

Tanah Gambut Melalui Uji Triaksial *Consolidated Undrained* dan *Unconsolidated Undrained*

Wiwik Rahayu

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus UI Depok 16424, Indonesia, E-mail: wrahayu@ui.ac.id

Puspita Lisdiyanti

Pusat Penelitian Bioteknologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Jln. Raya Jakarta-Bogor Km 46, Cibinong 16911, Indonesia, E-mail: puspita.lisdiyanti@lipi.go.id

Rendy Eka Pratama

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus UI Depok 16424, Indonesia, E-mail: rendyekapratama@yahoo.co.id

Abstrak

Semakin berkembangnya zaman, membuat pembangunan infrastruktur harus dapat dilakukan di berbagai tempat, begitu juga pada tanah gambut. Akan tetapi, tanah gambut merupakan salah satu jenis tanah yang memiliki kekuatan yang buruk dan kurang baik sebagai dasar konstruksi sipil. Oleh karena itu, diperlukan sebuah usaha untuk stabilisasi atau meningkatkan daya dukung tanah gambut, yaitu pada penelitian ini akan dilakukan dengan penambahan mikroorganisme selulolitik pada tanah gambut. Tujuannya adalah untuk menguraikan atau mendekomposisi senyawa organik berupa serat dan selulosa menjadi senyawa anorganik yang lebih sederhana dan padat. Mikroorganisme yang digunakan adalah jenis bakteri, jamur, dan aktinomiset. Volume mikroorganisme yang ditambahkan adalah sebesar 10% dari volume tanah dalam wadah per tahap dari total 2 tahap injeksi dan masa fermentasi selama 65 hari. Pengujian kekuatan tanah yang dilakukan adalah uji triaksial Consolidated Undrained (CU) dan Unconsolidated Undrained (UU). Setelah dilakukan injeksi mikroorganisme dan fermentasi, didapatkan hasil peningkatan parameter kuat geser tanah gambut yaitu, nilai kohesi dan sudut geser.

Kata-kata Kunci: Dekomposisi, Fermentasi, Injeksi, Mikroorganisme selulolitik, Parameter kuat geser, Tanah gambut

Abstract

As the time goes by, developing of infrastructure must be able to do in various places, even on the peat soil area. However, peat soil is a type of soil that have a poor strength and not good enough to use as base of civil construction. According to that condition, it takes an effort to stabilize or increase the bearing capacity of peat soil, in this study will be use the addition of cellulolytic microorganisms in peat soil. That aims to decompose the fiber and cellulose into solid and simpler organic compounds. The kind of microorganism is bacteria, fungi, and actinomycetes. Volume of microorganisms that are added is equal to 10% of the total volume of soil in the container per stage of total 2 stages and with fermentation period for 65 days. The soil strength test which is conducted in this experiment is Consolidated Undrained (CU) and Unconsolidated Undrained (UU) triaxial tests. After the injection of microorganisms and 65 days fermentation, the result showed an increasing in shear strength of peat soil parameters, the value of cohesion and friction angle.

Keywords: Cellulolytic microorganisms, Decomposition, Fermentation, Injection, Peat soil, Shear strength parameters

1. Pendahuluan

Tanah gambut merupakan salah satu jenis tanah yang memiliki kekuatan yang buruk dan kurang baik sebagai dasar konstruksi sipil. Tanah gambut memiliki kandungan air dan organik yang sangat dominan, serta kadar keasaman dan daya mampat yang tinggi,

sehingga menyebabkan tanah gambut sangat lunak dan memiliki kuat geser yang rendah. Tanah gambut terbentuk dari campuran fragmen-fragmen material organik hasil pembusukan tumbuhan. Tanah gambut memiliki tekstur terbuka dimana selain pori-pori makro, tekstur tanah gambut juga didominasi oleh pori-pori mikro yang berada di dalam serat gambut. Selain

itu tanah gambut juga memiliki tingkat homogenitas yang tidak merata, serta berat isi tanah yang mendekati berat isi air. (Rahayu *et al.*, 2008).

Tanah gambut di Indonesia dapat dijumpai di beberapa daerah seperti Sumatera, Kalimantan, dan Irian Jaya dengan luas sekitar 20,6 juta hektar atau sekitar 10,8 persen dari luas daratan Indonesia (Wetlands International Indonesia, 2003). Dari luasan tersebut sekitar 7,2 juta hektar atau 35 persennya terdapat di Pulau Sumatera. Sampel uji yang digunakan sebagai objek penelitian ini adalah tanah gambut yang berasal dari Ogan Komering Ilir, Sumatera Selatan, yang direncanakan akan digunakan sebagai lahan untuk pembangunan infrastruktur oleh Pemerintah Kabupaten Komering Ilir.

Untuk mengatasi permasalahan kurangnya daya dukung tanah gambut tersebut, maka diperlukan upaya perbaikan dan peningkatan daya dukung tanah agar dapat menunjang konstruksi bangunan. Sebelumnya sudah banyak dilakukan penelitian tentang stabilisasi tanah gambut, seperti dengan penambahan *portland cement* dan *geosta-A*, *peatsolid* dan campuran abu gambut, *consolid*, *clean set* tipe CS-10, *supercement*. Kemudian beberapa tahun terakhir telah dilakukan penelitian tentang stabilisasi tanah gambut dengan mikroorganisme, seperti yang dilakukan oleh Muslikah (2011) dengan penambahan mikrobiologi asli gambut, EM4, dan P2000Z, kemudian Karisma (2012) dan Sanjaya (2014) dengan penambahan EM4.

Pada penelitian ini akan dilakukan upaya penambahan mikroorganisme selulolitik yang berasal dari tanah gambut itu sendiri, yang telah mengalami proses isolasi dan kultur. Penggunaan mikroorganisme berguna untuk peningkatan proses dekomposisi, yaitu penguraian bahan organik dan kadar serat yang terdapat pada tanah gambut, sehingga diharapkan dapat meningkatkan kekuatan tanah.

Di alam, degradasi senyawa selulosa berlangsung relatif lambat. Kelompok mikroorganisme selulolitik yang berasal dari tanah yang terlibat antara lain dari kelompok bakteri, aktinomiset dan fungi. Umumnya fungi memiliki aktivitas degradatif yang lebih cepat daripada bakteri dan aktinomiset. Fungi yang telah diketahui mampu menghasilkan enzim selulase antara lain dari genus *Trichoderma*, *Aspergillus*, dan *Penicillium*. Jenis fungi yang biasa digunakan dalam produksi selulase adalah *Aspergillus niger*, *Trichoderma viride*, dan *Trichoderma longibrachiatum* (Lisdiyanti *et al.*, 2012)

Dekomposisi dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu faktor suhu tanah dan faktor kadar air tanah. Suhu tanah merupakan sifat fisik tanah yang penting karena mempengaruhi langsung pertumbuhan tumbuhan bersama dengan air, udara, dan hara. Suhu tanah

mempengaruhi lengas tanah, aerasi, struktur, kegiatan mikroba dan enzim, perombakan sisa jaringan tumbuhan dan hewan serta ketersediaan hara tumbuhan (Notohadiprawiro, 1999). Pada tingkat suhu tanah sedang (30 °C) dan kelembaban tanah antara 60 – 80 %, laju dekomposisi bahan organik mencapai tingkat tertinggi. Peningkatan suhu dan kelembaban secara serentak akan memperlambat laju dekomposisi bahan organik (Thaiutsa *et al.*, 1979). Selain suhu, faktor pH juga sangat berpengaruh pada proses dekomposisi. Mikroorganisme seperti bakteri aerobik sanggup berkembang pada pH 6,1 – 9,2. Aktinomisetes tumbuh dan berkembang pada pH 5,5 – 9,5, sedangkan jamur mampu berkembang pada tingkatan reaksi yang lebih luas pada pH 3,0 – 9,5. Sedangkan *Trichoderma* dapat berkembang pada pH 2,1 – 2,5 (Sutedjo *et al.*, 1996).

Dekomposisi secara alami memerlukan waktu yang lama, yaitu mencapai 3 – 4 bulan, bahkan ada yang mencapai 6 bulan dan lebih. Permasalahan dekomposisi bahan organik pada tanah gambut dari berbagai penelitian mengarah kepada perombakan selulosa yang memakan waktu lama, karena sedikit mikroorganisme yang dapat hidup pada kondisi tanah gambut asli. Selulosa merupakan polimer yang dibangun dari unit-unit β -glukosa yang dikobinasikan melalui pertalian 1,4 (derajat polimerisasi ± 14.000) dalam dinding sel tumbuhan yang menyebabkan struktur-struktur kayu, dahan, dan daun menjadi kuat. Mikroorganisme dalam tanah dengan kemampuan dekomposisi serat selulosa disebut bersifat selulolitik. Pada umumnya, mikroorganisme ini lebih banyak terdapat di permukaan tanah pada kedalaman 0 – 30 cm dan bersifat aerob (Nurkanto, 2007).

2. Metode Stabilisasi

2.1 Sampel dan jenis pengujian

Sampel yang digunakan sebagai objek penelitian ini adalah tanah gambut yang berasal dari Kecamatan Kayu Agung, Kabupaten Komering Ilir (OKI), Sumatera Selatan. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Januari 2014, yang diambil dengan menggunakan tabung pipa PVC dengan ukuran D:H 10.5:68.0 cm. Sampel disimpan di Laboratorium Mekanika Tanah, Universitas Indonesia, Depok dan untuk menjaga kadar air tabung sampel uji ditutup dengan lilin.

Pengujian properti tanah gambut dilakukan untuk kondisi tanah asli dan tanah setelah penambahan mikroorganisme, yang selanjutnya kedua hasil pengujian tersebut akan dibandingkan dan dianalisis perubahannya. Uji properti fisik, kimia dan biologi yang dilakukan adalah kadar air (ASTM D2974), kadar abu dan kadar organik (ASTM D2974), kadar serat (ASTM D1997), kadar pH (ASTM D2976), C-Organik/N, dan jumlah total mikroorganisme (TPC/

Total Plate Count). Uji parameter kuat geser yang dilakukan adalah uji triaksial *Unconsolidated Undrained* (UU) (ASTM D2850) untuk sampel kecil ($d = 36$ mm) dan sampel besar ($d = 100$ mm), serta uji triaksial *Consolidated Undrained* (CU) (ASTM D4767) untuk sampel kecil ($d = 36$ mm). Selain itu, untuk lebih mengetahui perbedaan struktur fisik tanah gambut secara mendetail setelah penambahan mikroorganisme juga dilakukan pengamatan mikroskopik berupa uji SEM (*Scanning Electrone Microscope*).

Sampel yang digunakan dalam pengujian kuat geser ini adalah tanah *undisturbed*. Penentuan parameter kuat geser pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pengujian triaksial *Unconsolidated Undrained* (UU) dan *Consolidated Undrained* (CU). Terdapat dua parameter kuat geser tanah gambut yang akan dicari pada penelitian ini, yaitu kohesi dan kuat geser.

2.2 Injeksi mikroorganisme selulolitik

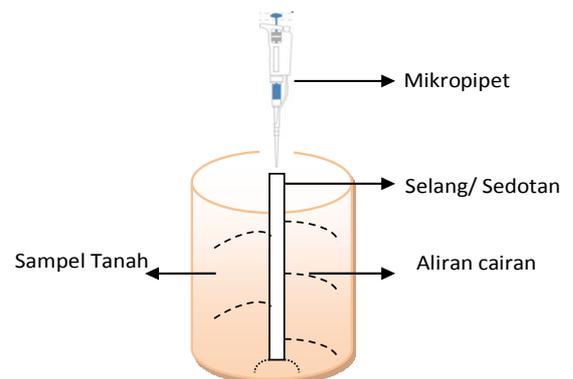
Mikroorganisme yang digunakan pada penelitian ini berasal dari tanah gambut asli yang dilakukan proses isolasi, kemudian dikultur untuk diproduksi sehingga didapatkan mikroorganisme selulolitik yang siap diinjeksi. Jenis mikroorganisme yang digunakan ada 3 jenis, yaitu bakteri, jamur, dan aktinomiset. Ketiga mikroorganisme tersebut memiliki fungsi yang sama, yaitu untuk mendekomposisi atau mendegradasi senyawa organik yang terkandung dalam tanah gambut, terutama selulosa. Untuk mendapatkan mikroorganisme selulolitik yang siap pakai dilakukan serangkaian proses produksi, antara lain isolasi, inokulasi, prakultur, inkubasi, dan kultur.

Pada penelitian ini, volume penambahan mikroorganisme pada tanah gambut sebesar 10% dari volume tanah dalam wadah. Hal tersebut didasarkan pada kemampuan tanah gambut dalam menampung mikroorganisme yang berbentuk cairan. Perhitungan tersebut mengacu pada data porositas, kadar air, dan rongga udara pada tanah gambut asli. Berikut perhitungan kebutuhan mikroorganisme yang akan ditambahkan ke tanah gambut dalam wadah (kecil dan besar) yang ditampilkan pada **Tabel 1**.

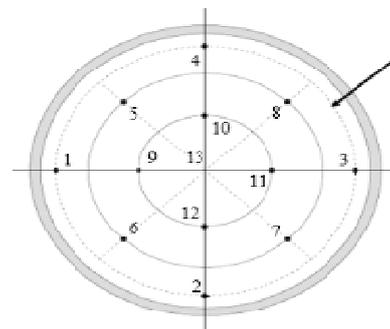
Pencampuran mikroorganisme selulolitik dengan tanah gambut dilakukan dengan cara injeksi pada wadah tanah gambut. Hal tersebut dinilai lebih efektif dibandingkan pencampuran secara langsung (Rahayu, *et al.*, 2014) Alat yang digunakan yaitu mikropipet dan selang/ sedotan yang telah dilubangi di beberapa titik.

Langkah pertama yang dilakukan yaitu mengambil cairan mikroorganisme dalam botol menggunakan mikropipet, lalu memasukkan selang/ sedotan ke dalam tanah gambut, kemudian menginjeksi cairan mikroorganisme ke tanah melalui media sedotan tersebut. Metode injeksi yang dilakukan diilustrasikan pada **Gambar 1**. Injeksi dilakukan pada 13 titik dan agar lebih presisi digunakan alat bantu yaitu kertas saring yang ditandai dengan pola titik injeksi, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2**.

Sampel uji yang telah diinjeksi disimpan pada tempat yang aman dari gangguan fisik. Bagian atas wadah sampel dibiarkan terbuka, agar oksigen dapat masuk sehingga terjadi proses dekomposisi aerob. Selain itu, kondisi sampel uji juga harus dijaga agar kondisinya tetap lembab, serta suhu sampel juga harus dijaga tetap normal pada suhu ruang. Masa fermentasi untuk injeksi tahap pertama adalah 1 bulan, kemudian dilakukan proses injeksi tahap kedua dengan volume mikroorganisme yang sama dengan tahap pertama dan difermentasi selama 1 bulan. Sehingga total masa fermentasi adalah 2 bulan. Setelah masa fermentasi berakhir, sampel tanah diuji untuk kondisi setelah penambahan mikroorganisme.



Gambar 1. Ilustrasi metode injeksi



Gambar 2. Pola titik injeksi mikroorganisme pada sampel

Tabel 1. Perhitungan kebutuhan mikroorganisme

No.	Sampel Uji	Dimensi Wadah			Jumlah Mikroo. (mL)	Volume 1 Jenis Mikroo. (mL)
		D (cm)	h (cm)	V(cm ³)		
1	Besar	10.5	25	2163.66	218.88	72.96
2	Kecil	10.5	10	865.46	87.5	29.18

3. Perubahan Perilaku Tanah Gambut Setelah Distabilisasi

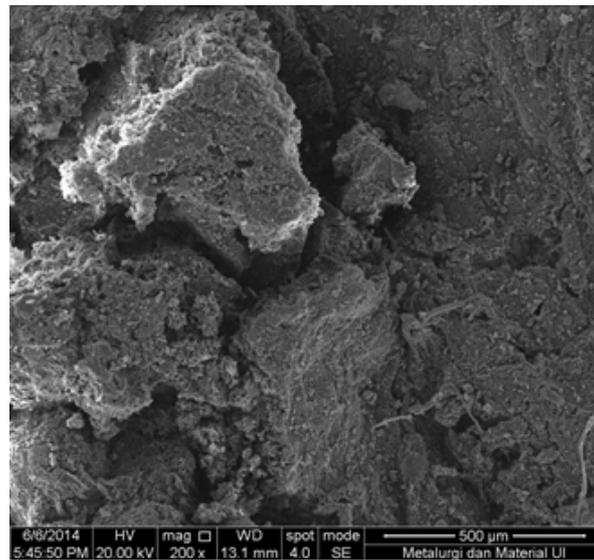
3.1 Analisis dekomposisi selulolitik setelah penambahan mikroorganisme

Secara fisik atau visual, perbedaan yang paling mencolok pada tanah gambut setelah diinjeksi mikroorganisme dan dilakukan fermentasi adalah semakin memadat atau mengerasnya tanah, serta munculnya warna putih pada tanah gambut yang mengindikasikan adanya mikroorganisme yang tumbuh di dalamnya. Hal itu disebabkan karena efek mikroorganisme yang diinjeksi yang berfungsi sebagai agen dekomposisi atau pengurai selulase dan serat yang terkandung dalam tanah gambut.

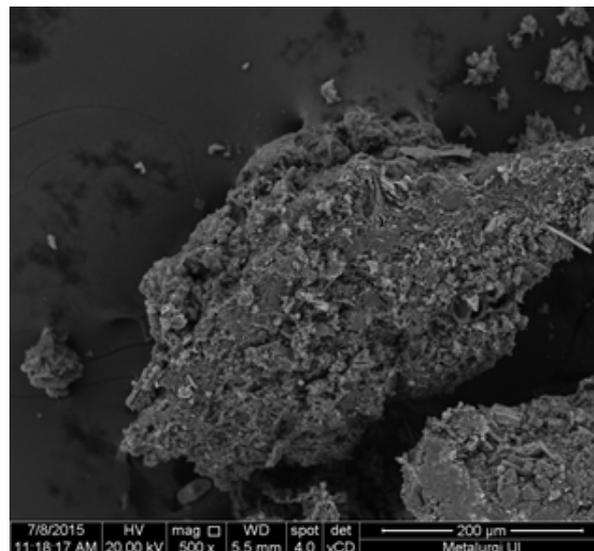
Pada penelitian ini digunakan variabel kontrol dan pembanding jumlah mikroorganisme yang terkandung pada tanah sebelum dan sesudah perlakuan, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.6**. Tabel tersebut menunjukkan injeksi mikroorganisme ke dalam tanah menyebabkan perubahan jumlah mikroorganisme yang terkandung pada tanah. Semakin bertambahnya mikroorganisme diharapkan akan menambah aktivitas penguraian atau dekomposisi selulase dan serat. Jumlah mikroorganisme dihitung berdasarkan metode TPC (*Total Plate Count*) dengan serial pengenceran. Berdasarkan **Tabel 2**, jumlah mikroorganisme jenis jamur dan aktinomiset mengalami kenaikan, sedangkan jumlah koloni bakteri mengalami penurunan. Jumlah mikroorganisme bukan merupakan parameter yang representatif pada penelitian ini. Hal itu disebabkan beberapa faktor yang mempengaruhi perhitungan mikroorganisme, antara lain adanya kontaminasi mikroorganisme dari lingkungan luar pada pengambilan sampel untuk TPC, tidak ada kontrol waktu perhitungan setelah injeksi, dan lain-lain.

Tujuan dari penambahan mikroorganisme selulolitik pada tanah gambut adalah agar terjadi proses dekomposisi, yaitu penguraian serat makro tumbuhan seperti akar, daun, ranting, dan kayu (lignin atau selulosa) dengan porositas besar menjadi serat mikro atau senyawa anorganik yang lebih padat dan rapat. Untuk lebih mengetahui perbedaan struktur fisik tanah gambut secara mendetail setelah penambahan mikroorganisme dilakukan pengamatan mikroskopik berupa mikrograf SEM. Pada **Gambar 3 (a)**, dapat dilihat keberadaan

serat makro yang berupa akar-akar kecil dan berada dalam agregasi serat yang teratur namun masih sedikit. Selain itu, antar agregasi terdapat rongga atau pori-pori ganda, yakni *trans* dan *inter assemblage pores*. Apabila topografi gambut asli diperbesar, serat-serat mikro dan pori-pori antar partikel tanah gambut dapat terlihat. Inilah yang dinamakan serat ganda dari tanah gambut asli. Kemudian, setelah mengalami fermentasi selama 60 hari (**Gambar 3 (b)**), serat-serat ganda terurai oleh mikroorganisme selulolitik menjadi partikel yang lebih terisi dan padat serta semakin mekanis. Partikel gambut terlihat lebih massif bila dibandingkan dengan partikel tanah gambut asli dengan perbesaran yang lebih besar.



(a)



(b)

Gambar 3. Mikrograf SEM perbesaran 500 kali; (a) Tanah gambut asli, (b) Tanah gambut setelah penambahan mikroorganisme

Tabel 2. Perubahan jumlah mikroorganisme setelah injeksi

Jenis Mikroorganisme	Tanah Asli	Jumlah Koloni	
		Pasca Injeksi 1	Pasca Injeksi 2
Bakteri	2.49×10^{10}	1.77×10^{12}	1.43×10^{10}
Jamur	1×10^8	1×10^8	4.5×10^{10}
Aktinomiset	1×10^9	3×10^9	1×10^{10}

3.2 Perubahan properti fisik, kimia, dan biologi setelah penambahan mikroorganisme

Setelah mengalami penamabahan mikroorganisme dan proses fermentasi, maka akan terjadi proses dekomposisi, yaitu penguraian material organik seperti selulase dan serat menjadi material anorganik yang lebih padat. Proses dekomposisi menyebabkan perubahan properti fisik, kimia, dan biologi tanah gambut, seperti ditunjukkan pada **Tabel 3**. Perubahan yang terjadi antara lain penurunan nilai kadar air dan peningkatan pH menuju normal, peningkatan nilai kadar abu, penurunan kadar organik, penurunan kadar serat, dan penurunan rasio C/N.

3.3 Perubahan parameter kuat geser setelah penambahan mikroorganisme

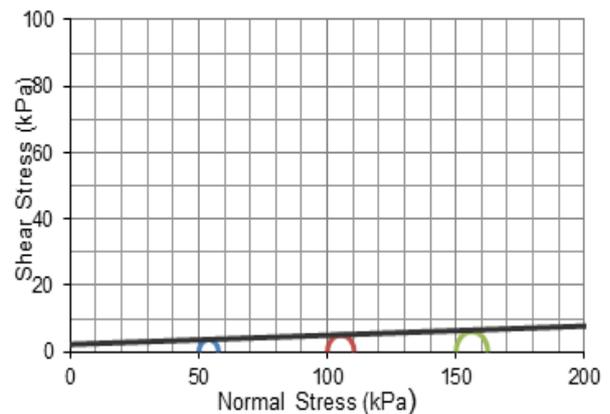
Setelah dilakukan serangkaian uji triaksial *Unconsolidated Undrained* (UU) tanah gambut asli (**Gambar 4**) untuk sampel dengan diameter 3.6 cm dan tinggi 7.2 cm dengan tegangan yang diberikan $\sigma_3 = 50, 100, 150$ kPa, didapatkan hasil kohesi (c) 2.31 kPa dan sudut geser (ϕ) 1.58° .

Setelah ditambahkan atau diinjeksi mikroorganisme, terjadi perubahan parameter kuat geser berdasarkan uji triaksial UU (**Gambar 5**), yaitu pada sampel kecil nilai kohesi (c) naik menjadi 26.26 kPa dan sudut geser (ϕ) turun menjadi 1.35° . Perubahan parameter kuat geser setelah penambahan mikroorganisme berdasarkan hasil uji triaksial UU dirangkum dalam **Tabel 4**.

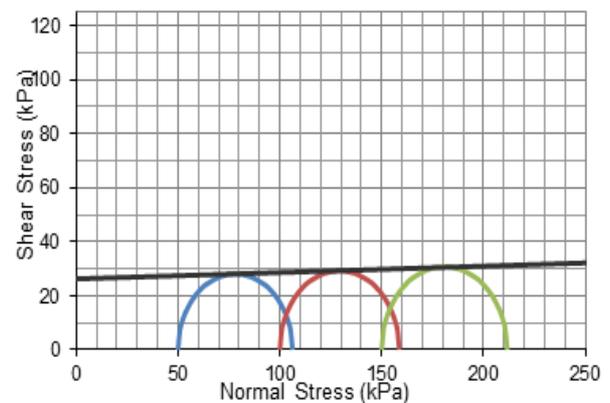
Selain uji triaksial UU, uji kuat geser yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji triaksial *Consolidated Undrained* (CU). Pada pengujian ini sampel uji mengalami 3 proses, yaitu saturasi, konsolidasi, dan kompresi. Proses saturasi bertujuan untuk menjenuhkan tanah sehingga rongga- rongga yang ada pada contoh tanah akan terisi air. Kemudian tahap selanjutnya adalah konsolidasi. Proses ini dimaksudkan untuk memberikan tegangan efektif pada sampel tanah sesuai dengan tegangan efektif yang terjadi sebenarnya di lapangan. Tegangan efektif yang diberikan pada pengujian ini adalah 50 kPa, 100 kPa, dan 150 kPa. Tahap terakhir pada uji triaksial CU adalah tahap kompresi. Pada tahap ini akan diberikan tekanan pada sampel uji hingga mengalami keruntuhan atau kehancuran, yang

ditandai dengan penurunan pembacaan *load dial* atau menjadi konstan.

Analisis yang digunakan pada pengujian ini adalah menggunakan metode *Stress Path* atau Lintasan Tegangan. Selain parameter kuat geser, pada uji ini juga dapat diketahui parameter keruntuhannya, yaitu M (gradien garis kondisi kritis) dan q_0 (*deviator stress/* pembebanan awal). Salah satu *output* uji triaksial CU digambarkan pada **Gambar 7**.



Gambar 4. Diagram mohr hasil uji triaksial UU Tanah Gambut Asli OKI: Sampel Uji diam. = 36 mm, w = 456%



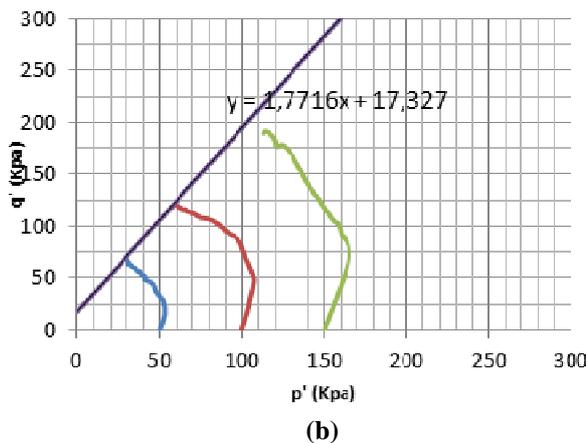
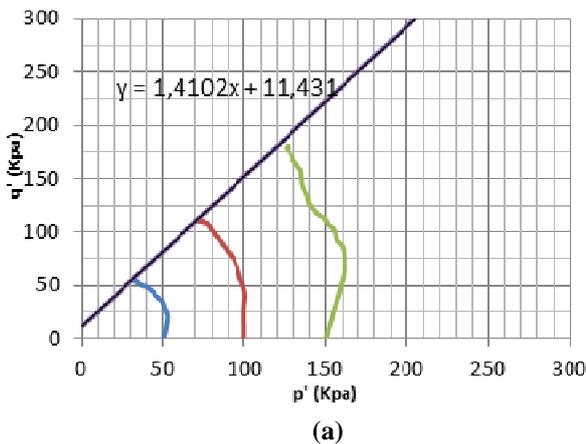
Gambar 5. Diagram mohr hasil uji Triaksial UU Tanah Gambut OKI Setelah penambahan mikroorganisme: Sampel Uji diam. = 36 mm, w = 385%

Tabel 3. Perubahan properti fisik, kimia, dan biologi tanah gambut setelah penambahan mikroorganisme

No.	Properti Tanah	Tanah Asli	Tanah Setelah Penambahan Mikroorganisme	
			Sampel Kecil	Sampel Besar
1.	Kadar Air (%)	434.79	288.19	323.62
2.	Kadar pH	3.93	6.70	5.90
3.	Kadar Abu (%)	25.00	49.32	43.00
4.	Kadar Organik (%)	75.00	51.70	57.00
5.	Kadar Serat (%)	27.99	15.99	18.92
6.	Kadar C/N	12.45	11.60	-

Tabel 4. Perubahan parameter kuat geser setelah penambahan mikroorganisme hasil uji triaksial UU

No.	Parameter Kuat Geser	Tanah Asli	Tanah Setelah Penambahan Mikroorganisme
1.	Kohesi / c (kPa)	2.31	26.26
2.	Sudut geser / ϕ ($^{\circ}$)	1.58	1.35



Gambar 6. Hasil uji triaksial CU Tanah gambut OKI Grafik tegangan efektif (p') vs Deviator Stress (q'): (a) Tanah gambut asli sampel uji diam. = 36 mm, w = 440% dan (b) Tanah gambut setelah penambahan mikroorganisme sampel uji diam. = 36 mm, w = 334%

Tabel 5. Perubahan parameter kuat geser setelah penambahan mikroorganisme hasil uji triaksial CU

No.	Parameter Tanah	Tanah Asli	Tanah Setelah Penambahan Mikroorganisme
1.	M	1.4102	1.7716
2.	q_0 (kPa)	11.431	17.327
3.	c' (kPa)	5.11	7.55
4.	ϕ' ($^{\circ}$)	34.81	43.15

Berdasarkan Gambar 7 (a), didapatkan nilai parameter tanah gambut asli yaitu M sebesar 1.4102, q_0 sebesar 11.431 kPa, kohesi efektif (c') sebesar 5.11 kPa, dan sudut geser efektif (ϕ') sebesar 34.81° . Setelah penambahan mikroorganisme (Gambar 7 (b)), parameter kuat geser mengalami perubahan yaitu Kohesi tanah gambut mengalami kenaikan menjadi 7.55 kPa, sedangkan sudut gesernya juga mengalami kenaikan menjadi 43.15° . Perubahan parameter keruntuhan dan kuat geser setelah penambahan mikroorganisme berdasarkan hasil uji triaksial CU dirangkum dalam Tabel 5.

Secara keseluruhan, parameter kohesi dari tanah gambut asli tergolong kecil. Kandungan serat yang sangat dominan pada tanah gambut menyebabkan daya ikat antar partikel tanahnya terganggu, sehingga menyebabkan nilai kohesinya relatif kecil. Kandungan serat yang sangat dominan pada tanah gambut menyebabkan daya ikat antar partikel tanahnya terganggu, sehingga menyebabkan nilai kohesinya relatif kecil yaitu sekitar 1-5 kPa. Sedangkan nilai sudut geser tanah gambut asli tergolong besar. Hal itu disebabkan karena pada tanah gambut sudut geser antar serat/ friksi lebih dominan dibandingkan dengan sudut geser antara partikel tanahnya. Setelah dilakukan penambahan mikroorganisme selulolitik, parameter kuat geser tanah gambut mengalami perubahan dimana dari hasil uji triaksial UU maupun CU terjadi peningkatan nilai kohesi dan sudut geser. Hal itu disebabkan karena terjadinya proses dekomposisi, yaitu terurainya selulase dan serat menjadi material yang padat, terurainya serat tersebut menyebabkan daya ikat antar partikel tanahnya semakin kuat, yang ditandai dengan kenaikan nilai kohesi dan sudut geser.

Pada uji triaksial UU parameter sudut geser tidak terlalu terlihat, yang ditandai dengan nilai yang sangat kecil baik sebelum maupun setelah penambahan mikroorganisme. Seharusnya tanah gambut memiliki nilai sudut geser yang besar yang disebabkan karena kandungan serat atau friksi yang dominan yang terkandung di dalamnya. Hal itu disebabkan karena kurang cocoknya uji yang dilakukan. Pada uji triaksial UU, sampel tanah langsung mengalami kompresi tanpa ada perlakuan apapun. Sedangkan pada uji triaksial CU memungkinkan dilakukan proses saturasi dan konsolidasi, serta pengukuran air pori selama proses pengujian, yang sebenarnya proses tersebut lebih tepat dilakukan pada material tanah seperti gambut. Nilai parameter kuat geser pada uji triaksial UU juga bisa dikatakan nilai yang pesimis, karena proses pengujian yang dilakukan relatif sederhana. Sehingga uji yang lebih merepresentasikan nilai parameter kuat geser tanah gambut yang sebenarnya adalah triaksial CU. Selain itu, keuntungan uji triaksial CU adalah didapatkannya nilai parameter kuat geser dalam kondisi tegangan total dan tegangan efektif.

Perubahan properti fisik, kimia, dan biologi, serta parameter kuat geser tanah gambut setelah penambahan mikroorganisme pada penelitian ini tergolong cukup signifikan. Hal ini disebabkan karena proses penambahan mikroorganisme yang lebih efektif dan tersebar merata. Faktor kadar air juga berpengaruh besar pada kondisi pertumbuhan mikroorganisme. Mikroorganisme selulolitik dapat tumbuh dan melakukan aktivitas dekomposisi dengan baik pada rentang kadar air tanah gambut 200 – 300%. Jika kandungan kadar air masih tergolong besar, akan membuat mikroorganisme tidak dapat tumbuh karena kondisi tanah yang masih jenuh dengan air. Hal tersebut akan membuat perubahan nilai parameter kuat geser tidak terlalu signifikan. Seharusnya untuk mengkondisikan atau mengontrol kadar air dapat digunakan batu pori yang berfungsi mengalirkan air yang terkandung pada tanah gambut dalam tabung.

4. Kesimpulan

Dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan mikroorganisme selulolitik bertujuan untuk menguraikan atau mendekomposisi serat dan selulosa menjadi senyawa organik yang lebih sederhana dan padat. Akibat proses dekomposisi setelah penambahan mikroorganisme mengakibatkan beberapa perubahan properti fisik, kimia, biologi tanah gambut antara lain menaikkan kadar pH menuju normal, menurunkan kadar serat, meningkatkan kadar abu, menurunkan kadar organik, mengurangi kadar C/N dan menaikkan jumlah mikroorganisme yang terkandung dalam tanah gambut.
2. Perubahan parameter kuat geser tanah gambut berdasarkan uji triaksial *Unconsolidated Undrained* (UU) setelah penambahan mikroorganisme yaitu menaikkan nilai kohesi (c) dari 2.31 kPa menjadi 26.26 kPa dan menurunkan nilai sudut geser (ϕ) dari 1.58^0 menjadi 1.23^0 untuk sampel kecil. Sementara itu untuk pengujian sampel besar, hasilnya adalah menaikkan nilai kohesi (c) dari 1.16 kPa menjadi 4.05 kPa dan menurunkan nilai sudut geser ϕ dari 1.35^0 menjadi 1.04^0 . Sedangkan perubahan parameter kuat geser tanah gambut berdasarkan uji triaksial *Consolidated Undrained* (CU) setelah penambahan mikroorganisme yaitu menaikkan nilai kohesi efektif (c') dari 5.11 kPa menjadi 7.55 kPa dan menaikkan nilai sudut geser efektif (ϕ') dari 34.81^0 menjadi 43.15^0 .
3. Pengujian triaksial *Consolidated Undrained* (CU) lebih tepat dan representatif digunakan pada tanah gambut dibandingkan uji triaksial *Unconsolidated Undrained* (UU), dikarenakan pada uji triaksial UU nilai sudut geser tanah gambut tidak terakomodasi dan ter-*record* dengan baik.

Pada aplikasi di lapangan, penambahan mikroorganisme dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan pompa dan selang untuk penyaluran cairan mikroorganisme agar penyebarannya lebih efektif. Untuk kontrol kadar air di lapangan pada tanah gambut yang masih tinggi kandungan airnya, dapat digunakan pekerjaan *dewatering* untuk menurunkan kadar air sampai kondisi yang dituju, yaitu rentang 200 – 300% atau kondisi dimana mikroorganisme dapat tumbuh.

Daftar Pustaka

- ASTM, D1997-13, Standard Test Method for Laboratory Determination of the Fiber Content of Peat Samples by Dry Mass, Annual Book of ASTM Standard, Election 4, Volume 04.08, Easten MD, USA.
- ASTM, D2850-03a, Standard Test for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils, Annual Book of ASTM Standard, Election 4, Volume 04.08, Easten MD, USA.
- ASTM, D2974-00, Standard Test Method for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils, Annual Book of ASTM Standard, Election 4, Volume 04.08, Easten MD, USA.
- ASTM, D2976-71, Standard Test Method for pH of Peat Materials, Annual Book of ASTM Standard, Election 4, Volume 04.08, Easten MD, USA.
- ASTM, D4767-95, Standard Test for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils, Annual Book of ASTM Standard, Election 4, Volume 04.08, Easten MD, USA.
- Karisma, A.P, 2012, *Pengaruh Penggunaan Mikroorganisme Sebagai Bahan Stabilisasi Terhadap Kekuatan Tanah Gambut dengan Uji Triaksial CU dan CBR*, Skripsi, Depok: Universitas Indonesia.
- Lisdiyanti, P. et al., 2012, *Mikroorganisme Selulolitik dari Tanah Gambut Ogan Komering Ilir Sumatera Selatan*, Makara Tekno.
- Muslikah, S., 2011, *Studi Degradasi Tanah Gambut oleh Mikroorganisme untuk Proses Konsolidasi Tanah*, Tesis, Depok: Universitas Indonesia
- Nurkanto, A., 2007, *Identifikasi Aktinomisetes Tanah Hutan Pasca Kebakaran Bukit Bangkirai Kalimantan Timur dan Potensinya sebagai Pendegradasi Selulosa dan Pelarut Posfat*, BIODIVERSITAS ISSN: 1412-033X, 8, 314-319.

- Rahayu, W. et al., 2008, Studi Perilaku Kekuatan Tanah Gambut Kalimantan yang Distabilisasi dengan Semen Portland, *Jurnal Teknologi*, Edisi No. 1 Tahun XXI, Maret 2008, 1-8 ISSN 0215-1685.
- Rahayu, W. et al., 2014, *Analisis Pengaruh Injeksi Mikroorganisme Potensial pada Parameter Kompresibilitas Tanah Gambut Kayu Agung Sumatera Selatan*, Proceeding of 18th Annual National Conference on Geotechnical Engineering: 97-103, Indonesia: Jakarta.
- Sanjaya, S, (2014), *Pengaruh Penggunaan Bahan Stabilisasi Urea (EM4) pada Tanah Gambut dengan Uji CBR*, Skripsi, Depok: Universitas Indonesia.
- Sutedjo, M.M. et al., 1996, *Mikrobiologi Tanah* (cet. 2), Jakarta: Rineka Cipta.
- Thaiutsa et al., 1979, *Climate and The Decomposition Rate of Tropical Forest Litter*, Unasyilva.
- Wetlands International Indonesia, 2003, *Peta dan Atlas Distribusi Lahan Gambut*.