

Pengaruh Kolom Kapur dan Metode Elektrokinetik Terhadap Pengembangan Tanah Lempung Ekspansif

The Influence of Lime Coloumn and Electrokinetics Method on the Sweling Behaviour of Expansive Soil

Fajar Budi Alifanto, Agus Setyo Muntohar

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammdiyah Yogyakarta

Abstrak. Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang memiliki perubahan volume pada penyusutan dan penembangan yang tinggi sebagai respon terhadap perubahan kadar air. Tanah lempung ekspansif akan mengembang bila kadar air meningkat dan akan menyusut bila kadar air menurun. Pada penelitian ini perbaikan tanah menggunakan metode elektrokinetik dan kolom kapur. Tanah lempung ekspansif dipadatkan pada kotak plexiglass dengan volume tanah 40 cm x 20 cm x 15 cm pada kondisi tanah MDD dan OMC. Elektroda yang dipakai tembaga sebagai katoda dan besi stainless sebagai anoda. Kolom kapur ditempatkan diantara elektroda yang dialiri arus DC sebesar 12 volt. Hasil dari penelitian menunjukkan penurunan karakteristik pengembangan, indeks plastisitas dan perubahan ukuran butir distribusi tanah lempung ekspansif dengan perbaikan elektrokinetik dan kolom kapur. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa perbaikan dengan metode elektrokinetik dan kolom kapur terbukti efisien dan efektif memperbaiki tanah lempung ekspansif.

Kata-kata kunci : Elektrokinetik, pengembangan, lempung ekspansif, kolom kapur, kalsium

Abstract. Expansive clay has a high volume change in shrinkage and swelling due to a change in moisture. Expansive clay soils will swell when the moisture increases, and contrary the soil will shrink. This study applies the electrokinetic method and lime column to improve the swelling behavior of the expansive clay. The expansive clay soil is compacted on a plexiglass box with a soil volume of 40 cm x 20 cm x 15 cm in soil conditions of MDD and OMC. Electrodes are used copper as cathode and stainless iron as anode. Lime columns are placed between electrodes which are flowed DC currents of 12 volts. The results of the study showed a decrease in swelling characteristics, plasticity index and change of soil distribution of expansive clay with electrokinetic and lime column treatment. From these results indicate that the treatment by electrokinetic method and lime column proved to be efficient and effective in improving expansive clay soil.

Keywords : Electrokinetic, swelling, expansive clay, lime coloumn, calsium

1. Pendahuluan

Tanah ekspansif ditemukan di seluruh dunia hampir disetiap benua terutama pada zona tropis dan subtropis. Tanah ini mengalami perubahan volume (penyusutan dan penembangan) yang tinggi, sebagai respon terhadap varisasi musim dan kadar air. Perilaku pengembangan pada tanah lempung ekspansif dipengaruhi oleh kadar lempung suatu tanah semakin banyak kadar lempung maka air yang diserap semakin banyak yang menyebabkan pengembangan dan penyusutan yang tinggi. Perubahan volume yang tinggi pada tanah menyebabkan kerusakan struktur yang berada

di atasnya (Jayasekera, 2002; Muntohar, 2006; Yilmaz, 2006; Gingine dkk., 2013a). Dalam mengurangi pengembangan tanah ekspansif dapat digunakan stabilisasi mekanis seperti mengganti jenis tanah, *preloading*, pemadatan maupun stabilisasi kimia berupa semen, kapur dan abu sekam (Muntohar 2005; Jones dan Jefferson, 2012).

Stabilisasi kimia dengan menggunakan berbagai kombinasi aditif seperti kapur, semen, abu sekam dll, dianggap sebagai metode yang disukai untuk memperbaiki tanah ekspansif karena dapat meningkatkan kekuatan dan sifat kekakuan serta mengurangi potensi pengembangan tanah lempung. Namun,

penggunaan metode ini terbatas ketika pencampuran secara konvensional dan kendala kedalaman (Jayasekera, 2007). Oleh karena itu diperlukan metode yang lebih efektif dan efisien untuk mencampur bahan adiktif tersebut dengan tanah.

Metode elektrokinetik mempunyai potensi yang baik dalam menstabilkan tanah dengan permeabilitas rendah seperti tanah lempung lunak dan lempung ekspansif selain itu ketika elektroda pada tanah dialirkan arus listrik, air yang berada dalam tanah akan mengalir sepanjang medan listrik dan air pada tanah berkurang selama proses elektrokinetik (Micic dkk., 2003; Jayasekera, 2007; Jones dkk., 2011; Gingine dkk., 2013b; Khatimah, 2017; Kusuma, 2017). Fenomena aliran air yang disebut sebagai elektroosmosis inilah yang dimanfaatkan untuk menyebarkan bahan aditif tersebut ke tanah tanpa harus mencampur secara konvensional.

Dalam penelitian ini pengaruh metode elektrokinetik dan kolom kapur diukur terhadap pengembangan tanah ekspansif. Pengaruh perubahan karakteristik tanah pasca perbaikan juga dikaji untuk mengetahui kontribusi pemberian elektrokinetik dan kolom kapur dalam memperbaiki tanah ekspansif.

2. Metode Penelitian

Bahan

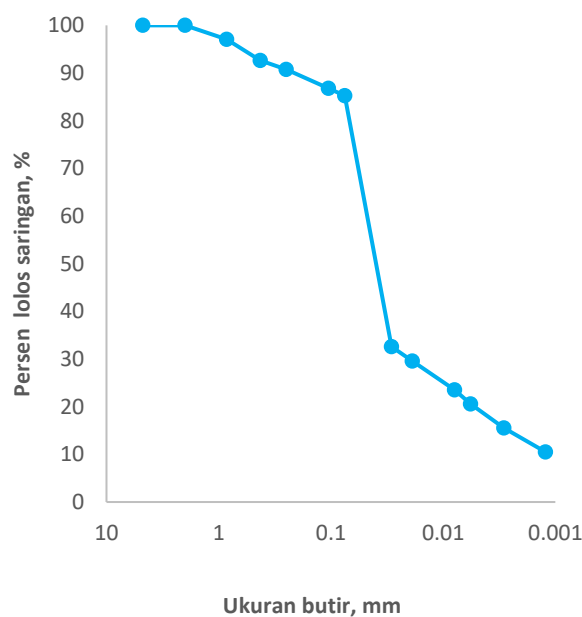
Tanah

Dalam penelitian ini digunakan tanah lempung ekspansif yang diambil di Ngawi, Jawa Timur. Berdasarkan hasil dari pengujian batas cair dan batas plastis yang di plot pada sistem klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS) dapat diklasifikasikan sebagai tanah lempung CH yang memiliki plastisitas sedang sampai tinggi. Berdasarkan hasil dari pengujian dari pengujian batas cair dan indeks plastisitas yang diplot pada sistem klasifikasi tanah ekspansif milik Yilmaz (2006) dapat diklasifikasikan sebagai tanah ekspansif yang mempunyai potensi pengembangan yang tinggi. Sifat – sifat geoteknik tanah dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan pengujian distribusi ukuran butir tanah dapat disimpulkan bahwa tanah yang digunakan dalam penelitian

ini memiliki fraksi kasar sebesar 14,7 % dan fraksi halus sebesar 85,3 % Oleh karena itu tanah tersebut dikategorikan tanah berbutir halus karena fraksi berbutir halus lebih dari 50% (lihat Gambar 2).

Tabel 1. Sifat geoteknik tanah

Variabel	Nilai
Berat jenis tanah, Gs	2,6
Batas cair, LL (%)	72,5
Batas plastis, PL (%)	31,9
Batas susut, SL (%)	15,3
Indeks plastisitas, PI (%)	40,6
Berat volume kering maksimum, $\gamma_{d,max}$ (kN/m ³)	13,75
Kadar air optimum, OMC (%)	19,4
Persentase partikel ukuran < 0,002 mm, C (%)	9,63
Aktivitas Tanah, A	4,21



Gambar 1. Grafik distribusi ukuran butir tanah

Kapur

Dalam penelitian ini menggunakan bahan kapur berjenis kapur tohor (*quick lime*) yang dituliskan secara kimia CaO (kalsium oksida).

Alat

Kotak Uji

Alat yang digunakan dalam penelitian dengan kombinasi metode elektrokinetik dan kolom kapur berbentuk kotak persegi panjang

dengan ukuran 40x20x20 cm yang terbuat dari plexiglass. Samping kanan dan kiri diberi lubang masing – masing sisi 2 lubang ukuran 5 mm setiap lubang diberi kertas filter agar tanah dan pasir tidak ikut keluar pada saat proses perendaman setiap lubang sisambungkan dengan selang dengan ketinggian 15 cm dari dasar kotak.

Elektroda

Elektroda terbagi menjadi 2, anoda sebagai muatan positif (+) yang terbuat dari besi *stainless* dan katoda sebagai muatan negatif (-) yang terbuat dari tembaga. Panjang elektroda 25 cm dan diameter 10 mm.

Voltage Regulator

Sumber tegangan listrik yang menghasilkan tegangan positif dan negatif yang digunakan sebagai stabilisasi tanah dengan metode elektrokinetik listrik searah DC (*Dirrect Current*) yang berasal dari regulator yang dapat mengubah listrik AC (*Alternate Current*) ke DC dengan tegangan 3 – 12 volt.

Dial Gauge

Dial Gauge digunakan sebagai alat pengukur besar pengembangan dan penyusutan yang dialami tanah

Desain Penelitian

Penelitian perbaikan tanah menggunakan kombinasi metode elektrokinetik dan kolom kapur pada tanah lempung ekspansif. Variabel utama yang akan diperoleh meliputi pengembangan tanah lempung ekspansif dan perubahan terhadap ,batas batas konsistensi, distribusi partikel tanah. Penambahan kolom kapur diberikan sebelum proses elektrokinetik dengan kondisi tanpa terendam. Variasi arus yang digunakan yaitu : 1 hari , 2 hari , 3 hari. Proses elektrokinetik dilanjutkan selama 4 hari dengan kondisi terendam. Kemudian dilakukan pembacaan pengembangan dan arus pada titik - titik diantara anoda katoda dengan waktu 15 menit, 30 menit, 45 menit, 1 jam, 2 jam, 4 jam, 8 jam, 12 jam, 24 jam, 36 jam, 48 jam, 72 jam dan 96 jam.

Tabel 2. Desain penelitian

Benda Uji	Lama Pemberian Arus + Kolom Kapur (Tanpa Rendaman)	Lama Pemberian Arus + Kolom Kapur (Terendam)
A	1 hari	4 hari
B	2 hari	4 hari
C	3 hari	4 hari

Pembuatan Benda Uji dan Prosedur Pengujian

Tanah lempung ekspansif mula- mula dilakukan pengujian awal yang bertujuan untuk menentukan sifat-sifat fisik tanah asli. Setelah pengujian awal, tanah yang lolos saringan no. 4 disiapkan dengan berat 14,11kg dan air sebanyak 2046 ml. Tanah dicampur dengan air sampai benar – benar merata. Lalu diamankan selama minimal 16 jam. kemudian mulai dipadatkan di dalam kotak hingga mencapai 36 x 20 x 15 cm. Pada sisi kiri dan kanan dalam kotak dipasang pasir dengan tebal 2 cm yang berfungsi sebagai *sand drain* yaitu untuk menyerap air pada tanah yang terjadi akibat proses elektrokinetik sehingga air yang terkumpul dapat disalurkan keluar melalui rembesan oleh pasir menuju selang dapat dilihat pada Gambar 2.



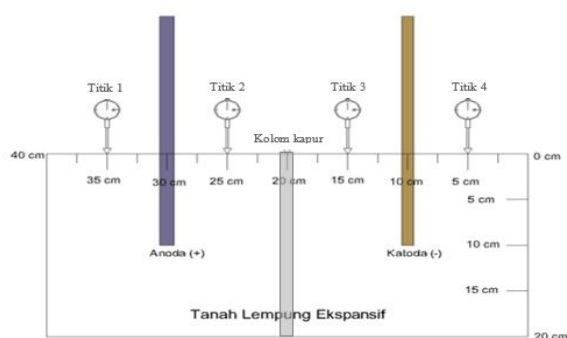
Gambar 2. Tanah yang dipadatkan dalam kotak

Kemudian elektroda dipasang dengan kedalaman 10 cm dengan jarak antar elektroda 20 cm, *dial gauge* 4 buah di atas permukaan plat mika dengan jarak 5 cm dari setiap elektroda dan kapur dalam bentuk pasta dituangkan diantara elektroda dengan kedalaman 15 cm lalu mika dipasang di atas tanah sebagai alas

untuk *dial gauge*. Selanjutnya kabel penjepit dipasang pada setiap elektroda kemudian arus dialirkan sebesar 12 volt (lihat Gambar 3 & 4)



Gambar 3. Pengujian elektrokinetik

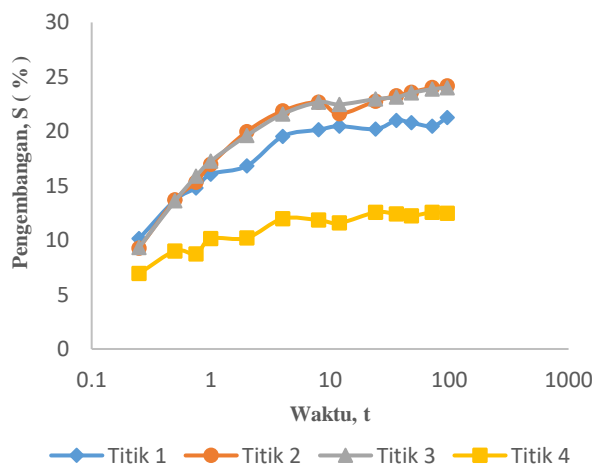


Gambar 4. Sketsa pengujian elektrokinetik

3. Hasil dan Pembahasan

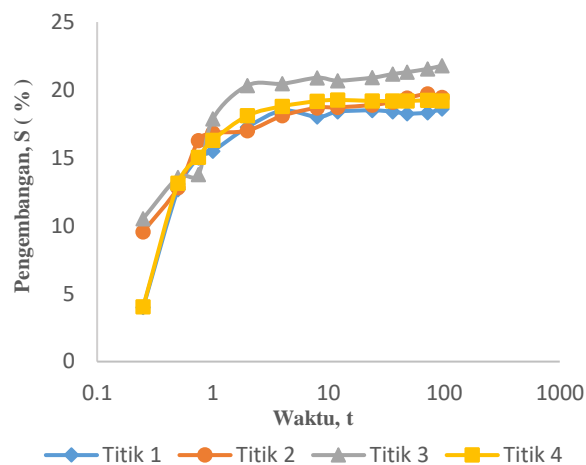
Pengembangan dengan Pemberian Elektrokinetik dan Kolom Kapur

Dari pengujian elektrokinetik dan penambahan kolom kapur pada benda uji A didapatkan pengembangan maksimal pada titik 2 sebesar 24,2 % dan pengembangan terendah pada titik 4 sebesar 12,5 % (lihat Gambar 5).



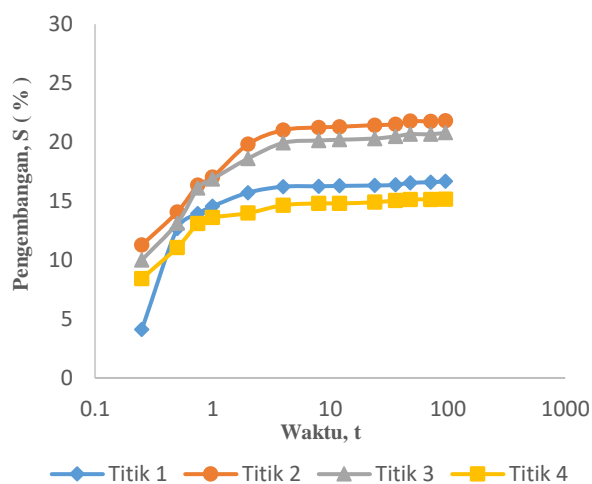
Gambar 5 Kurva pengembangan metode elektrokinetik dan kolom kapur benda uji A

Dari pengujian elektrokinetik dan penambahan kolom kapur pada benda uji B didapatkan pengembangan maksimal pada titik 3 sebesar 21,8 % dan pengembangan minimum pada titik 1 sebesar 18,6 % (lihat Gambar 6).



Gambar 6 Kurva pengembangan metode elektrokinetik dan kolom kapur benda uji B

Dari pengujian elektrokinetik dan penambahan kolom kapur pada benda uji C didapatkan pengembangan maksimal pada titik 2 sebesar 21,8 % dan pengembangan minimum pada titik 4 sebesar 15,2 % (lihat Gambar 7).

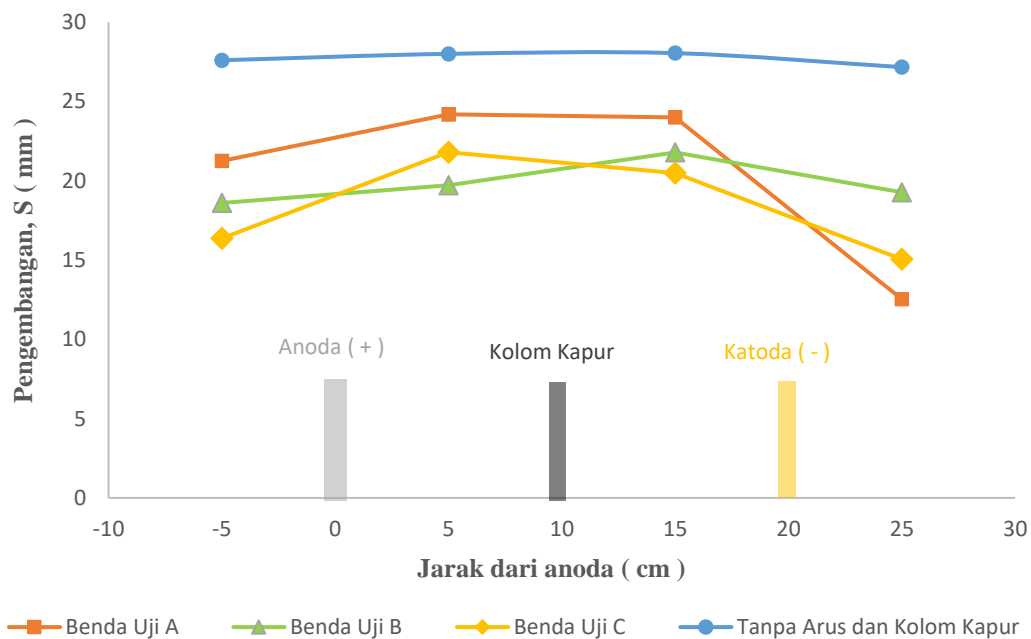


Gambar 7 Kurva pengembangan metode elektrokinetik dan kolom kapur benda uji C

Hasil pengembangan maksimum dengan pemberian elektrokinetik dan kolom kapur dibandingkan dengan pengembangan maksimum tanah tanpa stabilisasi dan tanah yang distabilisasi menggunakan elektrokinetik dengan kondisi yang sama dari penelitian sebelumnya milik (Kusuma, 2017) (lihat Tabel 3 dan Gambar 8).

Tabel 3 Pengembangan maksimum metode elektrokinetik dan metode elektrokinetik serta kolom kapur

	Pengembangan Maksimum Metode Elektrokinetik, S (%) (Kusuma, 2017)				Pengembangan Maksimum Metode Elektrokinetik dan Kolom Kapur, S (%)			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4
Benda uji A	25	26,8	26,6	25,5	21,3	24,2	24	12,5
Benda uji B	23	25	23,2	22,9	18,6	19,7	21,8	19,3
Benda uji C	19,2	21,2	20,7	19,9	16,4	21,8	20,5	15,5



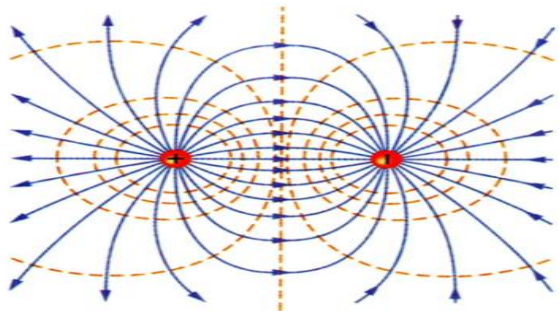
Gambar 8 Grafik pengembangan maksimum tanpa elektrokinetik dan kolom kapur, benda uji A, benda uji B, benda uji C.

Hasil pengembangan menunjukkan pengembangan maksimum dengan tambahan bahan aditif berupa kapur dalam stabilisasi elektrokinetik lebih efektif mengurangi pengembangan dibandingkan dengan hanya menggunakan elektrokinetik kemudian dengan pemberian arus yang lebih lama pengembangan lebih dapat dikurangi. Yilmaz (2006) dan Gingine dkk., (2013a) menyatakan pengembangan tanah ekspansif dipengaruhi oleh air yang diserap pada tanah, semakin besar air yang diserap oleh tanah maka potensi pengembangan akan menjadi lebih tinggi. Dengan adanya proses elektrolisis saat pemberian elektrokinetik dimana air (H_2O) akan mengalami evolusi menjadi gas Hidrogen

(H_2) pada anoda dan gas Oksigen (O_2) pada katoda dengan kata lain air pada tanah berkurang dengan pemberian elektrokinetik sehingga menyebabkan pengembangan pada tanah ekspansif berkurang (Micic dkk., 2003; Jayasekera, 2007; Jones dkk., 2011). Kemudian dengan penambahan kapur menyebabkan berkurangnya air karena terjadi proses *exothermic* dimana kapur (CaO) akan menghasilkan panas ketika bertemu dengan air (H_2O) sehingga menghasilkan gas Oksigen (O_2). Kapur (CaO) lalu berubah menjadi kapur padam / kalsium hidroksida ($CaOH_2$) setelahnya. Pada stabilisasi elektrokinetik kemudian kapur ditambahkan akan terjadi reaksi pozzolan dimana ion *Calcium* (Ca^{2+})

pada kapur akan bereaksi dengan ion *Silicon dioxide* (SiO_2) dan *Aluminium oxide* (Al_2O_3) dari tanah lempung serta ion OH^- dari reaksi reduksi pada katoda akan menghasilkan CSH (*calcium silicate hydrate*) dan CAH (*calcium aluminat hydrate*) yang merupakan bahan ikat. Dari bahan ikat yang terbentuk setelah reaksi pozzolan membentuk ikatan penyemenan dan menyemen senyawa di dalam ruang pori dan partikel tanah sehingga dapat menahan kecenderungan tanah untuk mengembang dan dapat meningkatkan kuat dukung tanah (Chang dkk., 2010; Jayasekera, 2007; Rao dan Venkataswamy, 2002; Muntohar, 2010). Dengan adanya proses elektrolisis saat elektrokinetik, proses *exothermic* pada kapur ketika bertemu dengan air dan reaksi pozzolan memiliki kontribusi dalam mengurangi pengembangan pada tanah ekspansif sehingga benda uji C secara umum memiliki pengembangan yang paling rendah jika dibandingkan benda uji B maupun benda uji A karena memiliki durasi terlama dalam proses stabilisasi dengan elektrokinetik dan kolom kapur.

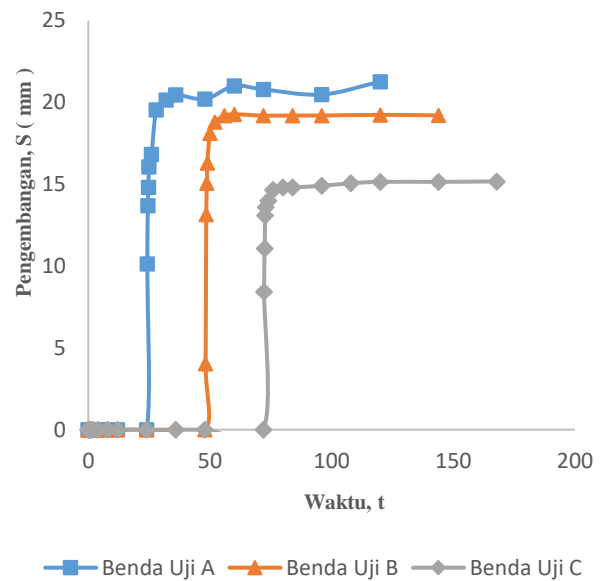
Ou dkk., (2015) menjelaskan pada proses elektrokinetik akan muncul garis medan yang terbentuk ketika anoda (objek bermuatan positif) dan katoda (objek bermuatan negatif) di alirkan arus listrik yang ditunjukkan pada Gambar 15. Dari garis medan tersebut dapat diketahui air terbawa sepanjang garis medan tersebut dengan fenomena elektroosmosis. Dari fenomenan elektroosmosis tersebut air mengarah sampai tepi dari kotak uji pada penelitian ini dan pada bagian tepi kotak uji terdapat lubang sebagai tempat keluarnya air. Sehingga pada penelitian ini pengembangan pada titik 2 dan titik 3 secara umum lebih besar dibandingkan pada titik 1 dan titik 4 pada benda uji A, benda uji B, benda uji C.



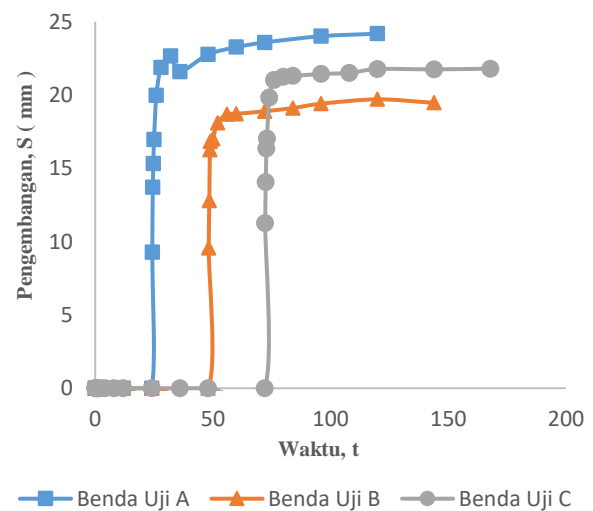
Gambar 15. Garis medan listrik (Ou, dkk., 2015)

Beda Lama Pemberian Arus pada Kondisi Tanpa Rendaman terhadap Pengembangan

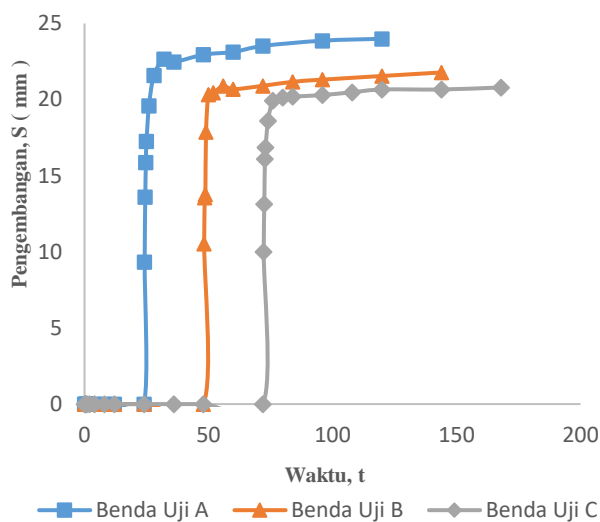
Hasil pengembangan pada setiap titik dengan beda lama pemberian arus ditunjukkan pada Gambar 16, Gambar 17, Gambar 18, Gambar 19. Pengembangan terkecil pada semua benda uji diperoleh pada jarak 25 cm dari katoda untuk benda uji A sebesar 12,5 % dan pengembangan terbesar diperoleh pada jarak 15 cm dari katoda untuk benda uji A sebesar 24,2 %.



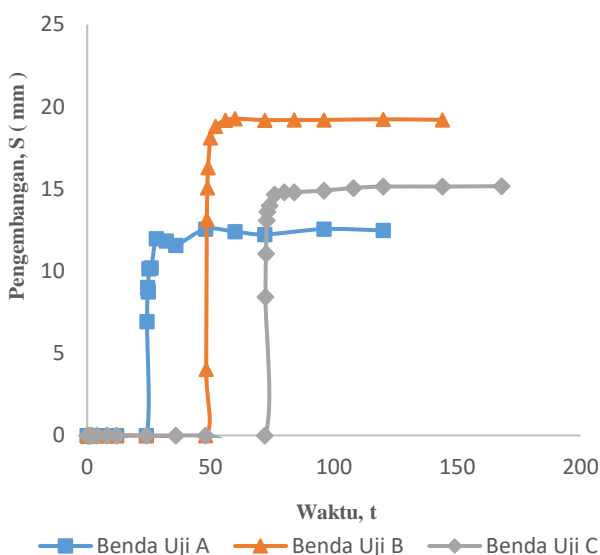
Gambar 16. Grafik pengembangan pada jarak -5 cm dari anoda



Gambar 17. Grafik pengembangan pada jarak 5 cm dari anoda



Gambar 18. Grafik pengembangan pada jarak 15 cm dari anoda



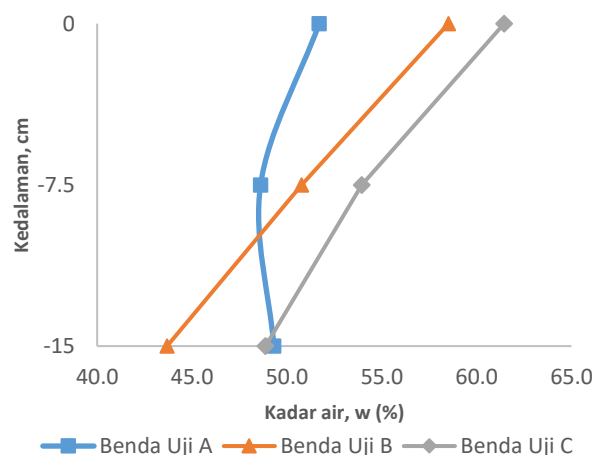
Gambar 19. Grafik pengembangan pada jarak 25 cm dari anoda

Hasil pada grafik menunjukkan tidak terjadi pengembangan pada kondisi tanpa rendaman dengan variasi 1 hari, 2 hari, 3 hari pemberian arus. Pengembangan mulai terjadi pada saat memasuki kondisi rendaman dan diberi arus selama 4 hari. Yilmaz (2006) dan Gingine, dkk. (2013a) menyatakan pengembangan tanah ekspansif dipengaruhi oleh air yang diserap pada tanah, semakin besar air yang diserap oleh tanah maka potensi pengembangan akan menjadi lebih tinggi. Dengan adanya proses elektrolisis saat elektrokinetik, proses *exothermic* pada kapur ketika bertemu dengan air dan reaksi pozzolan

memiliki kontribusi dalam mengurangi pengembangan pada tanah ekspansif sehingga benda uji C secara umum memiliki pengembangan yang paling rendah jika dibandingkan benda uji B maupun benda uji A karena memiliki durasi terlama dalam proses stabilisasi dengan elektrokinetik dan kolom kapur.

Kadar Air Rata – Rata Pasca Pemberian Elektrokinetik dan Kolom Kapur

Hasil pengujian kadar air berdasarkan standar pengujian ASTM D2216-10 pasca pemberian elektrokinetik dan kolom kapur dengan kedalaman 0 cm, 7,5 cm, 15 cm pada semua benda uji dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Perubahan kadar air terhadap kedalaman setelah pengujian

Berdasarkan kurva menunjukkan bahwa secara umum kadar air pada permukaan lebih tinggi dibanding pada dasar. Tanah lempung adalah tanah yang memiliki permeabilitas rendah sehingga kemampuan air untuk mencapai dasar tanah lempung cukup sulit kemudian ketika tanah diberi elektrokinetik juga terjadi fenomena elektrolisis dimana air bereaksi dengan elektroda berubah menjadi gas Oksigen (O_2) pada anoda dan Hidrogen (H^+) pada katoda, sehingga ketika air yang sudah mencapai bagian dasar akan bereaksi menjadi gas Oksigen (O_2) dan Hidrogen (H^+). Fenomena elektrolisis inilah yang menyebabkan air pada tanah berkurang. Ini yang menyebabkan kadar air pada permukaan lebih tinggi dibanding pada dasar. Gambar 21 menunjukkan terdapat gelembung udara yang mengindikasikan terjadi perubahan air menjadi

gas karena proses elektrolisis (Micic dkk., 2003; Jayasekera, 2007; Jones dkk., 2011 ;Chang dkk., 2010) .

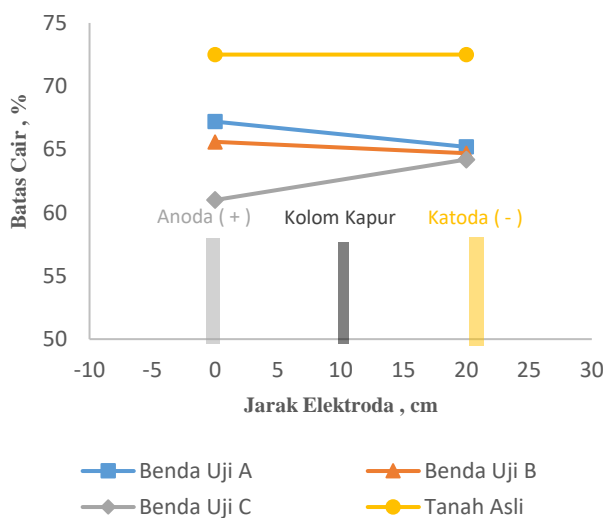


Gambar 21. Fenomena elektrolisis pada elektroda

Batas – Batas Konsistensi Pasca Pemberian Elektrokinetik dan Kolom Kapur

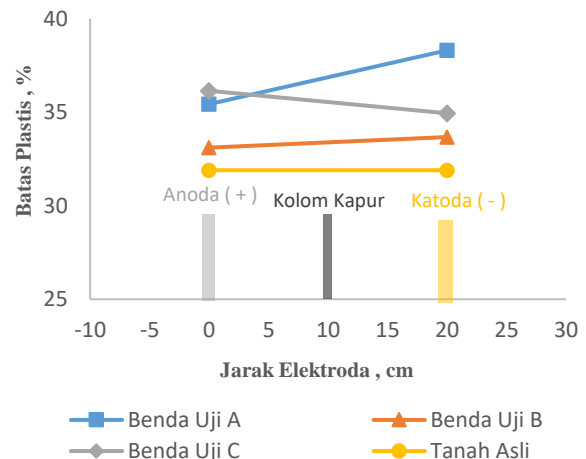
Setelah pemberian elektrokinetik dan kolom kapur tanah diambil sampel pada sekitar anoda dan katoda pada semua benda uji untuk diuji batas konsistensi berdasarkan standar pengujian ASTM D4318-10.

Nilai batas cair mengalami penurunan pasca pemberian elektrokinetik dan kolom kapur dari batas cair tanah asli dengan nilai batas cair tanah asli sebesar 72,5 %. Benda uji C pada bagian anoda mengalami penurunan batas cair tertinggi menjadi 61 % dan Benda uji A pada bagian anoda mengalami penurunan batas cair terendah menjadi 67,8 % (lihat Gambar 22).



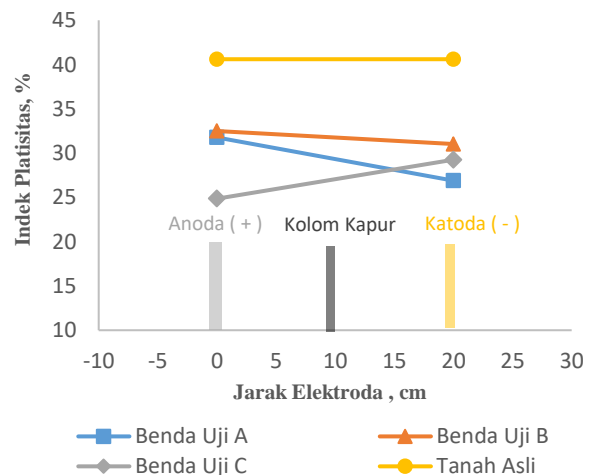
Gambar 22. Kurva batas cair pasca pemberian elektrokinetik dan kolom kapur

Nilai batas plastis mengalami kenaikan dan penurunan pada sekitar anoda dan katoda pasca pengujian elektrokinetik dari batas plastis tanah asli dengan nilai batas plastis tanah asli sebesar 31,9 %. Benda uji A pada bagian sekitar katoda mengalami kenaikan tertinggi batas plastis menjadi 38,31 % dan benda uji C pada bagian katoda mengalami penurunan tertinggi menjadi 31,35 % (lihat Gambar 23).



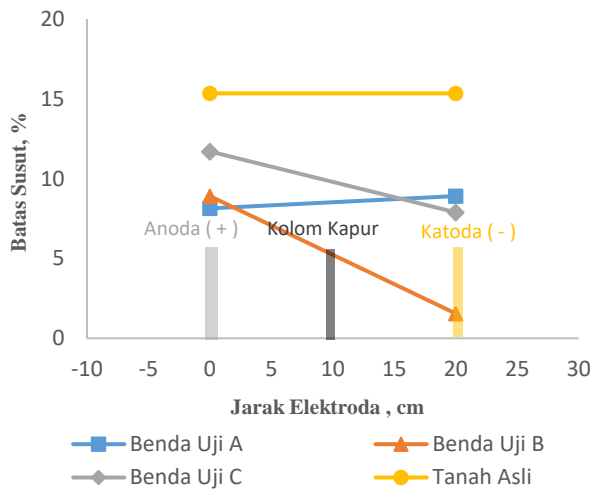
Gambar 23. Kurva batas plastis pasca pemberian elektrokinetik dan kolom kapur

Nilai indeks plastisitas mengalami penurunan pasca pengujian elektrokinetik dari nilai indeks plastisitas tanah asli dengan nilai indeks plastisitas tanah asli sebesar 40,6 %. Benda uji C pada bagian anoda mengalami penurunan indeks plastisitas tertinggi menjadi 24,85 % dan benda uji C pada bagian katoda mengalami penurunan indeks plastisitas terendah menjadi 32,85 % (lihat Gambar 24).



Gambar 24. Kurva indeks plastisitas pasca pemberian elektrokinetik dan kolom kapur

Nilai batas susut mengalami kenaikan setelah pengujian elektrokinetik dari nilai batas susut tanah asli dengan nilai batas susut tanah asli sebesar 15,3 %. Benda uji C pada bagian anoda mengalami penurunan tertinggi menjadi 1,6 % dan benda uji B pada bagian katoda mengalami penurunan terendah menjadi 11,7 % (lihat Gambar 25)



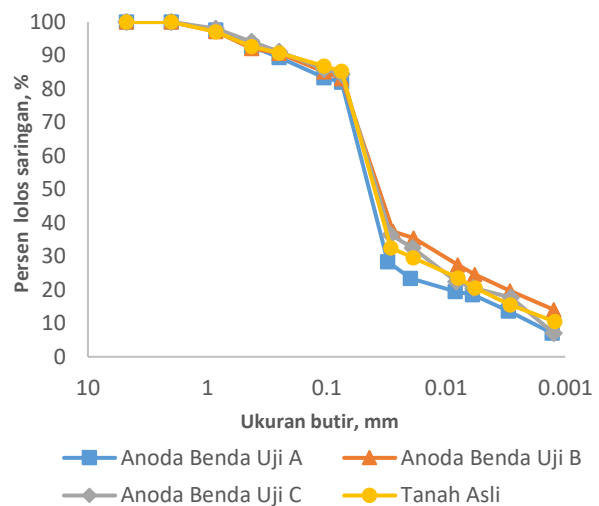
Gambar 25. Kurva batas susut pasca pemberian elektrokinetik dan kolom kapur

Gingine dkk., (2013a), Jones dkk., (2011) dan Micic dkk., (2003) menjelaskan ketika proses elektrokinetik terjadi pertukaran ion dimana ion Aluminium oksida (Al_2O_3) pada *montmorillonite* berubah menjadi ion Aluminium (Al^{3+}) karena proses oksidasi anoda. Karena Aluminium (Al^{3+}) bersifat kurang elektropositif, ia menarik lebih sedikit molekul air sehingga batas cair menurun pasca perbaikan. (Chang dkk., 2010; Jayasekera 2007; Muntohar, 2005; Muntohar, 2010) menjelaskan bahan ikat yang terbentuk akibat reaksi pozzolan antara ion kapur, tanah dengan ion hasil reduksi pada katoda membentuk ikatan penyemenan kemudian menyemen senyawa di dalam ruang pori dan partikel tanah kemudian membentuk gumpalan (*flocs*) yang menyebabkan berkurangnya indek plastisitas. Bell (1996) dan Hewayde dkk. (2005) menyatakan mineral tanah lempung ekspansif seperti *montmorillonite* memiliki kapasitas pertukaran kation yang tinggi kemudian dengan menambahkan kapur menyebabkan penurunan kapasitas dari pertukaran kation *montmorillonite* sehingga dengan penambahan ion kalsium (Ca^{2+}) dari kapur terjadi peningkatan batas plastis, pengurangan indeks

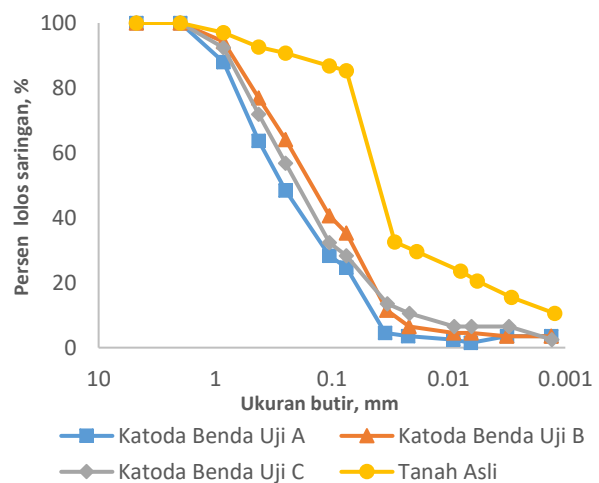
plastisitas dan pengurangan batas susut sehingga tanah menjadi lebih gembur dan lebih mudah dikerjakan.

Ukuran Distribusi Tanah Pasca Pemberian Elektrokinetik dan Kolom Kapur

Hasil pengujian distribusi butir tanah berdasarkan standar pengujian ASTM D6913-04 menunjukkan perubahan ukuran butir secara signifikan terjadi pada sekitar katoda pada semua benda uji. Perubahan ukuran butir terbesar terjadi pada sekitar katoda pada benda uji A terhadap ukuran butir tanah asli dari fraksi halus 85,3 % dan fraksi kasar 14,7 % menjadi fraksi halus 24,7 % dan fraksi kasar 75,3 %. Pada sekitar anoda tidak terjadi perubahan yang signifikan pada ukuran butir untuk semua benda uji. (lihat Gambar 26, Gambar 27 dan Tabel 4)



Gambar 26. Grafik distribusi ukuran butir tanah pada sekitar anoda



Gambar 27. Grafik distribusi ukuran butir tanah pada sekitar katoda

Tabel 4.8 Hasil pengujian distribusi ukuran butir

	Fraksi Halus, %	Fraksi Kasar, %
Tanah Asli	85,3	14,7
Sekitar Katoda		
Benda uji A	24,7	75,3
Benda uji B	35,3	64,7
Benda uji C	28,3	71,7
Sekitar Anoda		
Benda uji A	82,1	17,9
Benda uji B	83,1	16,9
Benda uji C	84,5	15,5

Hasil pengujian distribusi ukuran butir pada benda uji A, benda uji B, benda uji C menunjukkan perubahan sedangkan pada sekitar anoda pada semua benda uji tidak mengalami perubahan yang signifikan (lihat Gambar 28 dan Gambar 29). Penggumpalan yang terjadi pada katoda ini disebut flokulasi. Bell (1996) dan Muntohar (2005) menjelaskan flokulasi ialah proses tertariknya partikel tanah satu dengan yang lain karena perubahan kepadatan muatan arus listrik di sekitar partikel tanah lempung yang dipicu oleh pertukaran kation ion kalsium kapur dan ion yang berada pada permukaan partikel tanah ketika bertemu yang menyebabkan terbentuknya gumpalan (*flocs*). Chang dkk. (2010) menjelaskan selama proses elektrolisis ion H^+ hasil oksidasi pada anoda bergerak menuju katoda (-) dan bereaksi dengan kapur (CaO) menjadi ($Ca(OH)_2$) lalu mengendap pada katoda sehingga menyemen di dalam ruang pori dan partikel tanah dan membentuk gumpalan yang lebih besar.



Gambar 28. Tanah pada katoda pasca pemberian elektrokinetik dan kolom kapur



Gambar 29. Tanah pada anoda pasca pemberian elektrokinetik dan kolom kapur

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengembangan tanah yang distabilisasi dengan metode elektrokinetik dan kolom kapur baik dengan pemberian arus 1 sampai 3 hari memiliki nilai pengembangan yang lebih rendah berkisar 3,8 – 6,2 % dibanding tanah tanpa stabilisasi elektrokinetik dan kolom kapur.
2. Indeks plastisitas pada tanah ekspansif mengalami penurunan pasca perbaikan dengan metode elektrokinetik dan kolom kapur sebanyak 3,6 – 13,8 %.
3. Tanah lempung ekspansif pasca stabilisasi elektrokinetik dan kolom kapur mengalami perubahan ukuran partikel fraksi kasar pada sekitar katoda dari tanah tanpa stabilisasi sebanyak 14,7 % menjadi 60,6 % pada benda uji A (pemberian arus 1 hari), 50% pada benda uji B (pemberian arus 2 hari), 57 % pada benda uji C (pemberian arus 3 hari).

5. Daftar Pustaka

- ASTM D2216-10., 2010., Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.
- ASTM D4318-10., 2010., Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soil.
- ASTM D6913-04., 2010., Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis.

- Bell, F.G., 1996, Lime Stabilization of Clay Minerals and Soils, *Engineering Geology* 42 (4), 223–237.
- Chang, H.W., Krishna, P.G., Chien, S.C., Ou, C.Y. and Wang M.K., 2010, Electro-Osmotic Chemical Treatments: Effects of Ca^{2+} concentration on the Mechanical Strength and pH of Kaolin, *Clays and Clay Minerals*, 58 (2), 154–163.
- Gingine, V., Mohammad, W. Y., Sudheer and Krishna, P.H., 2013a, Electokinetic Treatment on Blackcotton Soil of Warangal, India, *Proceedings of Indian Geotechnical Conference*, December 1–9, 2013.
- Gingine, V., Shah, R., Rao, V. K. P., Krishna, H. P., 2013b, A review on study of Electrokinetic stabilization of expansive soil, *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 6 (2), 176–181.
- Hewayde, E., El Naggar, H and Khorshid, N., 2005, Reinforced Lime Columns: A New Technique for Heave Control. *Proceedings of the ICE - Ground Improvement*, 9 (2), 79–87.
- Jayasekera, S. & Mohajerani, A., 2002, Long-term Strength and Bearing Capacity Characteristics of a Basaltic Clay Soil Subjected to Landfill Leachate, *Proceedings of the International Conference on Environmental Geomechanics*, Monte Verita, Switzerland, July 2002.
- Jayasekera, S., 2007., Stabilising Volume Change Characteristics of Expansive Soils Using Electrokinetics: A Laboratory Based Investigation. *Proceedings of the Sri Lankan Geotechnical Society's First International Conference on Soil & Rock Engineering*, Colombo, Sri Lanka, August 5-11, 2007.
- Jones, C.J.F.P., Lamont-Black, J. and Glendinning, S., 2011, Electrokinetic Geosynthetics in Hydraulic Applications, *Geotextiles and Geomembranes*, 29 (4), 381–390.
- Jones, L.D., and Jefferson, I., 2012, Expansive Soils. *ICE Manual of Geotechnical Engineering*, 1, 413–441.
- Khatimah, N. K., 2017, Pengaruh Pengembangan Tanah Lempung Ekspansif Pasca Perbaikan Dengan Metode Elektrokinetik, Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Kusuma. A., 2017, Pengaruh Lama Pemberian Arus Terhadap Pengembangan Tanah Lempung Ekspansif Dengan Metode Elektrokinetik, Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Micic, S., Shang, J.Q. and Lo, K.Y., 2003, Electro-cementation of a Marine Clay Induced by Electrokinetics, *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 13 (4), 308–315.
- Muntohar, A.S., 2005, Geotechnical Properties of Rice Husk Ash Enhanced Lime-stabilized Expansive Clay, *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil*, 13 (3), 36–47.
- Muntohar, A.S., 2006, The Swelling of Expansive Subgrade at Wates-Purworejo Roadway, Sta.8+12, *Civil Engineering Dimension*, 8 (2), 106–110.
- Muntohar, A.S., 2010, A Laboratory Test on the Strength and Load-Settlement Characteristic of Improved Soft Soil Using Lime-Column, *Dinamika TEKNIK SIPIL*, 10 (3), 202–207.
- Ou, C.Y., Chien, S.C. and Liu, R.H., 2015, A Study of the Effects of Electrode Spacing on the Cementation Region for Electro-Osmotic Chemical Treatment. *Applied Clay Science*, 104, 168–181.
- Rao, S.M., and Venkataswamy, B., 2002, Lime Pile Treatment of Black Cotton Soils. *Ground Improvement*, 6 (2), 85–93.
- Yilmaz, I., 2006, Indirect Estimation of the Swelling Percent and A New Classification of Soils Depending on Liquid Limit and Cation Exchange Capacity, *Engineering Geology*, 85, 295–301.