

KAJIAN KUAT GESER TANAH GAMBUT AKIBAT *PRELOADING* PADA SKALA KECIL LABORATORIUM

Aazokhi Waruwu¹, Debby Endriani², Cindy Meutia Dewi³, Rika Deni Sisanti⁴

¹Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Medan, Jl. Gedung Arca No. 52, Medan, 20217

Email korespondensi: azokhiw@gmail.com

²Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Medan, Jl. Gedung Arca No. 52, Medan, 20217

Email korespondensi: debby.endriani123@gmail.com

³Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Medan, Jl. Gedung Arca No. 52, Medan, 20217

Email korespondensi: cindymutia99@gmail.com

⁴Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Medan, Jl. Gedung Arca No. 52, Medan, 20217

Email korespondensi: razzanrikadeni@yahoo.com

ABSTRAK

Tanah dasar konstruksi seharusnya memiliki daya dukung dan kuat geser yang cukup dalam menahan beban di atasnya, tanah yang memiliki kuat geser rendah seperti gambut perlu upaya perbaikan. *Preloading* salah satu metode perbaikan kuat geser gambut. Tanah gambut terlebih dahulu diberi beban sebelum beban permanen diterapkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku penurunan dan perubahan parameter kuat geser tanah yang diberi *preloading*. Pendekatannya dilakukan pada uji model skala kecil di laboratorium menggunakan bak uji yang diisi tanah gambut. Tanah diberi beban timbunan sebagai *preloading*. Penambahan beban dilakukan selama 1 hari dan 1 minggu. Uji geser langsung dilakukan pada tanah gambut yang telah diperbaiki dengan *preloading*. Hasil penelitian didapatkan bahwa *preloading* dalam waktu 1 hari mengakibatkan penurunan berlebih pada beban-beban besar, karena daya dukung tanah terlampaui. Tahapan beban yang baik diberikan dengan tekanan lebih kecil dari nilai kuat geser *undrained* (c_u) dan total tekanan yang dihasilkan selama *preloading* harus lebih besar daripada nilai c_u . Nilai kohesi tanah meningkat pada beban-beban rendah, tetapi sedikit berkurang pada beban-beban tinggi. Sedangkan nilai sudut gesek dalam tanah mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan tekanan dari *preloading*, terutama pada waktu *preloading* 1 minggu. *Preloading* dengan tekanan dan waktu yang lama dapat memperbaiki pemampatan, mengurangi kadar air, meningkatkan kepadatan, dan meningkatkan kuat geser tanah.

Kata kunci: Kuat geser, kohesi, sudut gesek dalam, gambut, *preloading*

ABSTRACT

The construction subgrade should have sufficient bearing capacity and shear strength to withstand the load on it, soils that have low shear strength such as peat need improvement. Preloading is a method of improving the shear strength of peat. The peat soil is first loaded before the permanent load is applied. This study aims to determine the behavior of settlement and changes in the parameters of the shear strength of the soil given preloading. The approach is conducted on a small-scale model test in the laboratory using a test box filled with peat soil. The soil is loaded with embankment as preloading. The addition of the load was conducted for 1 day and 1 week. The direct shear test was conducted on peat soil that had been improved by preloading. The results showed that preloading within 1 day resulted in excessive settlement of large loads, because the bearing capacity of the soil was exceeded. A good load stage is given with a pressure less than the value of undrained shear strength (c_u) and the total pressure generated during preloading must be greater than the value of c_u . The soil cohesion value increases at low loads, but decreases at high loads. While the value of the angle of internal friction in the soil has increased along with the increase in pressure from preloading, especially at the time of 1 week

of preloading. Preloading with pressure and a long time can improve compression, reduce water content, increase density, and increase soil shear strength.

Keywords: *Shear strength, cohesion, angle of internal friction, peat, preloading*

1. PENDAHULUAN

Tanah gambut merupakan tanah yang didominasi dengan bahan organik di atas 75%, sehingga mempengaruhi perilaku tanah dalam mendukung beban yang bekerja di atasnya. Beberapa di antaranya mengandung kadar serat yang tinggi dan sering disebut dengan gambut berserat, tingkat kandungan serat sangat mempengaruhi perilaku pemampatan dari tanah tersebut. Tanah gambut dengan kandungan serat tinggi memiliki pemampatan yang lebih besar dibandingkan gambut tidak berserat dengan kadar serat < 20% [7].

Jenis tanah gambut seringkali menimbulkan masalah, ketika akan dilakukannya pembangunan di atas permukaan gambut tanpa perbaikan. Beberapa masalah geoteknik yang akan muncul, baik saat pembangunan maupun setelah pekerjaan konstruksi, di antaranya terjadinya penurunan berlebih saat beban mulai bekerja akibat dari kenaikan tekanan air pori yang menyebabkan berkurangnya volume tanah [1]. Selain penurunan yang cukup tinggi, tanah gambut memiliki kadar air tinggi, kadar organik tinggi, pemampatan tinggi, dan daya dukung rendah. Tanah gambut berserat dengan kadar abu rendah memiliki kadar air dan pemampatan tinggi, baik pemampatan primer maupun sekunder [3].

Sifat gambut yang memiliki pemampatan dan kadar air tinggi, kekuatan geser rendah, dan penurunan jangka panjang saat mengalami pembebanan dapat menimbulkan masalah serius ketika konstruksi didirikan [8]. Gambut dianggap sebagai tanah yang tidak cocok untuk mendukung beban konstruksi dalam keadaan alami tanpa perbaikan [16].

Ada beberapa metode perbaikan tanah gambut yang biasa dilakukan di antaranya

penggantian tanah, pemasangan perkuatan, *preloading*, perbaikan tanah, pemancangan tiang-tiang, dan pencampuran bahan stabilisasi seperti semen dan kapur [11]. Perbaikan kuat geser tanah gambut dapat dilakukan dengan penambahan semen dan *ecocure* sebagai bahan aditif [7].

Jenis tanah seperti gambut yang memiliki pemampatan tinggi memerlukan pembebanan sebelum pembangunan permanennya dilaksanakan dan biasa disebut *preloading* [8]. Maksud *preloading* adalah untuk meniadakan atau mereduksi penurunan konsolidasi dengan menerapkan beban awal pada tanah sebelum pelaksanaan bangunan permanen [9].

Perilaku pemampatan tanah gambut dapat diperbaiki dengan *preloading* [10]. Salah satu metode *preloading* yang bisa dilakukan untuk mempercepat pemampatan tanah gambut adalah penerapan beban timbunan. Beban timbunan sebagai *preloading* dapat mengurangi pemampatan tanah gambut [3]. Perbaikan tanah dengan *preloading* dapat meningkatkan daya dukung tanah gambut [11]. *Preloading* dengan beban timbunan secara bertahap dapat menjamin stabilitas timbunan. Metode beban bertahap mengurangi penurunan segera dan kegagalan timbunan dapat dihindari [4].

Manfaat *preloading* dapat diketahui dari peningkatan daya dukung. Hasil yang baik didapatkan pada waktu *preloading* yang relatif lebih lama [12]. Peningkatan kuat geser dan daya dukung tanah gambut dapat terjadi akibat proses konsolidasi saat tanah mengalami *preloading* [10]. Proses konsolidasi makin mempercepat keluarnya air dari pori-pori tanah gambut, sehingga tanah gambut semakin padat. Kuat geser tanah gambut yang mampat dan padat akan semakin meningkat [13].

Parameter penting untuk mengetahui daya dukung tanah adalah kuat geser tanah yang

dapat ditentukan dari nilai kohesi dan sudut gesek dalam tanah melalui uji geser langsung (*direct shear test*). Parameter kuat geser dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah seperti angka pori, ukuran butir, berat isi, dan kandungan air dalam tanah [14]. Parameter kuat geser tanah gambut dipengaruhi oleh air. Nilai kohesi tanah gambut yang terendam air lebih tinggi daripada gambut yang tidak terendam, sedangkan nilai sudut gesek tanah gambut yang terendam air lebih rendah daripada yang tidak terendam [12].

Perbaikan tanah dengan *preloading* mengalami kesulitan apabila langsung pada skala penuh di lapangan, untuk itu diperlukan model *preloading* di laboratorium. Alternatif pembebanan yang efektif dalam mempercepat pemampatan tanah gambut.

Perbaikan tanah gambut dapat diketahui efektif, apabila nilai kuat geser dan daya dukung mengalami peningkatan, namun hal ini sulit diketahui apabila telah dilakukan penimbunan di lapangan. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat geser pada tanah gambut yang telah mengalami *preloading* terlebih dahulu melalui skala kecil dalam bak uji di laboratorium.

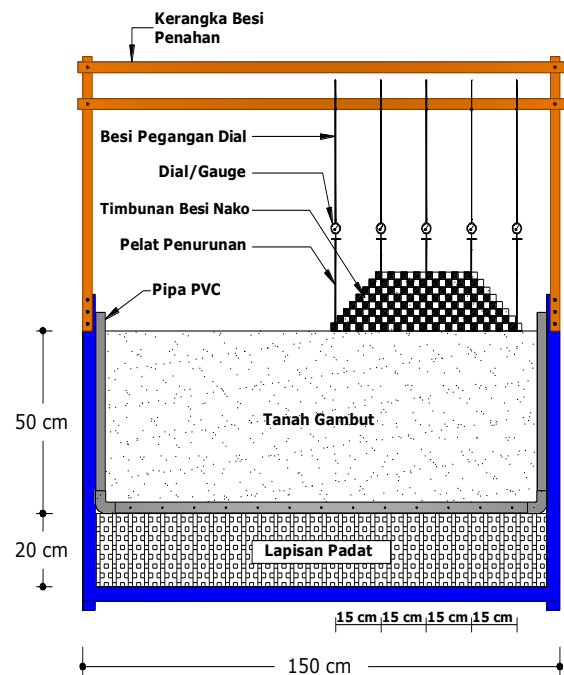
Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku penurunan tanah gambut akibat *preloading* dan untuk mengetahui pengaruh *preloading* pada perubahan parameter kuat geser tanah gambut.

2. METODE PENELITIAN

Media tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa tanah gambut yang berasal dari Desa Sei Kepayang, Kabupaten Asahan, Provinsi Sumatera Utara. Tanah gambut ini sama dengan tanah gambut yang digunakan pada penelitian [6]. Tanah gambut dijemur dan dipisahkan dari serat-serat berukuran di atas 1 cm. Tanah yang telah selesai disortir, dicampur dengan air secukupnya dan dipadatkan dalam bak uji mendekati kepadatan tanah gambut di lapangan. Tanah dipadatkan setiap 10 cm

sampai mencapai kedalaman 50 cm. Penambahan air dilakukan melalui pipa-pipa yang telah dipasang di setiap sudut bak uji, dengan tujuan supaya lapisan gambut mengalami kejenuhan. Tanah gambut dibiarkan selama 1 minggu sambil menunggu proses pengaliran air dalam pori-pori gambut. Kepadatan dan kadar air tanah sebelum diberi *preloading* diuji pada setiap kedalaman 10 cm. Selain itu juga dilakukan pengujian kuat tekan bebas untuk mendapatkan nilai kuat geser *undrained* (c_u) pada kondisi awal.

Pengujian *preloading* menggunakan skala kecil di laboratorium dalam bak uji berukuran 180 cm × 150 cm × 70 cm. Skema pengujian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema *Preloading* Skala Kecil Laboratorium

Perbaikan tanah dengan sistem *preloading* menggunakan model beban timbunan. Timbunan yang digunakan berupa potongan besi nako yang berukuran 4 cm × 1,9 cm × 1,9 cm. Tahapan beban setiap 2 lapis potongan besi nako dengan tebal 3,8 cm sebanding dengan tekanan 3,02 kPa. Waktu pembebanan dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu beban tidak bertahap selama 1 hari

dan beban bertahap 1 minggu. Tekanan akibat beban timbunan terdiri dari 3,02 kPa, 6,05 kPa, 9,07 kPa, dan 12,09 kPa. Proses *preloading* seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses *Preloading* dengan Timbunan Besi

Penurunan akibat *preloading* dibaca melalui *dial gauge* yang dipasang pada titik-titik tertentu. Penurunan dibaca pada waktu-waktu tertentu selama *preloading* berlangsung.

Pengujian kuat geser dilakukan dengan uji geser langsung (*direct shear test*) pada sampel tanah yang telah mengalami *preloading*. Sampel tanah diambil dari dalam bak uji menggunakan ring untuk diteruskan dengan pengujian pada alat geser langsung (Gambar 3).

Parameter kuat geser didapatkan dari uji kuat geser langsung baik sebelum maupun sesudah tanah gambut mengalami *preloading*. Parameter kuat geser yang diperoleh dari hasil pengujian ini adalah nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam tanah gambut (ϕ).



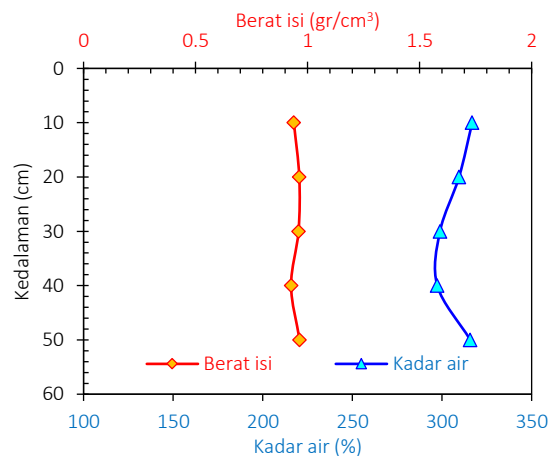
Gambar 3. Uji Kuat Geser: (a) Cetak sampel; (b) Proses uji geser langsung

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil-hasil penelitian yang akan diuraikan dan dibahas pada bagian ini diawali dengan hasil penurunan akibat *preloading* baik untuk variasi waktu 1 hari maupun 1 minggu.

Hasil penelitian selanjutnya merupakan hasil uji kuat geser dari sampel tanah yang telah diberi *preloading*. Berdasarkan uji kuat geser dari alat *direct shear*, didapatkan parameter kuat geser berupa nilai-nilai kohesi dan sudut gesek dalam tanah.

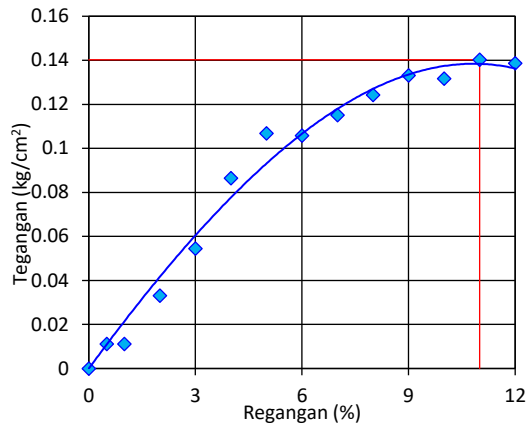
Tanah gambut yang siap untuk diberi *preloading*, terlebih dahulu diuji dengan mengambil sampel di setiap kedalaman 10 cm pada 5 titik pengujian, masing-masing di 4 sudut dan 1 titik di tengah bak uji. Kadar air dan berat isi sampel gambut pada setiap kedalaman ditunjukkan dalam Gambar 4. Berat isi sampel gambut di dalam bak uji rata-rata 0,950 gr/cm³ mendekati sama dengan berat isi tanah gambut di lapangan, yaitu sebesar 0,986 gr/cm³. Rata-rata kadar air sampel gambut yang diberi *preloading* didapatkan sebesar 308 %.



Gambar 4. Kepadatan dan Kadar Air Tanah dalam Bak Uji

Hasil uji kuat tekan bebas pada sampel tanah dalam bak uji sebelum diberi *preloading* ditunjukkan pada Gambar 5. Tanah gambut ini memiliki nilai kuat tekan (q_u) sebesar 0,14 kg/cm² dan kuat geser *undrained* (c_u) sebesar 0,07 kg/cm² atau 7 kPa. Tanah ini termasuk pada klasifikasi

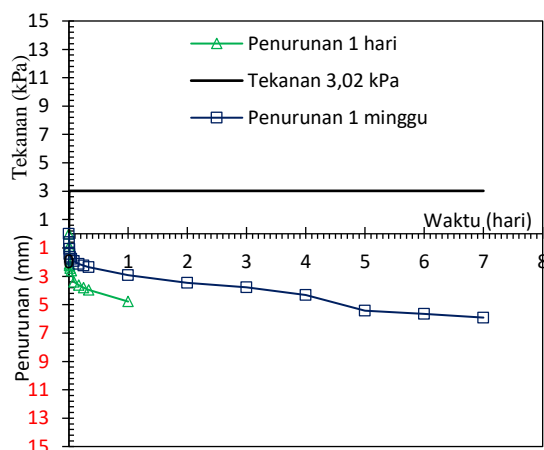
tanah sangat lunak karena memiliki nilai $c_u < 12,5$ kPa [9].



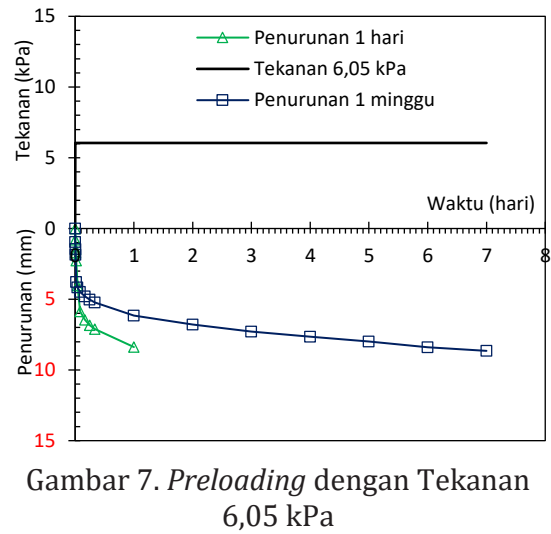
Gambar 5. Hasil Uji Kuat Tekan Bebas Tanah Sebelum *Preloading*

Hasil uji *preloading*

Beberapa hasil uji *preloading* pada tanah gambut ditunjukkan pada Gambar 6 sampai Gambar 9. Hasil uji *preloading* memperlihatkan penurunan yang mengakibatkan tanah gambut menjadi padat sejalan dengan proses keluarnya air dalam pori-pori tanah. Semakin tinggi penurunan, tanah gambut semakin padat dan mampat. Beban-beban yang semakin tinggi menunjukkan penurunan yang semakin tinggi.

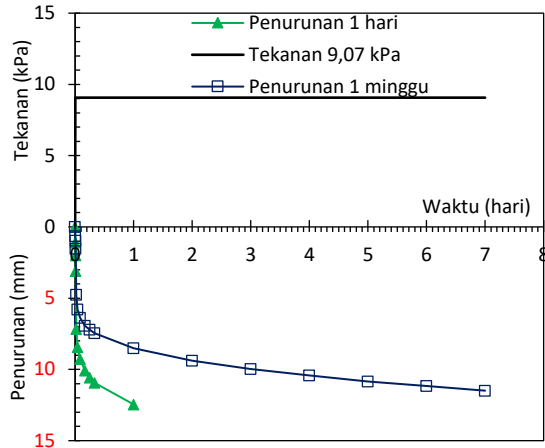


Gambar 6. *Preloading* dengan Tekanan 3,02 kPa

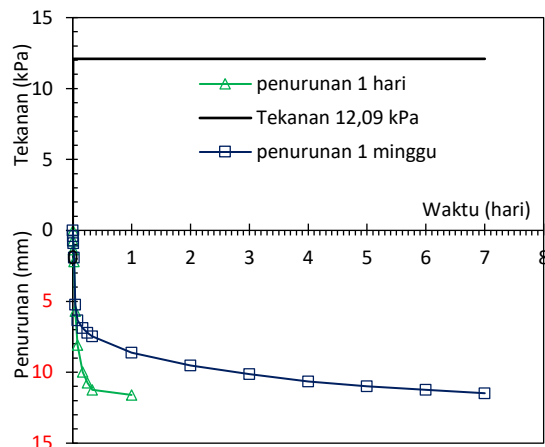


Sistem penambahan beban dan waktu *preloading* memperlihatkan pengaruh pada besarnya penurunan. *Preloading* yang cepat menunjukkan penurunan yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan *preloading* dengan waktu lama. Pemampatan gambut terus terjadi sejalan dengan lamanya *preloading* yang diterapkan. Penurunan gambut pada *preloading* 1 minggu masih terjadi, ini menunjukkan masih terjadinya penurunan akibat konsolidasi sekunder.

Penurunan pada awal pembebanan terjadi secara signifikan, namun penurunan lanjutan perlahan meningkat sejalan dengan tahapan waktu *preloading*. Beban langsung tanpa tahapan beban terutama pada beban-beban besar kurang baik pada pemampatan tanah gambut, hal ini disebabkan karena tanah gambut memiliki daya dukung rendah. Seperti terlihat pada *preloading* dengan tekanan di atas $9,07$ kPa $> c_u = 7$ kPa, penurunan untuk 1 hari lebih tinggi daripada 1 minggu (Gambar 8 dan Gambar 9).



Gambar 8. *Preloading* dengan Tekanan 9,07 kPa



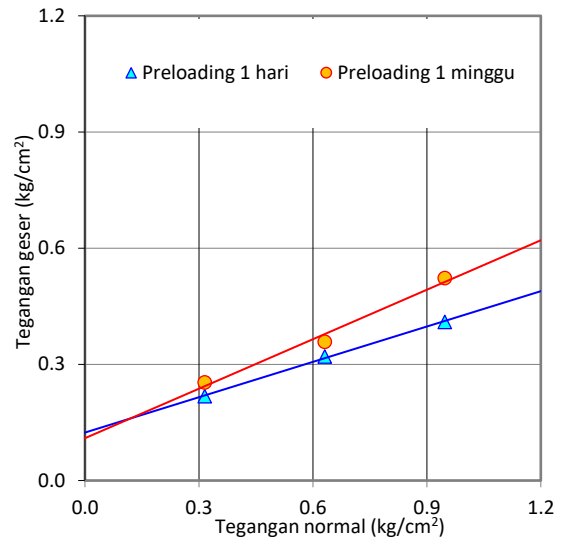
Gambar 9. *Preloading* dengan Tekanan 12,09 kPa

Preloading yang diberikan seharusnya mempertimbangkan kuat geser *undrained* tanah. Pada penelitian ini terlihat bahwa untuk waktu *preloading* yang cepat, tekanan di atas nilai kuat geser *undrained* memperlihatkan penurunan yang cukup signifikan. Oleh karena itu, tahapan beban yang diberikan sebaiknya maksimal sama dengan nilai kuat geser *undrained*. Hal ini berguna untuk mengantisipasi terlampauinya daya dukung tanah.

Hasil uji kuat geser

Uji kuat geser dilakukan pada setiap sampel tanah yang telah diberi *preloading*. Hasil uji kuat geser langsung pada sampel tanah yang telah diberi *preloading* dengan tekanan 9,07

kPa diperlihatkan pada Gambar 10. Hasil uji ini menunjukkan perbedaan kuat geser tanah gambut yang mengalami *preloading* cepat dan lama. *Preloading* cepat diwakili dengan beban tidak bertahap selama 1 hari dan *preloading* lama diwakili dengan beban bertahap selama 1 minggu.



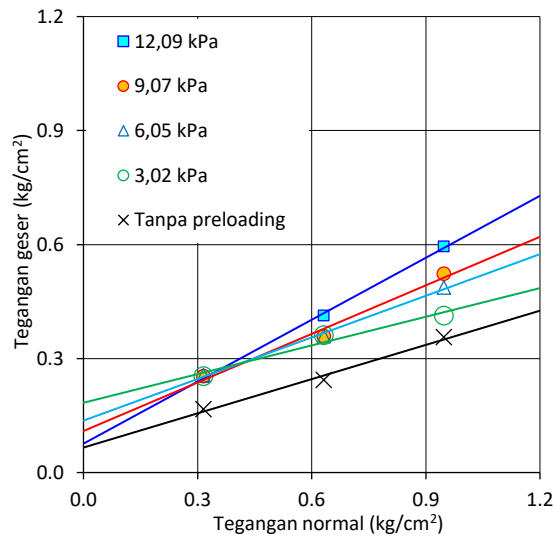
Gambar 10. Hasil Uji Geser pada *Preloading* 9,07 kPa

Preloading yang lama memperlihatkan kuat geser yang lebih tinggi daripada *preloading* yang cepat. Pemampatan gambut pada *preloading* lama semakin berkurang dan tanah semakin padat. Tanah yang lebih padat memberikan kuat geser yang lebih baik.

Air dalam pori-pori tanah terdesak keluar, tanah menjadi lebih padat akibatnya sudut gesek antar butir tanah semakin meningkat walaupun sedikit mengurangi kohesi tanah. Hal ini terlihat pada kuat geser tanah yang diberi *preloading* selama 1 minggu. Sedangkan sudut gesek pada tanah yang diberi *preloading* selama 1 hari terlihat lebih kecil dibandingkan dengan tanah yang diberi *preloading* selama 1 minggu.

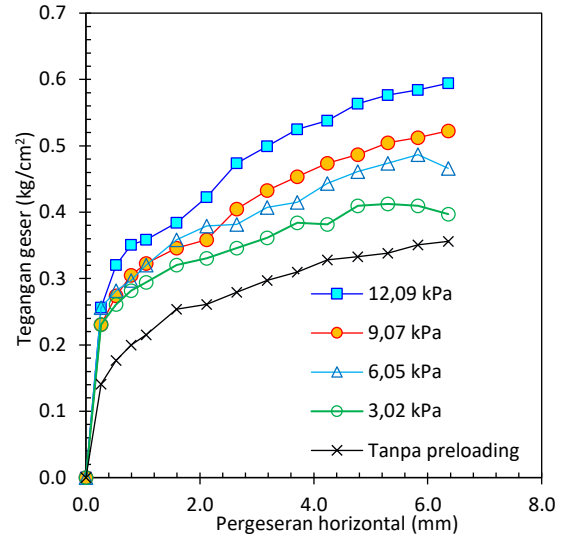
Hasil uji kuat geser langsung pada *preloading* 1 minggu ditunjukkan pada Gambar 11. Hasil ini memperlihatkan pengaruh besarnya *preloading* yang diterapkan pada tanah gambut. Kuat geser tanah ditunjukkan pada tegangan geser

yang didapatkan, pada tegangan normal yang sama terlihat bahwa ada kecenderungan peningkatan kuat geser tanah seiring dengan peningkatan *preloading*, terutama pada tegangan normal yang tinggi. Hal ini dapat berpengaruh pada parameter kuat geser tanah.



Gambar 11. Kuat Geser pada *Preloading* 1 Minggu

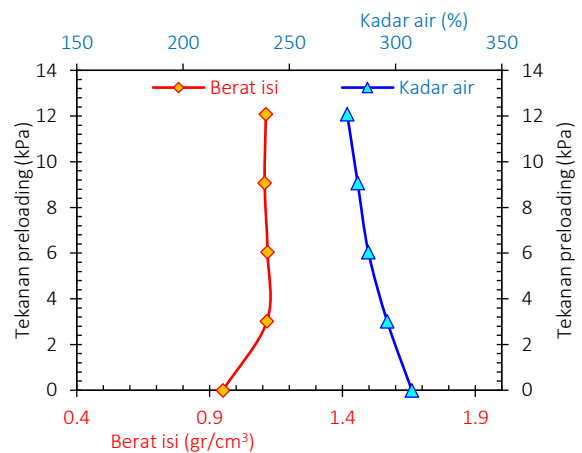
Hubungan pergeseran horizontal dengan tegangan geser pada *preloading* 1 minggu diperlihatkan pada Gambar 12. Pada pergeseran horizontal yang sama, kuat geser tanah terlihat semakin tinggi seiring dengan peningkatan *preloading*. Perbaikan tanah gambut ditunjukkan pada peningkatan kuat geser. Kuat geser yang semakin tinggi memberikan nilai daya dukung yang semakin tinggi juga.



Gambar 12. Hubungan Pergeseran Horizontal dengan Tegangan Geser pada *Preloading* 1 Minggu

Pengaruh *preloading* pada nilai kohesi dan sudut gesek tanah

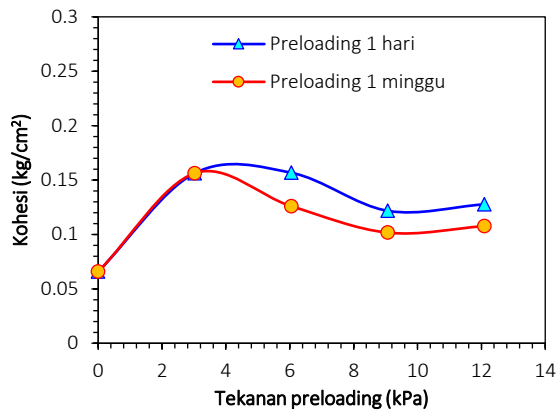
Perilaku berat isi tanah dan kadar air akibat *preloading* ditunjukkan pada Gambar 13. Tekanan akibat *preloading* berpengaruh pada peningkatan berat isi tanah dan pengurangan kadar air tanah.



Gambar 13. Pengaruh *Preloading* pada Kepadatan Tanah

Parameter tanah yang diperoleh dari hasil uji kuat geser langsung terdiri dari kohesi dan sudut gesek dalam tanah. Pengaruh *preloading* terhadap nilai kohesi tanah ditunjukkan pada Gambar 14. Pengaruh

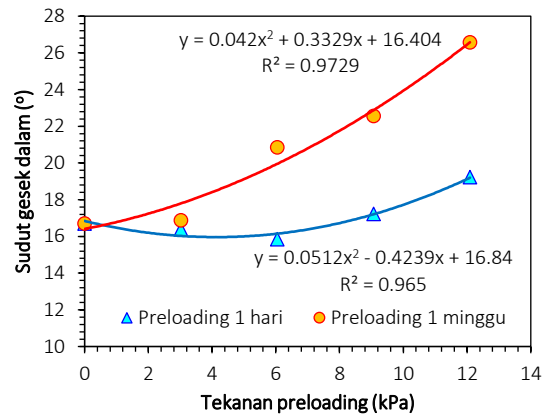
preloading terhadap nilai sudut gesek dalam tanah ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 14. Pengaruh *Preloading* pada Nilai Kohesi

Kohesi berhubungan dengan kandungan air dalam tanah. Tanah-tanah kohesif ditemukan pada tanah berbutir halus, karena mengandung banyak air. Pada kasus tanah gambut, awalnya tanah memiliki kandungan air yang cukup tinggi. Beban-beban kecil direspon oleh kenaikan tekanan air pori.

Kadar air tanah terlihat masih tinggi pada beban-beban kecil, hal ini dapat menyebabkan nilai kohesi meningkat baik untuk *preloading* 1 hari maupun 1 minggu. Namun, pada beban-beban besar nilai kohesi tanah semakin berkurang seiring dengan pengurangan kadar air tanah (Gambar 13). Walaupun demikian, kohesi tanah yang diberi *preloading*, masih lebih tinggi dibandingkan tanpa *preloading*.



Gambar 15. Pengaruh *Preloading* pada Nilai Sudut Geser Dalam

Parameter kuat geser lainnya dapat diketahui pada nilai sudut gesek dalam tanah. Nilai sudut gesek dalam tanah dipengaruhi oleh tekanan dan waktu *preloading*. Tekanan total di atas nilai c_u tanah tanpa *preloading* memperlihatkan peningkatan sudut gesek dalam yang signifikan. Hal ini terjadi akibat dari kepadatan tanah yang semakin tinggi dan kadar air berkurang, seperti ditunjukkan pada Gambar 13. Peningkatan sudut gesek dalam tanah pada *preloading* 1 minggu masih lebih baik daripada *preloading* 1 hari. Peningkatan pemampatan dalam waktu yang lebih lama berakibat pada peningkatan kepadatan tanah dan berkurangnya air dalam pori-pori tanah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perilaku penurunan akibat *preloading* dipengaruhi oleh waktu dan tekanan yang diberikan. Tekanan yang tinggi dan dalam waktu singkat dapat berakibat pada penurunan berlebih. Waktu *preloading* yang cepat dapat dilakukan pada tekanan di bawah nilai c_u tanah, agar penurunan berlebih dapat dihindari akibat daya dukung terlampaui. Akan tetapi beban bertahap dalam jangka waktu yang lebih lama dapat memberikan kesempatan pada

peningkatan daya dukung tanah, sehingga penurunan berlebih dapat dihindari.

2. Tekanan *preloading* di atas c_u tanah menghasilkan kuat geser yang lebih baik, utamanya pada waktu *preloading* yang lebih lama. Peningkatan kohesi tanah terjadi pada beban-beban rendah, hal ini berhubungan dengan peningkatan tekanan air pori pada awal-awal penerapan beban. Parameter sudut gesek tanah didapatkan meningkat signifikan pada tekanan di atas nilai c_u tanah. Tanah mengalami pemampatan yang lebih baik, sehingga kadar air berkurang dan kepadatan meningkat. Hal ini dapat meningkatkan nilai sudut gesek dalam tanah. Peningkatan nilai sudut gesek tanah berpengaruh pada peningkatan daya dukung tanah gambut.
3. Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan bahwa kuat geser tanah yang lebih baik terjadi pada *preloading* secara bertahap dengan tekanan maksimum setiap tahap sebesar nilai kuat geser *undrained* (c_u) tanah dan waktu yang lebih lama dengan tekanan total di atas c_u tanah tanpa *preloading*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Herison, Y. Romadania and F. C. Putri, "Studi Penurunan Tanah Gambut pada Kondisi Single Drain dengan Metode Vertikal Drain Dengan Menggunakan Preloading," *SPATIAL Wahana Komunikasi dan Informasi Geografi*, vol. 15, no. 1, pp. 12-18, 2016.
- [2] A. Waruwu, "Peningkatan Nilai Kuat Tekan Tanah Gambut Akibat Preloading," in *Seminar Nasional Peran Teknologi di Era Globalisasi ke 2 Institut Teknologi Medan*, Medan, 2013.
- [3] A. Waruwu, H. C. Hardiyatmo and A. Rifa'i, "Compressive Behavior of Bagasiapiapi - Riau Peat in Indonesia," *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 21, no. 16, pp. 5217-5227, 2016.
- [4] A. Waruwu, H. C. Hardiyatmo and A. Rifa'i, "Uji Beban Timbunan yang Diperkuat dengan Sistem Pelat Terpaku pada Tanah Gambut," *Media Komunikasi Teknik Sipil*, vol. 25, no. 2, pp. 152-169, 2019.
- [5] A. Waruwu, H. C. Hardiyatmo and A. Rifa'i, "Uji Beban Timbunan yang Diperkuat dengan Sistem Pelat Terpaku pada Tanah Gambut," *Media Komunikasi Teknik Sipil*, vol. 25, no. 2, pp. 152-169, 2019.
- [6] A. Waruwu, R. D. Susanti, H. S. Sihombing and T. Y. Purba, "Pengaruh Susunan Tiang dengan Grid Bambu pada Tanah Gambut Terhadap Lendutan," in *Semnastek UISU*, Medan, 2020.
- [7] A. Waruwu, S. R. N. Panjaitan and M. Masri, "Perilaku Pemampatan Tanah Gambut Berserat," *Jurnal Saintek*, vol. 26, no. 1, pp. 1-10, 2012.
- [8] A. Zainorabidin, M. N. Abdurahman, A. Kassim, M. F. M. D. Razali and E. S. E. A. Rahman, "Settlement Behaviour of Parit Nipah Peat under Static Embankment.," *International Journal of Geomate*, vol. 17, no. 60, pp. 151-155, 2019.
- [9] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah II*, Yogyakarta: Gajah Mada University Press, 2002.
- [10] I. Muzaidi, M. Fitriansyah and D. P. Hardiani, "Pengaruh Penambahan Ecocure dan Semen Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Tanah Gambut," *Jurnal Konstruksia*, vol. 9, no. 2, pp. 51-63, 2018.
- [11] Kazemian, B. B. Huat, A. Prasad and M. Barghchi, "A state of art rievew of peat : Geotechnical Engineering Perspective," vol. 6(8), pp. 1974-1981, 2011.
- [12] M. Fitriansyah, D. P. Hardiani and I. Setiawan, "Analisis Kohesi dan Sudut Gesek antara Tanah Gambut-Geotekstil (Studi Tanah Gambut di Kabupaten Banjar)," *Jurnal*

- Konstruksia*, vol. 11, no. 1, pp. 41-49, 2019.
- [13] M. Zardi and Mukhlis, "Pengaruh Pencampuran Semen Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung Lampoh Keude," *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, vol. 1, no. 2, pp. 129-140, 2015.
- [14] R. D. Susanti, Maulana and A. Waruwu, "Bearing Capacity Improvement of Peat Soil by Preloading," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 13, no. 1, pp. 121-124, 2017.
- [15] R. Muslim, F. Fatnanta and Muhardi, "Karakteristik Kuat Geser Tanah Gambut Akibat Pemampatan," *SIKLUS: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 4, pp. 67-79, 2018.
- [16] S. N. M. Razali, I. Bakar and A. Zainorabidin, "Behaviour of Peat Soil in Instrumented Physical Model Studies," *Prosedia Engineering*, vol. 53, pp. 145-155, 2013.

