

Pengaruh Usia Stabilisasi Tanah Gambut Melalui Bioaugmentasi Oleh Bakteri *Pseudomonas Taiwanensis*

**Elrich Gratiawan WD Gulo¹, Dewi Amalia^{*2}, Lindung Zalbuin Mase³,
Faisal Estu Yulianto⁴**

^{1,2} Program Studi Magister Terapan Rekayasa Infrastruktur, Jurusan Teknik Sipil,
Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Parongpong, Bandung Barat, Jawa Barat

³Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

Jl. WR. Supratman, Kandang Limun, Muara Bangka Hulu, Bengkulu

⁴Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Madura

Jl. Raya Panglegur No.Km 3.5, Barat, Panglegur, Tlanakan, Pamekasan, Jawa Timur

Submitted : 07, September, 2023;

Accepted: 30, Oktober, 2023

Abstrak

Sebelum membangun di atas tanah gambut harus dilakukan perlakuan *treatment* khusus agar struktur yang dibangun dapat stabil. Salah satu metode yang telah diusulkan untuk memperbaiki sifat tanah gambut adalah stabilisasi tanah biologis melalui pendekatan bioteknologi. Metode bioaugmentasi merupakan salah satu pendekatan perbaikan tanah yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mempercepat dekomposisi serat gambut, menurunkan kadar air dan mengatasi tingkat keasaman yang tinggi pada tanah gambut. Dalam studi eksperimen ini, bakteri *pseudomonas taiwanensis* digunakan sebagai agen dalam proses bioaugmentasi, karena memiliki kemampuan yang tinggi dalam dekomposisi serat gambut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bakteri *pseudomonas taiwanensis* sebesar 5% di masa pemeraman 28 hari berhasil mengurangi kadar air hingga 309,45%, dari awalnya 704,02% menjadi 394,57%. Selain itu, terjadi peningkatan signifikan pada nilai pH, dari 3,2 menjadi 6,5, pada semua variasi sampel. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa bakteri *pseudomonas taiwanensis* dapat efektif meningkatkan sifat fisik tanah gambut.

Kata Kunci : bioaugmentasi; dekomposisi serat gambut; *pseudomonas taiwanensis*

Abstract

Peat soil must be treated before building on it so that the structure can be stabilized. One method that has been proposed to improve peat soil properties is biological soil stabilization through a biotechnology approach. The bioaugmentation method is one of the environmentally friendly soil improvement approaches. This research aims to accelerate the decomposition of peat fibers, reduce water content, and overcome the high acidity of peat soil. In this experimental study, the bacterium pseudomonas taiwanensis

was used as an agent in the bioaugmentation process, because it has a high ability to decompose peat fibers. The results showed that the addition of pseudomonas taiwanensis bacteria at 5% during the 28-day curing period reduced the moisture content by 309,45%, from 704,02% to 394,57%. In addition, there was a significant increase in the pH value, from 3,2 to 6,5, in all sample variations. Therefore, it can be concluded that Pseudomonas taiwanensis bacteria can effectively improve the physical properties of peat soil.

Keywords : *bioaugmentation; peat fiber decomposition; pseudomonas taiwanensis*

A. PENDAHULUAN

Tanah gambut (*peat soil*) terbentuk akibat penumpukan bahan-bahan organik dari sisa tumbuhan yang tidak mengalami dekomposisi secara sempurna (Fawzi & Qurani, 2021) dalam kondisi lingkungan yang tergenang air (Hu et al., 2011). Penyebabnya adalah lingkungan gambut yang kurang oksigen (anoksik) (Chen et al., 2021), menghambat aktivitas mikroba pengurai. Tanah gambut dikenal sebagai tanah yang bermasalah secara geoteknik (*problematic soil*) karena memiliki daya dukung rendah, kadar air tinggi, serta indeks kompresibilitas tinggi, sehingga mengalami penurunan yang signifikan dan dalam jangka waktu yang cukup lama (Zebua, 2022).

Indonesia adalah negara dengan wilayah gambut terluas di dunia, yang mencakup setidaknya 47% dari total wilayah gambut tropis di seluruh dunia dan menjadikannya sebagai negara yang memiliki lahan gambut terbesar di Asia Tenggara (Sanjaya et al., 2023). Lahan gambut di negara Indonesia diperkirakan mencapai 21 juta hektar (Bay et al., 2021) dan tersebar terutama di Pulau Sumatera, Kalimantan dan Papua. Biasanya, lahan gambut digunakan untuk pertanian dan perkebunan (Wulandari & Fitriarsi, 2022). Namun, karena ketersediaan lahan yang terbatas, pembangunan infrastruktur di atas tanah gambut sering terpaksa dilakukan untuk memenuhi kebutuhan hunian masyarakat (Ramdhan, 2018).

Kadar air tanah gambut sangat tinggi, sehingga tanah gambut memiliki daya dukung yang sangat rendah (Wahab et al., 2020), dan tidak dapat menopang pondasi bangunan (Syaiful Pradana & Rohmah, 2018). Dari kedua penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar air tanah gambut, maka semakin menurun daya dukungnya.

Tingginya kadar air tentu mempengaruhi perilaku penurunan tanah gambut yang tidak biasa (Gofar & Sutejo, 2007). Kadar air yang tinggi pada tanah gambut menyebabkan nilai indeks kompresibilitasnya tinggi (Johari et al., 2016). Akibatnya, bangunan infrastruktur yang didirikan di atas tanah gambut akan sangat rentan terhadap kerusakan akibat penurunan (Handali et al., 2014). Selain itu, kadar air tinggi juga menyebabkan kekuatan geser tanah gambut menjadi sangat rendah (Ulusay & Işık, 2018).

Banyak peneliti setuju bahwa serat gambut merupakan penyebab utama rendahnya sifat fisis dan teknis tanah (Gofar & Sutejo, 2007; Johari et al., 2016). Hal ini disebabkan oleh adanya mikropori dan makropori serat gambut (Rismantojo & Ningsih, 2021). Pori-pori ini memiliki kemampuan untuk menyerap air dalam jumlah yang besar sehingga menjaga tanah gambut tetap dalam kondisi jenuh (Mochtar & Yulianto, 2014). Akibatnya, tanah gambut memiliki kadar air yang begitu tinggi bahkan mencapai 1500% (Yulianto, 2017).

Selain itu, tanah gambut memiliki nilai pH yang rendah, yaitu sekitar 3,0 sampai 4,5 (Lee et al., 2021). Hal tersebut mengindikasikan tanah gambut memiliki tingkat keasaman yang tinggi. Tanah gambut secara alami bersifat asam karena akumulasi bahan organik dan kurangnya pelapukan mineral (Rahmawati et al., 2022). Nilai pH rendah tanah gambut dapat menyebabkan korosi pada tulangan baja pondasi (Rein, 2015). Selain itu, nilai pH rendah pada tanah gambut juga dapat menyebabkan deteriorasi beton dan batu bata (Islam et al., 2014). Bukan hanya itu saja, nilai pH rendah pada tanah gambut mempengaruhi kualitas air yang bersifat asam (Yli-Halla et al., 2022). Hasil penelitian terdahulu menjelaskan bahwa tanah dengan tingkat keasaman tinggi berpotensi merusak bangunan, khususnya beton dan tulangan yang dapat mengalami keropos (Ahmad et al., 2022). Selain itu, tanah gambut yang asam bisa menyebabkan penurunan muka tanah atau subsiden (Turmudi et al., 2016). Kerusakan pada bangunan akibat tanah gambut yang asam, menimbulkan risiko keselamatan bagi penghuninya (Wiyanto & Justin, 2019).

Berdasarkan permasalahan tersebut di atas, perlu dilakukan suatu upaya untuk memperbaiki sifat geoteknik tanah gambut. Pada umumnya, upaya perbaikan tanah sering dilakukan dengan metode konvensional yaitu metode stabilisasi tanah (Yulianto, 2017). Stabilisasi tanah adalah suatu upaya dalam memperbaiki kualitas tanah dengan menambahkan zat adiktif seperti kapur (Syaputra et al., 2022) ataupun mikroorganisme seperti bakteri penginduksi kalsit di tanah (Gowthaman et al., 2019). Stabilisasi tanah kimiawi telah terbukti mampu meningkatkan sifat geoteknik tanah, seperti kompresibilitas, kekuatan (daya dukung), permeabilitas dan stabilitasnya (Radwan et al., 2021). Hanya saja, bahan kimia yang sering digunakan pada proses

stabilisasi tanah dianggap berbahaya bagi makhluk hidup (Kulanthaivel et al., 2020) karena dapat meresap ke dalam tanah dan air tanah, menyebabkan kontaminasi serta polusi (Shafaghatian et al., 2020). Dalam upaya perbaikan tanah gambut, telah diajukan bahwa penggunaan stabilisasi kimia tidak disarankan karena ketika tanah mencapai tingkat dekomposisi tertinggi, volume tanah hasil stabilisasi akan menyusut dan bahan kimia akan terdegradasi, sehingga sifat fisik dan mekaniknya mengalami penurunan (Mochtar & Yulianto, 2014).

Berdasarkan pemikiran tersebut, sudah seharusnya stabilisasi tanah secara kimiawi ditinggalkan karena tidak ramah lingkungan (Pham et al., 2022). Oleh sebab itu, upaya perbaikan tanah gambut sebaiknya dilakukan melalui stabilisasi tanah biologis (Li et al., 2013; Soldo & Miletić, 2019). Penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa stabilisasi tanah biologis efektif dalam meningkatkan sifat-sifat geoteknik tanah (Moradi et al., 2022). Stabilisasi tanah secara biologis merupakan bagian dari bioteknologi yang melibatkan organisme hidup dalam prosesnya (Harnisch & Holtmann, 2019). Sebelumnya telah disampaikan bahwa serat gambut menjadi penyebab tingginya kadar air pada tanah gambut. Selain itu, hasil akumulasi sisa tanaman yang belum terdekomposisi juga menyebabkan tanah gambut memiliki sifat asam. Karenanya, perlu dilakukan suatu upaya percepatan dekomposisi serat gambut dan bahan organik lainnya untuk mengurangi kadar air dan meningkatkan pH tanah gambut (Zulaika et al., 2022). Dalam penelitian ini, stabilisasi tanah gambut dilakukan secara biologis melalui suatu pendekatan bioteknologi.

Bioteknologi yang telah banyak digunakan untuk stabilisasi tanah gambut yaitu bioaugmentasi (Karisma, 2012; Muslikah, 2011; Prativi et al., 2018; Yogyanta et al., 2019). Bioaugmentasi

adalah suatu proses penambahan mikroba seperti bakteri, jamur atau alga ke dalam lingkungan dengan tujuan meningkatkan degradasi atau dekomposisi polutan (Medaura et al., 2021). Pada penelitian terdahulu, percepatan dekomposisi serat gambut dilakukan dengan metode bioaugmentasi (Prativi et al., 2018; Yogyanta et al., 2019). Hanya saja, pada penelitian tersebut, menggunakan lebih dari satu jenis bakteri dekomposer (konsorsium) yang diduga menjadi penyebab kurang maksimalnya percepatan dekomposisi serat gambut. Penggunaan lebih dari satu jenis bakteri dekomposer menimbulkan adanya kompetisi antar satu spesies dengan spesies lainnya (Bauer et al., 2018; Hibbing et al., 2010). Keadaan ini menyebabkan kematian pada suatu spesies bakteri tertentu sehingga proses biologis yang diharapkan tidak berjalan maksimal (Kumar et al., 2022).

Pada penelitian yang sekarang, bakteri *pseudomonas taiwanensis* yang diajukan oleh Zulaika et al., (2022) digunakan sebagai agen bioaugmentasi dalam mempercepat dekomposisi serat gambut. Bakteri *pseudomonas taiwanensis* mampu melakukan dekomposisi serat gambut dan bahan organik lainnya dalam waktu yang singkat, sehingga bakteri ini dipilih untuk stabilisasi tanah gambut. Bakteri *pseudomonas taiwanensis* merupakan bakteri indigenus asli dari tanah gambut yang berhasil diidentifikasi oleh peneliti sebelumnya (Zulaika et al., 2022). Dalam penelitian tersebut, ditemukan bahwa bakteri *pseudomonas taiwanensis* ini memiliki kemampuan dekomposisi serat yang sangat tinggi mencapai 90%. Oleh karena itu, dalam penelitian yang sekarang digunakan satu jenis bakteri saja, yaitu bakteri *pseudomonas taiwanensis* sebagai agen bioaugmentasi dalam mempercepat dekomposisi serat gambut. Penelitian ini merupakan

penelitian keterbaharuan yang pertama kali memanfaatkan potensi bakteri *pseudomonas taiwanensis* dalam mempercepat proses dekomposisi serat gambut.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Tanah Gambut

Tanah gambut memiliki kandungan organik yang sangat tinggi sebagai hasil dekomposisi bahan-bahan organik (*organic matters*) (Handali et al., 2014). Tanah gambut umumnya berwarna coklat tua kehitaman, berserat, dan memiliki tekstur kasar, seperti yang terlihat pada gambar 1. Biasanya tanah gambut berwarna gelap, akibat dari tingginya kandungan organik dan kondisi tanah yang lembab dan basah (Hikmatullah & Sukarman, 2014).



Gambar 1. Tanah gambut berserat

Tanah gambut dianggap merugikan dalam pekerjaan konstruksi infrastruktur (Zulaika et al., 2022). Sifat geotekniknya yang buruk menjadikannya sensitif akan beban yang bekerja di atasnya. Selain memiliki daya dukung yang rendah seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, gambut juga memiliki kekuatan geser yang rendah (Yusof et al., 2018). Hal tersebut disebabkan karena tingginya kandungan serat tanah gambut (Yulianto, 2017). Tanah gambut Indonesia biasanya mengandung serat yang cukup signifikan (Rismantojo & Ningsih, 2021; Stevani & Makarim, 2021), sehingga sering disebut sebagai tanah gambut berserat. Tanah

gambut berserat sangat susah untuk distabilisasi dengan bahan kimia karena ketika tanah gambut mencapai puncak dekomposisinya, maka volume tanah hasil stabilisasi berkurang (Mochtar & Yulianto, 2014).

Kekuatan dan daya dukung tanah gambut yang rendah berpengaruh pada konstruksi bangunan dan jalan (Zakiyah Manthining et al., 2022). Konstruksi jalan raya yang dibangun di atas tanah gambut mengalami kerusakan akibat penurunan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Namun, karena keterbatasan lahan selain gambut, infrastruktur dan hunian sering terpaksa dibangun di atasnya. Hunian yang dibangun di atas tanah gambut sangat rentan mengalami banjir. Hal ini disebabkan karena ketika musim hujan, lahan gambut dalam posisi jenuh. Kondisi ini menyebabkan kemampuan infiltrasi air permukaan pada tanah gambut sangatlah rendah, sehingga air akan tertahan di atas permukaan tanah, menyebabkan banjir di area tersebut (Giarto & Kiptiah, 2023). Maka dari itu, tanah gambut sebaiknya mendapatkan penanganan yang tepat agar bangunan tidak rusak setelah dibangun di atasnya.

2. Bioaugmentasi (*Bioaugmentation*)

Bioaugmentasi adalah upaya untuk meningkatkan kemampuan biodegradasi atau dekomposisi di suatu lingkungan dengan menambahkan kultur tunggal atau larutan konsorsium bakteri yang sesuai (Rahayu & Mangkoedihardjo, 2022). Keberhasilan metode bioaugmentasi ini bergantung pada jenis mikroorganisme yang digunakan (Perwira et al., 2021). Banyak yang menggunakan metode ini karena dinilai lebih efisien dan ekonomis (Sayed et al., 2021). Metode ini termasuk ke dalam metode yang ramah lingkungan karena tidak menambahkan bahan kimia apapun. Bioaugmentasi dapat diterapkan

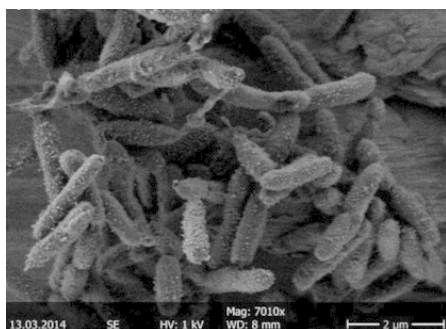
sendiri ataupun dikombinasikan dengan metode bioremediasi seperti biostimulasi, yang mengharuskan penambahan nutrisi ke dalam suatu media untuk merangsang pertumbuhan mikroorganisme (Medaura et al., 2021). Namun, terdapat kelemahan dalam metode bioaugmentasi ini, yaitu bila menggunakan mikroorganisme asing atau yang berasal dari lingkungan lain untuk bioaugmentasi dapat menimbulkan risiko masuknya spesies invasif, sehingga berdampak negatif terhadap lingkungan (Maitra, 2018).



Gambar 2. Kerusakan jalan di atas tanah gambut
(Sumber : Yulianto, 2017)

3. *Pseudomonas taiwanensis*

Bakteri *pseudomonas taiwanensis* pertama kali diidentifikasi di Taiwan (He et al., 2018). *Pseudomonas taiwanensis* adalah bakteri gram-negatif berbentuk batang, motil, dengan satu atau tiga flagella polar, tidak membentuk spora, berukuran sekitar 2,7-2,2 μm , dan ujung batangnya membulat (Wang et al., 2010). Bakteri ini ditemukan terdapat di tanah gambut yang berasal dari Desa Bereng Bengkel, Kota Palangkaraya (Zulaika et al., 2022). Menurut Zulaika et al. (2022), spesies bakteri ini dapat bertahan hidup di lingkungan yang asam serta memiliki kemampuan mendegradasi serat gambut. Gambar 3 menunjukkan bentuk bakteri *Pseudomonas taiwanensis*.



Gambar 3. *Pseudomonas taiwanensis*
(Sumber : Halan et al., 2017)

C. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan pengujian laboratorium yang dilaksanakan di bulan Juni 2023 hingga Agustus 2023 (3 bulan) di Politeknik Negeri Bandung.

1. Persiapan Sampel Tanah

Penelitian ini menggunakan sampel tanah gambut yang berasal dari Desa Bereng Bengkel, Kota Palangkaraya, Provinsi Kalimantan Tengah. Sampel tanah gambut yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas dua yaitu sampel tidak terganggu dan sampel terganggu. Sampel tidak terganggu merupakan sampel tanah yang keaslian strukturnya masih utuh dan terjaga, sedangkan sampel terganggu adalah sampel tanah yang strukturnya sebagian atau seluruhnya telah rusak atau termodifikasi.

2. Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan merupakan pengujian sifat fisik tanah gambut inisial yang terdiri atas:

- Pengujian kadar air, menurut acuan ASTM D-2216;
- Pengujian *specific gravity* dilakukan menurut ASTM D-854-14 dengan modifikasi terhadap penggunaan air yang diganti dengan bensin;
- Pengujian *density* (berat isi), dengan acuan ASTM D-7263;

- Pengujian kadar serat, berdasarkan acuan *Peat Testing Manual* 1979;
- Pengujian nilai pH tanah, dilakukan dengan menggunakan alat pH meter tanah digital. Pengujian dilakukan dengan cara menusukkan alat pH meter ke dalam sampel tanah di beberapa titik, kemudian nilai yang didapatkan dirata-ratakan.

3. Kultur Bakteri

Bahan stabilisasi dalam penelitian ini adalah bakteri *pseudomonas taiwanensis* dalam bentuk larutan. Dalam memperoleh bakteri ini dalam jumlah yang banyak, dilakukan kultur bakteri di Laboratorium Bioproses Politeknik Negeri Bandung. Pada umumnya, kultur bakteri dilakukan menggunakan media *nutrient broth* (gambar 4a). Secara garis besar, proses kultur bakteri dilakukan dengan cara melarutkan 8 gram *nutrient broth* ke dalam 1 liter air (tanpa mineral), biasanya menggunakan air kemasan merk amidis. Selanjutnya, media larutan diautoklaf agar menjadi steril (gambar 4b). Setelah proses autoklaf selesai, media larutan ini siap ditanami dengan isolat bakteri yang telah disediakan sebelumnya di meja steril *laminar air flow* (gambar 4c). Setelah itu, media larutan yang telah ditanami bakteri, diinkubasi di *incubator shaker* selama 24 jam (gambar 4d).

4. Pengujian Tanah Pasca Stabilisasi

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai kadar air dan nilai pH tanah gambut setelah distabilisasi dengan bakteri *pseudomonas taiwanensis*. Pengujian kadar air dilakukan berdasarkan acuan ASTM D-2216, sementara pengujian nilai pH dilakukan secara manual menggunakan alat pH meter tanah digital.



Gambar 4. Instrumen kultur bakteri (a) *nutrient broth*, (b) autoklaf, (c) *laminar air flow*, (d) *incubator shaker*

5. Variasi Penambahan Bakteri

Pada penelitian ini dibuat 5 sampel tanah gambut dengan berat masing-masing 4000 gram, ditempatkan di dalam boks plastik. Kemudian, sampel tanah gambut ditambahkan larutan bakteri *Pseudomonas taiwanensis* dengan cara dicampur, seperti yang terlihat pada gambar 5. Variasi penambahan bakteri ke dalam sampel tanah gambut dapat dilihat pada tabel 1. Selanjutnya, sampel ini diamati dan diuji setiap 7 hari, 14 hari dan 28 hari untuk melihat pengaruh usia stabilisasi tanah gambut dengan bakteri.



Gambar 5. Proses pencampuran bakteri dengan sampel tanah gambut

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sifat Fisik Tanah Gambut Inisial

Seperti yang telah dijelaskan di awal, pengujian pendahuluan dilakukan untuk mengidentifikasi sifat fisik tanah

gambut inisial. Pengujian tersebut terdiri atas pengujian kadar air, *specific gravity*, berat isi, kadar serat, distribusi ukuran serat dan tingkat keasaman. Hasil dari pengujian tersebut dirangkum pada tabel 2. Data yang diperoleh tersebut relevan dengan hasil penelitian terdahulu terkait sifat fisik tanah gambut yang ditinjau (Karisma, 2012; Mochtar & Yulianto, 2014; Muslikah, 2011; Prativi, 2018; Rismantojo & Ningsih, 2021; Stevani & Makarim, 2021; Yogyakarta et al., 2019; Yulianto, 2017). Dari hasil pengujian yang diperoleh, diketahui bahwa sifat fisik tanah gambut yang ditinjau sesuai dengan hasil-hasil penelitian terdahulu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tanah gambut Desa Bereng Bengkel memiliki kadar serat sebesar 61,14%, kadar abu 2,47%, dan nilai pH 3,2. Dari parameter ini, tanah gambut dapat diklasifikasikan sebagai *hemic peat with low ash content and highly acidic*. Sistem klasifikasi tersebut mengacu pada ASTM D-4427-07.

Tabel 1. Variasi penambahan bakteri pada sampel tanah gambut

Persentase Penambahan (terhadap berat tanah gambut)
Tanah gambut + 5% <i>P. taiwanensis</i>
Tanah gambut + 10% <i>P. taiwanensis</i>
Tanah gambut + 15% <i>P. taiwanensis</i>
Tanah gambut + 20% <i>P. taiwanensis</i>
Tanah gambut + 25% <i>P. taiwanensis</i>

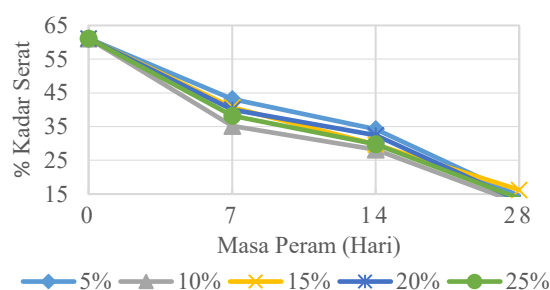
Tabel 2. Sifat Fisik Tanah Gambut Inisial Desa Bereng Bengkel, Palangkaraya

No	Parameter	Satuan	Nilai	Nilai dari Penelitian Terdahulu
1	Kadar air (W_C)	%	704,02	450 - 1500
2	<i>Specific gravity</i>	-	1,46	1,311 - 1,7
3	Berat isi (γ)	gr/cm ³	1,14	0,9 - 1,25
4	Angka pori (e)	-	9,30	6,89 - 11,09
5	Tingkat keasaman (pH)	-	3,2	2,3 - 7
6	Kadar organik (O_C)	%	97,53	62,5 - 98
7	Kadar abu (A_C)	%	2,47	2 - 37,5
8	Kadar serat (F_C)	%	61,14	32 - 70,2
a.	Serat kasar (C_{FC})	%	45,08	10,89 - 49,69
b.	Serat medium (M_{FC})	%	31,69	31,94 - 35,84
c.	Serat halus (F_{FC})	%	23,23	18,37 - 29

2. Pengaruh Penambahan Bakteri *Pseudomonas taiwanensis* terhadap Dekomposisi Serat Gambut

Gambar 6 menunjukkan pengaruh penambahan bakteri *pseudomonas taiwanensis* pada sampel tanah gambut. Berdasarkan hasil pengujian, diketahui bahwa pada variasi penambahan 10% bakteri *pseudomonas taiwanensis* di masa peram 28 hari, terjadi penurunan kadar serat tertinggi sebesar 79,83%, yaitu dari awal nilai kadar serat sebesar 61,14% menjadi 12,33%. Namun, pada variasi penambahan lainnya juga terjadi penurunan kadar serat yang konsisten dan signifikan. Hasil tersebut tidak berbeda jauh antara masing-masing sampel. Hal ini membenarkan hasil penelitian (Zulaika et al., 2022) yang menyatakan bahwa bakteri *Pseudomonas taiwanensis* berpotensi dalam mempercepat dekomposisi serat gambut. Hasil pengujian yang konsisten ini juga menandakan bahwa kadar serat semakin berkurang seiring dengan bertambahnya usia pemeraman. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Yogyanta et al. (2019), dimana pada variasi penambahan 10% larutan konsorsium bakteri dekomposer, kadar serat mengalami penurunan yang konsisten seiring bertambahnya masa pemeraman. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa usia atau masa peram

memiliki pengaruh yang baik terhadap penurunan kadar serat gambut.

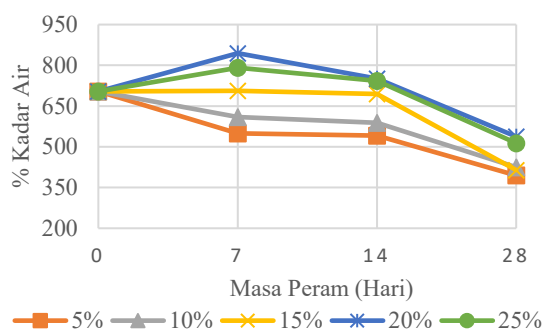


Gambar 6. Kadar serat pada variasi penambahan bakteri dan masa peram

3. Pengaruh Penambahan Bakteri *Pseudomonas taiwanensis* terhadap Kadar Air

Dari gambar 7 dapat diperhatikan bahwa pada masa peram 7 hari terjadi kenaikan kadar air pada sampel tanah gambut yang ditambahkan dengan larutan bakteri *pseudomonas taiwanensis* 15%, 20%, dan 25%. Hal ini diduga disebabkan karena penambahan bakteri dalam bentuk larutan sehingga kadar air tanah gambut yang semula sudah tinggi menjadi semakin meningkat. Kejadian ini bersesuaian dengan hasil penelitian Prativi (2018) dimana pada masa pemeraman 7 hari terjadi kenaikan kadar air pada sampel tanah gambut yang ditambahkan larutan bakteri dekomposer.

Berdasarkan gambar 7 dapat diketahui bahwa pada sampel tanah gambut dengan penambahan 5% bakteri *pseudomonas taiwanensis* di masa peram 28 hari, terjadi penurunan kadar air tertinggi yaitu dari semula 704,02% menjadi 394,57%. Namun, keseluruhan variasi penambahan bakteri di masa pemeraman 14 hari dan 28 hari, mengalami penurunan kadar air yang konsisten. Berkurangnya kadar air diduga disebabkan oleh adanya aktivitas metabolisme bakteri yang memerlukan air (Potgieter et al., 2020). Selain itu, sampel tanah gambut tidak lagi memiliki mikropori sebagai akibat terurainya serat gambut, sehingga air mudah terevaporasi. Namun, berbeda dengan hasil penelitian (Prativi et al., 2018), dimana kadar air sampel tanah gambut tidak mengalami perubahan yang begitu signifikan bahkan saat masa pemeraman 42 hari. Diketahui pada hasil penelitian tersebut, kadar air mengalami penurunan tertinggi sebesar 23,80% yaitu sebesar 568,66% dari semula 589,39% di variasi penambahan 10% bakteri. Hal ini dipengaruhi oleh derajat dekomposisi serat gambut yang didapatkan berbeda-beda.



Gambar 7. Kadar air pada variasi penambahan bakteri dan masa peram

4. Sifat Fisis Tanah Gambut Pasca Stabilisasi

Sifat fisis yang dimaksud adalah ciri-ciri sampel tanah gambut ditinjau

dari tekstur, warna dan bau. Tabel 3 menunjukkan sifat fisis sampel tanah gambut akibat penambahan bakteri *pseudomonas taiwanensis*. Diketahui bahwa terjadi perubahan sifat fisis pada sampel tanah gambut seiring bertambahnya masa pemeramannya. Pada masa peram 7 hari, sampel tanah gambut memiliki warna hitam pekat. Hal ini disebabkan oleh kondisi tanah yang basah akibat larutan bakteri yang telah ditambahkan (Rivani & Santoso, 2023). Sementara pada masa peram 14 hari dan 28 hari, sampel tanah gambut memiliki warna coklat kelam karena menurunnya kadar air.

Selain itu, pada masa peram 7 hari, tekstur sampel tanah gambut mengalami perubahan dari semula lunak menjadi sangat lunak. Hal ini disebabkan oleh penambahan bakteri dalam bentuk cairan, menyebabkan peningkatan kadar air pada sampel tanah gambut yang pada awalnya juga sudah memiliki kadar air yang tinggi. Sedangkan pada masa peram 14 hari dan 28 hari, sampel tanah gambut dengan konsentrasi penambahan bakteri 5% dan 10% berubah menjadi agak padat. Hal ini disebabkan karena bertambahnya laju dekomposisi serat gambut sehingga kadar air mengalami penurunan. Kadar air mengalami penurunan karena bakteri menggunakan air dalam metabolismenya (Potgieter et al., 2020). Penurunan kadar air ini juga disebabkan karena terurainya serat gambut, sehingga hilangnya mikropori yang dapat menahan dan menyerap air, sehingga air mudah menguap. Hanya saja, pada konsentrasi penambahan bakteri 15%, 20% dan 25%, sampel masih sedikit lunak. Hal ini menandakan bahwa semakin besar konsentrasi atau persentase penambahan larutan bakteri, maka proses pemadatan tanah gambut juga semakin lama akibat laju dekomposisi yang tidak begitu cepat dibandingkan pada konsentrasi 5% dan 10%.

Pada masa peram 7 hingga 14 hari, sampel tanah gambut mengeluarkan bau busuk. Indikasi ini menunjukkan bahwa aerasi (proses keluar masuknya udara) terhambat selama proses dekomposisi, sehingga menghasilkan senyawa yang berbau busuk seperti asam-asam organik, amoniak, dan H₂S (Ngapiyatun et al., 2020). Aerasi terhambat karena kadar air pada sampel tanah gambut semakin tinggi, sehingga sampel berada dalam kondisi yang anaerob (rendah oksigen). Bau busuk yang dihasilkan seperti bau kos kaki yang busuk dan menyengat. Namun, pada masa peram 28 hari, sampel tanah gambut tidak berbau karena kadar air menurun seiring bertambahnya masa pemeraman, menyebabkan peningkatan laju aerasi.

Penemuan ini berbeda dengan hasil penelitian (Prativi et al., 2018). Pada penelitian tersebut, sampel tanah gambut dengan penambahan persentase optimum bakteri dekomposer 10%, kadar air tidak mengalami penurunan yang begitu signifikan. Bahkan, pada saat masa

pemeraman 42 hari, sampel tanah gambut memiliki kadar air yang cukup tinggi yaitu sebesar 568,66%. Hal ini diduga disebabkan karena penggunaan larutan bakteri dekomposer aerob dalam proses percepatan dekomposisi serat gambut. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa kondisi sampel tanah gambut akan berubah menjadi anaerob saat dilakukan penambahan larutan bakteri. Sementara, bakteri yang digunakan oleh Prativi et al., (2018) adalah bakteri aerob sehingga proses dekomposisi terhambat dan kadar air tidak mengalami penurunan yang signifikan. Akibatnya, properti fisik tanah gambut yang ditinjau pada penelitian tersebut tidak mengalami peningkatan yang begitu signifikan. Sementara pada penelitian yang sekarang, digunakan satu spesies bakteri yaitu *Pseudomonas taiwanensis* yang mampu hidup dalam kondisi yang anaerob (He et al., 2018b), sehingga proses dekomposisi serat gambut dapat dipercepat dan properti fisik tanah gambut yang ditinjau juga mengalami peningkatan.

Tabel 3. Sifat fisis sampel tanah gambut akibat penambahan bakteri *pseudomonas taiwanensis*

Variasi	Warna Hari ke-			Tekstur Hari ke-			Bau Hari ke-		
	7	14	28	7	14	28	7	14	28
5%	Hitam pekat	Coklat kelam	Coklat kelam	Sedikit lunak	Agak padat	Padat	Sangat busuk	Busuk	Tidak berbau
10%	Hitam pekat	Coklat kelam	Coklat kelam	Lunak	Sedikit lunak	Agak padat	Sangat busuk	Busuk	Tidak berbau
15%	Hitam pekat	Coklat kelam	Coklat kelam	Sangat lunak	Lunak	Sedikit lunak	Sangat busuk	Busuk	Tidak berbau
20%	Hitam pekat	Coklat kelam	Coklat kelam	Sangat lunak	Sangat lunak	Lunak	Sangat busuk	Busuk	Tidak berbau
25%	Hitam pekat	Coklat kelam	Coklat kelam	Sangat lunak	Sangat lunak	Lunak	Sangat busuk	Busuk	Tidak berbau

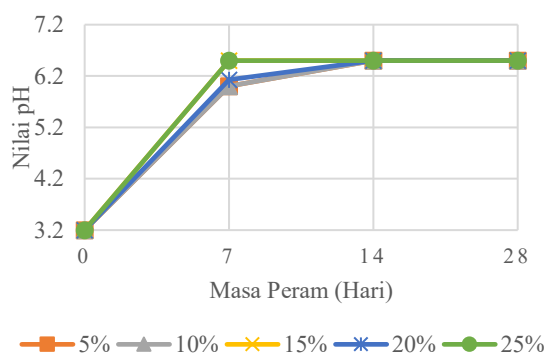
5. Pengaruh Penambahan Bakteri *Pseudomonas Taiwanensis* terhadap Keasaman

Penambahan bakteri *pseudomonas taiwanensis* ke dalam tanah gambut berdampak pada kenaikan nilai pH tanah gambut, seperti yang ditunjukkan pada

gambar 8. Pada masa pemeraman 7, 14 dan 28 hari terjadi kenaikan nilai pH yang signifikan yaitu dari nilai semula 3,2 menjadi 6,5. Hal ini disebabkan oleh pelepasan gas CO₂ yang termasuk ke dalam emisi gas rumah kaca, akibat adanya proses dekomposisi yang terjadi (Saharjo & Novita, 2022), sehingga

menurunkan kadar asam pada tanah gambut (Prativi, 2018). Pada penelitian terkait, kenaikan nilai pH terjadi sebagai akibat penambahan larutan bakteri dekomposer (Karisma, 2012; Muslikah, 2011; Prativi, 2018; Yogyanta et al., 2019).

Nilai pH tanah dapat menyebabkan korosi pada bangunan (Rein, 2015). Korosi adalah proses kimia yang dapat menyebabkan kerusakan pada material karena faktor lingkungan, termasuk pH tanah. Tanah dengan nilai pH yang rendah, yang berarti bersifat asam, dapat menyebabkan korosi lebih cepat terjadi. Hal ini dikarenakan tanah yang bersifat asam dapat meningkatkan laju reaksi elektrokimia yang menyebabkan terjadinya korosi. Pada struktur beton bertulang, korosi dapat menyebabkan tulangan baja berkarat dan melemah, sehingga menyebabkan keretakan dan kegagalan struktur (Ahmad et al., 2022). Oleh karena itu, kenaikan nilai pH tanah gambut ini dinilai sangat bermanfaat dan penting untuk mencegah korosi pada bangunan dan memastikan umur panjangnya.



Gambar 8. Nilai pH pada variasi penambahan bakteri dan masa peram

E. KESIMPULAN

Tanah gambut sebaiknya distabilisasi melalui bioteknologi yaitu

dengan bioaugmentasi oleh agen bakteri *pseudomonas taiwanensis* yang mampu mengurai serat gambut. Dari hasil pengujian yang diperoleh, ditemukan bahwa penurunan kadar air tertinggi yaitu pada variasi penambahan 5% bakteri *Pseudomonas taiwanensis* di masa peram 28 hari yaitu dari semula 704,02% menjadi 394,57%. Hal ini menunjukkan bahwa stabilisasi tanah biologis membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mencapai hasil yang diharapkan. Kemudian, terjadi peningkatan nilai pH pada semua variasi penambahan bakteri *pseudomonas taiwanensis* yang cukup signifikan yaitu dari nilai pH 3,2 menjadi pH 6,5.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini dengan Skema Penelitian Tesis Magister, Tahun Anggaran 2023 dengan Nomor Kontrak: B/189/PL1.R7/PG.00.03/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, I. A., Pertiwi, N., Anny, N., & Taufieq, S. (2022). Pemodelan Kerusakan Beton akibat Hujan Asam Menggunakan Software MATLAB. *Journal of Mathematics* 5(1). <http://www.ojs.unm.ac.id/jmathcos>
- Bauer, M. A., Kainz, K., Carmona-Gutierrez, D., & Madeo, F. (2018). Microbial Wars: Competition in Ecological Niches and Within The Microbiome. *Microbial Cell* 5(5), pp. 215–219. Shared Science Publishers OG. <https://doi.org/10.15698/mic2018.05.628>

- Bay, Y. P., Yulianti, N., Suparno, S., Adji, F. F., Damanik, Z., & Sustiyah, S. (2021). Sifat Fisik Gambut Pedalaman pada Laboratorium Alam Hutan Gambut Sebangau, Kalimantan Tengah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 15(2), 216. <https://doi.org/10.31258/jil.15.2.p.216-233>
- Chen, M., Gowthaman, S., Nakashima, K., Komatsu, S., & Kawasaki, S. (2021). High Water Content Peat Soil Improved by MICP Technique with Fiber-Reinforcement. *11th Int. Conf. on Geotechnique, Construction Materials & Environment*, 16–21.
- Fawzi, N. I., & Qurani, I. Z. (2021). Sustainable Use of Peatland to Improve Locally Sourced Food Production. *Suboptimal Land Series-Part 3*.
- Giarto, R. B., & Kiptiah, M. (2023). Pengaruh Variasi Lubang Resapan Biopori Berbahan Organik Rumah Tangga Terhadap Laju Infiltrasi Pada Daerah Rawan Banjir Di Kota Balikpapan. *Teras Jurnal*, 13(1), 13. <https://doi.org/10.29103/tj.v13i1.797>
- Gofar, N., & Sutejo, Y. (2007). Long Term Compression Behavior of Fibrous Peat. *Malaysian Journal of Civil Engineering*, 19(2), 104–116. <https://doi.org/10.11113/mjce.v19.i2.5751>
- Gowthaman, S., Mitsuyama, S., Nakashima, K., Komatsu, M., & Kawasaki, S. (2019). Biogeotechnical Approach For Slope Soil Stabilization Using Locally Isolated Bacteria and Inexpensive Low-Grade Chemicals: a Feasibility Study on Hokkaido Expressway Soil, Japan. *Soils and Foundations*, 59(2), 484–499. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2018.12.010>
- Halan, B., Vassilev, I., Lang, K., Schmid, A., & Buehler, K. (2017). Growth of *Pseudomonas Taiwanensis* VLB120ΔC Biofilms in The Presence of N-Butanol. *Microbial Biotechnology*, 10(4), 745–755. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12413>
- Handali, S., Royano, R. B., Teknik, J., Universitas, S., & Yogyakarta, K. I. (2014). Karakteristik Geoteknik Tanah Gambut di Tumbang Nusa, Kalimantan Barat. *Majalah Ilmiah UKRIM*, 12–24.
- Harnisch, F., & Holtmann, D. (2019). Electrification of biotechnology: Status quo. In *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* 167, 1–14. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/10_2017_41
- He, T., Ye, Q., Sun, Q., Cai, X., Ni, J., Li, Z., & Xie, D. (2018). Removal of Nitrate in Simulated Water at Low Temperature by a Novel Psychrotrophic and Aerobic Bacterium, *Pseudomonas Taiwanensis* Strain J. *BioMed Research International*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4984087>
- Hibbing, M. E., Fuqua, C., Parsek, M. R., & Peterson, S. B. (2010). Bacterial competition: Surviving and Thriving in The Microbial Jungle. In *Nature Reviews Microbiology* 8(1), pp. 15–25. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2259>
- Hikmatullah, & Sukarman. (2014). Physical and Chemical Properties of Cultivated Peat Soils in Four Trial Sites of ICCTF in Kalimantan and Sumatra, Indonesia. *Journal of Tropical Soils*, 19(3), 131–141. doi: 10.5400/jts.2014.19.3.131

- Hu, B. L., Rush, D., Biezen, E. Van Der, Zheng, P., Mullekom, M. Van, Schouten, S., Sinninghe Damsté, J. S., Smolders, A. J. P., Jetten, M. S. M., & Kartal, B. (2011). New Anaerobic, Ammonium-Oxidizing Community Enriched from Peat Soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(3), 966–971. <https://doi.org/10.1128/AEM.02402-10>
- Islam, S. M., Hashim, R., Islam, A. B. M. S., & Kurnia, R. (2014). Effect of Peat on Physicomechanical Properties of Cemented Brick. *The Scientific World Journal*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/328516>
- Johari, N. N., Bakar, I., Razali, S. N. M., & Wahab, N. (2016). Fiber Effects on Compressibility of Peat. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 136(1), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/136/1/012036>
- Karisma, A. P. (2012). *Pengaruh Penggunaan Mikroorganisme Sebagai Bahan Stabilisasi Terhadap Kekuatan Tanah Gambut dengan Uji Triaksial CU dan CBR*. Universitas Indonesia.
- Kulanthavil, P., Soundara, B., & Das, A. (2020). Performance Study on Stabilization of Fine Grained Clay Soils Using Calcium Source Producing Microbes. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(9), 2631–2642. <https://doi.org/10.1007/s12205-020-2028-4>
- Kumar, N., Chaturvedi, S., & Khurana, S. M. P. (2022). Chapter 1 - Survival and Thriving Behavior of Bacteria in Microbial Jungle. In J. Singh & D. Sharma (Eds.), *Microbial Resource Technologies for Sustainable Development* (pp. 1–21). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90590-9.00011-0>
- Lee, S. Y., Kim, E. G., Park, J. R., Ryu, Y. H., Moon, W., Park, G. H., Ubaidillah, M., Ryu, S. N., & Kim, K. M. (2021). Effect on Chemical and Physical Properties of Soil Each Peat Moss, Elemental Sulfur, and Sulfur-Oxidizing Bacteria. *Plants*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/plants10091901>
- Li, S., White, D. J., Taylor, P. C., Chu, J., & Loynachan, T. E. (2013). *A Laboratory Study of The Effects of Bio-Stabilization on Geomaterials* [Civil Engineering; Geotechnical Engineering]. Iowa State University.
- Maitra, S. (2018). Ex Situ Bioremediation - An Overview. *Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmateuical and Chemical Sciences*, 4(6), 422–437. <https://doi.org/10.26479/2018.0406.34>
- Medaura, M. C., Guivernau, M., Moreno-Ventas, X., Prenafeta-Boldú, F. X., & Viñas, M. (2021). Bioaugmentation of Native Fungi, an Efficient Strategy for the Bioremediation of an Aged Industrially Polluted Soil With Heavy Hydrocarbons. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.626436>
- Mochtar, N. E., & Yulianto, F. E. (2014). Pengaruh Usia Stabilisasi pada Tanah Gambut Berserat yang Distabilisasi dengan Campuran CaCO₃ dan Pozolan. *Jurnal Teknik Sipil*, 21(1), 57–64. <https://doi.org/10.5614/jts.2014.21.1.6>

- Moradi, G., Shafaghathian, S., & Katebi, H. (2022). Effect of Chemical and Biological Stabilization on The Resilient Modulus of Clay Subgrade Soil. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 15(2), 415–432.
<https://doi.org/10.1007/s42947-021-00029-x>
- Muslikah, S. (2011). *Studi Degradasi Tanah Gambut Oleh Mikroorganisme Untuk Proses Konsolidasi Tanah*. Universitas Indonesia.
- Ngapiyatun, S., Rahman, A., Aziza, H., & Winarni, B. (2020). Pemanfaatan Limbah Sampah Kota Sebagai Kompos Utilization of Municipal Waste as Compost. *Buletin LOUPE*, 16(02), 1–6.
<https://doi.org/10.51967/buletinloupe.v16i02.222>
- Perwira, K. Y., Lukito, H., & Irawan, A. B. (2021). Efektivitas Bioaugmentasi dengan *Pseudomonas Aeruginosa* pada Tanah Tercemar Minyak Bumi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumihan Ke-III*, 31–36.
- Pham, V. N., Oh, E., & Ong, D. E. L. (2022). Effects of Binder Types and Other Significant Variables on The Unconfined Compressive Strength of Chemical-Stabilized Clayey Soil Using Gene-Expression Programming. *Neural Computing and Applications*, 34(11), 9103–9121.
<https://doi.org/10.1007/s00521-022-06931-0>
- Potgieter, S. C., Dai, Z., Venter, S. N., Sigudu, M., & Pinto, A. J. (2020). Microbial Nitrogen Metabolism in Chloraminated Drinking Water Reservoirs. *MSphere*, 5(2).
<https://doi.org/10.1128/msphere.00274-20>
- Prativi, A. (2018). *Percepatan Proses Dekomposisi Tanah Gambut Berserat dengan Menggunakan Bakteri Dekomposer Aerob Endogen Tanah Gambut*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Prativi, A., Mochtar, N. E., & Zulaika, D. E. (2018). Peat Soil Stabilization by Adding Solution of Endogenous Aerobic Decomposer Bacteria Consortium. *12th International Conference on Building Design, Materials, Civil and Transportation Engineering*, 78–83.
<https://doi.org/10.15242/DiRPUB.DIR0118404>
- Radwan, M. K. H., Lee, F. W., Woon, Y. B., Yew, M. K., Mo, K. H., & Wai, S. H. (2021). A Study of The Strength Performance of Peat Soil: A Modified Cement-Based Stabilization Agent Using Fly Ash and Polypropylene Fiber. *Polymers*, 13(23).
<https://doi.org/10.3390/polym13234059>
- Rahayu, D. R., & Mangkoedihardjo. (2022). Kajian Bioaugmentasi untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat di Wilayah Perairan Menggunakan Bakteri (Studi Kasus: Pencemaran Merkuri di Sungai Krueng Sabee, Aceh Jaya). *Jurnal Teknik ITS*, 11(1), 15–22.
- Rahmawati, R., Firdara, E. K., & Putir, P. E. (2022). Changes in Physical and Chemical Properties of Peat in Various Ages of Oil Palm Plant in East Kotawaringing District. *Devotion Journal of Community Service*, 3(12), 1132–1148.
<http://devotion.greenvest.co.id>
- Ramadhan, M. (2018). *Analisis Persepsi Masyarakat Terhadap Kebijakan Restorasi Lahan Gambut di Kalimantan Tengah*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:186450119>

- Rein, G. (2015). Smoldering-Peat Megafires: The Largest Fires on Earth. *Coal and Peat Fires: A Global Perspective*, 4, 1–11.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59510-2.00001-X>
- Rismantojo, E., & Ningsih, N. N. (2021). Pengaruh Penambahan Mikroorganisme Terhadap Sifat Fisik dan Kuat Geser Tanah Gambut Palembang. *Jurnal Teknik Sipil*, 28(3), 269–280.
<https://doi.org/10.5614/jts.2021.28.3.4>
- Rivani, E. P. A., & Santoso, A. I. (2023). Karakteristik Air Gambut di Jalan Kalibata Kota Palangkaraya. *Jurnal Teknik Silitek*, 03(01), 11–17.
- Saharjo, B. H., & Novita, N. (2022). The High Potential of Peatland Fires Management for Greenhouse Gas Emissions Reduction in Indonesia. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 13(1), 12160.
- Sanjaya, H., Kurniawan, A., Ickwantoro, I., Alfansani, A. R., Kusri, & Maulina, D. (2023). Prediksi Jumlah Kejadian Titik Panas pada Lahan Gambut di Indonesia Menggunakan Prophet. *Infotech Journal*, 9(2), 354–360.
<https://doi.org/10.31949/infotech.v9i2.6073>
- Sayed, K., Baloo, L., & Sharma, N. K. (2021). Bioremediation of Total Petroleum Hydrocarbons (Tph) by Bioaugmentation and Biostimulation in Water With Floating Oil Spill Containment Booms as Bioreactor Basin. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 18, Issue 5, pp. 1–27). MDPI AG.
<https://doi.org/10.3390/ijerph18052226>
- Shafaghathian, S., Moradi, G., & Katebi, H. (2020). *Experimental Study of the Effect of Chemical and Biological Stabilization on Clay Subgrade Soil*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:212715718>
- Soldo, A., & Miletić, M. (2019). Study on shear strength of Xanthan Gum-Amended Soil. *Sustainability (Switzerland)*, 11(21).
<https://doi.org/10.3390/su11216142>
- Stevani, A., & Makarim, C. A. (2021). Analisis Perbandingan Penurunan Fondasi Dangkal di Tanah Gambut Dengan Stabilisasi Kapur dan Abu Sekam Padi. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4, 233–248.
<https://doi.org/10.24912/jmts.v0i0.11099>
- Syaiful Pradana, M., & Rohmah, A. M. (2018). Pemodelan Kadar Air pada Sifat Fisik Stabilisasi Tanah Gambut. *Journal of Mathematics and Mathematics Education*, 8(1), 56–67.
<https://doi.org/10.20961/jmme.v8i1.25826>
- Syaputra, B., Gazali, A., & Purnamasari, E. (2022). Pengaruh Penambahan Campuran Kapur dan Abu Sekam Padi pada Stabilisasi Tanah Gambut Terhadap Nilai Kuat Geser (Studi Kasus: Kecamatan Alalak, Kabupaten Barito Kuala, Provinsi Kalimantan Selatan). *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 5(1), 92–103.
- Turmudi, T., Suwarno, Y., Nahib, I., Suryanta, J., & Niendyawati, N. (2016). *Pengelolaan Lahan Gambut dan Dampak Subsiden yang Ditimbulkannya*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:193933996>
- Ulusay, R., & Işık, N. S. (2018). *Investigation of Dynamic Properties and Site Response of The Peaty Soils in The Kayseri Free Trade Zone*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:249424577>

- Wahab, A., Embong, Z., Hasan, M., Musa, H., Zaman, Q. U. Z., & Ullah, H. (2020). Peat Soil Engineering and Mechanical Properties Improvement Under The Effect of Eks Technique at Parit Kuari, Batu Pahat, Johor, West Malaysia. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 70, 133–138.
<https://doi.org/10.7186/bgsm70202011>
- Wang, L. T., Tai, C. J., Wu, Y. C., Chen, Y. B., Lee, F. L., & Wang, S. L. (2010). *Pseudomonas Taiwanensis* Sp. Nov., Isolated From Soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 60(9), 2094–2098.
<https://doi.org/10.1099/ijs.0.014779-0>
- Wiyanto, H., & Justin, E. (2019). Penetapan Kriteria Penilaian Kerusakan Beton pada Bangunan Gedung Berdasarkan Skala Prioritas. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran Dan Ilmu Kesehatan*, 3(1), 153.
<https://doi.org/10.24912/jmstkik.v3i1.5192>
- Wulandari, E., & Fitriasari, E. T. (2022). Meta-Analisis Faktor Pendorong Aktivitas Antropogenik Terhadap Karakteristik Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut di Indonesia. *Kaganga: Jurnal Pendidikan Sejarah Dan Riset Sosial Humaniora*, 5(1), 50–67.
<https://doi.org/10.31539/kaganga.v5i1.3569>
- Yli-Halla, M., Lötjönen, T., Kekkonen, J., Virtanen, S., Marttila, H., Liimatainen, M., Saari, M., Mikkola, J., Suomela, R., & Joki-Tokola, E. (2022). Thickness of Peat Influences The Leaching of Substances and Greenhouse Gas Emissions From a Cultivated Organic Soil. *Science of The Total Environment*, 806.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150499>
- Yogyanta, D. A., Mochtar, N. E., & Zulaika, E. (2019). Acceleration of Decomposition Process by Lignocellulolytic Bacteria and Its Effect on the Physical and Engineering Properties of Kalimantan Fibrous Peat. *Third International Conference on Sustainable Innovation 2019 – Technology and Engineering (IcoSITE 2019)*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.2991/icosite-19.2019.7>
- Yulianto, F. E. (2017). Perilaku Tanah Gambut Berserat Permasalahan dan Solusinya. *Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Infrastruktur - I*, 77–86.
- Yusof, N. Z., Samsuddin, N. S., Hanif, M. F., & Syed Osman, S. B. (2018). Peat soils stabilization using Effective Microorganisms (EM). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 140(1), 1–8.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/140/1/012088>
- Zakiyah Manthining, W., Sarie, F., & Hendri, O. (2022). Pengaruh Penambahan Kapur, Abu Terbang (Fly Ash), dan Styrofoam Terhadap Nilai Kepadatan dan CBR Tanah Gambut. *Jurnal Transukma*, 04(02), 69–75.
- Zebua, H. F. (2022). Analisa Penurunan Akibat Beban Timbunan pada Tanah Gambut dengan Perkuatan. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, 21(1), 50–64.
<https://doi.org/10.35760/dk.2022.v21i1.5188>

Zulaika, E., Solikhah, F., Utomo, M. A. P., Endah, N., & Assavalapsakul, W. (2022). Cellulose Degrading Bacteria Isolated From Palangkaraya, Central Kalimantan, Indonesia as Peat Fiber Decomposer to Accelerate Peat Soil Compression. *Biodiversitas*, 23(3), 1648–1654. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230356>



© 2023 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY Licens (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)