

## Pengaruh Penambahan Mikroorganisme Terhadap Sifat Fisik dan Kuat Geser Tanah Gambut Palembang

Erza Rismantojo<sup>(\*)</sup>

Kelompok Keahlian Geoteknik, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesa No.10, Bandung 40132, E-mail: [erza@si.itb.ac.id](mailto:erza@si.itb.ac.id)

Niar Nauri Ningsih

Program Magister Teknik Sipil, Kelompok Keahlian Geoteknik, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung, E-mail: [niar.nauri@gmail.com](mailto:niar.nauri@gmail.com)

### Abstrak

Makalah ini berisi hasil penelitian yang mempelajari pengaruh penambahan 5, 10, dan 15% larutan mikroorganisme terhadap sifat fisik dan kuat geser tanah gambut dari Palembang, Sumatera Selatan. Pengujian dilakukan pada tanah gambut yang dikeringkan kemudian dipadatkan setelah dicampur air tanpa/dan larutan mikroorganisme pada kondisi tanpa masa peram dan setelah pemeraman selama tujuh hari. Sifat fisik yang diamati adalah specific gravity, nilai pH, kadar abu, kadar organik, dan kadar serat tanah gambut sebelum dan setelah dicampur dengan larutan mikroorganisme. Sifat mekanik yang dipelajari adalah kuat geser niralir dan efektif benda uji tanah gambut saja dan gambut yang dicampur dengan larutan mikroorganisme. Benda uji dibuat dengan cara pemadatan manual dan diuji dengan cara triaxial consolidated-undrained. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan larutan mikroorganisme menaikkan nilai specific gravity, pH, kadar abu, kohesi efektif, sudut geser dalam efektif, kuat geser niralir, dan mengurangi kadar organik dan serat. Benda uji untuk pengujian triaksial dijenuhkan dan dikonsolidasikan dengan tegangan efektif isotropik 50, 100, dan 200kPa. Hasil pengujian triaxial memperlihatkan bahwa kekuatan geser niralir tanah gambut Palembang yang dipadatkan ini dapat dinormalisasi dengan faktor normalisasi yang mirip dengan yang digunakan untuk tanah berbutir kasar.

**Kata-kata kunci:** Gambut, mikroorganisme, kuat geser niralir, kuat geser efektif, lintasan tegangan, kuat geser ternormalisasi.

### Abstract

This paper presents the results of an experiment performed to study the effect of mixing 5, 10, and 15% of mikroorganisme solution to the physical characteristics and shear strength of peat soil from Palembang, South Sumatera. The test specimens are air-dried peat soil which recompacted, after remolded with water and mixed with/without mikroorganisme solution, and tested at zero curing time and after seven-day curing time. The physical characteristics considered are specific gravity, pH, ash content, organic content, fiber content of the natural peat and those of the mixture of peat and mikroorganisme solution. The mechanical properties studied include the undrained and effective shear strengths of natural peat and those of the mixture of peat and mikroorganisme reconstituted by tamping and tested using consolidated-undrained triaxial. The study shows that the mikroorganisme solution increases specific gravity, pH, ash content, undrained shear strength, effective shear strength parameters while reducing organic and fiber contents. The triaxial test specimens are saturated and then consolidated under isotropic effective confining pressures of 50, 100, and 200kPa before sheared. The triaxial test results indicate that the undrained shear strength of this recompacted soil peat can be normalized using a normalization factor similar to that used for coarse-grained soils.

**Keywords:** Effective shear strength, mikroorganisme, normalized shear strength, peat, stress path, undrained shear strength.

## 1. Pendahuluan

Tanah gambut di Indonesia diperkirakan terbentuk antara 6.800 hingga 4.200 tahun yang lalu (Andriesse 1994). Pada saat itu di sepanjang pantai Pulau Sumatera, Kalimantan, dan Papua terbentuk tanah endapan (alluvial) yang luas akibat turunnya permukaan air laut beberapa meter dan bertambahnya endapan tanah lempung. Hal ini mengakibatkan perubahan kondisi pertumbuhan beberapa spesies

tanaman sehingga hutan bakau yang tumbuh di daerah tersebut perlahan digantikan oleh spesies tumbuhan lain sebagai akibat akumulasi bahan-bahan organik. Pada akhirnya hutan rawa bakau tersebut berubah menjadi hutan rawa gambut dalam kondisi air yang sudah berubah menjadi air tawar. Tanah gambut di Indonesia sebagian besar tersebar di tiga pulau besar Sumatera, Kalimantan dan Papua. Beberapa sumber menyebutkan luas lahan gambut di Indonesia yang bervariasi. Soekardi dan Hidayat (1988) menyebutkan

<sup>\*</sup>Penulis Korespondensi

bahwa luas total lahan gambut di Indonesia berkisar 18,4 juta Ha dengan lahan paling luas yaitu sekitar 9,3 juta Ha berada di Kalimantan sedangkan Wahyunto, Nugroho, dan Agus (2011) melaporkan sekitar 14,9 juta Ha luas total lahan gambut di mana lahan terbesar berada di Sumatera dengan luas total sekitar 6,4 juta Ha disusul 4,8 juta Ha di Kalimantan. Wahyunto, Nugroho, dan Agus (2011) di dalam tulisannya tentang perkembangan pemetaan dan distribusi lahan gambut di Indonesia menggunakan empat jenis peta (peta sumberdaya lahan, peta citra satelit, peta Rupabumi, dan peta geologi) yang tersedia pada tahun 2011 untuk mengidentifikasi penyebaran lahan gambut di Indonesia. Sebagian besar lahan gambut di Indonesia berada di pantai dan sebagian kecil berada di pedalaman (misalnya di lembah Sungai Memberamo, Papua).

Lahan tanah gambut yang cukup luas di Indonesia ini menjadi lahan yang tidak ideal sebagai tempat untuk mendirikan bangunan di atasnya karena tanah gambut umumnya memiliki daya dukung rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Porositas tanah gambut tinggi disebabkan karena, selain pori-pori makro, di dalam serat-serat gambut terdapat juga pori-pori mikro. Tanah gambut dikenal juga sebagai tanah yang memiliki penurunan konsolidasi sekunder yang besar.

Berbagai cara untuk memperbaiki karakteristik tanah gambut dengan menambahkan material lain ke dalam tanah gambut sudah pernah dilakukan. Material yang digunakan sebagai tambahan di antaranya adalah semen (Bobet dkk. 2011, Paul dan Hussain 2020, Subagio 1995), Geosta-A (Subagio 1995), semen *clean set* tipe CS-10 (Prihandajani 1996), bahan kimia cair bernama *Consolid* (Cipthadi 1996), *supercement* (Endah 1997), *peat solid* dan abu gambut (Irwandi 2000), mikrobiologi asli gambut, P2000Z (Muslikah 2011), dan urea EM4 (Muslikah 2011, Karisma 2012). Berdasarkan karakteristik dari material-material tambahan ini maka mekanisme perbaikan tanah gambut pada penelitian-penelitian tersebut dapat dikelompokkan menjadi perbaikan dengan cara penambahan material padat dan perbaikan sifat fisik dengan cara pembentukan material baru dari hasil reaksi kimia dan/atau reaksi biologi.

Penelitian yang kami lakukan termasuk perbaikan tanah gambut dengan reaksi biologi di mana bahan campuran yang digunakan adalah larutan mikroorganisme produk Tentara Nasional Indonesia (TNI) yang dikembangkan pada tahun 2016 oleh Korem 044 Garuda Dempo Sumatera Selatan dengan tujuan awal untuk mencegah kebakaran lahan gambut yang kemudian berkembang penggunaannya sebagai penyubur lahan pertanian dan budi daya ikan. Larutan mikroorganisme ini dilaporkan mengandung berbagai jenis mikroorganisme yang dapat mempercepat proses penguraian bahan organik dan kadar serat dan juga mampu menghasilkan zat kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) yang diharapkan dapat membentuk ikatan antara partikel tanah (Korem 044 Garuda Dempo 2018). Penelitian sebelumnya, yang juga menggunakan mikroorganisme yang sama pada tanah gambut, dilakukan oleh Lestari (2018) untuk melihat pengaruhnya terhadap koefisien permeabilitas. Peneliti lain, Karisma (2012),

menggunakan mikroorganisme dalam bentuk urea pada tanah gambut dan mempelajari pengaruhnya pada harga CBR dan kekuatan geser dari uji triaksial *consolidated-undrained*. Muslikah (2011) juga mempelajari pengaruh urea pada tanah gambut tetapi pada karakteristik konsolidasi pembebanan satu dimensi di laboratorium. Karisma (2012) menemukan bahwa urea, setelah pemeraman selama satu bulan, dapat mengurangi kadar serat tetapi tidak mempengaruhi sifat mekanis tanah gambut.

Penelitian yang kami lakukan mempelajari bagaimana pengaruh mikroorganisme terhadap sifat fisik, kimia, dan kekuatan geser tanah gambut. Larutan mikroorganisme yang kami gunakan dilaporkan mengandung mikroorganisme yang menghasilkan enzim sebagai katalisator dalam proses penguraian komponen organik dan serat dalam gambut dan dapat bereaksi menghasilkan  $\text{CaCO}_3$  (Korem 044 Garuda Dempo 2018). Kedua mekanisme ini diharapkan dapat merubah sifat fisik dan mekanik tanah gambut sehingga memperbaiki kekuatan geser dan kompresibilitasnya. Berdasarkan hipotesis tersebut maka pada penelitian ini tanah gambut dicampur dengan larutan mikroorganisme sebanyak 5, 10, dan 15 persen berat kering dan diuji triaksial terkonsolidasi tak terdrainase (*consolidated-undrained*). Hasil pengujian tersebut dibandingkan terhadap hasil pengujian triaksial yang dilakukan pada tanah gambut tanpa campuran mikroorganisme. Selain itu pengaruh masa peram dipelajari dengan membandingkan hasil pengujian benda uji tanpa masa peram dengan masa peram tujuh hari. Hasil pengujian tanpa masa peram digunakan sebagai acuan untuk mengevaluasi pengaruh faktor tujuh hari masa peram dan faktor tiga level kadar mikroorganisme.

## 2. Karakteristik Benda Uji

### 2.1 Sifat fisik dan kimia tanah gambut

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah gambut berserat (*fibrous peat*) yang berasal dari Dusun III Banyu Urip, Kecamatan Tanjung Lago, Palembang, Sumatera Selatan. Contoh tanah diambil dengan cara digali menggunakan cangkul dari kedalaman sekitar 0.5 sampai dengan 1.0 m dari permukaan tanah. Contoh tanah disimpan di dalam kantong plastik lalu dibungkus karung plastik dan dijahit supaya tidak berhubungan langsung dengan udara untuk menjaga kestabilan kadar air aslinya. Secara visual tanah ini berwarna hitam pekat dan mengandung serat-serat yang sebagian berasal dari akar-akar tumbuhan. Keberadaan serat-serat menunjukkan bahwa proses dekomposisi pada tanah gambut tersebut masih cukup rendah.

Komponen pori tanah gambut terdiri atas makropori, pori yang berada di sela-sela antar butiran tanah gambut, dan mikropori, pori yang berada di dalam butiran tanah gambut. Semakin besar komponen mikroporinya semakin besar pula kemampuan tanah gambut untuk menyerap air. Napitupulu (1999) melakukan penelitian pada tanah gambut dari berbagai tempat di Indonesia dan melaporkan kadar air tanah

gambut yang bervariasi dari sekitar 240 sampai dengan 630 persen. Karakteristik tanah gambut tersebut terlihat pada parameter sifat fisik yang dapat diukur seperti kadar air ( $w$ ), *specific gravity* ( $G_s$ ), derajat pembusukan, kadar organik, kadar serat, kadar abu, dan sifat kimia pH. Nilai parameter sifat-sifat fisik dan pH dari contoh tanah gambut Dusun III Banyu Urip, Palembang dirangkum dalam **Tabel 1**.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa contoh tanah gambut dari Dusun III Banyu Urip, Palembang dapat diklasifikasikan sebagai jenis tanah gambut  $H_4$  pada skala Von Post (1992). Tanah gambut  $H_4$  adalah tanah gambut dengan tingkat pembusukan sedang yang mengeluarkan air sangat keruh dan jika diremas akan muncul sedikit butiran gambut melalui sela-sela jari. Kadar air sebesar 270.6% yang dimiliki tanah gambut ini termasuk rendah di antara tanah-tanah gambut yang dilaporkan oleh Napitupulu (1999). Berdasarkan harga pH, kadar abu, dan kadar seratnya tanah gambut ini menurut ASTM D4427 termasuk jenis *highly acidic peat* ( $pH < 4.5$ ), *high ash peat* ( $> 15\%$ ), dan *fibric peat* ( $> 67\%$ ) atau *fibrous peat* ( $> 20\%$ ) menurut MacFarlane (1969). Hasil

**Tabel 1. Sifat-sifat fisik dan pH tanah gambut dusun III Banyu Urip, Palembang**

Derajat Pembusukan	$H_4$
Kadar air (%)	270.6
$G_s$	1.7
pH	2.3
Kadar abu (%)	30.3
Kadar organik (%)	69.8
Kadar serat (%)	70.2

**Tabel 2. Klasifikasi tanah gambut dusun III Banyu Urip Palembang**

No.	Referensi	Klasifikasi
1	Von Post (1992)	$H_4$
2	MacFarlane (1969) Berdasarkan Kadar Serat	<i>Fibrous Peat</i> ( $> 20\%$ )
3	ASTM D4427-18 Berdasarkan Kadar Abu	<i>High Ash Peat</i> ( $> 15\%$ )
4	ASTM D4427-18 Berdasarkan pH	<i>Highly Acidic</i> ( $pH < 4.5$ )
5	ASTM D4427-18 Berdasarkan Kadar Serat	<i>Fibric Peat</i> ( $> 67\%$ )

**Tabel 3. Unsur-unsur tanah gambut dusun I dan II Banyu Urip Palembang (Ningsih 2015)**

Unsur	Atom No.	Massa (%)	Massa Norm. (%)	Atom (%)
Oxygen	8	43,62	44,48	45,87
Carbon	6	28,55	29,11	39,99
Iron	26	12,99	13,24	3,91
Silicon	14	2,71	2,77	1,62
Aluminum	13	1,18	1,21	0,74
Sulfur	16	1,17	1,20	0,62
Osmium	76	0,04	0,05	0,00
Cobalt	27	1,11	1,14	0,32
Flourine	9	3,51	3,58	3,11
Nitrogen	7	3,17	3,24	3,81
<b>Total:</b>		<b>98.07</b>	<b>100,00</b>	<b>100.00</b>

pengklasifikasian berdasarkan Von Post (1992), MacFarlane (1969), dan ASTM D4427 dapat dilihat dalam **Tabel 2**.

Komposisi unsur-unsur di dalam tanah gambut yang digunakan pada penelitian ini tidak diukur tetapi unsur-unsur gambut dari desa yang sama tetapi berasal dari Dusun I dan Dusun II pernah diukur oleh Ningsih (2015) dengan metode *Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy* (EDX). Nama-nama unsur yang terdeteksi dapat dilihat pada **Tabel 3**. Tiga unsur utamanya adalah oksigen, karbon, dan besi dengan komposisi massa masing-masing sekitar 44, 29, dan 13 persen.

## 2.2 Larutan mikroorganisme

Larutan mikroorganisme yang kami gunakan dilaporkan mengandung berbagai mikroorganisme yang berfungsi mempercepat pembusukan komponen organik tanah gambut dan menghasilkan zat kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) sebagai bahan pengikat antar partikel dan meningkatkan pH tanah. Pada kondisi yang tidak menguntungkan, seperti pada saat kekurangan makanan, mikroorganisme ini dapat memproduksi endospora, sebagai bentuk pertahanan hidup, sehingga dapat berada di lingkungan ekstrim (seperti panas, asam, dan asin) lebih lama sampai kondisi menjadi baik (Korem 044 Garuda Dempo 2018).

Kandungan unsur kimia dan organik di dalam larutan mikroorganisme ini dapat dilihat pada **Tabel 4** di mana empat unsur dengan konsentrasi terbesar adalah kalsium, aluminium, besi, dan natrium. Larutan mikroorganisme yang digunakan di dalam penelitian ini diperoleh dari Korem 044 Garuda Dempo Sumatera Selatan.

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Persiapan benda uji

Contoh tanah gambut disiapkan untuk uji pemadatan *Standard Proctor* dan uji triaksial *consolidated-undrained*. Pada uji pemadatan *Standard Proctor* dipelajari pengaruh dari satu faktor saja yaitu kadar larutan mikroorganisme pada karakteristik pemadatan tanah gambut. Sedangkan pada uji triaksial *consolidated-undrained* dipelajari pengaruh dua faktor

**Tabel 4. Kandungan larutan mikroorganisme**

No.	Unsur Kimia	Konsentrasi	Metode
1	Besi (Fe)	2085,1 $\mu\text{g/L}$	ALPHA 3120 : 2012
2	Kesadahan Total	565,6 $\text{mg/L}$	SNI 06-6989.12:2004
3	Klorida	6,452 $\text{mg/L}$	SNI 6989.19:2009
4	Mangan (Mn)	25,597 $\mu\text{g/L}$	ALPHA 3120:2012
5	N sebagai Nitrat	48,668 $\text{mg/L}$	Spectrophotometri
6	pH Air	5,33	SNI 06-6989.11:2004
7	Sulfat	28,185 $\text{mg/L}$	SNI 6989.20:2009
8	Alumunium (Al)	2564,1 $\mu\text{g/L}$	ALPHA 3120:2012
9	Zat Organik (Angka $\text{KMnO}_4$ )	369,404 $\text{mg/L}$	SNI 06-6989.22:2004
10	Fosfat	0,92 $\text{mg/L}$	SNI 6989.31:2005
11	Nitrogen Total	160 $\text{mg/L}$	Spectrophotometri
12	Kalsium (Ca)	9406,2 $\text{mg/L}$	ALPHA 3120:2012
13	Natrium (Na)	2075,93 $\text{mg/L}$	ALPHA 3120:2012

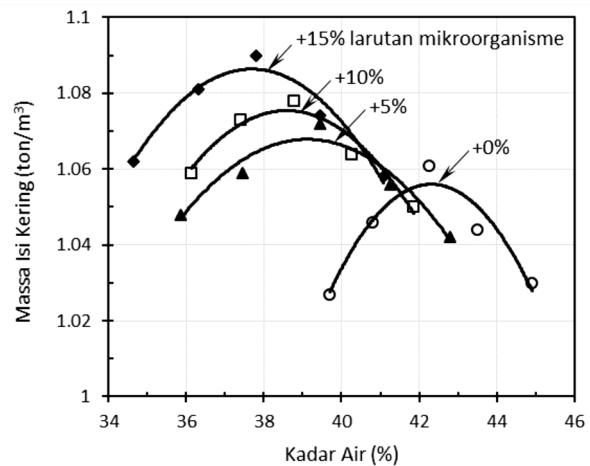
yaitu kadar larutan mikroorganisme dan durasi masa peram pada parameter kuat geser tanah gambut yang dipadatkan. Kadar larutan mikroorganisme yang digunakan adalah 0% (tanpa larutan mikroorganisme), 5%, 10%, dan 15% dari berat tanah kering. Durasi masa peram yang dipilih adalah tanpa masa peram dan masa peram selama tujuh hari. Benda uji yang termasuk dalam kategori tanpa masa peram adalah benda uji yang disiapkan dengan cara mencampur tanah gambut dengan larutan mikroorganisme dan segera digunakan dalam uji pemadatan atau dibentuk menjadi benda uji silinder dan langsung digunakan pada uji triaksial. Sedangkan benda uji dengan masa peram tujuh hari adalah benda uji yang disiapkan dari hasil pencampuran tanah gambut dengan larutan mikroorganisme lalu dibentuk menjadi benda uji berupa silinder dan diperam dahulu selama tujuh hari sebelum digunakan pada uji triaksial. Hasil dari kondisi tanpa masa peram digunakan sebagai acuan pada saat mengevaluasi pengaruh masa peram dan kadar larutan mikroorganisme.

Sebelum dicampur dengan air dan larutan mikroorganisme tanah gambut dikeringkan dengan cara dihampar di udara terbuka tanpa terkena sinar matahari langsung kemudian disaring melewati saringan No. 4. Tanah gambut yang digunakan untuk penelitian adalah material yang lolos saringan No. 4. Berdasarkan empat level kadar larutan mikroorganisme and dua level masa peram disiapkan tujuh kombinasi benda uji untuk uji triaksial (Tabel 5). Masing-masing tanda silang di dalam Tabel 5 menunjukkan satu set (tiga silinder benda uji) benda uji yang digunakan uji triaksial *consolidated-undrained*. Perlu dijelaskan juga bahwa benda uji yang disiapkan untuk uji triaksial memerlukan waktu sekitar 2 sampai 3 hari pada saat melalui proses saturasi dan konsolidasi pada tahapan pengujian triaksial *consolidated-undrained*. Tambahan waktu ini dapat dianggap sebagai durasi di mana proses reaksi antara larutan mikroorganisme dan tanah gambut mungkin berlangsung sehingga perlu dipertimbangkan pada saat mengevaluasi hasil penelitian.

### 3.2 Pemadatan standard proctor

Tanah gambut saja dan campuran gambut dengan tiga kadar larutan mikroorganisme masing-masing dipadatkan dengan metode Standard Proctor. Kurva-kurva hubungan antara massa isi kering dan kadar air hasil pemadatan untuk masing-masing kadar larutan mikroorganisme dapat dilihat pada Gambar 1. Massa isi kering dan kadar air optimum tanah hasil pemadatan dirangkum di Tabel 6.

Hasil pemadatan memperlihatkan bahwa penambahan kadar larutan mikroorganisme menyebabkan penurunan kadar air optimum dan peningkatan massa



Gambar 1. Hubungan antara massa isi kering dan kadar air tanah pemadatan *Standard Proctor* untuk gambut saja dan campuran tanah gambut dengan larutan mikroorganisme

Tabel 6. Massa isi kering maksimum dan kadar air optimum hasil pemadatan *Standard Proctor*

No.	Larutan mikroorganisme (% berat kering)	Kadar Air Optimum (%)	Massa Isi Kering Maksimum (ton/m³)
1	0	42.3	1.056
2	5	39.1	1.068
3	10	38.6	1.075
4	15	37.8	1.086

isi kering maksimum. Kadar air optimum tanah gambut asli yang dipadatkan adalah sekitar 42%. Penambahan 5% larutan mikroorganisme menyebabkan penurunan kadar air optimum menjadi sekitar 39% atau turun sekitar 5%. Penambahan larutan mikroorganisme sebesar 10 dan 15% menyebabkan kadar air optimum terus menurun. Pada kadar larutan mikroorganisme sebesar 15% kadar air optimum turun menjadi sekitar 37.8% atau sekitar 89% dari kadar air optimum tanah gambut asli. Massa isi kering maksimum terus meningkat dari 1.056 untuk tanah gambut saja menjadi 1.086 ton/m³ untuk campuran gambut dengan 15% larutan mikroorganisme. Pengaruh penambahan larutan mikroorganisme ini mirip seperti pengaruh penambahan energi pemadatan pada hasil uji pemadatan. Penambahan larutan mikroorganisme menyebabkan lebih banyak partikel tanah gambut yang dapat masuk ke dalam cetakan dan dipadatkan pada kadar air yang lebih rendah. Kadar air campuran ditentukan dari tanah gambut yang sudah dipadatkan dengan cara dikeringkan di dalam oven.

### 3.3 Pengujian triaxial consolidated-undrained

Parameter kuat geser efektif masing-masing benda uji ditentukan dengan pengujian triaxial *consolidated-undrained*. Tegangan sel efektif yang dipilih untuk proses konsolidasi adalah 50, 100, dan 200kPa. Pengujian dilakukan pada benda uji tanpa masa peram dan setelah diperam selama tujuh hari.

Setiap benda uji dijenuhkan dengan cara memompa air ke dalam benda uji melalui pemberian *back pressure*

Tabel 5. Kombinasi larutan dan masa peram benda uji triaksial

		Masa Peram (hari)	
		0	7
Kadar Larutan Mikroorganisme (persen berat kering)	0	x	
	5	x	x
	10	x	x
	15	x	x

secara bertahap dimulai dari tegangan awal sebesar 50kPa. Selama proses penjenjutan benda uji menerima tegangan efektif sebesar 10kPa dengan cara memberikan tegangan sel 10kPa lebih besar daripada *back pressure*. Pada saat tegangan air pori yang terukur di dalam benda uji besarnya sama dengan *back pressure* dilakukan pemeriksaan derajat kejenuhan dengan cara menentukan nilai *B* (*B-value*). Jika *B-value* masih kurang dari 0.95 maka *back pressure* ditambah sebesar 50kPa. *B-value* lebih besar dari 0.95 dapat dicapai setelah diberikan *back pressure* sebesar 200kPa. Proses saturasi memerlukan durasi sekitar satu sampai dua hari.

Jika *B-value* sudah mencapai 0.95 atau lebih maka dilanjutkan dengan proses konsolidasi. *Back pressure* yang digunakan pada proses ini adalah *back pressure* terakhir (200kPa) yang diberikan pada saat proses penjenjutan. Proses konsolidasi dilakukan dengan cara pemberian tegangan efektif isotropik. Besarnya tegangan konsolidasi efektif isotropik yang digunakan adalah 50, 100, dan 200kPa. Masing-masing tegangan konsolidasi tersebut diaplikasikan selama 24 jam. Secara teoritis konsolidasi primer dianggap selesai jika tegangan air pori yang naik akibat penambahan tegangan sel sudah terdisipasi mencapai tegangan yang besarnya sama dengan *back pressure* dan tidak ada lagi air pori yang keluar dari dalam benda uji. Kondisi tersebut tercapai

**Tabel 7. Karakteristik setelah dikonsolidasi benda uji untuk masa peram 7 hari**

		Tegangan Konsolidasi (kPa)		
		50	100	200
Kadar larutan mikroorganisme (%)	Kadar Air (%)	41.3	41.3	42.8
	0 Massa Isi Total (ton/m <sup>3</sup> )	1.53	1.54	1.59
	Massa Isi Kering (ton/m <sup>3</sup> )	1.08	1.09	1.11
	Kadar Air (%)	39.6	42.8	43.9
	5 Massa Isi Total (ton/m <sup>3</sup> )	1.50	1.53	1.54
	Massa Isi Kering (ton/m <sup>3</sup> )	1.07	1.07	1.07
	Kadar Air (%)	36.7	42.6	40.7
	10 Massa Isi Total (ton/m <sup>3</sup> )	1.48	1.55	1.54
	Massa Isi Kering (ton/m <sup>3</sup> )	1.08	1.08	1.10
	Kadar Air (%)	38.5	40.7	43.8
	15 Massa Isi Total (ton/m <sup>3</sup> )	1.55	1.58	1.65
	Massa Isi Kering (ton/m <sup>3</sup> )	1.12	1.12	1.14

dalam waktu sekitar 1 jam pada tegangan konsolidasi 50kPa, 3 jam pada tegangan konsolidasi 100kPa, dan 6 jam pada tegangan konsolidasi 200kPa.

Harga kadar air, massa isi total, dan massa isi kering benda uji yang diperam tujuh hari, setelah proses konsolidasi selesai, dapat dilihat di **Tabel 7**. Perubahan volume benda uji setelah mengalami proses konsolidasi dihitung berdasarkan volume air yang keluar dari dalam benda uji sedangkan kadar airnya ditentukan pada benda uji yang dikeringkan dengan oven setelah uji triaksial selesai. Massa isi total seluruh benda uji ini sebagian besar bervariasi antara 1.5 dan 1.6 ton/m<sup>3</sup> sedangkan masa isi keringnya berkisar di 1.1 ton/m<sup>3</sup> sehingga semua benda uji ini dapat dianggap memiliki kepadatan yang seragam setelah proses konsolidasi dan sebelum pembebanan diberikan.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Perubahan sifat fisik tanah gambut Palembang akibat penambahan mikroorganisme

Perubahan sifat fisik yang dievaluasi akibat penambahan larutan mikroorganisme (5%, 10%, dan 15%) adalah *specific gravity*, pH, kadar organik, kadar abu, dan kadar serat tanah gambut saja dan campuran tanah gambut dengan larutan mikroorganisme pada kondisi tanpa peram dan setelah diperam selama tujuh hari. Hasil pengukuran kelima parameter sifat fisik tersebut dirangkum di dalam **Tabel 8**.

Secara umum nilai pH dan *specific gravity*, baik dalam kondisi tanpa peram dan setelah masa peram selama tujuh hari, meningkat bersamaan dengan bertambahnya kadar larutan mikroorganisme. Pemeraman selama tujuh hari secara konsisten juga mengakibatkan pertambahan harga kedua sifat fisik tersebut. Pengaruh kadar larutan mikroorganisme dan masa peram pada pH dan *specific gravity* dapat dilihat di **Gambar 2**. Jika mengacu pada kondisi tanpa masa peram maka proses pemeraman mengakibatkan peningkatan harga pH dan *specific gravity*. Peningkatan masing-masing parameter tersebut hampir sama besarnya pada setiap benda uji gambut yang dicampur dengan larutan mikroorganisme (kurva tanpa masa peram hampir sejajar dengan kurva masa

**Tabel 8. Pengaruh penambahan mikroorganisme terhadap sifat fisik dan pH gambut Palembang**

Benda Uji	Kondisi Pemeraman	Sifat Fisik dan Kimia Gambut Palembang				
		Gs	pH	OC	AC	FC
Tanah Gambut		1.70	2.3	69.8	30.3	70.2
Gambut + 5% larutan mikroorganisme	TP	1.76	2.8	67.4	32.6	69.0
Gambut + 10% larutan mikroorganisme	TP	1.78	3.7	65.2	34.8	66.3
Gambut + 15% larutan mikroorganisme	TP	1.80	4.6	63.6	36.4	64.6
Gambut + 5% larutan mikroorganisme	P	1.80	3.2	66.4	33.6	68.0
Gambut + 10% larutan mikroorganisme	P	1.82	4.4	63.4	36.6	64.0
Gambut + 15% larutan mikroorganisme	P	1.83	5.1	60.7	39.3	59.9

Keterangan :

Gs = *specific gravity*

AC = kadar debu (%)

pH = derajat keasaman

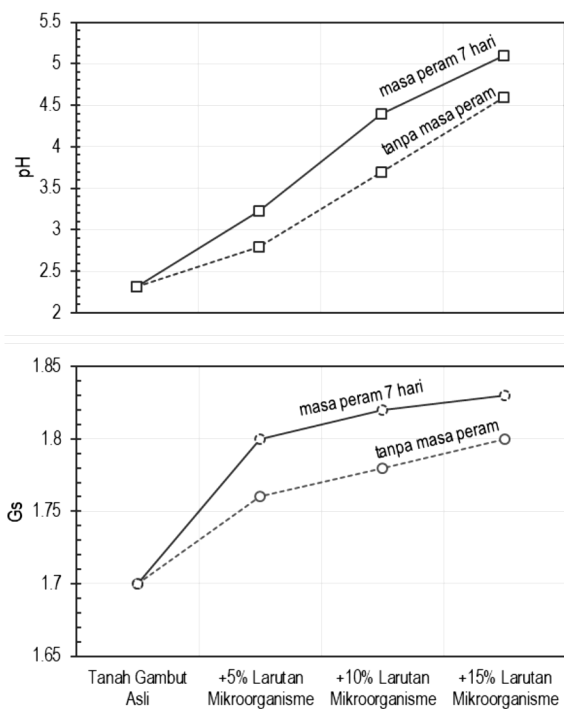
OC = kadar organik (%)

FC = kadar serat (%)

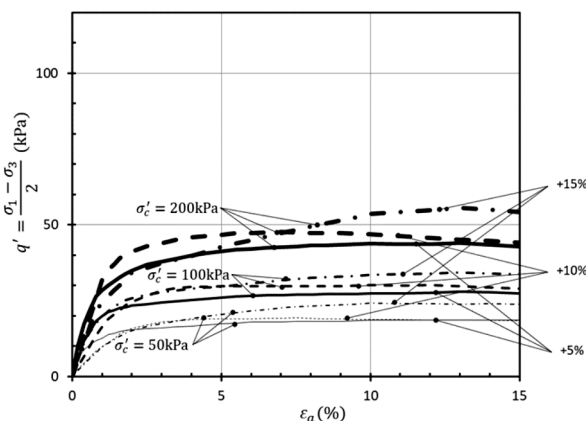
P = benda uji dengan pemeraman tujuh hari

TP = benda uji dengan pengujian tanpa masa peram

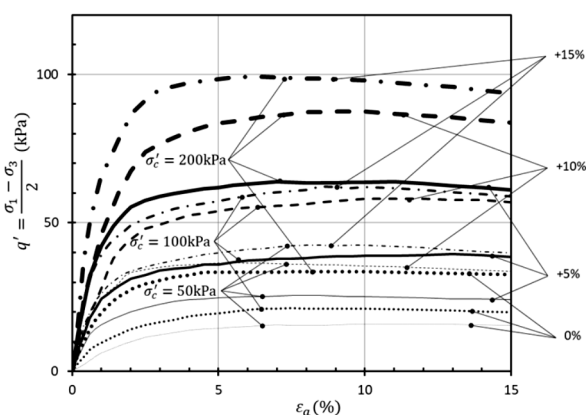




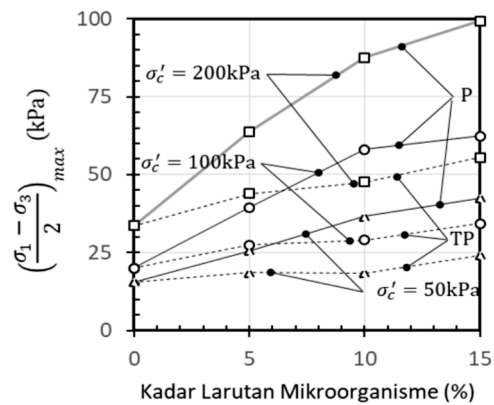
Gambar 2. Pengaruh larutan mikroorganisme terhadap Gs dan pH tanah gambut Palembang



Gambar 3. Kurva tegangan geser terhadap regangan aksial tanpa masa peram



Gambar 4. Kurva tegangan geser terhadap regangan aksial setelah masa peram tujuh hari



Gambar 5. Tegangan geser maksimum yang termobilisasi. TP = tanpa masa peram. P = tujuh hari masa peram

peram tujuh hari pada kadar larutan mikroorganisme 5, 10 dan 15%) sehingga dapat dianggap tidak terjadi interaksi antara masa peram dan kadar larutan mikroorganisme pada perubahan pH dan *specific gravity*. Penambahan kadar mikroorganisme juga menyebabkan kadar organik dan kadar serat menurun dan kadar debu meningkat (Tabel 8). Berkurangnya komponen gambut yang memiliki kepadatan rendah (organik dan serat) dapat dianggap sebagai penyebab naiknya harga *specific gravity* tanah gambut ini.

#### 4.2 Perilaku tegangan geser terhadap regangan aksial

Gambar 3 dan 4 masing-masing memperlihatkan kurva-kurva tegangan geser terhadap regangan aksial tanpa masa peram dan masa peram tujuh hari. Kurva dengan garis paling tipis adalah hasil dari pengujian dengan tekanan konsolidasi efektif 50kPa, kurva dengan garis paling tebal adalah hasil dengan tekanan konsolidasi 200kPa, sedangkan kurva dengan garis ketebalan sedang adalah hasil untuk tekanan konsolidasi 100kPa. Kurva-kurva bergaris menerus adalah benda uji dengan campuran larutan mikroorganisme sebanyak 5%, kurva dengan garis putus-putus untuk kandungan 10% larutan mikroorganisme, and garis putus-putus bertitik untuk 15% larutan mikroorganisme.

Secara umum, setelah tercapainya tegangan leleh pada regangan aksial antara sekitar 1 dan 3%, kurva-kurva tersebut kemudian berperilaku *strain hardening* saat menuju tegangan geser maksimumnya  $\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right)_{max}$ .

Setelah tegangan geser maksimum terlewati tegangan geser cenderung melandai atau menurun sedikit. Pengujian dihentikan pada saat regangan aksial mencapai 15%.

Secara umum peningkatan kadar larutan mikroorganisme menyebabkan kenaikan kekuatan geser gambut yang dipadatkan. Selain itu jika campuran diperam selama tujuh hari terjadi peningkatan kekuatan geser yang signifikan hampir sekitar dua kali dari kekuatan geser tanpa masa peram terutama untuk campuran gambut dengan 15% larutan mikroorganisme (Gambar 5). Jika data tanpa masa peram digunakan sebagai acuan maka terlihat tanah dengan kadar larutan mikroorganisme 10% mengakibatkan

peningkatan kekuatan geser yang lebih besar dibandingkan tanah dengan kadar larutan mikroorganisme 5%. Namun pada saat kadar larutan mikroorganisme ditambah menjadi 15% terlihat peningkatan kekuatan gesernya hampir sama dengan peningkatan pada tanah dengan larutan mikroorganisme 10%. Walaupun data yang tersedia terbatas hasil yang ada menunjukkan bahwa kadar larutan mikroorganisme optimum kemungkinan berada di antara 10 dan 15%.

Beberapa peneliti seperti Henkel (1960) dan Parry (1960) menemukan bahwa hasil pengujian laboratorium tanah lempung pada OCR yang sama tetapi dengan tegangan konsolidasi yang berbeda akan menghasilkan kekuatan geser dan karakteristik kurva tegangan-regangan yang mirip jika dinormalisasi terhadap tegangan konsolidasinya, xx, masing-masing. Temuan ini dikembangkan oleh Ladd dan Foott (1974) menjadi prosedur dalam menentukan parameter kekuatan geser lempung untuk analisis kestabilan tanah lunak dan terkemal dengan nama SHANSEP (*stress history and normalized soil engineering properties*).

Proses normalisasi juga diterapkan pada pengujian lapangan seperti CPT (Robertson dan Wride 1998) dan SPT (Seed dan Idriss 1982; Liao dan Whitman 1986) karena diketahui bahwa harga CPT dan SPT dapat meningkat jika tegangan efektif tanah yang diuji meningkat juga (pengaruh kedalaman tanah). Faktor koreksi terhadap tegangan efektif untuk SPT pada tanah pasir umumnya menggunakan faktor koreksi yang direkomendasikan oleh Liao dan Whitman (1986) berikut

$$C_{N,1} = \left( \frac{p_a}{\sigma_{vo}} \right)^{0.5} \quad (1)$$

sedangkan faktor koreksi untuk tahanan ujung konus CPT (Robertson dan Wride 1998) adalah

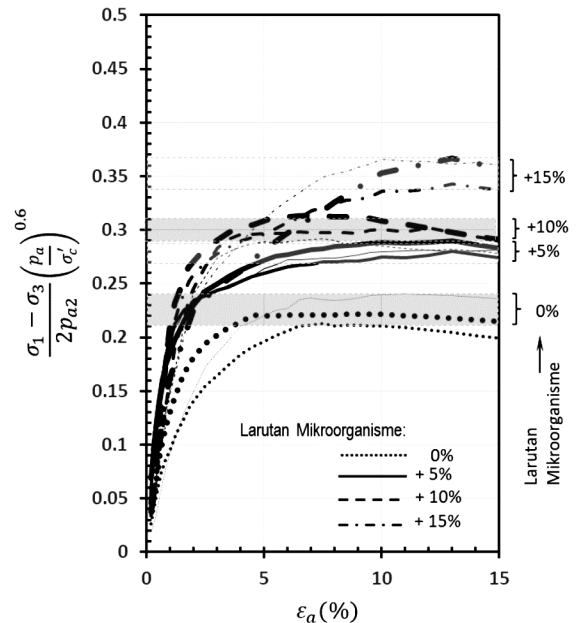
$$C_{N,2} = \frac{1}{p_{a2}} \left( \frac{p_a}{\sigma_{vo}} \right)^n \quad (2)$$

di mana selain dikoreksi terhadap tegangan efektif juga dinormalisasi terhadap tegangan referensi  $p_{a2}$ . Masing-masing harga  $p_a$  dan  $p_{a2}$  harus menggunakan satuan yang sama dengan satuan tegangan tanah  $\sigma_{vo}$  dan satuan tahanan ujung konus yang digunakan. Harga pangkat  $n$  pada **Persamaan (2)** diketahui tergantung pada jenis tanahnya. Olsen dan Malone (1988) merekomendasikan harga  $n$  yang bervariasi dari 0.5 untuk pasir sampai 1.0 untuk lempung. Umumnya tegangan referensi  $p_a$  dan  $p_{a2}$  dipilih sebesar 100kPa yaitu setara dengan tegangan atmosfer 1atm.

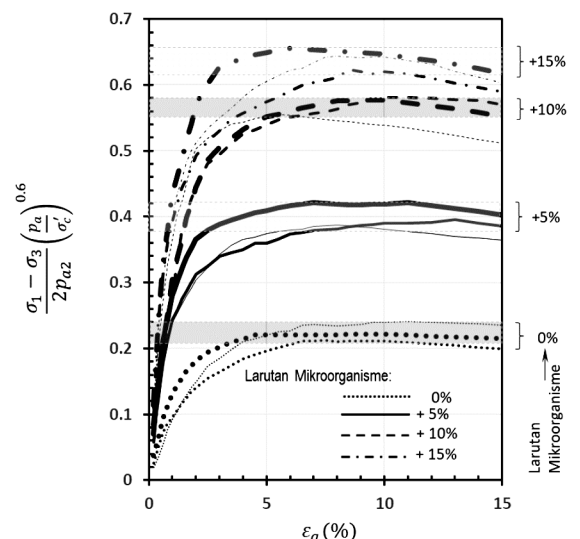
Di dalam penelitian ini tegangan geser tanah gambut yang dipadatkan tampaknya dapat dikoreksi dan dinormalisasi dengan **Persamaan (2)** menjadi seperti berikut

$$q'_N = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} C_{N,2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2 p_{a2}} \left( \frac{p_a}{\sigma_c} \right)^n \quad (3)$$

di mana harga pangkat  $n$  yang paling sesuai adalah sebesar 0.6 dengan tegangan normalisasi  $p_{a2}$  dan tegangan referensi  $p_a$  sebesar 100kPa dan tegangan konsolidasi efektif  $\sigma'_c$  sebagai tegangan koreksi.



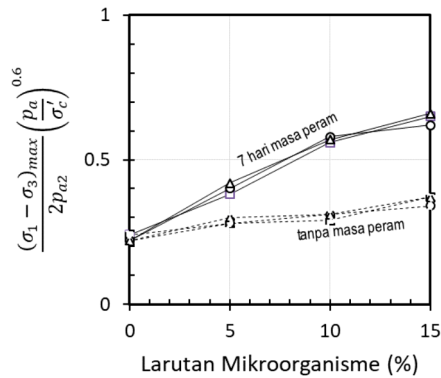
Gambar 6. Kurva tegangan geser ternormalisasi terhadap regangan aksial tanpa masa peram



Gambar 7. Kurva tegangan geser ternormalisasi pada tiga tegangan konsolidasi dan kurva ternormalisasi rata-rata terhadap regangan aksial setelah masa peram tujuh hari

Kurva tegangan-regangan yang sudah dinormalisasi dan dikoreksi dengan pangkat  $n$  sebesar 0.6, untuk benda uji tanpa masa peram dan masa peram tujuh hari, masing-masing dapat dilihat pada **Gambar 6** dan **7**. Jika dibandingkan dengan kurva tegangan-regangan yang tidak dinormalisasi (**Gambar 3** dan **4**) maka setelah dinormalisasi kurva-kurva tegangan-regangan untuk tiga level tegangan konsolidasi yang berbeda (50, 100 dan 200kPa) menjadi tiga kurva yang mirip pada masing-masing kadar larutan mikroorganisme.

Karena kekuatan geser tanah gambut ini dapat dinormalisasi maka pengaruh faktor tegangan konsolidasi dapat dihilangkan sehingga menyisakan dua faktor



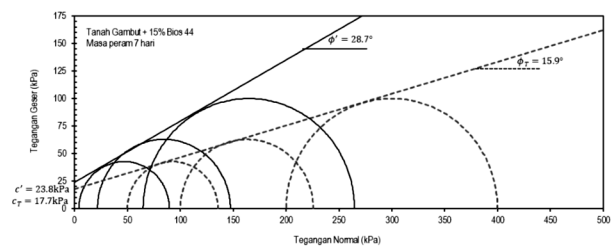
**Gambar 8.** Pengaruh kadar larutan mikroorganisme terhadap nilai maksimum tegangan geser maksimum ternormalisasi

pengaruh saja yaitu kadar larutan mikroorganisme dan masa peram. **Gambar 8** memperlihatkan pengaruh kadar larutan mikroorganisme dan masa peram terhadap kuat geser maksimum yang ternormalisasi. Dibandingkan dengan tegangan geser maksimum yang tidak dinormalisasi (**Gambar 5**) maka pengaruh dari kadar larutan mikroorganisme dan masa peram menjadi lebih jelas terlihat. Menggunakan data tanpa masa peram sebagai acuan terlihat pengaruh masa peram dan kadar larutan mikroorganisme pada kekuatan geser. Seperti sudah dijelaskan sebelumnya benda uji tanpa masa peram sebenarnya memiliki tambahan durasi sekitar 2 – 3 hari untuk melalui proses saturasi dan konsolidasi di mana selama durasi tersebut dapat terjadi reaksi di antara mikroorganisme dan tanah gambut. **Gambar 8** memperlihatkan kekuatan geser benda uji tanpa masa peram cenderung naik dengan pertambahan kadar larutan mikroorganisme. Jika kenaikan kekuatan geser yang dialami oleh benda uji tanpa masa peram diakibatkan oleh terjadinya reaksi antara mikroorganisme dengan tanah gambut maka kesimpulan yang dapat ditarik dari **Gambar 8** adalah sebagai berikut. Masa peram dan penambahan kadar larutan mikroorganisme keduanya mengakibatkan kenaikan kekuatan geser dan terjadi interaksi di antara kedua faktor tersebut pada rentang kadar larutan mikroorganisme 5 dan 10% (kurva tanpa dan dengan masa peram terlihat tidak sejajar dengan kata lain pengaruh masa peram tujuh hari memberikan peningkatan kekuatan geser yang lebih besar dari pada benda uji tanpa masa peram). Interaksi tidak terjadi pada rentang kadar 10 dan 15% (kurva tanpa dan dengan masa peram terlihat sejajar) karena penambahan 5% larutan mikroorganisme (dari 10 menjadi 15%) menghasilkan peningkatan kekuatan geser yang sama besarnya pada benda uji tanpa dan dengan masa peram. Kesimpulan ini mungkin belum valid karena ditarik dari data yang terbatas jumlahnya.

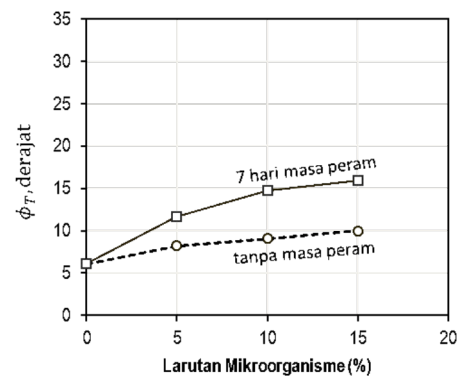
#### 4.3 Parameter kuat geser

Salah satu hasil pengujian triaksial CU, yaitu tanah gambut dengan 15% kadar larutan mikroorganisme dengan masa peram tujuh hari, ditampilkan di **Gambar 9** dalam bentuk lingkaran Mohr tegangan total dan lingkaran Mohr tegangan efektif untuk kondisi

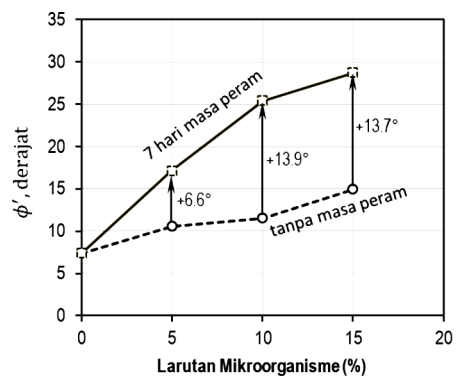
tegangan deviatorik maksimum. Harga tegangan-tegangan utama minor pada lingkaran Mohr tegangan total adalah besarnya tegangan konsolidasi efektif isotropik masing-masing benda uji (50, 100, dan 200 kPa). Dari garis kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb tegangan total ini diperoleh sudut geser dalam total,  $\phi_T$ , 15.9° dan kohesi total 17.7 kPa. Ketiga benda uji menghasilkan tekanan air pori ekspos positif pada saat tegangan deviatorik maksimum tercapai sehingga lingkaran Mohr tegangan efektif bergeser ke kiri dari posisi lingkaran Mohr tegangan totalnya. Sudut geser dalam efektif untuk tanah ini adalah,  $\phi'$ , 28.7° dengan harga kohesi efektif 23.8 kPa. Parameter kuat geser total dan efektif tanah gambut dengan kadar larutan mikroorganisme lainnya ditentukan juga dengan cara yang sama dan hasilnya dapat dilihat di **Gambar 10** sampai dengan **Gambar 13**.



**Gambar 9.** Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb pada tegangan deviatorik maksimum untuk tanah gambut + 15% larutan mikroorganisme

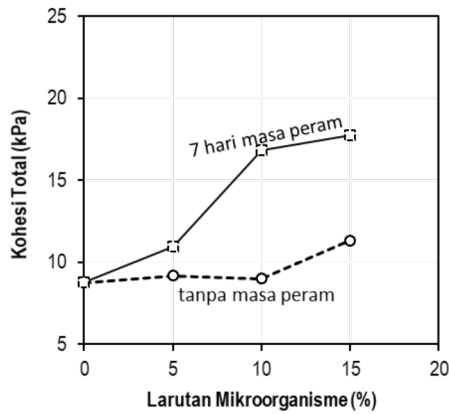


**Gambar 10.** Pengaruh kadar larutan mikroorganisme terhadap sudut geser dalam total

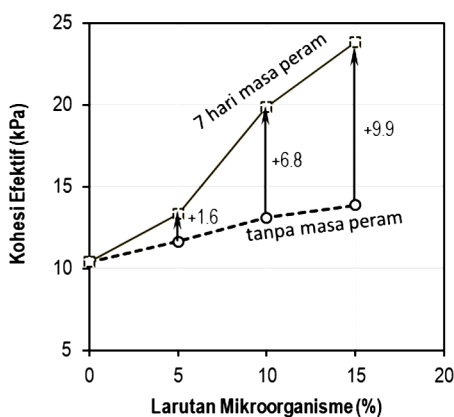


**Gambar 11.** Pengaruh kadar larutan mikroorganisme terhadap sudut geser efektif





Gambar 12. Pengaruh kadar larutan mikroorganisme terhadap kohesi total



Gambar 13. Pengaruh kadar larutan mikroorganisme terhadap kohesi efektif

Seperti sudah dijelaskan di atas pengaruh penambahan kadar larutan mikroorganisme dan masa peram mengakibatkan peningkatan kekuatan geser. Hal ini juga terlihat pada peningkatan parameter sudut geser dalam dan kohesi baik untuk kondisi total maupun efektif. Pada **Gambar 11** terlihat bahwa pencampuran 5% larutan mikroorganisme setelah masa peram tujuh hari menyebabkan kenaikan sudut geser dalam efektif sebesar  $6.6^\circ$ . Pada saat kadar larutan mikroorganisme ditambah 5% lagi, menjadi 10%, terjadi pertambahan lagi sebesar  $7.3^\circ$  menjadi total kenaikan sudut geser efektif sebesar  $13.9^\circ$ . Akan tetapi penambahan 5% larutan mikroorganisme berikutnya, menjadi 15% total, menghasilkan nihil pertambahan sudut geser dalam efektif. Pada kadar larutan mikroorganisme 15% ini sudut geser dalam efektif naik sebesar  $13.7^\circ$ , hampir sama besarnya dengan peningkatan sudut geser dalam efektif tanah untuk kadar larutan mikroorganisme 10% yaitu sebesar  $13.9^\circ$ .

Hal yang berbeda terjadi pada parameter kohesi efektif (**Gambar 13**). Penggunaan 5% larutan mikroorganisme meningkatkan kohesi efektif tanah gambut sebesar 1.6 kPa. Pada saat kadar larutan mikroorganisme ditambah lagi sebesar 5% terjadi pertambahan kohesi efektif sebesar 5.2 kPa menjadi 6.8 kPa. Penambahan kadar larutan mikroorganisme 5% berikutnya, menjadi total 15%, masih menyebabkan kenaikan kohesi efektif menjadi sekitar 9.9 kPa atau bertambah sekitar 3.1 kPa dari tanah dengan kadar larutan

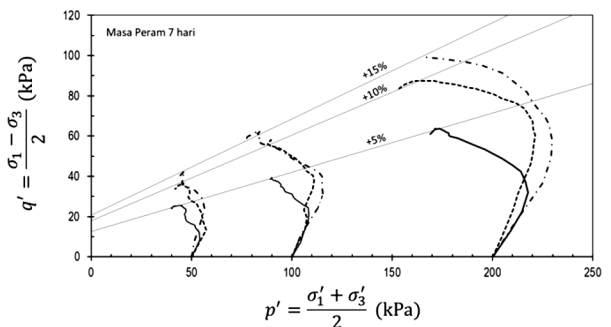
mikroorganisme 10%. Terlihat juga bahwa pengaruh penambahan 5% larutan mikroorganisme dari 10 menjadi 15% tidak sebesar pada saat penambahan 5% larutan mikroorganisme dari 5 menjadi 10%.

Peningkatan sudut geser dalam dan kohesi menunjukkan, paling tidak, ada dua mekanisme reaksi yang terjadi di antara larutan mikroorganisme dengan tanah gambut. Peningkatan sudut geser dalam efektif kemungkinan besar terkait dengan mekanisme dekomposisi gambut yang menyebabkan pengurangan kadar organik dan serat sehingga komposisi material yang lebih padat meningkat sedangkan kenaikan kohesi kemungkinan diakibatkan oleh sementasi antar partikel akibat terbentuknya  $\text{CaCO}_3$  dari hasil reaksi larutan mikroorganisme dengan gambut.

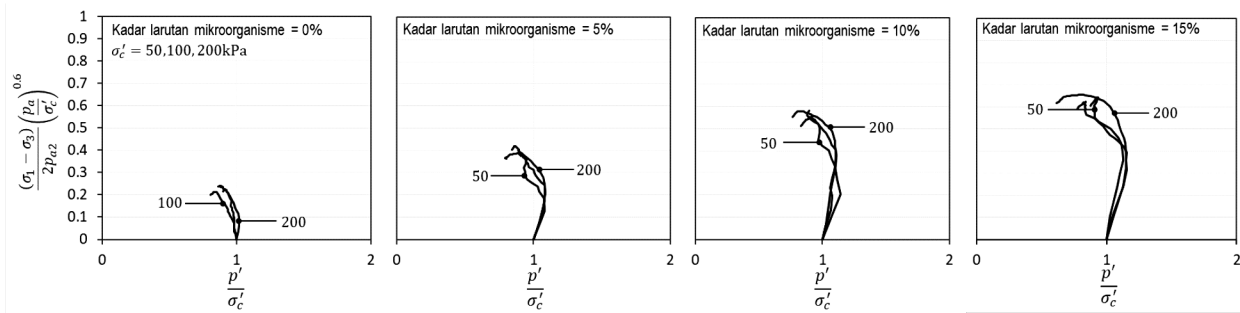
#### 4.4 Diagram lintasan tegangan

Diagram lintasan tegangan efektif (*effective stress path*) benda uji dengan masa peram tujuh hari, selama pembebanan aksial tekan pengujian triaxial *consolidated undrained*, dapat dilihat pada **Gambar 14**. Secara umum tegangan geser yang diterima benda uji menghasilkan perilaku kontraktif dan, karena volume benda uji tidak berubah (volume konstan), mengakibatkan pertambahan tegangan air pori positif. Berdasarkan data yang tercatat tegangan air pori meningkat terus sampai akhirnya, setelah tegangan leleh tercapai, pada regangan aksial sekitar antara 1 dan 2%, kenaikannya mulai melambat lalu cenderung konstan dan/atau menurun sedikit sampai regangan aksial maksimum 15% tercapai. Benda uji dengan tegangan konsolidasi 50 dan 100 kPa memperlihatkan perubahan perilaku dari kontraktif menjadi dilatatif (pertambahan tegangan air pori bernilai negatif) yaitu pada saat kurva lintasan tegangan berbalik arah (daerah kurva yang ditandai dengan lingkaran pada **Gambar 14**). Setelah itu benda uji kembali berperilaku kontraktif sampai regangan maksimum 15% tercapai kecuali benda uji dengan 10% larutan mikroorganisme pada tegangan konsolidasi 100 kPa, di sekitar regangan maksimum terjadi perubahan perilaku menjadi dilatatif lagi. Benda uji dengan tegangan konsolidasi terbesar 200 kPa cenderung terus berperilaku kontraktif selama pembebanan diberikan.

**Gambar 15** memperlihatkan empat gambar lintasan tegangan efektif yang dinormalisasi terhadap tegangan referensi 100 kPa dan dikoreksi terhadap tegangan konsolidasi efektif dengan harga pangkat  $n$  sama



Gambar 14. Lintasan tegangan efektif benda uji dengan masa peram 7 hari



Gambar 15. Lintasan tegangan efektif ternormalisasi benda uji dengan masa peram tujuh hari

dengan 0.6 pada **Persamaan (3)**. Masing-masing gambar menunjukkan kurva lintasan tegangan ternormalisasi untuk gambut murni dan tiga kadar larutan mikroorganisme. Pada setiap gambar ada tiga kurva lintasan tegangan ternormalisasi masing-masing mewakili tegangan konsolidasi efektif 50, 100 dan 200kPa. Supaya tetap jelas terlihat maka hanya dua kurva pada masing-masing gambar diberi keterangan besarnya tegangan konsolidasi efektif yang diberikan. Dari lintasan-lintasan tegangan ternormalisasi ini terlihat paling tidak ada dua perilaku lintasan tegangan yang berbeda. Jenis lintasan tegangan yang pertama adalah lintasan tegangan benda uji yang cenderung terus berkontraksi selama pembebanan bekerja (benda uji dengan tegangan konsolidasi 200kPa) dan yang kedua adalah lintasan tegangan benda uji yang berperilaku kontraktif dan dilatatif (benda uji dengan tegangan konsolidasi 50 dan 100kPa).

## 5. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini diantaranya:

1. Tanah gambut dari Palembang yang digunakan untuk penelitian ini adalah tanah gambut yang diklasifikasikan sebagai gambut berserat (*fibrous peat*), *fibric peat*, *high ash peat*, dan *highly acidic peat* karena mengandung kadar serat sebesar 70.2%, kadar abu sebesar 30.3%, dan pH sebesar 2.3
2. Larutan mikroorganisme yang digunakan menyebabkan dekomposisi komponen organik dan serat yang terkandung di dalam gambut. Berkurangnya kedua komponen gambut yang memiliki kepadatan rendah ini meningkatkan komposisi komponen gambut yang lebih padat sehingga berpengaruh pada kenaikan harga *specific gravity* and sudut geser dalam efektif
3. Peningkatan kohesi efektif tanah campuran gambut dan larutan mikroorganisme diperkirakan sebagai akibat dari sementasi antar partikel oleh  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk dari hasil reaksi larutan mikroorganisme dengan gambut
4. Kekuatan geser tanah campuran gambut dan larutan mikroorganisme dapat dinormalisasi terhadap tegangan referensi latm (100kPa) dan dikoreksi terhadap tegangan konsolidasi efektif. Harga eksponen yang digunakan untuk koreksi tegangan adalah 0.6 mendekati harga 0.5 yang biasa digunakan untuk tanah berbutir kasar.

5. Campuran gambut dengan larutan mikroorganisme yang dipadatkan mengalami perubahan perilaku dari kontraktif menjadi dilatatif dan sebaliknya pada saat digeser dalam kondisi niralir pada tekanan konsolidasi isotropik 50 dan 100kPa dan cenderung hanya berperilaku kontraktif pada tekanan konsolidasi 200kPa.

## Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Program Penelitian, Pengabdian kepada Masyarakat dan Inovasi Institut Teknologi Bandung (P3MI) atas terlaksananya penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- Andriesse, J.P. (1994). "Constraints and opportunities for alternative use options of tropical peat land". In B.Y. Aminuddin (Ed.). *Tropical Peat, Proceedings of International Symposium on Tropical Peatland*, Kuching, Sarawak, Malaysia.
- Bobet, A., Hwang, J., Johnston C. T., & Santagata, M. (2011). "One-dimensional consolidation behavior of cement-treated organic soil". *Canadian Geotechnical Journal*, 48(7): 1100-1115
- Cipthadi, W. (1996). *Stabilisasi Tanah Gambut dengan Bahan Kimia Cair Consolid*, Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok
- Elsayed, A. (2011). "Characteristic and Engineering Properties of Peaty Soil Underlying Cranberry Bogs". *Journal of Geotechnic and Geoenvironmental Engineering*, ASCE
- Endah, V. (1997). *Stabilisasi Tanah Gambut Karang Agung Sumatera Selatan dengan Bahan Supercement dan Analisa Kimia Campuran Stabilisasinya*, Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok
- Henkel, D. J. (1960). "The Shear Strength of Saturated Remolded Clays". *Proceedings ASCE Specialty Conference on Shear Strength of Cohesi Soils*, University of Colorado, Boulder, Colorado, June 13-17, 1960, pp. 533-554
- Irwandi, B. (2000). *Stabilisasi Tanah Gambut dengan Menggunakan Peatsolid*, Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok

- Karisma, A. P. (2012). Pengaruh Penggunaan Mikroorganisme Sebagai Bahan Stabilisasi Terhadap Kekuatan Tanah Gambut Dengan Uji Triaksial CU dan CBR, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, Indonesia
- Korem 044 Garuda Dempo. (2018, 11 Januari). Larutan mikroorganisme Solusi Tingkatkan Kesuburan Tanah. <https://korem044gapo.mil.id/bios-44-solusi-tingkatkan-kesuburan-tanah/>
- Ladd, C. C. dan Foott, F. (1974). "New Design Procedure for Stability of Soft Clays". Journal of the Geotechnical Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol 100, No. GT7
- Lestari, D. (2018). Pengaruh Penambahan Larutan Mikroorganisme Terhadap Nilai Koefisien Permeabilitas Pada Tanah Gambut. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
- Liao, S. S., & Whitman, R. V. (1986). "Overburden correction factors for SPT in sand". *Journal of geotechnical engineering*, 112(3), 373-377
- Luttig (1986). "Aspects of Water Retention and Dewatering in Peat". Charles H. Fuchsman (Publishers) London and New York
- MacFarlane, I.C. (1969). Muskeg Engineering Handbook. National Research Council of Canada, University Of Toronto Press, Toronto, Canada
- Muslikah, S. (2011). Studi Degradasi Tanah Gambut oleh Mikroorganisme untuk Proses Konsolidasi Tanah, Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok
- Napitupulu, R. (1999). Studi Literatur Karakteristik anah Gambut Daerah Riau, Sumatera Selatan, dan Kalimantan (Kalbar, Kalsel, Kalteng), Universitas Indonesia, Depok, Indonesia
- Ningsih, N. N., (2015). Analisa Parameter Kekuatan Geser Tanah Gambut Di Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan dengan Uji Triaksial UU. Universitas Sriwijaya, Inderalaya
- Olsen, R. S., & Malone, P. G. (1988). Soil classification and site characterization using the cone penetrometer test. In *International Symposium on penetration testing; ISOPT-1. 1* (pp. 887-893).
- Pandita (1996). Studi Karakteristik Konsolidasi Gambut dengan Drainase Horizontal Menggunakan Alat Sel Rowe, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, Indonesia
- Panjaitan, Surta Rian N. (2013). Kajian Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah Gambut Muara Batang Toru Sumatera Utara Setelah Mengalami Pemampatan Awal. *Jurnal Rancang Sipil* : Vol.2, No.1, pp.71-89.
- Parry, R. H. G. (1960). "Triaxial Compression and Extension Tests on Remolded Saturated Clay". *Geotechnique*, London, England, Vol. 10, No. 4, pp. 166-180
- Paul, A. dan Hussain, M. (2020). "Cement Stabilization of Indian Peat: An Experimental Investigation". *Journal of Material in Civil Engineering* 32 (11):04020350. ASCE
- Prihandajani, B. (1996). Stabilitas Tanah Gambut Duri dengan Penambahan Semen Clean Set Tipe CS-10 untuk Tanah Dasar Konstruksi Jalan, Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok
- Robertson, P. K., & Wride, C. E. (1998). "Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test". *Canadian geotechnical journal*, 35(3), 442-459.
- Seed, H. B., and Idriss, I. M. (1982). "Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes", Berkeley, California, EERI Monograph
- Soekardi, M. dan A. Hidayat (1988). Extent and Distribution of Peats Soils of Indonesia. Paper presented at the Third Meeting of the Cooperative for Research on Problem Soils, August, 22-27. 1988. Bogor, Indonesia
- Subagio (1995). Stabilisasi Tanah Gambut dengan Semen Portland dengan Geosta-a Sebagai Bahan Tambah, Universitas Indonesia, Depok
- Von Post, L. (1992). "Sveriges Geologiska Undersoknings Torvinventering Och Nagre av Des s Hittills Vunna Resultat". Sv. Mosskulturfor. Tidskr. 1:1-27
- Wahyunto, Nugroho, A., dan Agus, F. (2011). Perkembangan Pemetaan dan Distribusi Lahan Gambut di Indonesia. Balai Besar Litbang SumberDaya Lahan Pertanian. Lahan Gambut Indonesia (2016). Pembentukan, Karakteristik, dan Potensi Mendukung Ketahanan Pangan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian

