

Pengaruh Geopolimer untuk Meningkatkan Kuat Geser Tanah Gambut

Wiwik Rahayu

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia
E-mail: wrahayu@eng.ui.ac.id

Damrizal Damoerin

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia
E-mail: damirizal@eng.ui.ac.id

Allih Hayan

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia
E-mail: ahayy019@gmail.com

Abstrak

Pembangunan Infrastruktur sangat gencar dilakukan oleh pemerintah saat ini diseluruh Indonesia, sehingga proyek infrastruktur tersebut harus dilakukan diberbagai jenis tanah, termasuk tanah gambut. Tanah gambut yang memiliki daya dukung rendah mengharuskan diadakannya upaya peningkatan kekuatan tanah gambut tersebut. Salah satunya adalah dengan mencampurkan geopolimer pada tanah gambut. Campuran geopolimer sudah banyak diterapkan pada penelitian terhadap beton sebagai pengganti semen karena sifatnya yang bisa mengikat. Persentase campuran geopolimer yang ditambahkan pada tanah gambut adalah 10% dari berat kering tanah gambut, dengan variasi waktu peram yang berbeda. Pengujian yang dilakukan pada sampel tanah gambut setelah dicampur dengan geopolimer adalah uji triaksial Consolidated Undrained (CU). Hasil yang didapat menunjukkan adanya peningkatan nilai parameter kuat geser pada tanah gambut yang telah distabilisasi.

Kata-kata Kunci: Tanah gambut geopolymer, waktu peram, parameter kuat geser, triaksial CU.

Abstract

Infrastructure Development has been intensively carried out by the current Indonesian government, so that infrastructure projects must be carried out in various types of soil, including on peat soil area. However, peat soils has low strength capacity for civil construction, so that it takes an effort to increase the bearing and shear strength capacity of peat soil, for example by mixing the geopolymer mixture with peat soil. The geopolymer has been widely applied to research on concrete as a substitute for cement because of its binding nature. The percentage of geopolymer mixture that added to peat soil is 10% of the dry weight of the peat soil, and is carried out with different water content and ripening time. Testing of peat soil samples after mixing with 10% geopolymer was done by triaxial Consolidated Undrained (CU) test. After added 10% geopolymer in 10 days plague time, the result showed an increasing of some shear strength parameters of the sample.

Keywords: Peat Soil, geopolymer, plague time, shear strength parameters, triaxial CU

1. Pendahuluan

Tanah gambut merupakan tanah yang memiliki kandungan organik yang sangat tinggi karena tanah gambut terbentuk dari tumbuh-tumbuhan yang mengalami pembusukan. Berdasarkan data yang diperoleh dari Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian dalam Sukarman (2015), Indonesia memiliki lahan gambut seluas 14.905.574 Ha, dimana persebarannya berada di tiga pulau yaitu Sumatera (43%), Kalimantan (32%), dan Papua (25%).

Unsur organik yang menyusun tanah gambut, membuat tekstur tanah gambut berserat dan memiliki kadar air yang sangat besar bahkan mencapai 600% dari berat keringnya. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa tanah gambut memiliki daya dukung dan kuat geser yang kecil, tidak hanya itu, tekstur berserat dari tanah

gambut membuat tanah tersebut memiliki permeabilitas dan konsolidasi yang sangat tinggi. Dari semua kondisi tanah gambut diatas dapat disimpulkan jika tanah gambut sangat tidak cocok untuk dilakukan pembangunan struktur teknik sipil diatasnya, baik itu bangunan maupun jalan. Oleh sebab itu, diperlukan upaya untuk meningkatkan daya dukung tanah gambut yang sangat buruk untuk konstruksi teknik sipil tersebut.

Pada penelitian ini bahan stabilisasi yang digunakan sebagai campuran tanah gambut adalah geopolimer. Ada banyak penelitian tentang penerapan geopolimer pada pembuatan beton. Semen geopolimer yang diterapkan kepada beton akan menghasilkan beton yang memiliki sifat mekanis yang sama dengan beton yang dibuat dengan *portland cement*, kuat tekan yang tinggi, *creep* yang sangat rendah, nilai penyusutan

(shrinkage) yang sangat rendah, dan beton yang terbuat dari semen geopolimer memiliki ketahanan terhadap asam sulfat (Wallah dan Rangan, 2006). Sedangkan untuk penerapan campuran geopolimer terhadap tanah gambut baru dilakukan sekali yaitu pada penelitian (Raharja 2016) dengan uji CBR. Dimana menghasilkan nilai CBR pada kondisi soak, lebih besar daripada unsoak.

Berdasarkan dari semua penelitian diatas, bahwa belum adanya hasil yang signifikan dari stabilisasi tanah gambut, dan hasil penelitian mengenai geopolimer yang bisa menggantikan portland cement pada beton, maka pada penelitian ini akan dipelajari bagaimana pencampuran semen geopolimer pada tanah gambut terhadap perubahan kuat geser tanah gambut tersebut dengan uji triaksial CU.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Sampel dan Pengujian

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel tanah gambut yang berasal dari lahan perkebunan kelapa sawit di jalan Poros Pucuk, Kecamatan Kayu Agung, Kabupaten Ogan Komering Ilir (OKI), Sumatera Selatan, dan sampel merupakan sampel terganggu (*disturbed*) yang dikeringkan dibawah sinar matahari kemudian dilakukan pemadatan dengan metode *standard proctor* (ASTM D 698).

Dari data sekunder, penelitian Pradipta (2015) diketahui karakteristik tanah gambut OKI adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Sifat fisik dan kimia tanah gambut OKI

No	Properti Tanah	Hasil Uji Laboratorium
1	Kadar Air (%)	434.79
2	Kadar pH	3.93
3	Kadar Abu (%)	25.0
4	Kadar Serat (%)	27.99
5	Kadar Organik (%)	75
6	Kadar C/N	12.45

Sumber: Pradipta (2015)

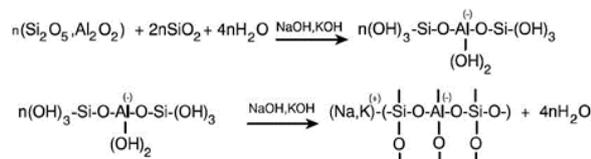
Dari data pada Tabel 1 gambut OKI dapat diketahui bahwa tanah gambut OKI termasuk klasifikasi gambut *sapric*, *high ash*, dan *highly acidic*, berdasarkan dari ASTM D 4427 – 92 (2002).

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian triaksial CU dengan diameter sampel kecil (36 mm) berdasarkan ASTM D4767, dengan kadar air 110% dan variasi waktu peram 4 jam, 5 hari dan 10 hari.

2.1 Metode Pencampuran

Pada penelitian ini sampel tanah gambut distabilisasi dengan campuran geopolimer. Geopolimer secara umum merupakan sistem organik yang terbentuk dari komponen padat dan activator yang terbentuk melalui

proses polikondensasi. Komponen padat yang digunakan dalam pembentukan geopolimer merupakan material alam yang mengandung SiO₂ dan Al₂O₃ yang memadai sehingga dapat membentuk senyawa. Beberapa material alam yang mengandung SiO₂ dan Al₂O₃ adalah abu terbang (*fly ash*), *pozzolan*, *copper slag*, *iron blast furnance*. Sedangkan activator dalam pembuatan geopolimer adalah cairan kimia alkali, yang mengandung alkali hidroksida, alumina silika, carbon, dan sulfat atau kombinasi keduanya. Reaksi yang terjadi pada saat melakukan pencampuran antara kedua komponen tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Reaksi pembentukan geopolimer

Pencampuran kedua komponen itulah yang kemudian akan membentuk sebuah bahan pengikat (*binder*) untuk bahan lain yang akan dicampurkan. Penggunaan bahan pengikat (*binder*) ini banyak diteliti dan diujikan sebagai material pengganti semen pada pembuatan beton. Selain bahan baku yang merupakan bahan sisa dan mudah didapat, keunggulan bahan pengikat ini juga adalah lebih ramah lingkungan daripada semen portland pada umumnya, karena menghasilkan emisi gas CO₂ yang lebih sedikit daripada semen portland.

Fly ash yang digunakan dalam campuran geopolimer pada penelitian ini didapat dari PT. Adhimix dengan properti sebagai berikut:

Tabel 2. Properti fisik dan kandungan fly ash

Parameter	Unit	Results
Moisture Content	%, ar	0.47
Carbon ©	%, ar	1.81
Relative Density	%	2.60
Loss On Ignition (LOI) at 750°C	%	1.04
Chemical Analysis of Ash		
Silicone Dioxide	SiO ₂	59.95
Aluminium Trioxide	Al ₂ O ₃	12.30
Iron Trioxide	Fe ₂ O ₃	11.97
Titanium Dioxide	TiO ₂	0.58
Calcium Oxide	CaO	9.15
Magnesium Oxide	MgO	1.81
Potassium Oxide	K ₂ O	0.73
Sodium Oxide	Na ₂ O	2.58
Phosphorus Pentaoxide	P ₂ O ₅	0.11
Sulphur Trioxide	SO ₃	0.46
Manganese Dioxide	MnO ₂	0.07

(Sumber: PT. Adhimix, 2015)

Sedangkan untuk campuran activator yang digunakan adalah campuran NaOH, air suling, dan *waterglass* yang memiliki kandungan natrium (Na_2O) sebanyak 16.13% dan silikon (SiO_2) 10.7%. Secara keseluruhan persentase campuran pada geopolimer yang digunakan adalah 30% aktivator dan 70% solid, dan kadar geopolimer yang digunakan adalah 10% dari berat kering sampel tanah gambut.

Metode pencampuran geopolimer dengan tanah gambut dilakukan dengan cara manual yaitu dengan mencampur komponen padat terlebih dahulu dengan tanah gambut yang sebelumnya sudah dilakukan penyesuaian kadar air, kemudian ditambahkan dengan cairan aktivator dan diaduk sampai tercampur rata. Sampel yang telah siap selanjutnya diperam berdasarkan waktu peram yang ditentukan (4 jam, 5 hari, dan 10 hari), yang kemudian sampel dipadatkan dengan metode standard proctor ASTM D698 dan kemudian dicetak sesuai ukuran sampel triaksial.



Gambar 2. Proses pembuatan sampel uji triaksial CU

Sampel yang sudah siap, selanjutnya dilakukan pengujian triaksial CU berdasarkan ASTM 4767 dengan 3 spesimen setiap sampelnya dan σ_3 yang digunakan adalah 50, 100, dan 150 kPa pada

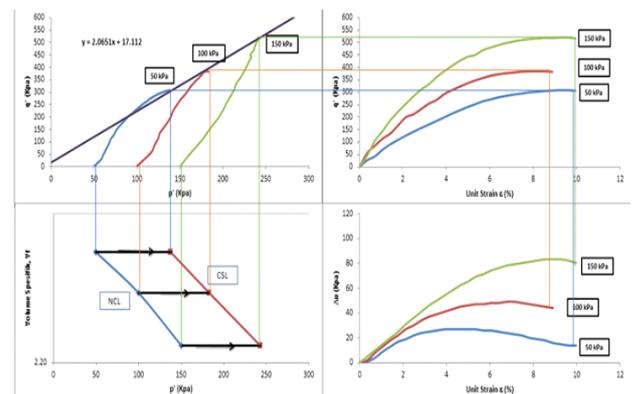
3. Diskusi Hasil

3.1 Pengujian Sampel Gambut Asli

Pengujian sampel gambut murni dilakukan sebagai pembandingan terhadap sampel uji dengan campuran geopolimer yang selanjutnya. Berikut data sampel dan hasil pengujian pada sampel gambut murni:

Tabel 3. Spesifikasi sampel uji gambut asli

Spesifikasi	Sampel rata-rata
Berat basah (gr)	91.67
Berat kering (gr)	41.90
Berat air (gr)	49.77
Kadar air (%)	118.79
Volume (cm^3)	69.94
γ_{dry} (gr/cm^3)	0.599



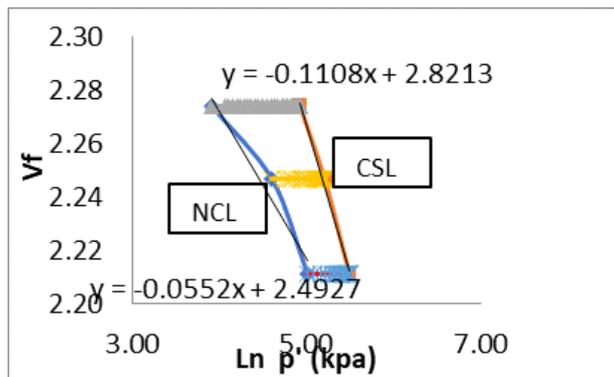
Gambar 3. Grafik lintas tegangan sampel gambut murni

Dari grafik pada **Gambar 3** dapat terlihat jika sampel uji mengalami kondisi *overconsolidated*, karena garis CSL berada di sebelah kanan garis NCL, hal tersebut didukung dengan fakta bahwa sampel uji telah mengalami pemadatan sebelumnya. Dari **Gambar 3** didapatkan nilai beberapa parameter sebagai berikut:

Tabel 4. Parameter kuat geser tanah gambut

Parameter	Gambut Murni
q_0 (kPa)	17.112
M	2.0651
c' (kPa)	7.3
Φ' ($^\circ$)	50.19

Sementara Itu, untuk nilai parameter λ , Γ , dan N pada gambut murni hasil pengujian triaksial CU dapat dilihat pada **Gambar 4** yaitu sebagai berikut:



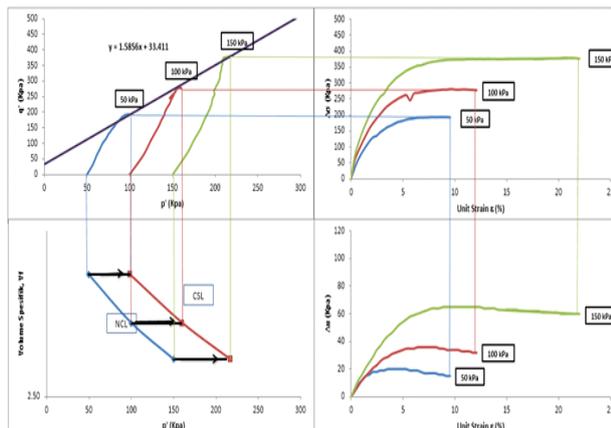
Gambar 4. Grafik Ln p' vs volume spesifik gambut asli

3.2 Hasil Pengujian Sampel Gambut +10% Geopolimer dengan Variasi Masa Peram

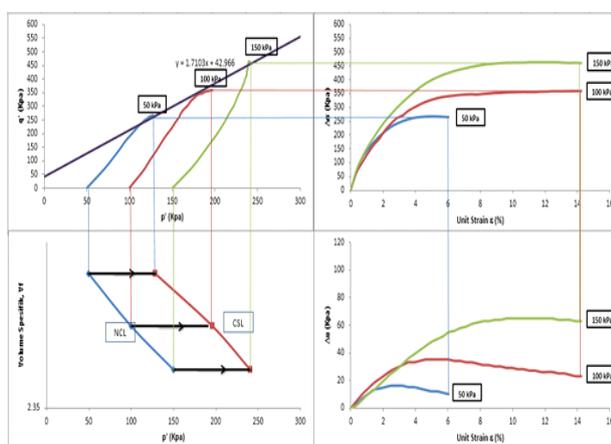
Pada pengujian ini sampel yang digunakan dibagi menjadi 3 jenis sesuai dengan lama masa peram, yaitu sampel 4 jam, 5 hari, dan 10 hari, berikut spesifikasi sampel dan hasil pengujian triaksial CU pada sampel gambut + 10% geopolimer:

Tabel 5. Spesifikasi sampel dengan variasi masa peram berbeda

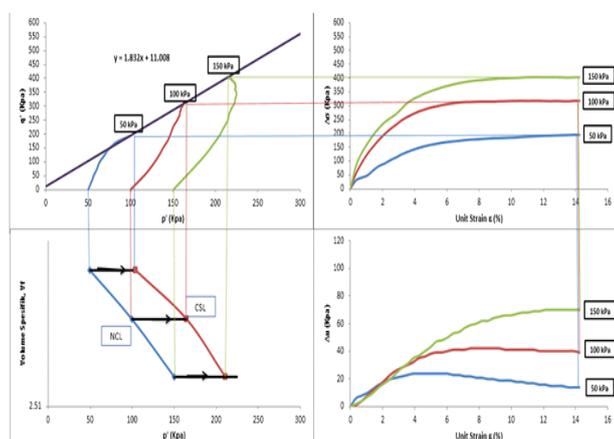
Spesifikasi	Sampel rata-rata		
	4 jam	5 hari	10 hari
Waktu peram	4 jam	5 hari	10 hari
Kadar air awal (%)	110	110	110
Berat basah (gr)	84.93	82.07	87.80
Berat kering (gr)	40.82	40.09	42.77
Berat air (gr)	44.12	41.98	45.03
Kadar air (%)	108.08	104.72	105.30
Volume (cm ³)	69.94	69.94	69.94
γ_{dry} (gr/cm ³)	0.584	0.573	0.611



Gambar 6. Grafik lintas tegangan sampel gambut +10% geopolimer dengan masa peram 5 hari



Gambar 7. Grafik lintas tegangan sampel gambut +10% geopolimer dengan masa peram 10 hari



Gambar 5. Grafik lintas tegang sampel gambut +10% geopolimer dengan masa peram 4 jam

Sama halnya dengan sampel tanah gambut murni sampel tanah gambut dengan tambahan 10% geopolimer yang diujikan juga mengalami kondisi *overconsolidated*. Hal tersebut dapat terlihat pada garis CSL yang berada di sebelah kanan garis NCL. Garis NCL merupakan penggambaran kondisi tanah sebelum dilakukan pengujian, sedangkan garis CSL merupakan kondisi tanah pada saat titik kritis yaitu saat alami keruntuhan setelah dilakukan pengujian triaksial CU. Pada kondisi *overconsolidated*, garis CSL akan berada di kanan garis NCL, hal tersebut terjadi karena nilai perubahan tekanan air pori menjadi negatif dan semakin mengecil, sehingga semakin besar tegangan defiator (q') yang diberikan pada sampel tanah, tekanan efektif sampel tanah (p') akan semakin meningkat. Hal lain yang dapat dilihat dari Gambar 5, 6, dan 7 adalah nilai perubahan tekanan air pori yang tidak besar bahkan sangat kecil jika dibandingkan dengan nilai tegangan defiator (q') pada sampel, hal itu juga merupakan tanda bahwa sampel telah mengalami *overconsolidated*. Dari Gambar 5, 6, dan 7.

parameter sampel yang didapat adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Parameter kuat geser sampel tanah gambut +10% geopolimer dengan variasi pemeraman

Parameter	Kadar Air 110%		
	4 jam	5 hari	10 hari
q_0 (kPa)	11.008	33.411	42.966
M	1.832	1.585	1.710
c' (kPa)	4.77	14.75	18.80
Φ' (°)	44.56	38.83	41.71

Dari **Tabel 6** dapat terlihat jika semakin lama sampel diperam nilai parameter c' dan q_0 semakin meningkat, yaitu dari 4.77 kPa pada pemeraman 4 jam menjadi 18.80 kPa pada pemeraman 10 hari untuk parameter c' , sedangkan untuk q_0 meningkat dari 11.008 kPa menjadi 42.966 kPa. Akan tetapi meskipun parameter c' dan q_0 meningkat, hal yang sama tidak terjadi pada parameter M dan Φ' dimana kedua parameter ini cenderung mengalami penurunan meskipun tidak signifikan.

Untuk parameter geser lain yang didapat pada pengujian triaksial CU dapat dilihat pada **Tabel 7**.

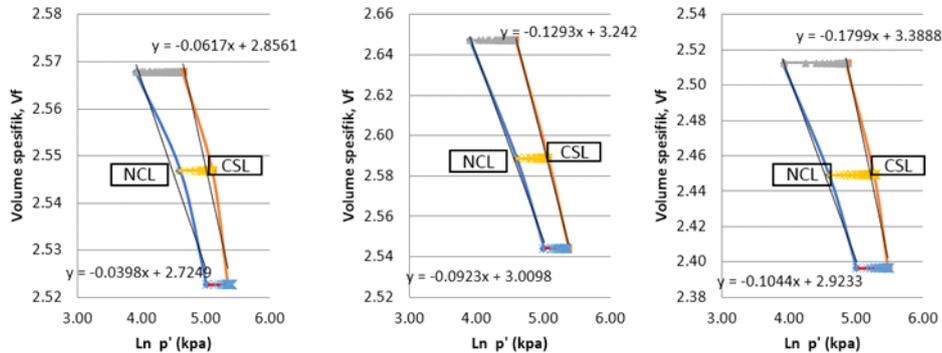
Tabel 7. Parameter λ , Γ , dan N pada Sampel Gambut + 10% Geopolimer dengan Variasi Masa Peram

Waktu Peram	λ (NCL)	λ (CSL)	N	Γ
4 jam	0.0398	0.0617	2.7249	2.8561
5 hari	0.0923	0.1293	3.0098	3.242
10 hari	0.1044	0.1799	2.9233	3.3888

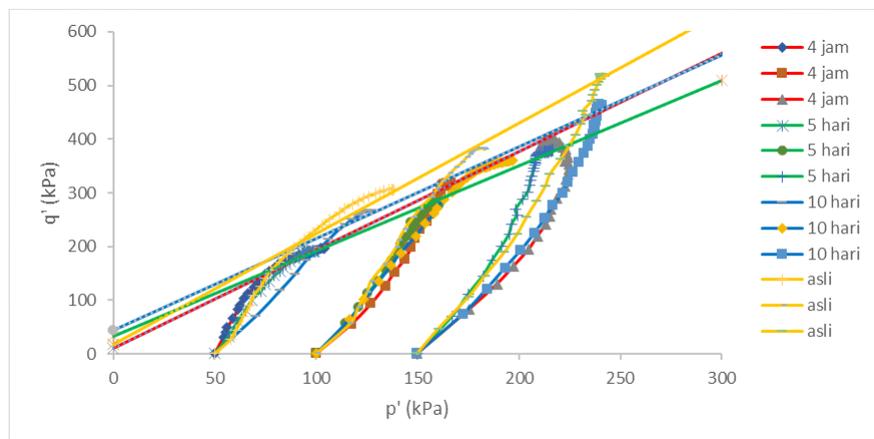
Dari **Tabel 7** dapat terlihat jika Sampel dengan masa peram 10 hari memiliki nilai Γ yang paling tinggi, hal tersebut menandakan jika sampel tersebut adalah sampel yang memiliki pori-pori terbesar, hal tersebut tentu berlawanan dengan nilai rapat kering pada sampel, dimana sampel tersebut memiliki nilai rapat kering paling besar dari lainnya. Dan dari **Tabel 7** juga dapat terlihat bahwa nilai λ (NCL) dan λ (CSL) memiliki nilai yang hampir sama, yang menandakan jika sampel tersebut mengalami pemadatan sebelumnya. Data pada **Tabel 7** tersebut mengacu pada grafik di **Gambar 8** berikut.

3.3 Perbandingan Nilai Parameter Gambut Murni dengan Gambut +10%

Setelah melakukan pengujian terhadap semua sampel yang dibutuhkan, berikut merupakan perbandingan nilai parameter geser dari sampel gambut murni dengan sampel gambut yang distabilisasi 10% geopolimer:



Gambar 8. Grafik $\ln p'$ vs Volume Spesifik Sampel dengan Masa Peram 4 Jam, 5 Hari, dan 10 Hari



Gambar 9. Grafik p' vs q' Sampel Gambut Murni dengan Sampel Gambut + 10% Geopolimer Masa Peram: 4 Jam, 5 Hari, dan 10 Hari

Dari Gambar 9 didapatkan nilai-nilai parameter sebagai berikut:

Tabel 8. Parameter Kuat Geser Sampel Gambut +10% Geopolimer dengan Sampel Gambut Murni

Parameter	Gambut + 10% Geopolimer			Gambut Murni
	4 jam	5 hari	10 hari	
q ₀ (kPa)	11.01	33.41	42.97	17.11
M	1.83	1.59	1.71	2.06
c' (kPa)	4.77	14.75	18.80	7.30
ϕ' (°)	44.56	38.83	41.71	50.19
τ _f	5.42	16.87	19.98	7.22

Dari Tabel 8 dapat terlihat perubahan parameter kuat geser sampel uji. Dari hasil pengujian dapat terlihat jika semakin lama pemeraman, parameter q₀ dan c' mengalami kenaikan, sedangkan untuk parameter M dan ϕ' mengalami perubahan secara fluktuatif dan cenderung tidak besar, sehingga dapat dikatakan jika parameter M dan ϕ' tidak terpengaruh oleh waktu pemeraman sampel.

Parameter q₀ merupakan tolak ukur kemampuan sampel dalam menahan beban awal yang diberikan, sedangkan parameter M adalah kemampuan sampel dalam menahan regangan aksial, dan dari kedua parameter dapat diketahui parameter kuat geser lainnya dari sampel tanah uji seperti pada Tabel 8 menggunakan formula-formula berikut:

$$\sin \phi' = \frac{\sigma'_{1} - \sigma'_{3}}{\sigma'_{1} + \sigma'_{3}} = \left[\frac{3M}{6+M} \right] \quad (1)$$

$$c' = \left[\frac{3 - \sin \phi'}{6 - \sin \phi'} \right] q_0 \quad (2)$$

$$\tau_f = c' + \tan \phi' \quad (3)$$

Sementara itu untuk parameter geser lainnya disajikan pada Tabel 9 seperti berikut:

Tabel 9. Parameter λ (NCL), λ(CSL), N dan Γ sampel gambut murni dengan gambut +10% geopolimer

Waktu Peram	λ (NCL)	λ (CSL)	N	Γ
Murni	0.0552	0.1108	2.4927	2.8213
4 jam	0.0398	0.0617	2.7249	2.8561
5 hari	0.0923	0.1293	3.0098	3.242
10 hari	0.1044	0.1799	2.9233	3.3888

Dari Tabel 9 dapat dilihat jika sampel yang diperam lebih lama memiliki nilai parameter Γ lebih besar dari pada sampel yang diperam lebih sebentar hal tersebut berarti penambahan geopolimer dan pemeraman sampel tidak mengurangi pori pada sampel gambut.

Akan tetapi jika dibandingkan dengan sampel tanah gambut murni nilai parameter dari sampel campuran 10% geopolimer cenderung mengalami penurunan nilai Γ dan λ(CSL). Hal tersebut terjadi karena kadar air sampel gambut asli yang lebih besar daripada sampel tanah gambut dengan campuran 10% geopolimer.

4. Kesimpulan

Dari keseluruhan data dan analisa yang didapatkan dari penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Lama waktu pemeraman sampel tanah gambut + 10% geopolimer dapat meningkatkan nilai parameter kohesi efektif (c') pada sampel, dimana nilai c' saat pemeraman 4 jam adalah 4.77 kPa meningkat menjadi 18.80 kPa pada pemeraman 10 hari, tetapi nilai parameter ϕ' tidak dipengaruhi oleh waktu peram,
2. Secara umum nilai kuat geser sampel mengalami kenaikan seiring semakin lama waktu pemeraman, dari 5.422 kPa pada pemeraman 4 jam menjadi 19.983 kPa pada pemeraman 10 hari,
3. Waktu peram juga berpengaruh pada parameter q₀ sampel tanah gambut + 10% geopolimer, dimana saat pemeraman 4 jam nilai q₀ sampel sebesar 11.008 kPa menjadi 42.966 kPa saat pemeraman 10 hari, akan tetapi untuk parameter M sampel tidak dipengaruhi oleh masa peram,
4. Nilai λ (NCL) dan λ (CSL) tidak sama sehingga garis NCL dan CSL tidak sejajar, hal tersebut terjadi karena sampel uji yang tidak homogen, selain itu pada penelitian ini garis CSL berada disebelah kanan garis NCL yang menandakan jika sampel uji mengalami kondisi *overconsolidated*,
5. Penambahan geopolimer dan lama waktu peram tidak berpengaruh terhadap pori udara dalam sampel uji, hal tersebut dapat dilihat pada nilai parameter Γ yang mengalami kenaikan seiring semakin lamanya pemeraman.

Daftar Pustaka

- Agus F. & Subiksa I.G.M. (2008). *Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan*. Bogor: Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry (ICRAF)
- ASTM, D 4427-92. *Standard Classification of Peat Samples by Laboratory Testing, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Volume 04.08*, Easton, MD, USA

ASTM, D 698-00. *Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600kN-m/m³))*, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Volume 04.08, Easton, MD, USA

ASTM, D 2607-69. *Standard Classification of Peats, Mosses, Humus, and Related Products*. Annual Book of ASTM Standard, Section 4, Volume 04.08, Easton, MD, USA.

ASTM, D 4767-95. *Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils*, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Volume 04.08, Easton, MD, USA

Davidovits, J. (2005). *Geopolymer Chemistry and Application (4th ed)*. Saint-Quentin: Institute Geopolymere.

Palomo, A. et al. (1998). *Alkali-Activated Fly Ash, A Cement for the Future. Crmrnt and Concrete Research Journals*. Vol. 29. 1323-1329.

Perdamean, A.W. (2014). *Analisis Pengaruh Injeksi Mikroorganisme Selulotik Potensial pada Parameter Kompresibilitas Tanah Gambut Kayu Agung Sumatera Selatan*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.

Pradipta, M.P. (2015). *Pengaruh Hasil Pencampuran Mikroorganisme Selulotik Potensial pada Kekuatan Tanah Gambut Sebagai Material Tanah Timbunan*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.

PT. Adhimix, (2015). *Properti Fisik, Kimia, dan Analisa Saringan Fly Ash*. Brosur. Jakarta: PT. Adhimix

Rahayu, W., Lisdiyanti, P., & Pratama, R.E. (2015). *Tanah Gambut Melalui Uji Triaksial Consolidated Undrained dan Unconsolidated Undrained*. Jurnal Teknik, Sipil Jurnal Teoritis dan Terapan Rekayasa Sipil. Bandung: Institut Teknologi Bandung

Raharja, D.S., Hadiwardoyo, S.P., Rahayu, W., & Zain, N. (2017). *Effect of Mixing Geopolymer and Peat on Bearing Capacity in Ogan Komering Ilir (Oki) by California Bearing Ratio (Cbr) Test*. AIP Conference Proceedings. Solo: American Institute of Physics.

Sukarman, (2015). *Pembentukan dan Kesesuaian Lahan Gambut Indonesia*. Panduan Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pembangunan Sumberdaya Lahan Pertanian

Wallah, S.E., & Rangan, B.V. (2006). *Low-Calcium Fly Ash – Based Geopolymer Concrete: Long-Term*

Properties. Research Reort GC 2. Perth: Curtin University of Technology.

