

PENGUNAAN METODE ELEKTROSMOSIS PADA TANAH LEMPUNG YANG DITAMBAH ABU AMPAS TEBU DITINJAU DARI PARAMETER KUAT GESER TANAH (UJI MODEL FISIK SKALA KECIL DI LABORATORIUM)

Andi Tri Utomo¹⁾, Niken Silmi Surjandari²⁾, Noegroho Djarwanti³⁾

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

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

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

ABSTRACT

A building that is built on clay soil will encounter many problems. Soil stabilization is a soil improvement to make it better. Electroosmosis is a method to reduce the water content in the clay soil using direct current (DC). The purpose of this study was to determine the shear strength parameters change of clay plus bagasse ash after the electroosmosis method with and without preloading with variations of potential difference. This study uses electroosmosis on clay plus bagasse ash with a percentage of 10%. Electroosmosis model was formed in box size of 30 × 30 × 15 cm. The potential difference is 0, 3, 6, 9 and 12 volts. Electroosmosis test was conducted in with and without preloading. The observations that is made are the soil shear strength parameters. It is value of cohesion (c) and the friction angle (φ). Results of soil shear strength parameters (Direct Shear Test) showed that the higher the potential was applied in electroosmosis test with and without preloading on original clay and clay soil plus bagasse ash, the bigger cohesion (c) and the friction angle (φ) value. Electroosmosis test with preloading of original clay soil and clay soil plus bagasse ash 10% produce c and φ values that is greater than when without preloading.

Keywords : Direct Shear Test, electroosmosis, clay, bagasse ash

ABSTRAK

Suatu bangunan yang didirikan diatas tanah lempung akan banyak menemui masalah. Stabilisasi tanah adalah perbaikan tanah agar menjadi lebih baik. Elektroosmosis merupakan metode untuk mengurangi kadar air pada tanah lempung dengan menggunakan arus listrik searah (DC). Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perubahan parameter kuat geser tanah lempung yang ditambah abu ampas tebu setelah penggunaan metode elektroosmosis tanpa beban awal dan dengan beban awal secara variasi beda potensial. Penelitian ini menggunakan metode elektroosmosis pada tanah lempung yang ditambah abu ampas tebu dengan persentase 10% dari berat sampel. Model elektroosmosis berbentuk box ukuran 40 x 30 x 15 cm, beda potensial 0, 3, 6, 9 dan 12 volt dan diberi perlakuan tanpa beban awal dan dengan beban awal. Pengamatan yang dilakukan adalah parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi (c) dan nilai sudut geser dalam (φ) dengan uji direct shear test. Hasil parameter kuat geser tanah menunjukkan bahwa semakin tinggi beda potensial yang diberikan pada uji elektroosmosis dengan beban awal dan tanpa beban awal pada tanah lempung asli dan tanah lempung yang ditambah abu ampas tebu, semakin besar nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ). Pada uji elektroosmosis dengan beban awal pada tanah lempung asli dan tanah lempung yang ditambah abu ampas tebu 10% menghasilkan nilai c dan φ lebih besar dari pada saat tanpa beban awal.

Kata kunci : Direct Shear Test, elektroosmosis, lempung, abu ampas tebu

PENDAHULUAN

Suatu bangunan yang didirikan di atas tanah lempung dengan kadar air tinggi akan banyak menemui masalah terutama yang berkaitan dengan rendahnya daya dukung tanah dan besarnya penurunan yang akan terjadi setelah bangunan didirikan diatasnya. Hal ini disebabkan karena tingginya kadar air dalam tanah yang dapat menyebabkan hilangnya lekatan antar butir, sehingga diperlukan penanganan untuk memperbaiki tanah tersebut supaya kondisi tanah layak untuk didirikan suatu bangunan. Penelitian ini dilakukan percobaan dengan model fisik skala kecil di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret terhadap permasalahan tanah lempung yang ditambah abu ampas tebu dengan menggunakan metode elektroosmosis bertujuan mengetahui perubahan parameter kuat geser tanah.

Tanah lempung terdiri atas butiran yang sangat kecil dan memiliki sifat kohesi dan plastisitas tinggi. Sifat ini tidak ditemukan pada pasir dan kerikil. Sifat kohesi berarti butiran-butirannya saling menempel, sedangkan plastisitas

adalah sifat yang memungkinkan tanah dapat berubah bentuk tanpa mengubah volume dan tidak menyebabkan retak atau pecah (Wesley, 2012).

Stabilisasi adalah perbaikan tanah dilakukan dengan cara mencampur tanah asli dengan bahan penguat dari luar secara setempat. Stabilisasi bertujuan untuk merubah struktur tanah atau sifat tanah sehingga dapat untuk memenuhi persyaratan dalam meningkatkan daya dukung tanah. Tanah yang tidak memenuhi persyaratan tersebut mungkin mempunyai sifat perembesan yang tinggi, daya dukung sangat rendah, atau sifat-sifat lain yang membuat tanah tersebut tidak layak atau tidak sesuai digunakan sebagai tanah dasar (Dhamis, 2012).

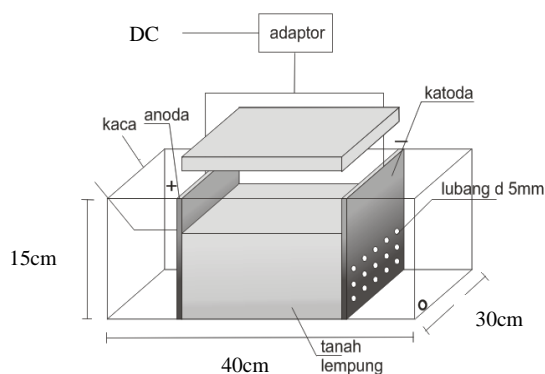
Abu ampas tebu adalah sisa hasil pembakaran dari ampas tebu. Ampas tebu itu sendiri adalah hasil limbah buangan yang melimpah dari proses pembuatan gula. Pemanfaatan abu ampas tebu ini sering diabaikan atau belum digunakan secara optimal, padahal didalamnya terkandung senyawa-senyawa kimia yang potensial untuk stabilisasi tanah. Pengujian abu ampas tebu untuk mengetahui komposisi kimia dengan uji *X-ray fluorescence* (XRF). Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi kimia abu ampas tebu

Unsur	Konsentrasi	Unsur	Konsentrasi	Unsur	Konsentrasi
SiO ₂	67,33%	SO ₃	2,81%	Nd ₂ O ₃	0,05%
CaO	12,51%	MgO	2,04%	CuO	0,05%
K ₂ O	4,11%	Cl	0,46%	V ₂ O ₅	0,02%
Al ₂ O ₃	3,45%	TiO ₂	0,28%	ZrO ₂	0,02%
Fe ₂ O ₃	3,39%	MnO	0,27%	Rb ₂ O	0,02%
P ₂ O ₅	3,10%	ZnO	0,05%	Cr ₂ O ₃	0,01%

Sumber: (Hasil uji XRF Lab. MIPA Terpadu UNS, 2013)

Elektroosmosis adalah salah satu metode drainase dengan menggunakan arus listrik satu arah (DC) secara langsung. Arus listrik ini akan mengikat air dan membawanya bergerak mengikuti arah aliran listrik tersebut. Jika dua elektroda dipasang pada air jenuh dan dialirkan listrik, maka air yang terkandung di dalam tanah akan bergerak dari elektroda positif menuju elektroda negatif (Wibowo, 2003).

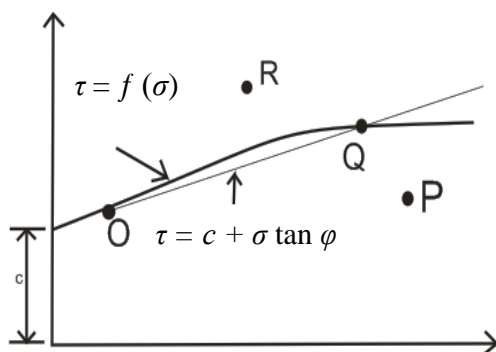


Gambar 1. Model elektroosmosis tampak samping

Perbaikan tanah dengan teknik pemberian beban awal (*preloading*) ini terutama ditujukan untuk tanah-tanah yang mengalami penurunan yang besar bila dibebani. Memampatkan tanah lembek dan mudah mampat dapat menyebabkan peningkatan kekuatan tanah atau daya dukung tanah, karena tanah yang memampat mempunyai struktur susunan yang lebih rapat dan kokoh. Apabila bangunan yang direncanakan berdiri diatas beberapa lapisan tanah liat yang memadat maka penurunan hanya tergantung pada sifat fisik tanah, intensitas dan distribusi dari tekanan vertikal dari lapisan tanah lunak tersebut sedangkan berat bangunan diasumsikan merata (Hidayati dan Ardana, 2008).

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah persatuan luas terhadap suatu desakan atau tarikan sepanjang bidang geser tanah yang dimaksud. Pengujian kuat geser tanah 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). (Coulomb, 1773) menyatakan bahwa kekuatan geser tanah menunjukkan hubungan linier antara tegangan normal (σ) dan tegangan geser tanah (τ) yang dinyatakan pada Gambar 2 dan Persamaan [1].



Gambar 2. Kriteria kegagalan Mohr Coulomb (1773)

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

dengan :

- τ = tegangan geser tanah (kg/cm²)
- σ = tegangan normal tanah (kg/cm²)
- c = kohesi tanah (kg/cm²)
- φ = sudut geser dalam (°)

Pada tanah lempung, parameter yang paling dominan adalah kohesi, sedang pada tanah berbutir kasar yang berpengaruh adalah gaya friksi. Untuk mendapatkan parameter kuat geser tanah (c) dan (φ) dapat dilakukan dengan berbagai metode pengujian.

METODE PENELITIAN

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui parameter kuat geser tanah lempung yang ditambah abu ampas tebu sebesar 10% dari berat sampel. Pada menggunakan metode elektroosmosis tanpa beban awal dan dengan beban awal pada beberapa variasi beda potensial. Bahan yang digunakan berupa sampel tanah diambil dari desa Jono, kecamatan Tanon, kabupaten Sragen pada kedalaman 0,5 sampai 1 meter dengan kondisi sampel tanah terganggu (*disturbed sample*). Bahan campuran abu ampas tebu diambil dari Pabrik Gula Mojo, Sragen. Peralatan yang digunakan dalam pengujian utama adalah kuat geser tanah (*Direct Shear Test*) berada di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Sebelas Maret Surakarta.

HASIL DAN ANALISIS

Hasil pengujian indeks proptertis tanah lempung Tanon memperoleh *specific gravity* (G_s) sebesar 2,62. Distribusi ukuran butiran tanah termasuk jenis berbutir halus yang terdiri dari lanau dan lempung sebesar 98,22 %. Pengujian batas-batas konsistensi tanah (*Atterberg limit*) memperoleh batas cair (LL) 87,35% dan batas plastis (PL) 33,37% serta indeks plastisitas (PI) sebesar 53,98%. Berdasarkan diagram plastisitas, tanah Tanon termasuk dalam kelompok CH yaitu golongan lempung anorganik dengan plastisitas tinggi.

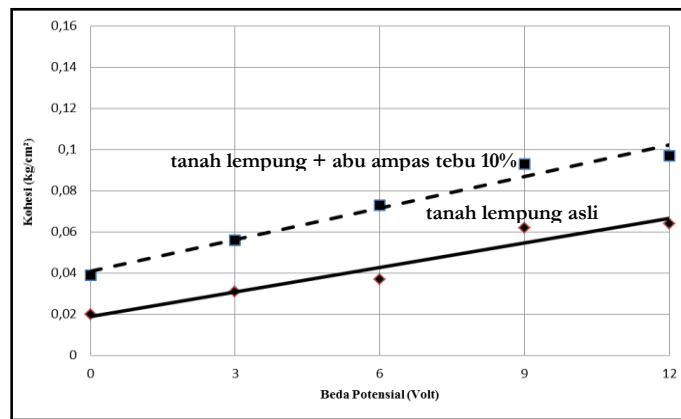
Pengujian Utama

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui parameter kuat geser tanah lempung yang ditambah abu ampas tebu 10%, setelah penggunaan metode elektroosmosis tanpa beban awal dan dengan beban awal pada beda potensial. Sebagai perbandingan digunakan data dari penelitian Atmaja (2013), tentang Pengaruh Elektroosmosis Pada Tanah Lempung Terhadap Parameter Kuat Geser Tanah. Hasil dan analisis pada masing-masing parameter kuat geser langsung yang diamati sebagai berikut :

Hubungan Parameter Kuat Geser Tanah dengan Metode Elektroosmosis tanpa beban awal

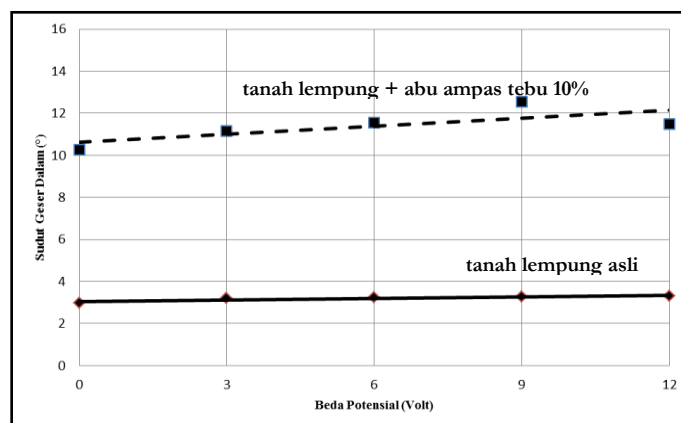
Tabel 2. Hasil perhitungan nilai (c) dan sudut geser dalam ($^{\circ}$) pada metode elektroosmosis tanpa beban awal

Beda potensial (DC) (Volt)	Tanpa beban awal			
	Tanah lempung asli		Tanah + abu ampas tebu 10%	
	(Atmaja, 2013)		(Hasil penelitian)	
	Kohesi (kg/cm ²)	Sudut geser dalam ($^{\circ}$)	Kohesi (kg/cm ²)	Sudut geser dalam ($^{\circ}$)
0	0,020	2,99	0,039	10,27
3	0,031	3,22	0,056	11,15
6	0,037	3,24	0,073	11,56
9	0,062	3,27	0,093	12,53
12	0,064	3,29	0,097	9,16



Gambar 3. Grafik hubungan antara beda potensial dan kohesi tanpa beban awal

Grafik pada Gambar 3. Setelah dilakukan menggunakan metode elektroosmosis tanpa beban awal pada beda potensial memperlihatkan nilai kohesi (c) semakin meningkat. Hal ini menunjukkan pada tanah lempung yang jenuh air memiliki muatan negatif jika dialirir listrik, kation akan ditarik menuju katoda dan anion menuju anoda. Seiring dengan pergerakannya ion membawa serta air hidrasi dan mendesak hambatan kekentalan dari air yang mengelilingi mereka, karena terdapat lebih banyak terdapat kation daripada anion pada permukaan lempung yang bermuatan negatif maka aliran air akan menuju katoda atau air keluar model. Semakin tinggi beda potensial pada, maka semakin banyak air yang dapat dikeluarkan, sehingga penurunan kadar air tanah semakin besar.



Gambar 4. Grafik hubungan antara beda potensial dan sudut geser dalam tanpa beban awal

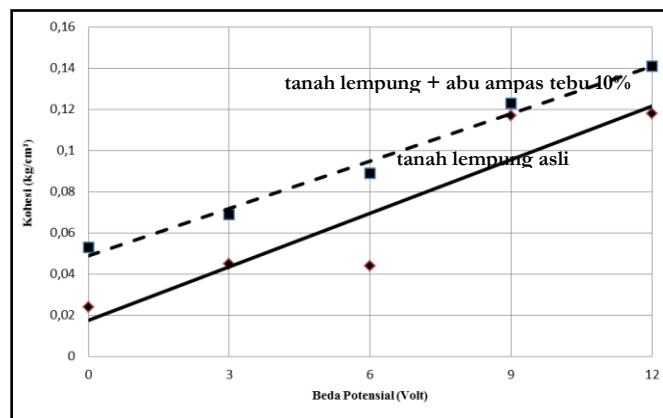
Grafik pada Gambar 4. menunjukkan bahwa nilai sudut geser dalam (ϕ) pada tanah lempung yang ditambahkan abu ampas tebu 10% lebih besar, dibandingkan tanah asli. Hal ini disebabkan oleh butiran yang terjadi akibat pencampuran abu ampas tebu secara acak, tercipta ikatan dengan butiran-butiran tanah sehingga banyak butiran yang

lebih kasar. Akibat butiran banyak yang kasar sehingga bidang kontak antar butiran bertambah, sudut geser yang terjadi semakin besar yang berarti nilai koefisien gesek meningkat.

Hubungan Parameter Kuat Geser Tanah dengan Metode Elektroosmosis Dengan Beban Awal

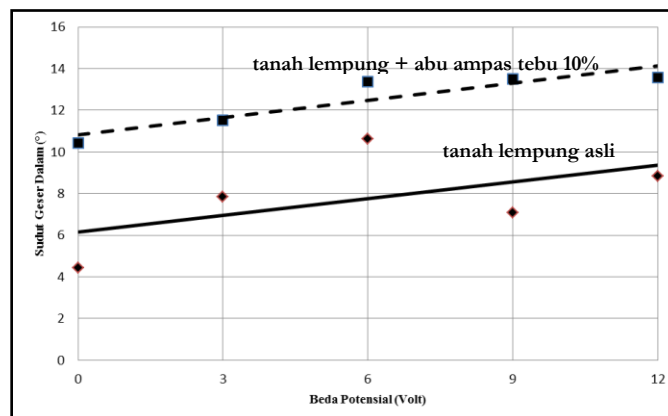
Tabel 3. Hasil perhitungan nilai (c) dan sudut geser dalam ($^{\circ}$) pada metode elektroosmosis dengan beban awal

Beda potensial (DC) (Volt)	Dengan beban awal			
	Tanah lempung asli (Atmaja, 2013)		Tanah + abu ampas tebu 10% (Hasil penelitian)	
	Kohesi (kN/cm ²)	Sudut geser dalam ($^{\circ}$)	Kohesi (kN/cm ²)	Sudut geser dalam ($^{\circ}$)
0	0,025	4,60	0,053	10,44
3	0,046	8,11	0,069	11,52
6	0,044	10,99	0,089	13,36
9	0,121	7,33	0,123	13,50
12	0,122	9,17	0,141	13,54



Gambar 5. Grafik hubungan antara beda potensial dan kohesi dengan beban awal

Berdasarkan grafik pada Gambar 5. terlihat hasil uji kuat geser langsung setelah dilakukan pengujian menggunakan metode elektroosmosis dengan beban awal pada beda potensial, maka mengalami peningkatan nilai kohesi. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh perubahan beda potensial pada penggunaan metode elektroosmosis memperlihatkan perilaku yang sama pada semua metode pengujian yaitu dapat meningkatnya nilai kohesi pada voltase yang lebih besar, dikarenakan pada penggunaan metode elektroosmosis arus listrik mengikat air dan membawanya bergerak mengikuti arah aliran listrik yaitu dari elektroda (+) (anoda) menuju elektroda (-) (katoda). Semakin tinggi arus listrik yang dialirkan maka semakin tinggi penurunan kadar air dan semakin sedikit waktu yang dibutuhkan pada saat dengan beban awal dan dengan beban awal maka tingkat kerapatan tanah akan meningkat, sehingga mempercepat proses konsolidasi tanah menjadi lebih padat.



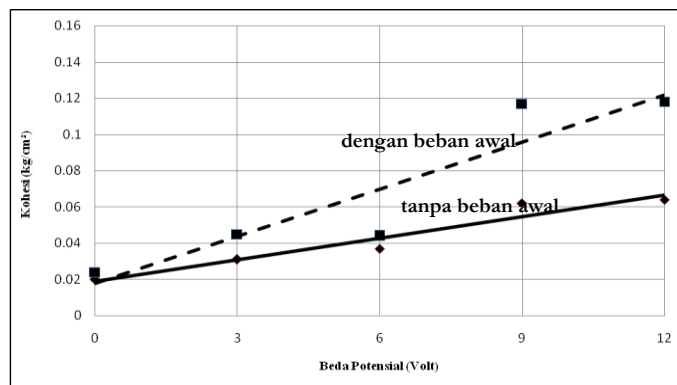
Gambar 6. Grafik hubungan antara beda potensial dan sudut geser dalam dengan beban awal

Dari grafik pada Gambar 6. dapat terlihat hasil uji parameter kuat geser langsung menunjukkan bahwa semakin besar kerapatan relatif pada voltase yang lebih tinggi, maka semakin meningkat nilai sudut geser dalam (φ) pada tanah lempung yang ditambahkan abu ampas tebu lebih besar, dibandingkan dengan tanah asli. Hal ini akibat pencampuran tanah lempung dengan abu ampas tebu secara acak, tercipta suatu ikatan antara butiran tanah sehingga dapat memperkuat tanah dalam menahan gaya geser.

Hubungan Parameter Kuat Geser Tanah Lempung Asli Menggunakan Metode Elektroosmosis Tanpa Beban Awal Dan Dengan Beban Awal

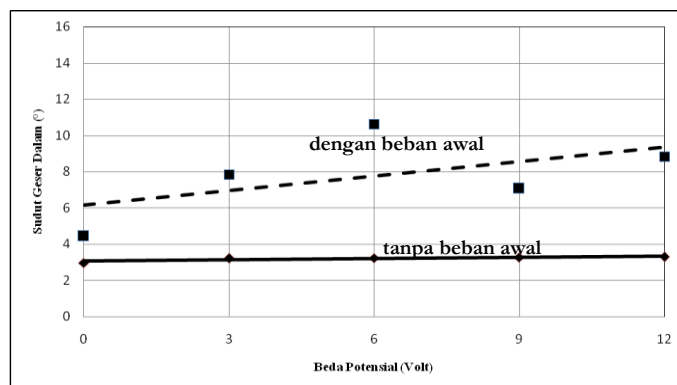
Tabel 4. Hasil perhitungan nilai (c) dan sudut geser dalam ($^{\circ}$) pada metode elektroosmosis tanpa beban dan dengan beban awal

Beda potensial (DC) (Volt)	Tanah lempung asli (Atmaja, 2013)			
	Tanpa beban awal		Dengan beban awal	
	Kohesi (kg/cm ²)	Sudut geser dalam ($^{\circ}$)	Kohesi (kg/cm ²)	Sudut geser dalam ($^{\circ}$)
0	0,020	2,99	0,025	4,60
3	0,031	3,22	0,046	8,11
6	0,037	3,24	0,044	10,99
9	0,062	3,27	0,121	7,33
12	0,064	3,29	0,122	9,17



Gambar 7. Grafik hubungan antara beda potensial dan kohesi tanpa beban awal dan dengan beban awal

Berdasarkan grafik pada Gambar 7. terlihat bahwa nilai kohesi pada tanah lempung asli pada penggunaan metode elektroosmosis dengan beban awal secara beda potensial memperlihatkan nilai lebih besar, daripada saat kondisi tanpa beban awal. Hal ini disebabkan karena dengan beban awal yang membuat air terkandung dalam tanah segera terdorong mencari rongga yang lebih besar atau keluar model, sehingga mempercepat proses konsolidasi tanah menjadi lebih padat dan mengakibatkan waktu menjadi lebih cepat.



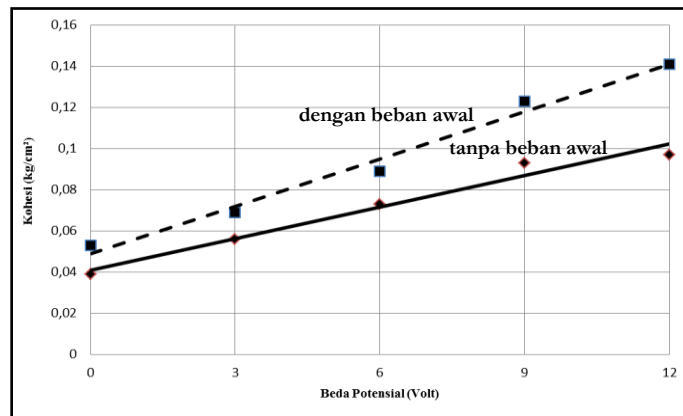
Gambar 8. Grafik hubungan antara beda potensial dengan sudut geser dalam tanpa beba dan dengan beban awal

Berdasarkan pada Gambar 8. dapat dilihat bahwa nilai sudut geser dalam (ϕ) tanah lempung asli pada penggunaan metode elektroosmosis dengan beban awal pada beda potensial memperlihatkan nilai lebih besar, daripada saat kondisi tanpa beban awal. Hal ini diakibatkan karena efek penurunan kadar air tanah lebih besar akibat pemberian beban awal, sehingga membuat komposisi butiran tanah menjadi lebih besar.

Hubungan Parameter Kuat Geser Tanah Lempung Yang Ditambah Abu Ampas Tebu 10% Menggunakan Metode Elektroosmosis Tanpa Beban Awal Dan Dengan Beban Awal

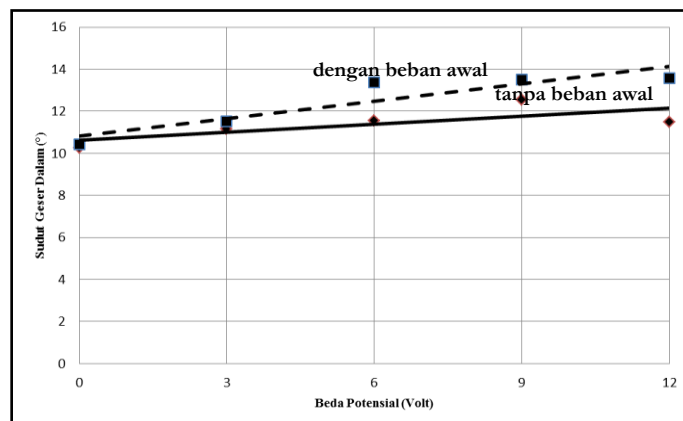
Tabel 4. Hasil perhitungan nilai (c) dan sudut geser dalam ($^{\circ}$) pada metode elektroosmosis tanpa beban dan dengan beban awal

Beda potensial (DC) (Volt)	Tanah + abu ampas tebu 10% (Hasil penelitian)			
	Tanpa beban awal		Dengan beban awal	
	Kohesi (kg/cm ²)	Sudut geser dalam ($^{\circ}$)	Kohesi (kg/cm ²)	Sudut geser dalam ($^{\circ}$)
0	0,039	10,27	0,053	10,44
3	0,056	11,15	0,069	11,52
6	0,073	11,56	0,089	13,36
9	0,093	12,53	0,123	13,50
12	0,097	9,16	0,141	13,54



Gambar 9. Grafik hubungan antara beda potensial dan kohesi tanpa beban awal dan dengan beban awal

Berdasarkan grafik pada Gambar 9. terlihat bahwa nilai kohesi pada tanah yang ditambah abu ampas tebu 10% pada penggunaan metode elektroosmosis dengan beban awal secara beda potensial memperlihatkan nilai lebih besar, daripada saat kondisi tanpa beban awal. Hal ini karena abu ampas tebu mengisi rongga antar butiran tanah sehingga menyebabkan bidang gesek antar butiran tanah semakin luas, karena diantara partikel-partikel tanah lempung terisi oleh abu ampas tebu yang terjadi proses sementasi.



Gambar 10. Grafik hubungan antara beda potensial dan sudut geser dalam tanpa beba dan dengan beban awal

Berdasarkan pada Gambar 10. dapat dilihat bahwa nilai sudut geser dalam (φ) tanah lempung yang ditambah abu ampas tebu 10% pada penggunaan metode elektroosmosis dengan beban awal pada beda potensial memperlihatkan nilai lebih besar, daripada saat kondisi tanpa beban awal. Hal ini disebabkan oleh butiran yang terjadi akibat pencampuran abu ampas tebu secara acak, tercipta ikatan dengan butiran-butiran tanah sehingga banyak butiran yang lebih kasar. Akibat butiran banyak yang kasar sehingga bidang kontak antar butiran bertambah, sudut geser yang terjadi semakin besar yang berarti nilai koefisien gesek meningkat dan diakibatkan efek penurunan kadar air tanah lebih besar akibat pemberian beban awal, sehingga membuat komposisi butiran tanah menjadi lebih besar.

SIMPULAN

Dari hasil pengamatan dan analisa dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :
Semakin tinggi beda potensial yang diberikan pada uji elektroosmosis tanpa beban awal pada tanah lempung asli dan tanah lempung yang ditambah abu ampas tebu, semakin besar nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ). Semakin tinggi beda potensial yang diberikan pada uji elektroosmosis dengan beban awal pada tanah lempung asli dan tanah lempung yang ditambah abu ampas tebu, semakin besar nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ). Pada uji elektroosmosis dengan beban awal pada tanah lempung asli akan menghasilkan nilai c dan φ lebih besar, daripada saat tanpa beban awal. Pada uji elektroosmosis dengan beban awal pada tanah lempung yang ditambah abu ampas tebu 10% menghasilkan nilai c dan φ lebih besar dari pada saat tanpa beban awal.

REKOMENDASI

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk penggunaan metode elektroosmosis yang lebih efisien dengan cara membuat variasi variasi jarak elektroda dengan bentuk model lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih pertama-tama kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan nikmatnya. Yang kedua kepada kedua orang tua saya yang selalu mendoakan saya. Yang ketiga kepada Dr. Niken Silmi S, ST.MT dan Ir. Noegroho Djarwanti, MT selaku dosen pembimbing, asisten laboratorium mekanika tanah UNS yang sering membantu dalam penelitian, serta rekan – rekan sipil Non-reguler 2007 UNS dan juga seluruh civitas akademika Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmaja Resha Y, 2013. Pengaruh Metode Elektroosmosis Pada Tanah Lempung Terhadap Parameter Kuat Geser Tanah, Skripsi Sarjana, Falkultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Daniel Tjandra, Gogot Setyo B, 2006, Pengaruh Elektrokinetik Terhadap Peningkatan Daya Dukung Tanah, Skripsi Sarjana, Falkultas Teknik Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Dhamis Tri R, 2012. Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung yang Distabilisasi dengan Kapur, Skripsi Sarjana, Falkultas Teknik Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- Hidayati Anissa, Made Ardana, 2008. Kombinasi Preloading dan Penggunaan Pre-Fabricated Vertical Drains untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak, Jurnal Iimiah Teknik Sipil. Vol.12 (Juni), hal. 187.
- John Tri H, Yohanes Lulie, 2007. Ucs Tanah Lempung Ekspansif yang Distabilisasi dengan Abu Ampas Tebu dan Kapur, Jurnal Iimiah Teknik Sipil, Falkultas Teknik Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.
- MIPA Terpadu UNS, 2013. Pengujian abu ampas tebu untuk mengetahui komposisi kimia dengan uji *X-ray fluorescence* (XRF), Lab. MIPA, Falkultas MIPA Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Mitchell, James K, 1993, Fundamentals of Soil Behavior, Second Edition, John Wiley & Sons inc., New Jersey.
- Wesley, L.D, 2012, Mekanika Tanah, Cetakan ke IV, Penerbit PU, Jakarta.
- Wibowo Budi, 2003, Uji Model Elektroosmosis pada Tanah Lempung, Skripsi Sarjana, Falkultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.