

PENGARUH PENGGUNAAN ELEKTROOSMOSIS TERHADAP PARAMETER KUAT GESER TANAH LEMPUNG

Yusup Resha Atmaja¹⁾, Niken Silmi Surjandari²⁾, Sholihin As'ad³⁾

¹⁾Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2,3)}Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret.

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: reshayusupatmaja@gmail.com.

Abstract

High content of water in clay soil causes low shear strength, This soil needs improvement in order to increase its shear strength. Improvement on clay soil can be done by reducing its water content, and affect its shear strength. Improvement using electroosmosis method will increase the shear strength of clay soil. The purpose of this work was to study the effect of electroosmosis usage on shear strength of clay soil. This research used a small scale physical model electroosmosis test in the laboratory, with and without preloading. This test used DC electric flow by the variation of potential gradient 3, 6, 9, 12 volt. Based on model testing laboratory, concluded that the use electroosmosis on clay soil was able to improve the cohesion (c) and the internal friction angle of clay soil. Cohesion increased by 9,52-118,75 % and the internal friction angle by 4,98-8,85 % after applying of 3 volt electric potential. The higher the electric potential, the better improvement on cohesion and internal friction angle of clay soil. The use preloading significantly affected on shear strength clay improvement, compared to the same case without preloading. The larger of the electric potential applied, the more effective usage of preloading.

Keywords: clay soil, electroosmosis, cohesion, friction angle, preloading

Abstrak

Tanah lempung dengan kadar air tinggi mempunyai kuat geser yang rendah, sehingga memerlukan perbaikan untuk meningkatkan kuat gesernya. Perbaikan pada tanah ini dapat dilakukan dengan mengurangi kandungan airnya, sehingga akan mempengaruhi kuat gesernya. Salah satu upaya untuk meningkatkan kuat geser tanah dengan metode elektroosmosis. Tujuan penelitian ini adalah menentukan pengaruh penggunaan elektroosmosis terhadap parameter kuat geser tanah lempung. Penelitian ini menggunakan model fisik skala kecil di laboratorium dengan uji elektroosmosis tanpa dan dengan *preloading*. Pengujian ini menggunakan arus listrik searah (DC) dengan variasi beda potensial 3, 6, 9, dan 12 volt. Berdasarkan pengujian model laboratorium diperoleh kesimpulan bahwa penggunaan elektroosmosis pada tanah lempung mampu menaikkan kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) tanah lempung. Kohesi mengalami kenaikan sebesar 9,52-118,75% dan sudut geser dalam naik sebesar 4,98-8,85% setelah pemberian beda potensial 3 volt. Semakin besar variasi beda potensial yang diberikan, kohesi dan sudut geser dalam juga semakin besar. Penggunaan *preloading* memberikan dampak kenaikan parameter kuat geser tanah yang cukup signifikan dari pada tanpa *preloading*. Semakin besar beda potensial, semakin optimal pula penggunaan *preloading*.

Kata kunci: tanah lempung, elektroosmosis, kohesi, sudut geser dalam, *preloading*

PENDAHULUAN

Keterbatasan lahan yang baik menjadi masalah tersendiri dengan semakin meningkatnya pembangunan. Adanya kondisi seperti itu terpaksa kita harus memanfaatkan lahan dengan kondisi tanah yang kurang baik, misalnya tanah lempung pada kadar air tinggi. Tanah dengan kondisi ini memiliki daya dukung dan kuat geser yang rendah, sehingga perlu dilakukan perbaikan jika akan mendirikan bangunan di atasnya. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan elektroosmosis. Metode elektroosmosis merupakan salah satu metode drainase yang menggunakan listrik arus searah (DC) secara langsung. Arus listrik ini akan mengikat air dan membawanya bergerak mengikuti arah aliran listrik tersebut yaitu dari elektroda positif (anoda) menuju ke elektroda negatif (katoda). Fenomena inilah yang dapat menyebabkan air pada tanah mengalir sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengurangi kandungan air pada tanah lempung (Mitchell, 2005) berkurangnya air akan membuat daya dukung dan kuat geser tanah semakin meningkat.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh penggunaan elektroosmosis terhadap parameter kuat geser tanah lempung pada kondisi tanpa dan dengan *preloading*. Penelitian mengenai elektroosmosis yang pernah dilakukan adalah oleh Wibowo (2003). Dengan hasil bahwa semakin tinggi beda potensial yang diberikan semakin besar pula konsolidasi yang terjadi. Siong dan Agustino (2004) menyelidiki tentang pengaruh elektroosmosis terhadap konsolidasi tanah. Hasilnya bahwa pembebanan pada tanah lempung yang dibantu dengan elektroosmosis menghasilkan penurunan dan pengeluaran air yang lebih cepat dibanding dengan pembebanan biasa. Tjandra dan Gogot (2009) melakukan penelitian mengenai pengaruh elektroosmosis terhadap daya dukung tanah. Hasilnya bahwa terjadi penurunan kadar air disekitar anoda sehingga cenderung meningkatkan daya dukung tanah.

Tanah Lempung

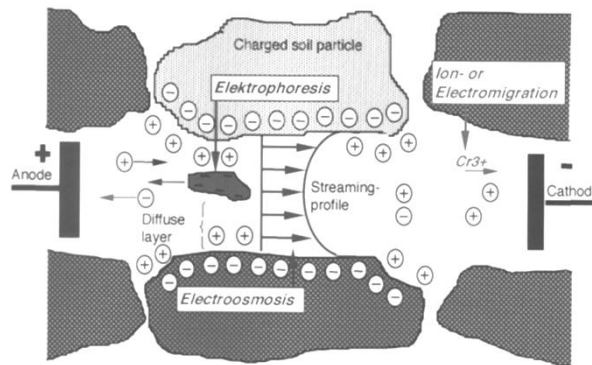
Tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikrokopis sampai dengan sub mikrokopis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung memiliki ukuran butiran halus yang lebih kecil dari 0,002 mm. Tanah lempung memiliki permeabilitas yang sangat rendah, bersifat sangat kohesif, proses konsolidasi lambat dan memiliki kadar kembang susut yang tinggi (Terzaghi, 1996; Hardiyatmo, 2006).

Gaya permukaan berperan penting pada perilaku tanah lempung. Permukaan partikel lempung yang bermuatan negatif cenderung akan menarik ion muatan positif (kation) yang ada pada air pori. Air ini juga dianggap dihisap ke permukaan partikel lempung (Dunn, 1980).

Fenomena Elektrokinetik

Fenomena elektrokinetik (lihat Gambar 1) merupakan kopel antara aliran listrik dan aliran fluida akibat adanya beda potensial listrik yang bekerja. Menurut Mitchell (2005) fenomena elektrokinetik dibagi menjadi empat macam, yaitu elektroforesis, elektromigrasi, aliran potensial, dan elektroosmosis.

Apabila suatu aliran listrik diberikan pada tanah lempung melalui dua buah elektroda. Maka partikel lempung yang bermuatan negatif akan tertarik secara elektrostatis menuju elektroda positif hal ini disebut elektroforesis. Ion-ion yang bermuatan akan bergerak menuju elektroda yang memiliki muatan yang berlawanan dengannya, pergerakan ion-ion ini dinamakan elektromigrasi. Sementara elektroosmosis merupakan proses mengalirnya air dari elektroda positif menuju elektroda negatif akibat adanya aliran potensial listrik.

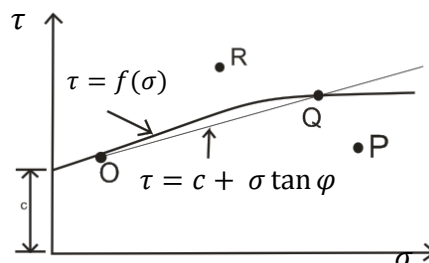


Gambar 1. Fenomena Elektrokinetik (Mosavat, 2012)

Kuat Geser

Kuat geser tanah merupakan gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap suatu desakan atau tarikan. Kuat geser diperlukan untuk analisis stabilitas lereng, kapasitas dukung tanah, dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Kekuatan geser tanah tergantung pada gaya-gaya yang bekerja antar butirannya (Wesley, 1977).

Kuat geser merupakan kontribusi dari gaya tarik antar partikel tanah yang sering disebut kohesi (c) dan gaya friksi (*friction force*) yang besarnya dipengaruhi oleh sudut geser dalam (ϕ). Couloumb (1776) menyatakan bahwa kekuatan geser tanah menunjukkan hubungan linier antara tegangan normal (σ) dan sudut geser dalam (ϕ) yang dinyatakan dalam Gambar 2 dan persamaan [1].



Gambar 2. Kriteria kegagalan Mohr Couloumb

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots [1]$$

Keterangan:

- τ = kekuatan geser tanah (kg/cm^2)
- σ = tegangan normal tanah (kg/cm^2)

- c = kohesi tanah (kg/cm^2)
 ϕ = sudut geser dalam ($^\circ$)

Cara untuk menentukan kuat geser tanah antara lain:

- Uji Geser Langsung (*direct shear test*)
- Uji Triaxial (*triaxial test*)
- Uji Tekan Bebas (*unconfined compression test*)
- Uji Geser Kipas (*vane shear test*)

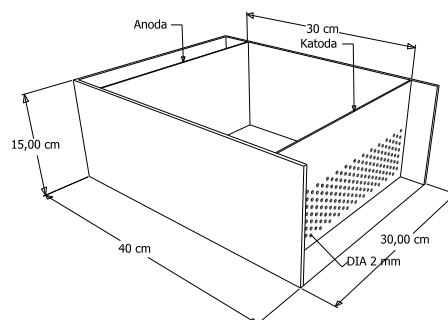
Preloading

Preloading merupakan salah satu metode perbaikan tanah yang bertujuan untuk menghilangkan atau mengurangi penurunan konsolidasi primer. *Preloading* dilakukan dengan cara memberikan beban pada tanah sebelum proses pembangunan dilaksanakan (Hardiyatmo, 2007). Selain berfungsi untuk mengurangi penurunan tanah, menurut Stamatopoulos dan Kotzias (1985) *preloading* juga mempunyai dampak lain terhadap tanah, yaitu menurunkan kadar air, menaikkan kuat geser, menaikkan *standart penetration resistance*, dan menurunkan permeabilitas tanah. Metode *preloading* yang paling sederhana adalah dengan cara memberikan timbunan di atas permukaan tanah yang kemudian diambil kembali setelah terjadi penurunan yang diharapkan.

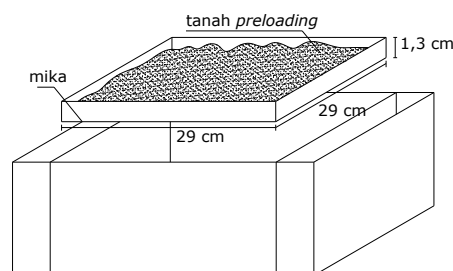
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan model fisik skala kecil di laboratorium. Penelitian ini menggunakan sampel tanah lempung yang diambil dari desa Jono kecamatan Tanon Kabupaten Sragen. Tanah yang diambil adalah contoh tanah terganggu (*disturb sample*). Sampel tanah diambil dengan cara mencangkul pada kedalaman 0,5 m dari permukaan tanah. Sampel tanah yang diambil masih dalam keadaan lembek dan banyak mengandung air, sampel tanah dikeringkan dengan cara dijemur di udara terbuka sehingga terbentuk gumpalan-gumpalan tanah kering. Sampel tanah yang berupa gumpalan kering kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian klasifikasi tanah berdasarkan USCS untuk mengetahui apakah tanah tersebut termasuk jenis tanah lempung atau tidak.

Pengujian elektroosmosis dilakukan dengan menggunakan box kaca dengan ukuran 40x30x15 cm. Elektroda yang dipakai terbuat dari bahan tembaga dengan jarak antar elektroda 30 cm, dengan bagian elektroda negatif (katoda) diberikan lubang sebagai jalan keluarnya air pada saat proses elektroosmosis (lihat Gambar.3). Sumber tegangan yang digunakan pada penelitian ini adalah adaptor dengan arus 5 ampere yang dapat menghasilkan beda potensial 3, 6, 9, dan 12 Volt DC. Pada penelitian ini menggunakan *preloading* berupa tanah timbunan dengan ketebalan 1,3 cm yang diberi lapisan mika pada dasar *preloading* agar pada saat proses pemberian *preloading* air yang keluar dari tanah dasar tidak terserap oleh tanah timbunan (lihat Gambar. 4).



Gambar 3. Model alat uji elektroosmosis



Gambar 4. Model *preloading*

Pengujian elektroosmosis dilakukan dengan cara memberikan beda potensial arus DC melalui elektroda. Pengujian dilakukan selama 3 hari pada sampel tanah yang telah dijenuhkan selama 96 jam. Nilai parameter kuat geser tanah didapatkan dari uji geser langsung terhadap sampel yang diambil dari box pengujian. Jumlah sampel yang diambil adalah 3 pada setiap titik pengamatan, dengan jumlah titik pengamatan 3 yaitu pada posisi disekitar anoda, di tengah, dan di sekitar katoda. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara parameter kuat geser tanah dengan variasi beda potensial. Setiap variasi beda potensial diperoleh tiga nilai parameter kuat geser yang diambil dari tiga titik yang berbeda. Pembahasan dilakukan pada posisi anoda dan katoda, yang disajikan dalam tabel dan grafik hubungan antara kohesi (c) dengan variasi beda potensial dan sudut geser dalam (ϕ) dengan variasi beda potensial.

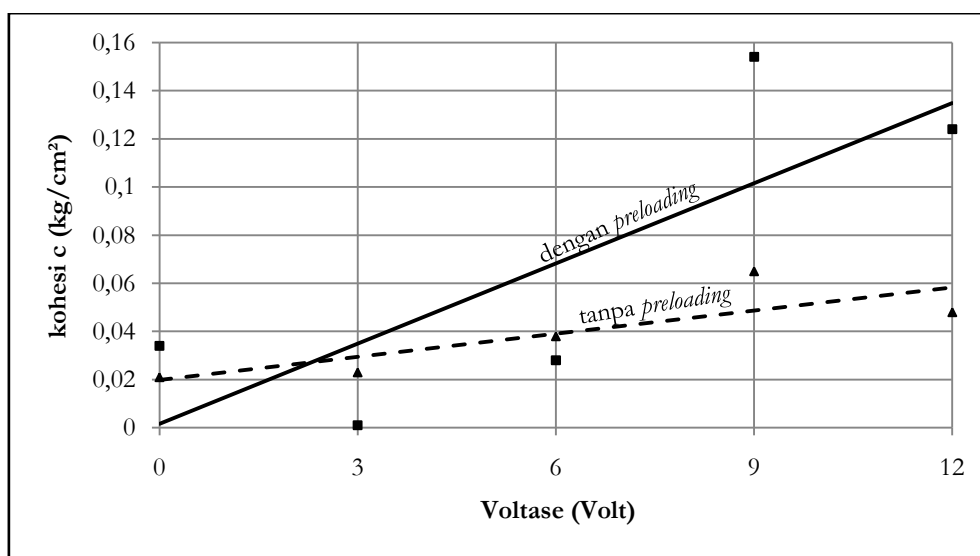
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari uji klasifikasi tanah didapatkan prosentase gradasi butiran kasar tanah adalah 1,78 % dan butiran halus adalah 98,22 %, sementara dari pengujian *Atterberg Limit* didapatkan nilai batas cair (Liquid Limit) sebesar 87,36 %, batas cair 33,37 %. Dari hasil tersebut maka tanah sampel termasuk ke dalam tanah lempung dengan plastisitas tinggi (CH).

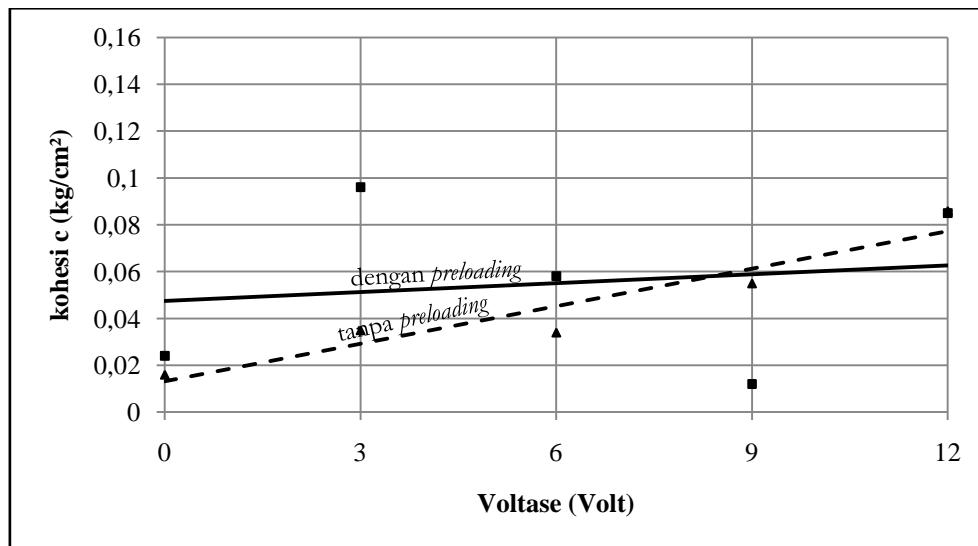
Hasil dari uji geser langsung diperoleh nilai kohesi berdasarkan variasi beda potensial, disajikan dalam Tabel 1, Gambar 5, dan Gambar 6.

Tabel 1. Hasil perhitungan nilai kohesi (c)

Posisi	Voltase (Volt)	Kohesi (kg/cm ²)	
		tanpa preloading	dengan preloading
Anoda	0	0,021	0,034
	3	0,023	0,001
	6	0,038	0,028
	9	0,065	0,154
	12	0,048	0,124
Katoda	0	0,016	0,024
	3	0,035	0,096
	6	0,034	0,058
	9	0,055	0,012
	12	0,086	0,085



Gambar 5. Hubungan antara besarnya beda potensial dengan nilai kohesi (c) pada posisi anoda



Gambar 6. Hubungan antara besarnya beda potensial dengan nilai kohesi (c) pada posisi katoda

Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa terjadi kenaikan nilai kohesi setelah penerapan metode elektroosmosis pada tanah tersebut. Kohesi pada posisi anoda mengalami kenaikan sebesar 9,52 %, sementara pada posisi katoda kohesi mengalami kenaikan sebesar 118,75 % setelah pemberian beda potensial sebesar 3 Volt.

Hal ini karena metode elektroosmosis mampu mengurangi kadar air pada tanah lempung. Pada saat kadar air tanah berkurang, air lapisan ganda yang mengelilingi partikel lempung semakin menipis, sehingga membuat jarak antar partikel lempung semakin mendekat. Hal ini membuat gaya tarik-menarik antar partikel yang diakibatkan oleh ikatan hidrogen dan gaya van der Waals semakin menguat, sehingga menaikkan nilai kohesi tanah lempung.

Nilai kohesi (*tanpa preloading*) tanah terus mengalami kenaikan seiring dengan variasi beda potensial yang semakin besar baik pada posisi anoda maupun katoda. Hal ini karena semakin besar beda potensial yang diberikan pada tanah, semakin besar pula jumlah air yang keluar, ini berarti kadar air tanahnya juga semakin kecil dan butiran tanah semakin rapat satu sama lain sehingga membuat nilai kohesi semakin besar. Nilai kohesi terbesar pada posisi anoda terjadi pada pemberian beda potensial 9 volt, yaitu 0,065 kg/cm². Sedangkan pada posisi katoda, kohesi terbesar didapatkan setelah pemberian beda potensial 12 volt, yaitu sebesar 0,086 kg/cm².

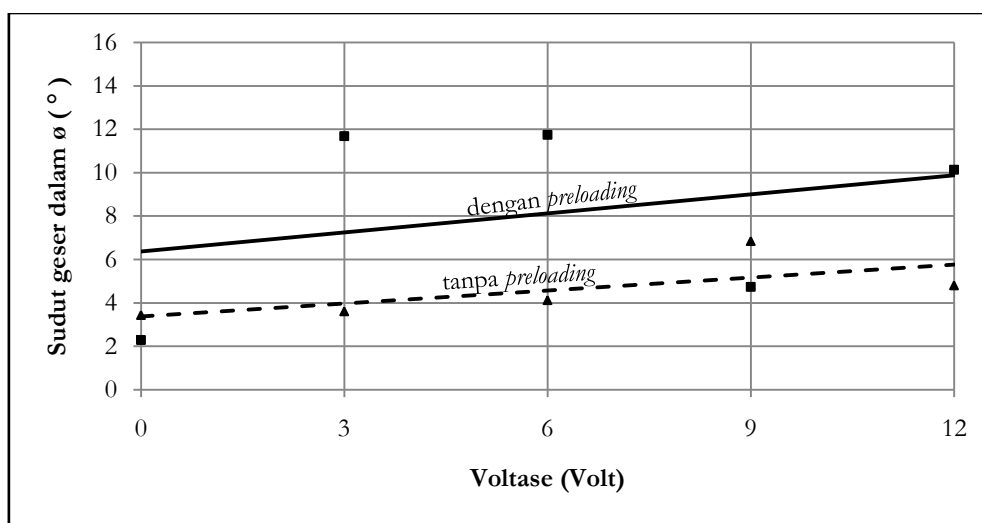
Penggunaan *preloading* cenderung menaikkan nilai kohesi tanah pada posisi anoda (Gambar 5). Tetapi pada awal penerapan *preloading* di posisi anoda, pengaruh *preloading* sangat kecil. Hal ini karena sifat tanah lempung yang mempunyai permeabilitas yang rendah, dan beban *preloading* belum mampu mendesak air keluar dari tanah. Setelah penerapan beda potensial 3 volt, kohesi mengalami kenaikan yang cukup signifikan, yaitu 158 % yang didapat setelah penerapan beda potensial 12 volt.

Gambar 6 menyatakan hubungan nilai kohesi pada kondisi tanpa dan dengan *preloading* pada posisi katoda. Gambar 6 menunjukkan bahwa penggunaan *preloading* cenderung menaikkan nilai kohesi pada awal-awal penerapannya, yaitu pada beda potensial 3 dan 6 volt, dengan kenaikan nilai kohesi tertinggi adalah 174 %. Sedangkan pada beda potensial 9 dan 12 volt, penggunaan *preloading* justru menurunkan nilai kohesi tanah.

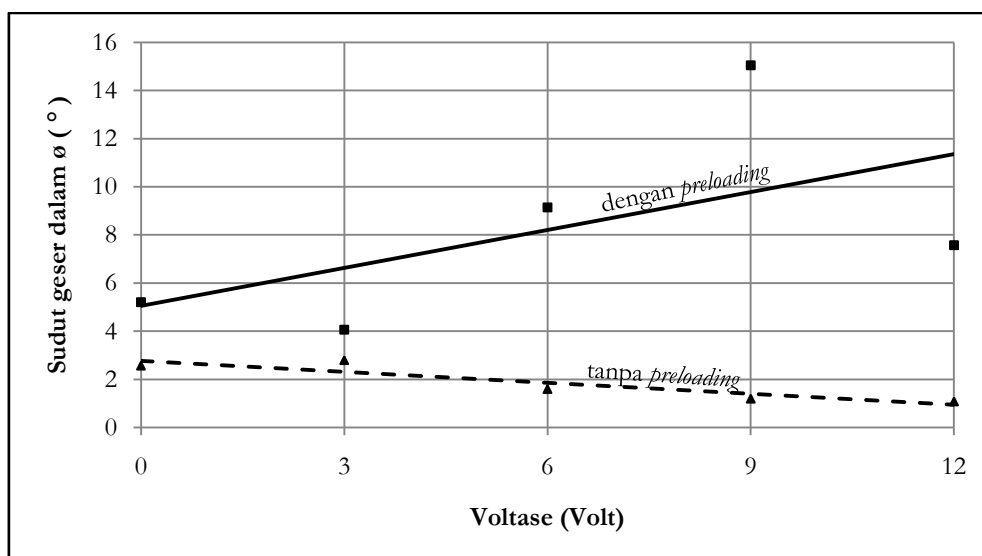
Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada sampel hasil uji elektroosmosis, didapatkan nilai sudut geser dalam tanah yang disajikan dalam Tabel 2 yang kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik dalam Gambar 7 dan Gambar 8.

Tabel 2. Hasil perhitungan nilai sudut geser dalam (ϕ)

Posisi	Voltase (Volt)	Sudut geser dalam ($^{\circ}$)	
		tanpa <i>preloading</i>	dengan <i>preloading</i>
Anoda	0	3,432	2,290
	3	3,603	11,690
	6	4,117	11,745
	9	6,840	4,743
	12	4,800	10,144
Katoda	0	2,576	5,198
	3	2,804	4,060
	6	1,603	9,142
	9	1,203	15,050
	12	1,088	7,573



Gambar 7. Hubungan antara besarnya beda potensial dengan sudut geser dalam (ϕ) pada posisi anoda



Gambar 8. Hubungan antara besarnya beda potensial dengan sudut geser dalam (ϕ) pada posisi katoda

Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan bahwa pada metode elektroosmosis tanpa *preloading* nilai sudut geser dalam tanah pada posisi anoda mengalami kenaikan setelah diberikan beda potensial 3 volt pada tanah lempung je-nuh. Sudut geser dalam pada anoda mengalami kenaikan sebesar 4,98 %. Sedangkan pada posisi katoda kenaikan terjadi sebesar 8,85 % Kenaikan nilai sudut geser dalam ini dikarenakan pada saat beda potensial diberikan pada

tanah lempung jenuh, air pori tanah akan berkurang dan membuat butiran tanah semakin rapat satu sama lain. Merapatnya butiran tanah akan membuat sudut yang dibentuk dari pergeseran antar butiran tanah semakin besar, sehingga menaikkan sudut geser dalam tanah.

Pada metode elektroosmosis tanpa *preloading* (Gambar 7), menunjukkan kecenderungan bahwa semakin besar variasi beda potensial yang diberikan nilai sudut geser juga mengalami kenaikan. Nilai sudut geser dalam terbesar didapatkan pada saat pemberian beda potensial 9 volt, yaitu $6,84^\circ$. Kenaikan ini dikarenakan semakin besar variasi beda potensial yang diberikan, air yang keluar dari dalam box semakin banyak. Ini berarti butiran tanah juga semakin rapat. Merapatnya butiran tanah membuat nilai sudut geser dalam semakin tinggi.

Pola yang berbeda ditunjukkan pada pengujian elektroosmosis tanpa *preloading* posisi katoda (Gambar 8), pada posisi ini semakin besar variasi beda potensial yang diberikan setelah 3 volt, nilai sudut geser dalam cenderung mengalami penurunan.

Gambar 7 menyatakan nilai kohesi pada kondisi tanpa dan dengan *preloading* pada posisi anoda. Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai sudut geser dalam yang didapatkan pada kondisi dengan *preloading* lebih besar daripada kondisi tanpa *preloading*. Ini berarti bahwa penggunaan *preloading* mampu menaikkan sudut geser dalam tanah. Kenaikan yang terbesar mencapai 224,25 %. Sementara pada posisi katoda (Gambar 8) menunjukkan pola yang hampir sama. Penggunaan *preloading* mampu menaikkan sudut geser dalam yang cukup signifikan. Kenaikan tertinggi terjadi pada saat pemberian beda potensial 9 volt.

Kenaikan ini dikarenakan pada saat elektroosmosis dan *preloading* diberikan secara bersamaan, air pori dalam tanah keluar lebih cepat. Pada saat proses elektroosmosis air dari anoda akan menuju katoda dan keluar melewati lubang katoda. Sementara itu adanya beban yang bekerja dari atas membuat air yang mengalir akibat proses elektroosmosis akan dialirkan lebih cepat, sehingga kadar air akan turun lebih cepat daripada metode elektroosmosis tanpa *preloading*. Selain itu pemberian beban dari atas akan mendesak butiran tanah yang telah kehilangan air pori semakin rapat dan tanah menjadi lebih padat, sehingga akan memperbesar sudut geser dalamnya.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan elektroosmosis pada tanah lempung dapat menaikkan nilai kohesi sebesar 9,52 % pada posisi anoda, 118,75 % pada posisi katoda dan sudut geser naik sebesar 4,98 % dan 8,85 % pada posisi anoda dan katoda.
2. Berdasarkan variasi beda potensial listrik, kohesi dan sudut geser dalam setelah penerapan elektroosmosis cenderung mengalami kenaikan. Nilai kohesi terbesar pada anoda, katoda adalah $0,065 \text{ kg/cm}^2$; $0,086 \text{ kg/cm}^2$. Nilai sudut geser dalam terbesar pada anoda $6,840^\circ$. Sedangkan pada posisi katoda, nilai sudut geser dalam cenderung mengalami penurunan.
3. Nilai parameter kuat geser tanah yang didapatkan pada metode elektroosmosis dengan *preloading* lebih besar daripada metode elektroosmosis tanpa *preloading*. Penggunaan *preloading* mampu menaikkan kohesi pada anoda sebesar 158 %, pada katoda sebesar 174 % dan menaikkan sudut geser sebesar 224, 25 %. Penggunaan *preloading* paling efektif pada beda potensial 12 volt, karena mampu menurunkan kadar air paling banyak.

REKOMENDASI

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memperbanyak variasi beda potensial dan jarak elektroda untuk mendapatkan parameter kuat geser yang optimum.
2. Melakukan penelitian dengan variasi waktu proses elektroosmosis, sehingga didapat waktu yang paling optimum.
3. Perlu dilakukan penelitian elektroosmosis dengan siklus pembasahan dan pengeringan yang berulang-ulang, untuk mengetahui dampak permanen dari elektroosmosis.
4. Perlu dilakukan dengan meninjau efek elektrokimia setelah dilakukan proses elektroosmosis terhadap parameter kuat geser dan indeks plastisitas tanah.
5. Melakukan penelitian dengan model yang lebih besar, dan memperbanyak jumlah titik ambil sampel sehingga dapat menentukan efek elektroosmosis pada posisi anoda, tengah, dan katoda.
6. Perlu metode yang lebih cermat dalam pengambilan sampel geser dan macam pengujian, metode pengujian dapat dilakukan dengan metode *vane shear test* agar data yang diperoleh lebih akurat.
7. Perlu dilakukan penelitian dengan mengamati jalur aliran proses elektroosmosis dengan pewarna atau kapur.

REFERENSI

- Alwan, I., dan Indarto. 2009. *Pengaruh Variasi Kadar Air Terhadap Daya Dukung Pondasi Tiang Type Friction Pile pada Tanah Ekspansif*. Paper ITS Master. Institut Teknologi Surabaya. Surabaya.
- Dunn, I.S., Anderson, L.R., Kiefer, F.W. 1980. *Dasar-Dasar Analisis Geoteknik*. Semarang: IKIP Semarang Press
- Fourie, A.B. Johns, D.G. Jones, C.J.F.P. 2007. *Dewatering of Mine Tailings using Electrokinetic Geosynthetics*. Can. Geotech. J. Canada: NRC Research Press
- Hardiyatmo, H.C. 2006. *Mekanika Tanah I*. edisi keempat. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H.C. 2007. *Mekanika Tanah II*. edisi keempat. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hidayati, A., dan Ardana, M. 2008. *Kombinasi Preloading dan Penggunaan Pre-Fabricated Vertical Drains untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil. Vol.12 (Juli). hal. 187-195
- Jones, Colin, J.F.P. Lamont-Black, J. Glendinning, S. 2010. *Electrokinetic Geosynthetics in hydraulic applications*. Elsevier Ltd
- Jones, C.J.F.P. Glendinning, S., and Huntley, D.T. Lamont-Black, J. 2006. *Soil Consolidation and Strengthening using Electrokinetic Geosynthetics – Concepts and Analysis*. Rotterdam: Millpress.
- Lamont-Black, J. And Weltman, A. 2010. *Electrokinetic Strengthening and Repair of Slopes*. Technical Note Ground Engineering April 2010
- Mitchell, J.K. and Soga, K. 2005. *Fundamentals of Soil Behavior*. Third Edition. New Jersey: John Wiley & Sons inc.
- Mosavat, N., Erwin Oh, Chai, G. 2012. *A Review of Electrokinetic Treatment Technique for Improving the Engineering Characteristics of Low Permeable Problematic Soils*. International Journal of Geomate. Japan
- Siong, I., dan Agustino, A. 2004. *Pengaruh Elektroosmosis Terhadap Penurunan Tanah*. Skripsi Sarjana. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- Stramatopoulos, Aris C. and Kotzias, Panagiotis C. 1985. *Soil Improvement by Preloading*. USA: John Willey & Sons Inc.
- Terzaghi, Karl, Peck, Ralph, B. Mesri, G.1996. *Soil Mechanics In Engineering Practice*. Third Edition. New York : John Willey & Sons Inc.
- Tjandra, D. dan Gogot, S.B. 2009. *Pengaruh Elektrokinetik Terhadap Peningkatan Daya Dukung Tanah Lempung Lunak*. Full Paper-PIT XIII HATTI.
- Wesley, L. D. 1977. *Mekanika Tanah*. Cetakan keenam. Jakarta: Penerbit PU
- Wibowo, B. 2003. *Uji Model Elektroosmosis pada Tanah Lempung*, Skripsi Sarjana. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.