

PERBANDINGAN KARAKTERISTIK GAMBUT PALANGKARAYA YANG TELAH DISTABILISASI DENGAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS*

Annisa Khoerani*, Dewi Amalia, Suherman Sulaiman

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012, Indonesia

*E-mai penulis, korespondensi: annisa.khoerani.mtri22@polban.ac.id

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara dengan sebaran gambut terbanyak di Asia Tenggara. Luas lahan gambut di Indonesia mencapai 13.43 juta hektar yang tersebar di empat pulau besar di Indonesia. Pembangunan infrastruktur di lahan gambut memiliki banyak resiko karena karakteristik gambut yang buruk, seperti kadar air dan kadar serat yang tinggi, hingga daya dukung yang rendah. Oleh karena itu pada saat ini banyak penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan karakteristik gambut berupa stabilisasi, hanya saja stabilisasi yang dilakukan banyak menggunakan bahan kimia yang dapat mencemari lingkungan. Pada dewasa ini, stabilisasi dengan bakteri dianggap lebih ramah lingkungan seperti stabilisasi dengan metode *Microbially Induced Calcite Precipitation* (MICP) menggunakan bakteri *Bacillus subtilis*. Proses stabilisasi dengan penambahan 7.5% larutan bakteri dapat meningkatkan kuat geser gambut dari 17.693 kPa menjadi 24.047 kPa. Peningkatan kuat geser pada gambut diikuti dengan perubahan karakteristiknya. Gambut yang berasal dari Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah memiliki karakteristik sebagai gambut berserat tipe *hemic* dengan kandungan abu yang tinggi kadar organik yang tinggi, tingkat keasaman yang tinggi, serta kemampuan penyerapan air yang sedang. Setelah dilakukan stabilisasi didapatkan karakteristik gambut menjadi gambut tidak berserat tipe *sapric* dengan kadar abu yang tinggi, kadar organik yang rendah, tingkat keasaman yang sedang, serta kemampuan penyerapan air yang rendah.

Kata kunci: Gambut, *Microbially Induced Calcite Precipitation* (MICP), *Bacillus Subtilis*, Stabilisasi

ABSTRACT

Indonesia is the country with the largest peat distribution in Southeast Asia. The total area of peatland in Indonesia reaches 13.43 million hectares, spread across four major islands in Indonesia. Infrastructure development on peatlands has many risks due to the poor characteristics of peat, such as high moisture content and fibre content, and low bearing capacity. Therefore, many studies have been conducted to improve the characteristics of peat in the form of stabilisation. However, many stabilisations use chemicals that can pollute the environment. Currently, stabilisation with bacteria is considered more environmentally friendly, such as stabilisation using the *Microbially Induced Calcite Precipitation* (MICP) method using *Bacillus subtilis* bacteria. The stabilisation process with the addition of 7.5% bacterial solution can increase the shear strength of peat from 17,693 kPa to 24,047 kPa. The increase in peat shear strength was followed by changes in its characteristics. Peat from Palangkaraya City, Central Kalimantan is characterised as a fibrous hemic peat with high ash content, high organic content, high acidity and moderate water absorption capacity. After stabilisation, the characteristics of the peat changed to sapric type fibrous peat with high ash content, low organic content, medium acidity and low water absorption capacity.

Key words: Peat, *Microbially Induced Calcite Precipitation* (MICP), *Bacillus Subtilis*, Stabilisation

1. PENDAHULUAN

Sebaran gambut di dunia mencapai 423 juta hektar yang tersebar mulai dari Amerika Utara, Asia, dan Eropa [1,2]. Indonesia merupakan negara di Asia Tenggara yang memiliki sebaran gambut terbanyak yaitu 13.43 juta hektar [3]. Karakteristik gambut memiliki nilai ketanahan geser yang kecil, kadar air yang tinggi, nilai sensitivitas yang tinggi, bersifat asam, mengandung banyak material, dan memiliki nilai permeabilitas yang tinggi [4]-[8]. Dalam pembangunan infrastruktur, gambut sering kali diganti dengan material lain karena memiliki karakteristik yang buruk [9]. Karakteristik tersebut menyebabkan kerusakan dan kegagalan pada konstruksi infrastruktur di atas gambut [10]. Salah satu kerusakan di atas lahan gambut disebabkan oleh nilai penurunan yang tinggi dan penurunan tidak seragam. Selain itu, sifat asam yang ada pada gambut juga dapat menyebabkan kerusakan berupa korosi pada tulangan baja dan menyebabkan pelepasan butiran partikel beton sehingga menimbulkan pengeroposan pada beton [11].

Karakteristik gambut dapat ditingkatkan dengan melakukan stabilisasi tanah ataupun perkuatan tanah. Stabilisasi gambut biasa dilakukan dengan menggunakan bahan-bahan kimia seperti semen *portland*, silika, kapur dan lain sebagainya, yang pada

penerapannya dapat mencemari lingkungan dan harus segera ditinggalkan [12,13]. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk dapat menemukan bahan stabilisasi yang ramah lingkungan [14]. Salah satu penelitian yang banyak dilakukan saat ini adalah stabilisasi dengan metode MICP menggunakan bakteri penghasil enzim *urease* sehingga dapat meningkatkan karakteristik tanah [15,16].

Microbially Induced Carbonate Precipitation (MICP) merupakan proses yang dilakukan untuk dapat menghasilkan pengendapan kalsium karbonat ($CaCO_3$) yang berasal dari aktivitas metabolisme bakteri penghasil enzim *urease* [17]. Kalsium karbonat yang dihasilkan pada proses ini dapat meningkatkan karakteristik tanah seperti sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat kimia tanah [18]. Salah satu jenis bakteri yang dapat digunakan dalam proses MICP adalah bakteri *Bacillus sp.* yaitu bakteri *Bacillus subtilis* [19].

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan karakteristik gambut yang berasal dari Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah dengan gambut yang di stabilisasi menggunakan metode MICP dengan bakteri *Bacillus subtilis*. Perbandingan karakteristik yang dilakukan berdasarkan pengujian sifat fisik gambut berupa kadar air, kadar serat, sebaran ukuran serat, keasaman, serta kadar abu. Pengujian sifat mekanik gambut berupa kuat geser langsung dilakukan untuk mengetahui komposisi optimum bakteri pada penelitian ini sebagai bahan perbandingan dengan gambut kondisi asli.

2. DASAR TEORI

2.1 Gambut

Gambut dapat disebut juga sebagai tanah organik merupakan tanah yang terbentuk akibat timbunan dari sisa-sisa tanaman atau pohon yang telah mati dan mengalami proses pembusukan selama ribuan tahun [20]. Gambut dapat terbentuk akibat terjadinya ketidaksesuaian antara kecepatan pengendapan dan kecepatan pembusukan tanaman yang dipengaruhi oleh daerah tempat terjadinya pembentukan tersebut [21]. Hal yang dapat mempengaruhi proses pembentukan gambut adalah aktivitas biologi tanah, kondisi lingkungan yang asam, atau genangan air yang menciptakan kondisi anaerob.

2.2 *Microbially Induced Carbonate Precipitation* (MICP)

Microbial-Induced Calcite Precipitation atau MICP merupakan metode stabilisasi tanah yang dikenal ramah lingkungan, hal ini karena MICP memanfaatkan bakteri ataupun unsur biologi tanah untuk memodifikasi tanah yang diinginkan [22]. Teknik MICP dilakukan dengan menambahkan bakteri penghasil *urease* yang dikembangkan dalam media tertentu sehingga dapat mengkatalisis urea yang akan menghasilkan Kalsium Karbonat ($CaCO_3$) dan mengikat partikel-partikel tanah. Pelaksanaan MICP dapat meningkatkan kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiff*) tanah yang distabilisasi.

2.3 *Bacillus Subtilis*

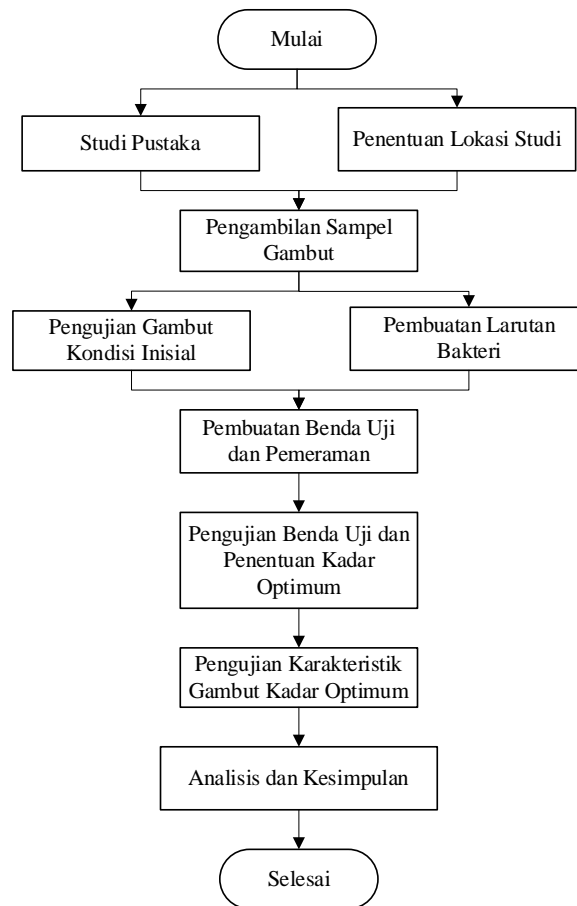
Bakteri *Bacillus subtilis* merupakan salah satu jenis bakteri penghasil *urease* yang dapat digunakan dalam pelaksanaan stabilisasi menggunakan metode MICP. Bakteri ini termasuk ke dalam bakteri *heterotroph*, bersifat aerob atau anaerob fakultatif, ber-gram positif, dan mudah untuk dikembangbiakkan dengan skala industri karena mudah untuk dimanipulasi secara genetik [23]. Bakteri ini termasuk ke dalam bakteri antagonis yang dapat bertahan pada kondisi lingkungan yang ekstrim, yaitu lingkungan dingin dengan suhu $-5^{\circ}C$ ataupun suhu tinggi yaitu $75^{\circ}C$ dengan tingkat keasaman antara pH 2-8. Bakteri *Bacillus subtilis* dalam pelaksanaan stabilisasi tanah berfungsi sebagai penghasil enzim *urease* untuk memisahkan urea menjadi ion amonium dan karbonat. Ion karbonat yang dihasilkan diendapkan sebagai kristal kalsit dengan adanya ion kalsium

3. METODOLOGI PENELITIAN

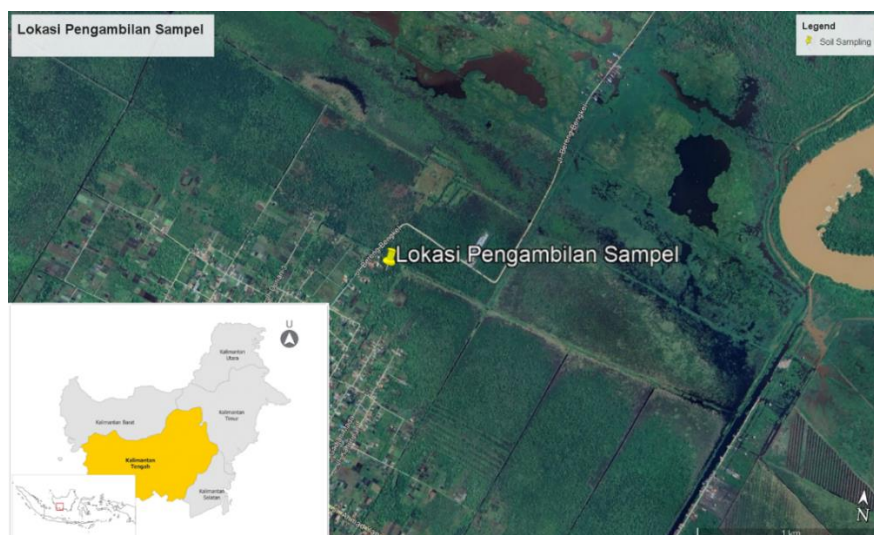
Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan pertama yang dilakukan adalah pengambilan sampel gambut di lokasi studi, dilanjutkan dengan pengujian sampel gambut kondisi asli, pelaksanaan stabilisasi gambut, serta pengujian sampel gambut hasil stabilisasi. Analisis karakteristik gambut menjadi tahapan akhir dari pelaksanaan penelitian ini. Secara singkat, metode penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 1.

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan terhadap sampel gambut yang diambil di Kota Palangkaraya, Provinsi Kalimantan Tengah berupa sampel terganggu (*disturbed sample*) dan sampel tidak terganggu (*undisturbed sample*). Lokasi pengambilan sampel gambut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1 Diagram Metode Penelitian

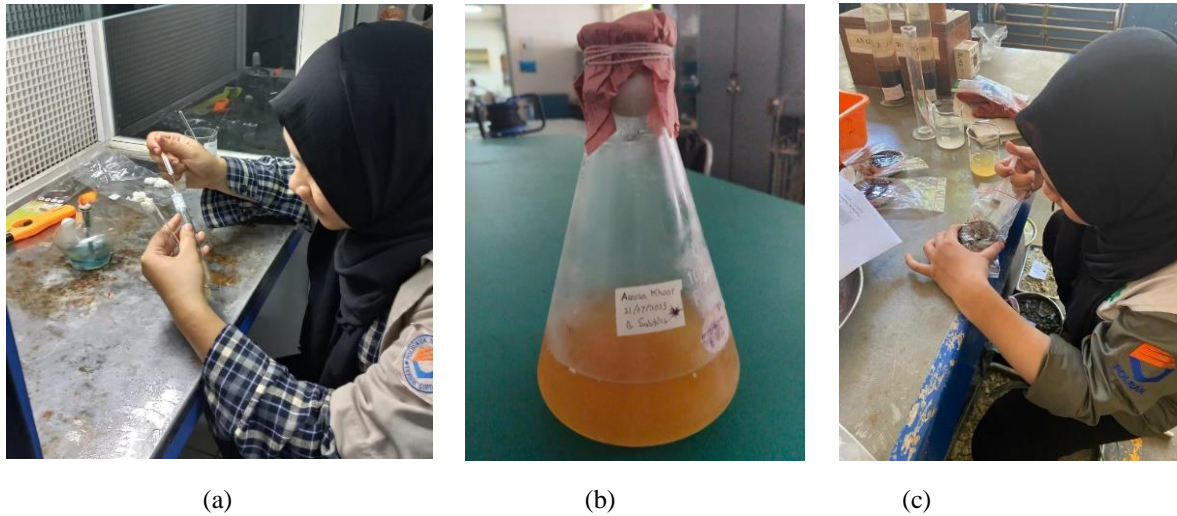


Gambar 2 Lokasi Pengambilan Sampel Gambut

3.2 Stabilisasi Gambut dengan Bakteri *Bacillus Subtilis*

Pelaksanaan stabilisasi gambut diawali dengan pembuatan larutan bakteri *Bacillus subtilis* yang dilakukan di Laboratorium Bioproses dengan mencampurkan larutan *Nutrient Broth* sebagai media hidup dan bakteri yang telah dikembangkan. Setelah bakteri *Bacillus subtilis* dipastikan sudah hidup dan berkembang di dalam *Nutrient broth* dengan masa inkubasi selama 3 hari, larutan bakteri tersebut selanjutnya dicampurkan dengan NaHCO_3 , CaCl_2 , dan NH_4Cl sebagai katalis agar bakteri dapat

menghasilkan kalsit. Larutan stabilisasi bakteri yang telah siap selanjutnya akan disuntikkan ke dalam sampel gambut dengan rasio 0% (kondisi asli); 2,5%; 5%; 7,5%; dan 10%. Rasio penambahan larutan bakteri dilakukan berdasarkan berat tanah dalam kondisi asli (*γt*). Setelah bakteri di campurkan, kemudian dilakukan pemeraman selama 28 hari. Proses pencampuran larutan bakteri dengan gambut ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3a ditunjukkan proses pengembangbiakan bakteri *Bacillus subtilis* yang akan dicampurkan dengan *nutrient broth* dan bahan penyusun lainnya sehingga menjadi larutan stabilisasi seperti pada Gambar 3(b). Pada Gambar 3(c) ditunjukkan proses penyuntikan larutan stabilisasi terhadap sampel gambut yang sudah disiapkan sebelumnya.



Gambar 3 Proses Stabilisasi Gambut dengan Bakteri

3.3 Pengujian Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Gambut

Pelaksanaan pengujian sifat fisik dan sifat mekanik pada gambut dilakukan sesuai dengan Norma, Standar, Pedoman, dan Manual (NSPM) yang berlaku. Pengujian yang dilakukan baik untuk sampel gambut kondisi asli ataupun stabilisasi adalah pengujian kadar Air Alami (*Natural Water Content*) merujuk pada ASTM D 2216, pengujian berat jenis (*Specific Gravity*) merujuk pada ASTM D854-14, berat isi (*Density Test*) berdasarkan ASTM D7263, kandungan organik dan abu merujuk pada SNI 13-6793-2002, kandungan serat berdasarkan *Peat Testing Manual* 1979 dan uji geser langsung (*Direct Shear Test*) dengan ASTM D3080-04.

3.4 Analisis Karakteristik Gambut

Analisis karakteristik gambut dilakukan dengan mengklasifikasikan gambut berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan. Klasifikasi karakteristik gambut dilakukan berdasarkan Tabel 1.

Tabel 1 Dasar Klasifikasi Karakteristik Gambut

Dasar Klasifikasi	Jenis Klasifikasi	Kategori Klasifikasi	Rentang Nilai
ASTM D4427-84 (1989)	Kadar Serat	<i>Fibric Peat</i>	> 67%
		<i>Hemic Peat</i>	33% - 67%
		<i>Sapric Peat</i>	< 33%
Mc. Farlane (1964)	Jenis Gambut	<i>Fibrous Peat</i>	> 20%
		<i>Amorphous Peat</i>	< 20%
ASTM D4427-84 (1989)	Kadar Abu	<i>Low Ash Peat</i>	< 5%
		<i>Medium Ash Peat</i>	5% - 15%
		<i>High Ash Peat</i>	> 15%
	Tingkat Keasaman	<i>Highly Acidic</i>	< 4.5
		<i>Moderately Acidic</i>	4.5 - 5.5
	<i>Slightly Acidic</i>	> 5.5 - < 7	

Dasar Klasifikasi	Jenis Klasifikasi	Kategori Klasifikasi	Rentang Nilai
		<i>Basic</i>	≥ 7
		<i>Extreme</i>	$> 1500 \%$
	Penyerapan Air	<i>High</i>	800% - 1500%
		<i>Moderate</i>	300% - 800%
		<i>Low</i>	$< 300\%$

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Sifat Fisik Gambut Kondisi Inisial

Perubahan karakteristik gambut akibat penambahan bakteri *Bacillus subtilis* dapat diketahui dengan membandingkan sifat fisik gambut kondisi inisial dan kondisi hasil stabilisasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian pendahuluan berupa pengujian indeks propertis atau sifat fisik terhadap sampel gambut kondisi inisial yang akan di stabilisasi. Pengujian sifat fisik gambut yang dilakukan terdiri dari pengujian kadar air, berat jenis, berat isi, kadar serat, distribusi ukuran serat, serta tingkat keasaman gambut (pH). Hasil Pengujian sifat fisik gambut kondisi inisial ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Sifat Fisik Gambut Kondisi Inisial

Sifat	Satuan	Gambut Kondisi Inisial
Berat Jenis (<i>G_s</i>)	-	1,48
Kadar Air (<i>w_c</i>)	%	639,35
Berat Volume (<i>y</i>)	gr/cm ³	0,98
Berat Volume Kering (<i>y_d</i>)	gr/cm ³	0,13
Angka Pori (<i>e</i>)	-	10,12
Keasaman (pH)	-	3,2
Kandungan Organik (<i>O_c</i>)	%	96,75
Kadar Abu (<i>A_c</i>)	%	3,25
Kadar Serat (<i>F_c</i>)	%	53,23
- Kadar Serat Kasar	%	56,62
- Kadar Serat Sedang	%	26,38
- Kadar Serat Halus	%	17,00

Berdasarkan Tabel 2 dan persyaratan klasifikasi untuk gambut pada Tabel 1, gambut yang berasal dari Kecamatan Bereng Bengkel, Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah ini termasuk kedalam gambut berserat jenis *hemic* dengan kandungan serat $>20\%$ yaitu 53,23% Gambut ini memiliki penyerapan sedang dengan kadar air sebesar 639,35% dan pori yang besar karena memiliki perbandingan 6 kali lipa antara volume basah yaitu 0,98 gr/cm³ dengan berat volume kering sebesar 0,13 gr/cm³. Selain itu gambut ini memiliki kadar abu yang rendah yaitu 3,25% dan keasaman yang tinggi dengan pH 3,2.

4.2 Stabilisasi Gambut dengan Bakteri *Bacillus Subtilis*

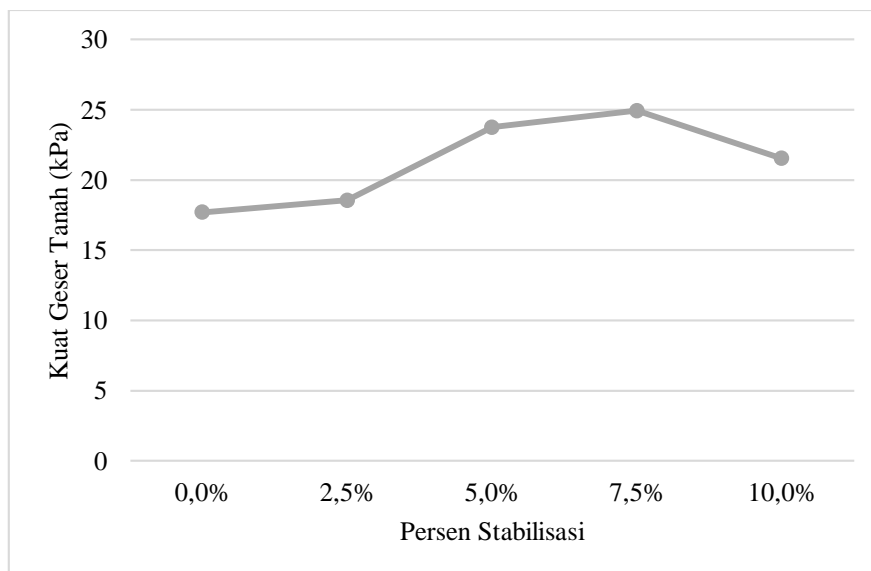
Pelaksanaan stabilisasi sampel gambut dengan bakteri *Bacillus subtilis* dilakukan dengan menyuntikkan larutan stabilisasi bakteri ke dalam sampel gambut yang telah dicetak dengan menggunakan pipa PVC dengan ukuran sampel untuk pengujian kuat geser langsung (*direct shear test*). Setelah bakteri disuntikkan, selanjutnya dilakukan pemeraman selama 28 hari, selama masa pemeraman setiap harinya sampel dilakukan perawatan dengan menyuntikkan *nutrient broth* sebagai makanan bakteri. Setelah waktu pemeraman mencapai 28 hari, selanjutnya dilakukan pengujian sifat mekanik berupa kuat geser langsung sehingga dapat diketahui variasi penambahan optimum pada penelitian ini. Hasil pengujian kuat geser langsung yang telah dilakukan ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 4.

Berdasarkan hasil pengujian kuat geser langsung yang telah dilakukan dan ditunjukkan pada Gambar 4, diketahui bahwa penambahan 7,5% larutan stabilisasi bakteri merupakan variasi penambahan larutan optimum pada penelitian ini. Hal ini ditunjukkan dari peningkatan nilai kohesi tanah serta kuat geser tanah yang terjadi. Penambahan larutan bakteri sebanyak 7.5% dapat meningkatkan nilai kohesi tanah dari 0.089 kg/cm² menjadi 0.173 kg/cm², serta dapat meningkatkan kekuatan geser tanah dari 17.693 kPa menjadi 24.047 kPa. Peningkatan kuat geser tanah dapat terjadi akibat adanya perubahan sifat fisik pada gambut setelah penambahan larutan stabilisasi. Hal ini terjadi karena bakteri *Bacillus subtilis* yang ditambahkan dapat mengkatalisasi

enzim urease sehingga menghasilkan kalsium karbonat. Kalsium karbonat yang dihasilkan dapat yang berfungsi untuk mengikat partikel yang ada pada gambut sehingga mengurangi pori-pori pada gambut. Berdasarkan hasil tersebut maka sampel gambut dengan penambahan 7,5% larutan bakteri, menjadi sampel gambut hasil stabilisasi yang akan diuji dan dibandingkan dengan sampel gambut kondisi inisial atau sampel gambut kondisi asli

Tabel 3 Hasil Pengujian Kuat Geser Langsung

Sampel Pengujian	Parameter Hasil Pengujian			
	C kg/cm ²	ϕ °	τ kg/cm ²	kPa
Gambut + 0% (kondisi asli)	0.089	30.29	0.18041	17.6926
Gambut + 2.5% larutan	0.100	26.87	0.17929	17.5827
Gambut + 5% Bakteri	0.121	34.55	0.22876	22.4338
Gambut + 7.5% Bakteri	0.173	24.77	0.24521	24.0473
Gambut + 10% Bakteri	0.133	26.15	0.20984	20.5781



Gambar 4 Nilai Kuat Geser Tanah pada Gambut

4.3 Sifat Fisik Gambut Hasil Stabilisasi

Berdasarkan hasil stabilisasi sampel gambut yang telah dilakukan, diketahui bahwa pada penelitian ini penambahan larutan stabilisasi bakteri sebanyak 7,5% merupakan variasi penambahan optimum. Sampel gambut dengan penambahan 7,5% selanjutnya dilakukan pengujian berupa sifat fisik gambut agar dapat dibandingkan dengan sampel gambut kondisi inisial. Pengujian sifat fisik gambut yang dilakukan terdiri dari pengujian kadar air, berat jenis, berat isi, kadar serat, distribusi ukuran serat, serta tingkat keasaman gambut (pH). Hasil Pengujian sifat fisik gambut hasil stabilisasi ditunjukkan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4 Sifat Fisik Gambut Hasil Stabilisasi

Sifat	Satuan	Gambut Hasil Stabilisasi
Berat Jenis (G_s)	-	1,94
Kadar Air (w_c)	%	248,15
Berat Volume (γ)	gr/cm ³	1,25
Berat Volume Kering (γ_d)	gr/cm ³	0,36
Angka Pori (e)	-	4,40
Keasaman (pH)	-	6,5
Kandungan Organik (O_c)	%	61,41
Kadar Abu (A_c)	%	38,59
Kadar Serat (F_c)	%	17,13
- Kadar Serat Kasar	%	24,75
- Kadar Serat Sedang	%	33,98
- Kadar Serat Halus	%	41,27

4.4 Analisis Karakteristik Gambut

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada sampel gambut kondisi inisial dan sampel gambut hasil stabilisasi maka karakteristik gambut dari kedua sampel tersebut dapat dibandingkan. Karakteristik gambut akan diketahui berdasarkan klasifikasi gambut yang telah diuraikan pada subbab sebelumnya. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, maka sampel gambut kondisi inisial dan sampel gambut hasil stabilisasi dapat di klasifikasikan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Klasifikasi Gambut Kondisi Inisial dan Gambut Hasil Stabilisasi

Dasar Klasifikasi	Gambut Kondisi Inisial		Gambut Hasil Stabilisasi		Keterangan
	Nilai	Kategori	Nilai	Kategori	
Kandungan Serat	53,23%	<i>Hemic</i>	17,13%	<i>Sapric</i>	ASTM D4427-84
Jenis Gambut	<i>Fibrous peat</i>		<i>Amorphous peat</i>		MacFaslane & Radforth (1965)
Kandungan Abu	3,25%	<i>Low ash</i>	38,59%	<i>High Ash</i>	ASTM D4427-84
Keasaman	3,2	<i>High Acidity</i>	6,5	<i>Slightly Acidity</i>	ASTM D4427-84
Absorbency	639,35%	<i>Moderately</i>	248,15%	<i>Slightly</i>	ASTM D4427-84

Berdasarkan tabel tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa stabilisasi gambut menggunakan metode MICP dengan bakteri *Bacillus subtilis* dapat meningkatkan karakteristik gambut menjadi lebih baik. Hal ini ditunjukkan di mulai dari kandungan serat pada sampel gambut hasil stabilisasi mengalami penurunan yang cukup signifikan yang disertai dengan terjadinya peningkatan kadar abu pada sampel gambut tersebut. Hasil ini menunjukkan bahwa bakteri *Bacillus subtilis* berhasil mengkatalisis kalsium karbonat sehingga menambah jumlah mineral yang ada pada gambut, selain itu bakteri ini berhasil menguraikan serat yang ada pada sampel sehingga berdampak pada kadar air yang semakin rendah. Kadar air pada gambut kondisi inisial memiliki nilai yang tinggi, hal ini terjadi karena gambut terdiri dari serat sehingga menciptakan *makropori* serta *mikropori* yang dapat menyerap/menyimpan air lebih banyak. Stabilisasi dengan bakteri juga menunjukkan perubahan tingkat keasaman yang dimiliki oleh sampel gambut sehingga sampel gambut hasil stabilisasi menunjukkan tingkat keasaman yang cenderung normal.

5. KESIMPULAN

Gambut merupakan salah satu jenis tanah yang tersebar luas di Indonesia. Gambut memiliki karakteristik yang sangat buruk sehingga jika gambut tidak diberi penanganan khusus dapat menimbulkan kerusakan dan kegagalan konstruksi. Pada penelitian ini, gambut yang berasal dari Kecamatan Bereng Bengkel, Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah akan diberikan salah satu jenis penanganan khusus berupa stabilisasi dengan menggunakan bakteri *Bacillus subtilis*. Pada penelitian ini diharapkan terjadi

peningkatan karakteristik gambut sehingga permasalahan infrastruktur yang sering terjadi dapat diatasi. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diketahui bahwa pada penelitian ini komposisi optimum dari larutan stabilisasi bakteri berada pada komposisi penambahan 7,5% larutan. Variasi tersebut merupakan variasi optimum yang dapat meningkatkan kuat geser gambut dari 17,6926 kPa menjadi 24,0475 kPa. Pelaksanaan stabilisasi ini selain meningkatkan kekuatan gambut tetapi juga meningkatkan karakteristik pada gambut. Gambut yang berasal dari Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah memiliki karakteristik sebagai gambut berserat tipe *hemic* dengan kandungan abu yang tinggi kadar organik yang tinggi, tingkat keasaman yang tinggi, serta kemampuan penyerapan air yang sedang. Setelah dilakukan stabilisasi dengan bakteri *Bacillus subtilis* didapatkan karakteristik gambut tersebut menjadi gambut tidak berserat tipe *sapric* dengan kadar abu yang tinggi, kadar organik yang rendah, tingkat keasaman yang sedang, serta kemampuan penyerapan air yang rendah. Perubahan karakteristik dan peningkatan kekuatan gambut tersebut menunjukkan bahwa stabilisasi dengan menggunakan bakteri *Bacillus subtilis* memberikan hasil yang baik. Peningkatan ini dapat terjadi akibat adanya aktivitas metabolisme bakteri penghasil enzim *urease* dari bakteri *Bacillus* menjadi kristal kalsium karbonat ($CaCO_3$) yang dapat menutup pori yang ada pada gambut. Penelitian lanjutan dapat dilakukan untuk melihat pengaruh stabilisasi yang telah dilakukan dengan struktur konstruksi baik dengan percobaan langsung skala lapangan dan skala laboratorium, atau percobaan secara numerik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Unit Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (UPPM) Politeknik Negeri Bandung atas dukungannya secara finansial sehingga penelitian ini yang merupakan bagian dari skema Penelitian Pascasarjana (PPs) 2023 dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Xu, P. J. Morris, J. Liu, and J. Holden, "PEATMAP: Refining estimates of global peatland distribution based on a meta-analysis," *Catena*, vol. 160, no. April 2017, pp. 134–140, 2018, doi: 10.1016/j.catena.2017.09.010.
- [2] L. Zigang and L. Xintu, "The Global Distribution Of Peat," *Encyclopedia of Life Support System*, vol. II.
- [3] M. Anda, S. Ritung, E. Suryani, M. Hikmat, E. Yatno, Anny Mulyani, Rudi Eko Subandiono, Suratman, Husnain, "Revisiting tropical peatlands in Indonesia: Semi-detailed mapping, extent and depth distribution assessment," *Geoderma*, vol. 402, no. June 2020, p. 115235, 2021, doi: 10.1016/j.geoderma.2021.115235.
- [4] L. J. Hua, S. Mohd, S.A.A. Tajudin, S.N. Ali Mohamad, I. Bakar, M.I. Mohd. A. Zainorabidin, A. Abdul-Wadoud Mahmud, "Construction of infrastructure on peat: Case studies and lessons learned," *MATEC Web of Conferences*, vol. 47, pp. 0–5, 2016, doi: 10.1051/mateconf/20164703014.
- [5] X. Wang, X. Cao, H. Xu, S. Zhang, Y. Gao, Z. Deng, J. Li., "Research on the properties of peat soil and foundation treatment technology," *E3S Web of Conferences*, vol. 272, pp. 2019–2022, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202127202019.
- [6] F. Syarif, G. Mahadika Davino, and M. Ferry Ardianto, "Penerapan Teknik Biocementation Oleh Bacillus Subtilis Dan Pengaruhnya Terhadap Permeabilitas Pada Tanah Organik," *Jurnal Saintis*, vol. 20, no. 01, pp. 47–52, 2020, doi: 10.25299/saintis.2020.vol20(01).4809.
- [7] S. A. Nugroho, "Stabilisasi Tanah Gambut Riau Menggunakan Campuran Tanah Non Organik dan Semen Sebagai Bahan Timbunan Jalan," *Dinamika Teknik Sipil*, vol. 12, no. 2, pp. 151–156, 2012.
- [8] S. Islam and R. Hashim, "Bearing Capacity of Stabilised Tropical Peat by Deep Mixing Method," 2009.
- [9] I. R. K. Phang, K. S. Wong, Y. S. Chan, and S. Y. Lau, "Effect of microbial-induced calcite precipitation towards strength and permeability of peat," *Bull Eng Geol Environ*, vol. 81, no. 8, p. 314, Aug. 2022, doi: 10.1007/s10064-022-02790-0.
- [10] A. Waruwu and T. H. Nasution, "Analisis Penurunan Tanah Gambut Dengan Timbunan Yang Diperkuat Grid Bambu Dan Tiang Beton," vol. 37, no. 1, 2020.
- [11] M. A. Sultan, I. Imran, and M. Faujan, "Pengaruh Rendaman Asam Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Penambahan Fly Ash," *TJ*, vol. 11, no. 1, p. 61, Apr. 2021, doi: 10.29103/tj.v11i1.367.
- [12] S. Islam and R. Hashim, "Stabilization of Peat by Deep Mixing Method: A Critical Review of the State of Practice," *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 13, 2008.
- [13] S. Gowthaman, T. H. K. Nawarathna, P. G. N. Nayanthara, K. Nakashima, and S. Kawasaki, "The Amendments in Typical Microbial Induced Soil Stabilization by Low-Grade Chemicals, Biopolymers and Other Additives: A Review," *Building Materials for Sustainable and Ecological Environment*, pp. 49–72, 2021, doi: 10.1007/978-981-16-1706-5_4.
- [14] L. Cheng, M. A. Shahin, and R. Cord-Ruwisch, "Soil Stabilisation by Microbial-Induced Calcite Precipitation (MICP): Investigation into Some Physical and Environmental Aspects," *7th International Congress on Environmental Geotechnics: ICEG 2014*, vol. 64, no. 12, pp. 1105–1112, 2014.
- [15] D. Mujah, M. A. Shahin, and L. Cheng, "State-of-the-Art Review of Biocementation by Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) for Soil Stabilization," *Geomicrobiology Journal*, vol. 34, no. 6, pp. 524–537, Jul. 2017, doi: 10.1080/01490451.2016.1225866.

- [16] G. El Mountassir, J. M. Minto, L. A. Van Paassen, E. Salifu, and R. J. Lunn, "Applications of Microbial Processes in Geotechnical Engineering," in *Advances in Applied Microbiology*, vol. 104, Elsevier, 2018, pp. 39–91. doi: 10.1016/bs.aambs.2018.05.001.
- [17] T. Fu, A. C. Saracho, and S. K. Haigh, "Microbially induced carbonate precipitation (MICP) for soil strengthening: A comprehensive review," *Biogeotechnics*, vol. 1, no. 1, p. 100002, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.bgtech.2023.100002.
- [18] N. Jiang *et al.*, "Bio-mediated soil improvement: An introspection into processes, materials, characterization and applications," *Soil Use and Management*, vol. 38, no. 1, pp. 68–93, Jan. 2022, doi: 10.1111/sum.12736.
- [19] M. Alavi, M. Taran, and A. Berimavandi, "Evaluation of stabilized soil by *Bacillus* sp. HAI4 in different conditions through Taguchi method," *Biological Journal of Microorganism 7 th Year*, vol. 7, no. 28, pp. 11–19, 2019.
- [20] Forestry Policy and Resources Division, *Peatlands Mapping and Monitoring - Recommendations and Technical Overview*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020. doi: 10.4060/ca8200en.
- [21] F. Parish, A. Sirin, D. Lee, and M. Silvius, *Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate change*. Wageningen: Global Environment Centre & Wetlands International, 2008.
- [22] A. Almajed, M. A. Lateef, A. A. B. Moghal, and K. Lemboye, "State-of-the-art review of the applicability and challenges of microbial-induced calcite precipitation (Micp) and enzyme-induced calcite precipitation (eicp) techniques for geotechnical and geoenvironmental applications," *Crystals*, vol. 11, no. 4, 2021, doi: 10.3390/cryst11040370.
- [23] Suriani and A. Muis, "Prospek *Bacillus subtilis* sebagai Agen Pengendali Hayati Patogen Tular Tanah pada Tanaman Jagung," *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, vol. 35, no. 1, p. 37, 2016, doi: 10.21082/jp3.v35n1.2016.p37-45.