powder as urease enzyme replacement on EICP method for soil improvement technique,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 622, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/622/1/012035.
- [25] Yondra and W. Nelvia, “Kajian Sifat Kimia Lahan Gambut Pada Berbagai Landuse,” *J. Agric.*, vol. 29, no. 25, pp. 103–112, 2017, [Online]. Available: ejournal.uksw.edu/agric%0AKAJIAN.
- [26] G. Kim, J. Kim, and H. Youn, “Effect of temperature, pH, and reaction duration on microbially induced calcite precipitation,” *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 8, 2018, doi: 10.3390/app8081277.
- [27] M. Umar, K. A. Kassim, and K. T. Ping Chiet, “Biological process of soil improvement in civil engineering: A review,” *J. Rock Mech. Geotech. Eng.*, vol. 8, no. 5, pp. 767–774, 2016, doi: 10.1016/j.jrmge.-2016.02.004.
- [28] Y. Gao, J. He, X. Tang, and J. Chu, “Calcium carbonate precipitation catalyzed by soybean urease as an improvement method for fine-grained soil,” *Soils Found.*, vol. 59, no. 5, pp. 1631–1637, 2019, doi: 10.1016/j.sandf.2019.03.014.
- [29] H. Putra, H. Yasuhara, and N. Kinoshita, “Optimum condition for the application of enzyme-mediated calcite precipitation technique as soil improvement method,” *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 7, no. 6, pp. 2145–2151, 2017, doi: 10.18517/ijaseit.7.6.-3425.
- [30] L. Lofianda, “Pemanfaatan Kedelai pada Metode Enzymediated Calcite Precipitation (EMCP) untuk Perbaikan Parameter Kuat Geser Tanah Pasir,” IPB University, 2021.
- [31] L. J. L. Van DB, L. Shotbolt, and M. R. Ashmore, “Dissolved organic carbon (DOC) concentrations in UK soils and the influence of soil, vegetation type and seasonality,” *Sci. Total Environ.*, vol. 427–428, pp. 269–276, 2012, doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.03.069.
- [32] D. L. Jones and V. B. Willett, “Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil,” *Soil Biol. Biochem.*, vol. 38, no. 5, pp. 991–999, 2006, doi: 10.1016/j.soilbio.2005.08.012.
- [33] F. Estu Yulianto, “Perilaku Tanah Gambut Berserat Permasalahan dan Solusinya,” *Konf. Nas. Tek. Sipil dan Infrastruktur-1*, no. October, p. G 77-G 86, 2017, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/321575251>.
- [34] F. Agus, M. Anda, A. Jamil, and Masganti, *Lahan Gambut Indonesia Pembentukan, Karakteristik, dan Potensi Mendukung Ketahanan Pangan (Edisi Revisi)*. 2014.
- [35] Khusrizal, “Peranan macam organik dan kalsit terhadap perubahan pH, P, dan K dalam tanah serta serapan P dan K oleh jagung pada typic endoaquept Aceh Utara,” in *Journal of Chemical Information and Modeling*, 2013, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699.