

Perilaku Pengembangan Tanah Lempung Ekspansif dengan Stabilisasi Kolom Kapur Pasca Pemberian Metode Elektrokinetik

Swelling Behavior of Expansive Clay Soil with Lime Coloumn Stabilization after Electrokinetics Method

Agung Rahmadan, Agus Setyo Muntohar

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Tanah lempung ekspansif merupakan salah satu masalah yang sering menyebabkan terjadinya kerusakan struktur bangunan maupun struktur lapis perkerasan jalan. Hal ini disebabkan oleh potensi kembang-susut yang tinggi. Tanah ini mengembang ketika nilai kadar air bertambah dan menyusut bila nilai kadar air berkurang. Oleh karena itu, diperlukan usaha stabilisasi untuk mengurangi potensi pengembangan yang terjadi. Metode stabilisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah elektrokinetik yang dikombinasikan dengan kolom kapur. Pengujian dilakukan untuk mempelajari perilaku pengembangan tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan kolom kapur pasca pemberian metode elektrokinetik. Pengujian elektrokinetik dilakukan dengan merendam tanah selama 4 hari. Pemberian arus DC sebesar 12 V diterapkan pada elektroda. Selanjutnya proses pengujian dilakukan dalam 4 kondisi tanpa pemberian arus DC yaitu (A) 3 hari pengeringan ditambah dengan 1 hari perendaman, (B) 2 hari pengeringan ditambah 1 hari perendaman, dan (C) 1 hari pengeringan ditambah 1 hari perendaman serta tanpa stabilisasi elektrokinetik dan kolom kapur. Pengembangan maksimum yang terjadi selama 3 hari pengeringan (A) sebesar 18,9%, 2 hari pengeringan (B) sebesar 18,9% dan 1 hari pengeringan (C) sebesar 17,2%. Sedangkan, tanpa proses elektrokinetik dan kolom kapur mengalami pengembangan yang sangat tinggi sebesar 28%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode elektrokinetik yang dikombinasikan dengan kolom kapur secara efektif dapat mengurangi pengembangan yang terjadi pada tanah lempung ekspansif.

Kata-kata kunci: Tanah ekspansif, stabilisasi tanah, elektrokinetik, kolom kapur, kadar air

Abstract. *Expansive clay is one of the problems that often cause damage to building and road pavement structures. This is due to the high potential shrink-swell. This soil was swelling when the water content increased and shrinking when water content decreased. Therefore, it needs a stabilization effort to reduce swelling potential that occurs. Stabilization method used in this research is electrokinetic with a combination of lime column. This research was conducted to study the behavior of expansive clay soil swelling that was stabilized with lime columns post-electrokinetics method. Electrokinetic was conducted by soaking the soil for 4 days. The 12 V DC current is applied to the electrode. Furthermore, the process of the test is carried out in 4 conditions without DC current: (A) 3 days of drying plus 1 day of soaking, (B) 2 days of drying plus 1 day of soaking, (C) 1 day of drying plus 1 day of soaking and without electrokinetic and lime column stabilization. Maximum swell that occurred during 3 days of drying (A) of 18.9%, 2 days of drying (B) of 18.9% and 1 day of drying (C) of 17.2%. Whereas, without the process of electrokinetic and lime columns, swelling reached up to 28%. The results of the test showed that the method electrokinetic and lime column could effectively reduce the swelling that occurs on the expansive clay soil.*

Key words: expansive soil, soil stabilization, electrokinetic, lime coloumn, water content

1. Pendahuluan

Tanah lempung ekspansif (*expansive soil*) memiliki potensi kembang susut tinggi yang diakibatkan oleh perubahan kadar air. Pengembangan pada tanah ekspansif merupakan proses yang cukup kompleks. Besar dan nilai tekanan pengembangan bergantung

pada banyaknya mineral lempung dan kadar air awal di dalam tanah. Besarnya pengembangan atau penyusutan tidak merata dari suatu titik ke titik lainnya (Muntohar, 2014). Hal ini menyebabkan banyak terjadinya kerusakan pada struktur bangunan gedung maupun struktur lapis perkerasan jalan yang dibangun di

atas tanah jenis ini seperti yang terjadi pada kebanyakan jalan di daerah Ngawi yang telah dibangun di atas tanah ekspansif yang diketahui sebagai tanah lempung aktif (Thuy dkk., 2013).

Perbaikan tanah lempung ekspansif dengan metode elektrokinetik menjadi salah satu alternatif untuk memperbaiki sifat-sifat dari tanah ekspansif. Panjaitan dkk. (2012) menjelaskan bahwa elektrokinetik memiliki kemampuan untuk menembus kepadatan dan plastisitas tanah. Hal ini tentu akan sangat membantu dalam proses penyebaran bahan aditif seperti kapur pada saat proses stabilisasi berlangsung didalam tanah. Stabilisasi dengan metode elektrokinetik telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu untuk memperbaiki sifat-sifat dari tanah lempung ekspansif seperti Panjaitan dan Andi (2017); Jayasekera (2006); Thuy dkk. (2013).

Stabilisasi tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah metode elektrokinetik dikombinasikan dengan kolom kapur. Hal ini dimaksudkan agar selama proses elektrokinetik berlangsung akan terjadi penyebaran kapur pada tanah guna memperbaiki sifat-sifat dari tanah lempung ekspansif. Cokca (2001) menambahkan kapur sebagai bahan stabilisasi untuk mengurangi karakteristik perubahan volume pada tanah lempung lunak. Penambahan kapur pada tanah lempung menyediakan banyak ion kalsium (Ca^{2+}) dan ion magnesium (Mg^{2+}). Ion-ion ini cenderung menggantikan kation umum lainnya seperti natrium dan kalium, dalam proses yang dikenal sebagai pertukaran kation. Penempatan kembali natrium atau ion kalium dengan kalsium secara signifikan mengurangi indeks plastisitas tanah lempung. Secara umum penurunan plastisitas biasanya disertai dengan penurunan potensi pengembangan (Jayasekera, 2006).

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pengembangan tanah lempung ekspansif yang distabilisasi kolom kapur pasca pemberian metode elektrokinetik. Perubahan indeks plastisitas dan distribusi ukuran butir tanah pasca pemberian elektrokinetik dan kolom kapur juga dikaji untuk mengetahui pengaruhnya terhadap ekspansifitas pada tanah lempung ekspansif.

2. Metode Penelitian

Bahan

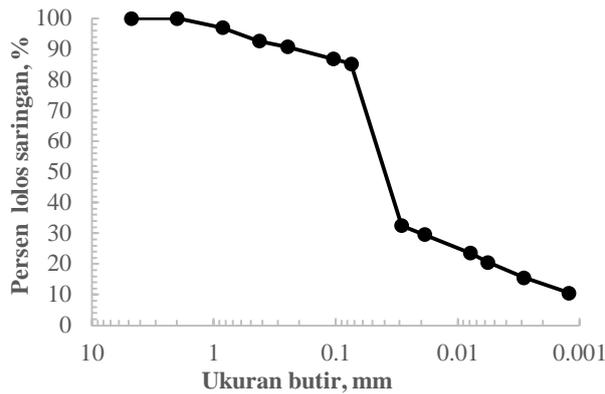
Tanah Lempung Ekspansif

Tanah yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Ngawi, Jawa Timur. Berdasarkan sistem klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS), tanah diklasifikasikan sebagai tanah lempung plastisitas sedang sampai tinggi dengan simbol CH. Dakshanamurthy dan Raman, (1973) menyatakan bahwa secara umum, karakteristik tanah lempung ekspansif dapat ditentukan berdasarkan nilai indeks plastisitas dan batas cair. Semakin tinggi nilai indeks plastisitas maka semakin tinggi pengembangan yang terjadi pada tanah. Tanah lempung ekspansif yang di klasifikasikan memiliki potensi pengembangan yang tinggi apabila nilai batas cair $> 60\%$, indeks plastisitas $> 35\%$. Hal ini dapat mengidentifikasi bahwa tanah uji sebagai tanah lempung ekspansif.

Berikut ini adalah hasil pengujian sifat-sifat geoteknik tanah (lihat Tabel 1). Berdasarkan grafik distribusi ukuran butir tanah, tanah yang digunakan mengandung fraksi tanah berbutir halus sebanyak 85,3% dan fraksi tanah berbutir kasar sebanyak 14,7% (lihat Gambar 1).

Tabel 1 Sifat geoteknik tanah

Variabel	Hasil
Berat jenis tanah, Gs	2,6
Batas – batas konsistensi:	
Batas cair, LL (%)	72,5
Batas plastis, PL (%)	31,9
Batas susut (%)	15,3
Indeks plastisitas, PI (%)	40,6
Berat volume kering maksimum, γ_{dmax} (kN/m ³)	13,75
Kadar air optimum, OMC (%)	19,4



Gambar 1 Kurva distribusi ukuran butir tanah

Kapur

Pengujian ini memakai kapur. Jenis kapur yang digunakan adalah kapur tohor (*quick lime*) yang dituliskan secara kimia CaO (kalsium oksida).

Alat

1. Kotak Uji

Alat yang digunakan untuk stabilisasi tanah dengan metode elektrokinetik kombinasi kolom kapur adalah berbentuk persegi panjang yang terbuat dari *pleksiglass* berukuran 40cm x 20cm x 20cm. Pada sisi luar *pleksiglass* diperkuat oleh plat besi dengan ketebalan 3 mm dan besi siku dengan ketebalan 3 mm. Pada dasar alat uji diberi kayu dengan ketebalan 2 cm untuk memperkuat alat ketika dilakukan pemadatan. Pada samping kanan dan kiri kotak uji diberi lubang 5 mm untuk selang setinggi 15 cm sebanyak 2 lubang disetiap sisi dan diberi kertas *filter* agar tanah dan pasir yang tercampur dengan air tidak ikut keluar.

2. Elektroda

Elektroda yang terdiri dari anoda muatan positif, yaitu besi *stainless* yang berdiameter 10 mm dan katoda muatan negatif, yaitu tembaga yang berdiameter 10 mm dengan panjang masing-masing 25 cm.

3. Voltage Regulator

Sumber tegangan listrik yang digunakan dalam penelitian adalah arus listrik searah (*Direct Current/DC*) yang berasal dari regulator yang dapat mengubah listrik AC ke DC dengan kapasitas 3 – 12 volt, 5A.

4. Multimeter

Multimeter yang digunakan untuk mengukur tegangan dan arus listrik yang mengalir kedalam tanah.

5. Dial Gauge

Magnetic dial gauge digunakan untuk mengetahui besar pengembangan maupun penyusutan yang terjadi pada tanah lempung ekspansif.

Desain Penelitian

Pada penelitian tanah menggunakan metode elektrokinetik dengan kombinasi kolom kapur memiliki tinjauan utama yang akan diperoleh yaitu pengembangan tanah lempung ekspansif, pengaruh perubahan batas-batas *Atterberg*, distribusi ukuran butir dan kadar air pasca perbaikan dengan metode elektrokinetik dan kolom kapur. Tegangan listrik yang diberikan pada penelitian ini sebesar 12 volt. Kolom kapur dipasang sebelum elektrokinetik dengan kondisi tanpa rendaman. Proses elektrokinetik dilakukan selama 4 hari setiap pembacaan 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 kemudian diamati pengembangannya. Setelah proses pengembangan selama 4 hari selesai, tanah dikeringkan selama 1 hari, 2 hari, dan 3 hari tanpa tegangan listrik, kemudian tanah kembali diberi air selama 1 hari tanpa tegangan listrik untuk diamati apakah elektrokinetik dan kolom kapur mampu menahan pengembangan pada tanah lempung ekspansif (lihat Tabel 2).

Tabel 2 Desain penelitian

Benda Uji	Pengembangan dengan arus listrik (Terendam)	Pengeringan tanpa arus listrik (Tak terendam)	Pengembangan tanpa arus listrik (Terendam)
A	4 Hari	3 Hari	1 Hari
B	4 Hari	2 Hari	1 Hari
C	4 Hari	1 Hari	1 Hari

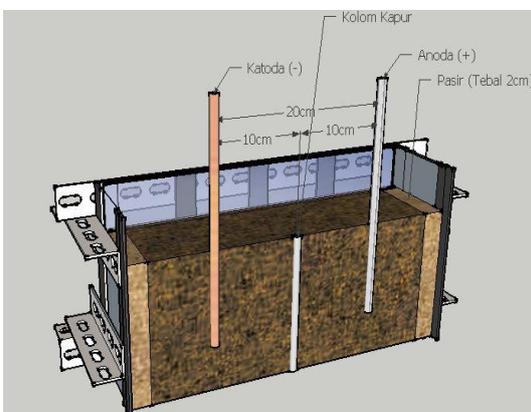
Prosedur Pengujian

Tanah yang dipakai adalah tanah lolos saringan #4 pada kondisi kering oven sebanyak 14,11 kg. Tanah dicampurkan dengan air yang telah disesuaikan dengan OMC (*Optimum Moisture Content*) sebanyak 2046 ml. Setelah tanah tercampur dengan air kemudian tanah uji dipadatkan kedalam kotak uji hingga mencapai volume 36cm x 20cm x 15cm. Pada sisi tepi kiri dan kanan kotak uji diisi dengan pasir setebal 2cm yang berfungsi sebagai *sand drain*. Hal ini dimaksudkan agar air dapat mengalir dari tanah menuju selang pada bagian tepi luar kotak uji (lihat pada Gambar 2).



Gambar 2 Tanah yang dipadatkan dalam kotak uji

Pada tanah yang telah dipadatkan dipasang elektroda dengan bahan *stainless* untuk anoda (+) dan tembaga untuk katoda (-) dengan jarak antar elektroda sebesar 20cm dan kedalaman 10cm. Kemudian ditanamkan kolom kapur pada bagian tengah benda uji (lihat Gambar 3).



Gambar 3 Skema pemasangan elektroda dan kolom kapur

Diatas benda uji diletakkan plat mika dan dipasang 4 buah *dial gauge* dengan jarak 5cm dari elektroda dan kolom kapur yang digunakan untuk pembacaan nilai pengembangan dan penyusutan selama proses perendaman dan pengeringan tanah. Kemudian dipasang kabel dengan penjepit pada elektroda yang nantinya akan dialiri arus listrik DC dari *voltage regulator* dengan besaran voltase 12 V. Setelah semua alat dipasang pada benda uji proses elektrokinetik dilakukan selama 4 hari setiap pembacaan 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 diamati pengembangannya. Setelah proses pengembangan selama 4 hari selesai, tanah dikeringkan selama 1 hari, 2 hari, dan 3 hari tanpa arus listrik, selanjutnya tanah kembali diberi air selama 1 hari tanpa arus listrik. Setelah proses elektrokinetik dan kolom kapur diambil sampel tanah disekitar elektroda untuk diuji karakteristiknya serta diambil tanah untuk uji kadar air pada kedalaman 0 cm, 7,5 cm dan 15 cm setiap titik.

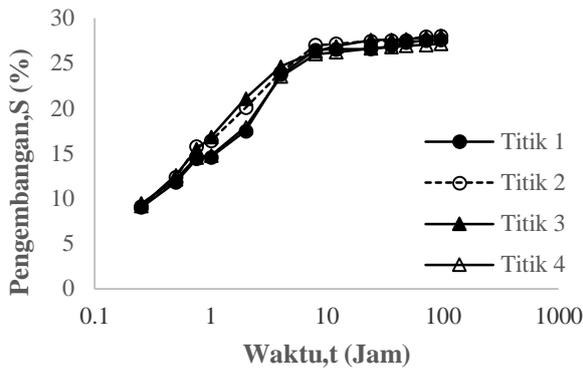


Gambar 4 Pengujian elektrokinetik

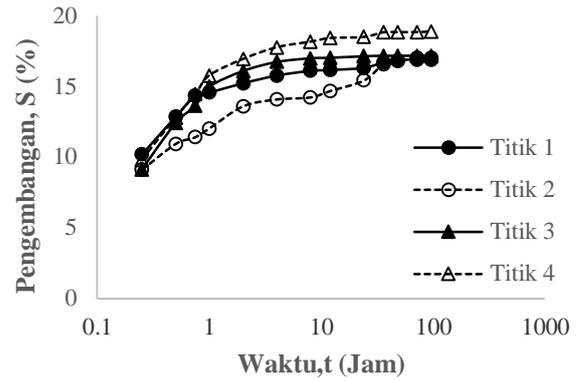
3. Hasil Penelitian

Hasil pengujian tanpa stabilisasi kolom kapur dengan kombinasi elektrokinetik

Hasil pengembangan pada tanah lempung ekspansif tanpa stabilisasi kolom kapur dengan kombinasi elektrokinetik mengalami peningkatan terhadap waktu. Pengembangan maksimum yang terjadi pada tanah terdapat pada titik 4 sebesar 2 dan 3 sebesar 28%, sedangkan nilai pengembangan minimum terdapat pada titik 4 sebesar 27,2% (lihat Gambar 5).



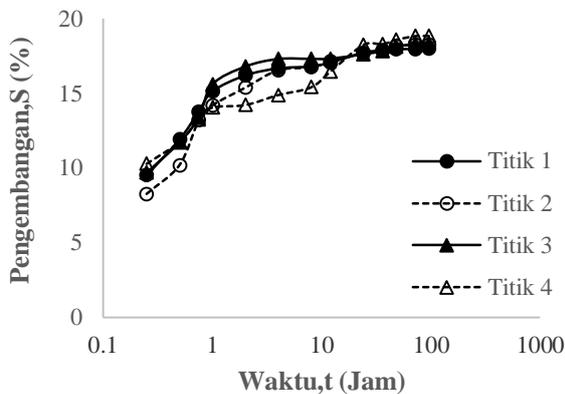
Gambar 5 Pengembangan tanpa stabilisasi kolom kapur dan elektrokinetik



Gambar 7 Pengembangan dengan elektrokinetik dan kolom kapur benda uji B

Hasil pengujian pengembangan pasca elektrokinetik

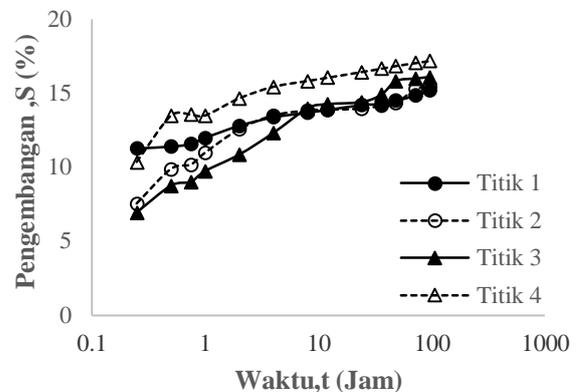
Hasil pengembangan pada tanah lempung ekspansif pasca elektrokinetik dan kolom kapur dengan lama waktu pengeringan selama 3 hari (A) mengalami peningkatan pengembangan terhadap jarak dari anoda (+). Pengembangan maksimum yang terjadi pada tanah terdapat pada titik 4 sebesar 18,9%, sedangkan nilai pengembangan minimum terdapat pada titik 1 sebesar 18 % (lihat Gambar 6).



Gambar 6 Pengembangan dengan elektrokinetik dan kolom kapur benda uji A

Hasil pengembangan pada tanah lempung ekspansif pasca elektrokinetik dan kolom kapur dengan lama waktu pengeringan selama 2 hari (B) mengalami peningkatan pengembangan terhadap jarak dari anoda (+). Pengembangan maksimum yang terjadi pada tanah terdapat pada titik 4 sebesar 18,9%, sedangkan nilai pengembangan minimum terdapat pada titik 1 sebesar 16,9% (lihat Gambar 7).

Hasil pengembangan pada tanah lempung ekspansif pasca elektrokinetik dan kolom kapur dengan lama waktu pengeringan selama 1 hari (C) mengalami peningkatan pengembangan terhadap jarak dari anoda (+). Pengembangan maksimum yang terjadi pada tanah terdapat pada titik 4 sebesar 17,2%, sedangkan nilai pengembangan minimum terdapat pada titik 1 sebesar 15,2% (lihat Gambar 8).

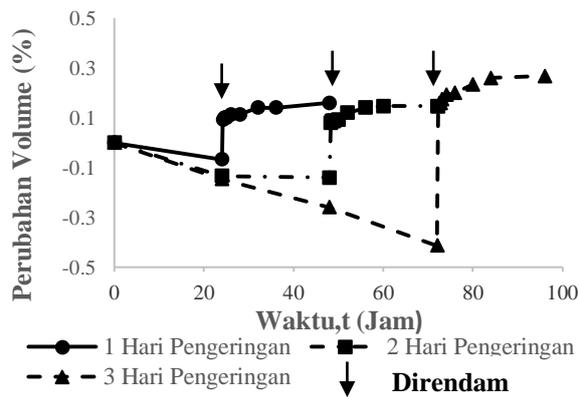


Gambar 8 Pengembangan dengan elektrokinetik dan kolom kapur benda uji C

Hasil pengujian pengembangan pasca elektrokinetik terhadap lama proses pengeringan

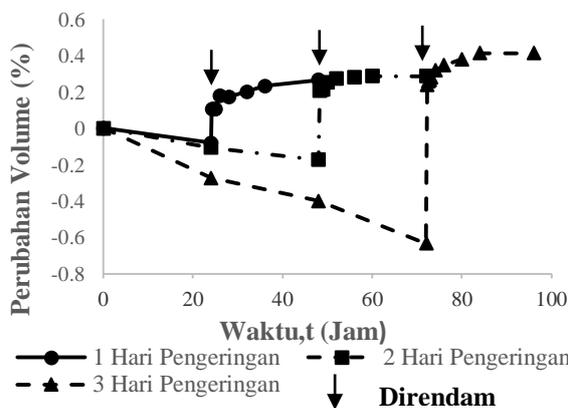
Nilai pengembangan tanah maksimum pada titik 1 yang terjadi pasca elektrokinetik dan kolom kapur dengan lamanya proses pengeringan selama 1 hari sebesar 0,16%, pengembangan pada proses pengeringan selama 2 hari sebesar 0,15%, dan

pengembangan pada proses pengeringan selama 3 hari sebesar 0,27% (lihat Gambar 9).



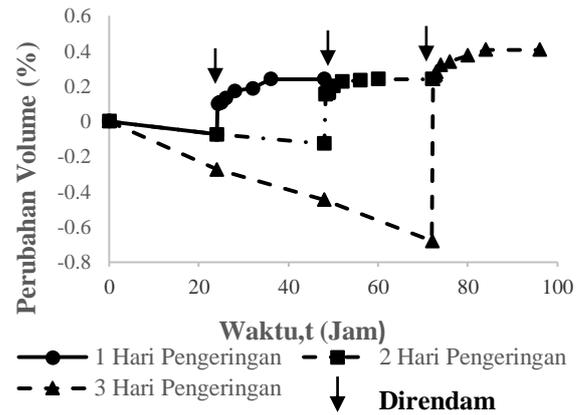
Gambar 9 Pengeringan dan pengembangan pasca elektrokinetik dan kolom kapur pada titik 1

Nilai pengembangan tanah maksimum pada titik 2 yang terjadi pasca elektrokinetik dan kolom kapur dengan lamanya proses pengeringan selama 1 hari sebesar 0,27% , pengeringan selama 2 hari sebesar 0,29%, dan pengeringan selama 3 hari sebesar 0,41% (lihat Gambar 10).



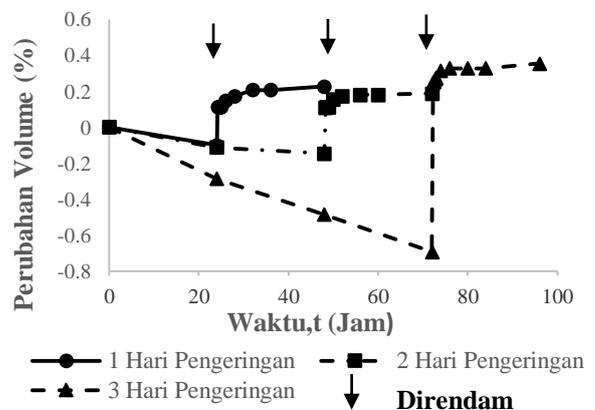
Gambar 10 Pengeringan dan pengembangan pasca elektrokinetik dan kolom kapur pada titik 2

Nilai pengembangan tanah maksimum pada titik 3 yang terjadi pasca elektrokinetik dan kolom kapur dengan lamanya proses pengeringan selama 1 hari sebesar 0,24 % , pengeringan selama 2 hari sebesar 0,24 % , dan pengeringan selama 3 hari sebesar 0,41 % (lihat Gambar 11).



Gambar 11 Pengeringan dan pengembangan pasca elektrokinetik dan kolom kapur pada titik 3

Nilai pengembangan tanah maksimum pada titik 4 yang terjadi pasca elektrokinetik dan kolom kapur dengan lamanya proses pengeringan selama 1 hari pengeringan sebesar 0,23% , pengeringan selama 2 hari sebesar 0,19%, dan pengeringan selama 3 hari sebesar 0,35%. (lihat Gambar 12).



Gambar 12 Pengeringan dan pengembangan pasca elektrokinetik dan kolom kapur pada titik 4

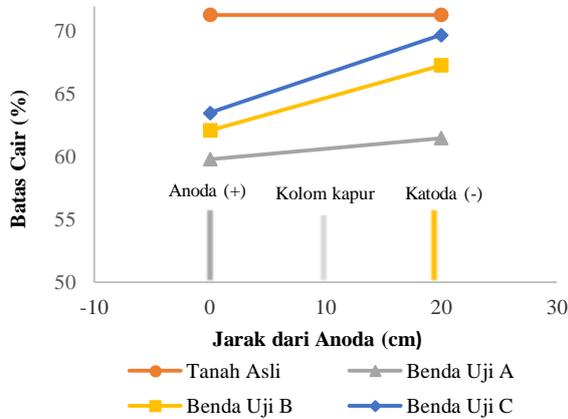
Hasil pengujian sifat-sifat geoteknik pasca metode elektrokinetik

Batas-batas Atterberg

Tanah diambil pada sekitar anoda (+) dan katoda (-) pada semua kondisi untuk diuji batas-batas *Atterberg* berdasarkan standar pengujian ASTM D4318-10.

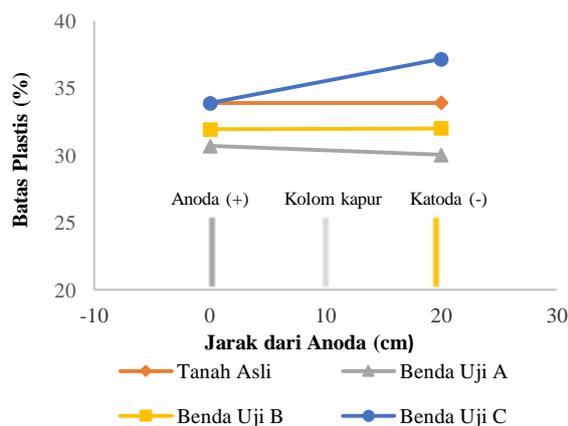
Nilai batas cair pasca pengujian terhadap lama waktu pengeringan selama 1 hari sebesar 59,8% pada anoda (+) dan 61,5% pada katoda

(-), waktu pengeringan selama 2 hari sebesar 62,1% pada anoda (+) dan 67,3% pada katoda (-), dan pada lama waktu pengeringan selama 3 hari sebesar 63,5% pada anoda (+) dan 69,7% pada katoda (-) (lihat pada Gambar 13).



Gambar 13 Batas cair pasca pemberian elektrokinetik dan kolom kapur

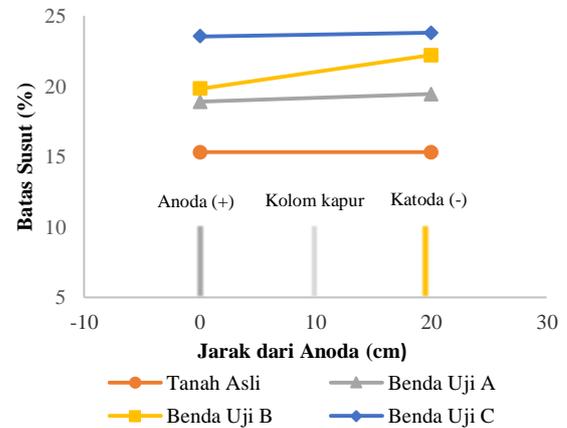
Nilai batas plastis pasca pengujian terhadap lama waktu pengeringan selama 1 hari sebesar 30,7% pada anoda (+) dan 30% pada katoda (-), waktu pegeringan selama 2 hari sebesar 31,9% pada anoda (+) dan 32% pada katoda (-), dan lama waktu pengeringan selama 3 hari sebesar 33,9% pada anoda (+) dan 37,1% pada katoda (-) (lihat Gambar 14).



Gambar 14 Batas plastis pasca pemberian elektrokinetik dan kolom kapur

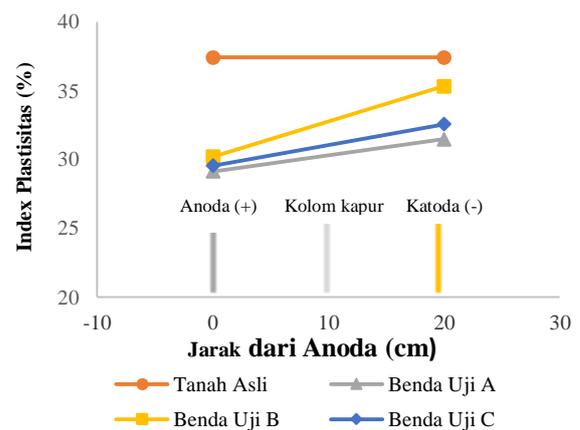
Nilai batas susut pasca pengujian terhadap lama waktu pengeringan selama 1 hari

sebesar 18,9% pada area anoda (+) dan 19,4% pada katoda (-), waktu pegeringan selama 2 hari sebesar 19,8% pada anoda (+) dan 22,2% pada katoda (-), dan pada lama waktu pengeringan selama 3 hari sebesar 23,5% pada anoda (+) dan 23,8% pada katoda (-) (lihat Gambar 15).



Gambar 15 Batas susut pasca pemberian elektrokinetik dan kolom kapur

Nilai indeks plastisitas pasca pengujian terhadap lama waktu pengeringan selama 1 hari sebesar 29,1% pada anoda (+) dan 31,5% pada katoda (-), waktu pegeringan selama 2 hari sebesar 30,2% pada anoda (+) dan 35,3% pada katoda (-), dan pada lama waktu pengeringan selama 3 hari sebesar 29,5% pada anoda (+) dan 32,6% pada katoda (-) (lihat Gambar 16).

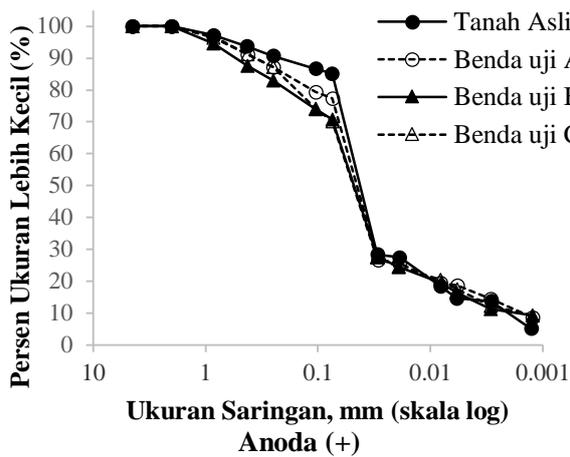


Gambar 16 Indek plastisitas pasca pemberian elektrokinetik dan kolom kapur

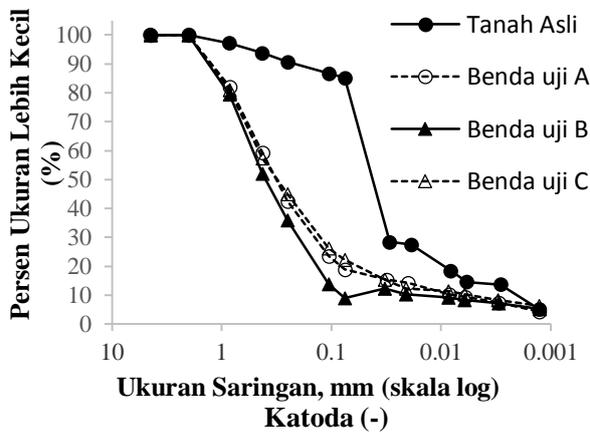
Distribusi ukuran butir Tanah

Dari pengujian distribusi ukuran butir tanah yang dilakukan pasca elektrokinetik

berdasarkan standar pengujian ASTM D6913-04 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan presentase ukuran butir pada tanah disekitar area anoda (+) dan katoda (-). Peningkatan presentase fraksi kasar yang signifikan terjadi pada tanah di area sekitar katoda (-) untuk setiap lamanya proses pengeringan selama 1 hari sebesar 77,76%, 2 hari pengeringan sebesar 91,01% dan 3 hari pengeringan sebesar 80,9% jika dibandingkan dengan fraksi kasar tanah asli sebesar 14,7% (lihat Gambar 17 dan Gambar 18).



Gambar 17 Distribusi ukuran butir tanah disekitar anoda (+)

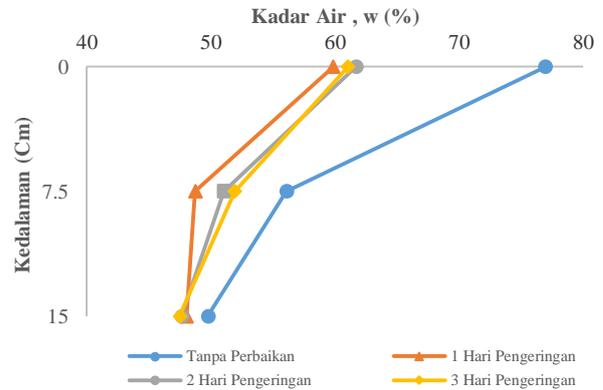


Gambar 18 Distribusi ukuran butir tanah disekitar katoda (-)

Kadar air

Pengujian kadar air berdasarkan standar pengujian ASTM D2216-10 dilakukan pasca pemberian elektrokinetik dan kolom kapur. Sampel tanah diambil dari kedalaman 0cm, 7,5cm dan 15cm. Dari pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa nilai kadar air mengalami penurunan terhadap kedalaman.

Pada kedalaman (0 cm) memiliki nilai kadar air lebih besar dibandingkan kedalaman 7,5 cm dan 15 cm (lihat Gambar 19).

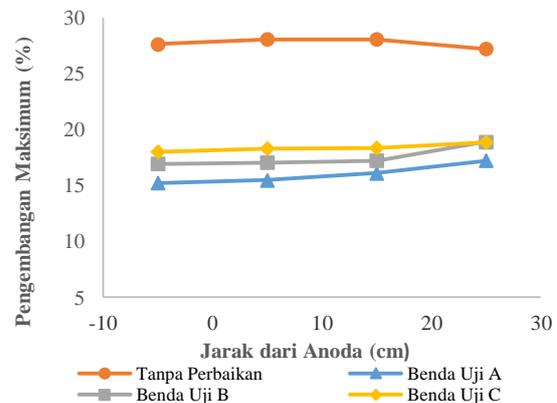


Gambar 19 Nilai kadar air terhadap kedalaman benda uji

4. Pembahasan

Pengaruh stabilisasi kolom kapur pasca elektrokinetik terhadap pengembangan tanah

Berdasarkan pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa metode elektrokinetik dengan kombinasi kolom kapur secara efektif dapat mengurangi nilai pengembangan jika dibandingkan dengan tanpa proses elektrokinetik dan kolom kapur. Dapat dilihat dari hasil pengembangan maksimum dengan perlakuan elektrokinetik benda uji A sebesar 18,9% pada titik 4, benda uji B sebesar 18,9% pada titik 4 dan benda uji C sebesar 17,2% pada titik 4. Sedangkan tanpa proses elektrokinetik dan kolom kapur mengalami pengembangan yang sangat tinggi sebesar 28% pada titik 3 (lihat Gambar 20).



Gambar 20 pengembangan terhadap jarak dari anoda (+)

Hal tersebut disebabkan oleh proses penyebaran kapur pada tanah lempung ekspansif yang terjadi saat proses elektrokinetik. Hal ini menyebabkan terjadinya reaksi *pozzolan* yang mana dapat mengurangi laju pengembangan pada tanah lempung ekspansif. Hasil dari reaksi yang terjadi menyebabkan pembentukan hidrat dan absorpsi kapiler, yang mengakibatkan kekuatan tanah meningkat dan memperkecil pengembangan yang terjadi pada tanah. Kapur aktif yang telah mati, bereaksi dengan mineral lempung seperti *monmorilonite*, kemudian akan menetralkan muatan negatif pada tanah lempung, sehingga dapat mengurangi kemampuan tanah dalam menyerap air (Bowles, 1989).

Hatmoko dan Lulie (2007) menjelaskan bahwa semakin tinggi kadar kapur maka nilai indeks plastisitas semakin menurun. Fenomena tersebut menunjukkan terjadinya pertukaran ion-ion K^+ dan Na^+ oleh ion-ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang terkandung didalam kapur. Dengan pertukaran ion tersebut potensi dan tekanan pengembangan pada tanah akan menurun. Hasil pengembangan menunjukkan pengembangan maksimum dengan tambahan bahan aditif berupa kapur dalam stabilisasi elektrokinetik lebih efektif mengurangi pengembangan dibandingkan dengan hanya menggunakan elektrokinetik dan tanah tanpa stabilisasi.

Pengaruh stabilisasi kolom kapur pasca elektrokinetik dengan variasi proses pengeringan terhadap pengembangan.

Hasil pengujian menunjukkan semakin lama proses pengeringan tanah pengembangan yang terjadi semakin besar. Pengujian pengeringan selama 1,2 dan 3 hari pasca elektrokinetik dan kolom kapur tidak mampu menahan pengembangan pada tanah. Dapat dilihat dari hasil pengembangan maksimum pada proses pengeringan selama 1 hari sebesar 0,27% pada titik 2, selama 2 hari proses pengeringan mengalami pengembangan sebesar 0,29% pada titik 2, dan pengeringan selama 3 hari pengembangan sebesar 0,41% pada titik 2 dan 3. Hal ini disebabkan oleh reaksi kimia yang terjadi selama proses pengeringan antara kapur dan tanah yang menyebabkan tanah menjadi kering. Kondisi ini membuat tanah lebih banyak menyerap air

sehingga pengembangan yang terjadi semakin tinggi. Muntohar (2014) menyatakan bahwa lempung yang sangat kering memiliki potensi pengembangan yang sangat tinggi. Pada kondisi tersebut, lempung dengan mudah menyerap air. Pada kondisi kadar air ini, lempung telah mengembang dan pengembangan berikutnya akan terjadi relatif kecil. Tanah lempung yang berada dalam kondisi basah dapat menjadi kering karena turunnya muka air tanah atau perubahan kondisi fisik lainnya, maka dalam keadaan ini lempung akan mengembang setelah kembali mengalami proses perendaman.

Pengembangan yang terjadi juga dipengaruhi oleh siklus basah dan kering, Day (1996); Osipov dkk. (1987) menyebutkan bahwa potensi pengembangan meningkat dengan jumlah siklus perendaman dan pengeringan. Al-Homoud dkk. (1995); menjelaskan bahwa semakin lama proses pengeringan dilakukan akan mengakibatkan penurunan pada nilai kadar air hingga pada kondisi nilai kadar air kurang dari nilai batas susut tanah (*Full Shrinkage*). Pada kondisi pengeringan sempurna (*Full Shrinkage*) akan menyebabkan peningkatan pada nilai pengembangan tanah.

Pengaruh stabilisasi kolom kapur pasca elektrokinetik terhadap Batas-batas Atterberg

Hasil pengujian batas-batas *Atterberg* pasca stabilisasi elektrokinetik dengan kombinasi kolom kapur menunjukkan bahwa terjadi penurunan pada nilai batas cair dan indeks plastisitas serta peningkatan pada nilai batas plastis dan batas susut jika dibandingkan dengan tanah tanpa stabilisasi. Penurunan pada nilai indeks plastisitas umumnya sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Panjaitan dan Andi (2017); Jayasekera (2006), dalam stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan elektrokinetik.

Panjaitan dan Andi (2017) menjelaskan bahwa hal ini disebabkan oleh perubahan konsentrasi ion yang ada di tanah lempung ekspansif pasca proses elektrokinetik. Pada kondisi konsentrasi Ca^{2+} lebih kecil dari pada nilai konsentrasi Ca^{2+} awal, nilai indeks plastisitas mengalami penurunan dibandingkan dengan nilai indeks plastisitas pada kondisi

tanah asli, sedangkan nilai batas susut pada kondisi ini meningkat dibandingkan dengan nilai batas susut pada kondisi tanah asli. Hatmoko dan Lulie (2007) menjelaskan semakin tinggi kadar kapur batas plastis meningkat dan batas cair menurun, sehingga indeks plastisitas (IP) tanah menurun. Fenomena tersebut menunjukkan terjadinya pertukaran ion- ion K^+ dan Na^+ yang terkandung dalam tanah oleh ion-ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang terkandung didalam kapur. Dengan pertukaran ion tersebut potensi dan tekanan pengembangan pada tanah akan menurun.

Pengaruh stabilisasi kolom kapur pasca elektrokinetik terhadap distiribusi ukuran butiran tanah

Hasil pengujian distribusi ukuran butir tanah menunjukkan bahwa jumlah fraksi kasar pada area katoda (-) mengalami peningkatan yang signifikan. Sedangkan pada area anoda (+) juga mengalami peningkatan fraksi kasar namun tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan terjadinya proses penggumpalan butiran tanah sekitar katoda (-) (lihat Gambar 21). Penggumpalan yang terjadi pada tanah disebabkan oleh proses flokulasi. Hal ini disebabkan oleh pertukaran ion yang terdapat pada kapur.

Bell (1996); Hatmoko dan Lulie (2007) menjelaskan terjadinya perubahan struktur lempung disebabkan karena pertukaran ion-ion positif (kation) yang ada didalam tanah lempung (Na^+ dan K^+) oleh ion ion positif yang ada didalam kapur (Ca^{2+} dan Mg^{2+}) menyebabkan terjadinya reaksi pertukaran ion dalam waktu yang relatif singkat dan akan mengakibatkan terjadinya perubahan tekstur ukuran butiran tanah menjadi lebih besar karena butiran-butiran menggumpal satu sama lain (flokulasi). Muntohar (2014) menjelaskan bahwa flokulasi merupakan proses perubahan struktur partikel lempung dari struktur yang paralel datar menjadi struktur yang orientasi partikelnya lebih acak. Sedangkan, aglomerasi merupakan pembesaran ukuran partikel yang terjadi dari flokulasi partikel-partikel lempung yang membentuk ikatan antar ujung dari permukaan partikel lempung. Flokulasi dan aglomerasi dapat merubah tekstur tanah

lempung dari berukuran halus menjadi berukuran kasar.



Gambar 21 Penggumpalan tanah pada ara disekitar katoda (-)

Pengaruh stabilisasi kolom kapur pasca elektrokinetik terhadap nilai kadar air

Hasil pengujian kadar air menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai kadar air terhadap kedalaman sampel uji, kadar air pada kedalaman (0cm) lebih besar dibandingkan kadar air pada kedalaman (7.5cm) dan (15cm). Berdasarkan hasil pengujian kadar air terhadap area disekitar elektroda menunjukkan bahwa nilai kadar air di sekitar katoda (-) lebih besar jika dibandingkan dengan kadar air disekitar anoda (+). Hal ini disebabkan oleh pengaruh dari kolom kapur menyebabkan penyebaran kapur lebih banyak ditemukan pada dasar benda uji. Bowles (1989) menjelaskan bahwa kapur aktif yang telah mati, akan bereaksi dengan mineral lempung seperti monmorilonite, kemudian akan menetralsisir muatan negatif pada tanah lempung, sehingga dapat mengurangi kemampuan tanah dalam menyerap air dan menyebabkan penurunan pada nilai kadar air di bagian dasar benda uji.

Atmaja dkk. (2013) menjelaskan bahwa selama proses elektroosmosis, akan terjadi perpindahan partikel air dari anoda (+) ke katoda (-) sehingga menyebabkan nilai kadar air pada tanah disekitar katoda (-) menjadi lebih kecil. Elektroosmosis mampu mengurangi kadar air pada tanah lempung. Pada saat kadar air tanah berkurang, air lapisan ganda (pelumas) 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.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode elektrokinetik dengan kombinasi kolom kapur secara efektif dapat mengurangi nilai pengembangan pada tanah lempung ekspansif. Pengembangan yang terjadi menunjukkan penurunan nilai pengembangan sebesar 9%-11% pada setiap pengujian jika dibandingkan tanpa proses elektrokinetik dan kolom kapur.
2. Pengembangan yang terjadi mengalami peningkatan terhadap lamanya proses pengeringan. Pengeringan selama 1 hari terjadi pengembangan sebesar 0,27%, selama 2 hari pengeringan sebesar 0,29% dan selama 3 hari proses pengeringan sebesar 0,41%.
3. Metode elektrokinetik dan kolom kapur secara efektif dapat mengurangi ekspansifitas dari tanah lempung. Hal ini ditunjukkan dari hasil pengujian batas-batas Atterberg dimana terjadi penurunan pada nilai indeks plastisitas pasca pengujian sebesar 5%-12%. Nilai distribusi ukuran partikel tanah mengalami penggumpalan butiran yang ditunjukkan pada peningkatan presentase fraksi kasar yang signifikan pada tanah disekitar katoda (-) dari 15% menjadi 78% selama 1 hari pengeringan, 91% untuk 2 hari pengeringan dan 81% dalam 3 hari pengeringan.

6. 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.
- Al-Homoud, A.S., Basma, A.A., Malkawi, A.I.H., dan Al Bashabsheh, M.A., 1995, Cyclic Swelling Behavior of Clays, *Journal of Geotechnical Engineering*, 121(7), 562–565.
- Atmaja, Y. R., Surjandari, N. S. dan As'ad, S., 2013, Pengaruh Penggunaan Elektroosmosis Terhadap Parameter Kuat Geser Tanah Lempung, *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 1(4), 30–37.
- Bell, F.G. 1996. Lime Stabilization of Clay Minerals and Soils. *Engineering Geology*, 42(4), 223–237.
- Bowles J.E. 1989. Foundation and Analysis Design. Civil Engineering of Bradley University. Mc Graw Hill Company. New York
- Cokca, E., 2001, Use of Class C F Ly a Shes for the Stabilization of an Expansive Soil, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(7), 568–573.
- Dakshanamurthy, V., dan Raman, V., 1973, A simple method of identifying an expansive soil. *Soils and Foundations*, 13(1), 97–104.
- Day, R.W., 1994, Swell – Shrink Behaviour of Compacted Clay, *Journal of Geotechnical Engineering ASCE*, 120(3), 618–623.
- Hatmoko, J. T., Lulie, H., 2007, Ucs Tanah Lempung Ekspansif Yang Distabilisasi Dengan Abu Ampas Tebu Dan Kapur. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 8(1), 64–77.
- Jayasekera, S., 2006, Stabilising Volume Change Characteristics of Expansive Soils Using Electrokinetics: A Laboratory Based Investigation, *Proceedings of the Fourth International Conference on Soft Soil Engineering. Vancouver, Canada, October 2006*, 643–648.
- Muntohar. A.S.. 2014. Prinsip-Prinsip Perbaikan Tanah. Yogyakarta: Lembaga Penelitian. Publikasi. dan Pengabdian Masyarakat (LP3M).
- Panjaitan, N., dan Andi, A., 2017, Electrokinetic Phenomena of Cation Exchange and Its Effect on the Behaviour of Expansive Clays. *International Journal of Geomate*, 13(38), 173–177.
- Panjaitan, N. H., Rifa'i, A., Adi, A. D., dan

- Sumardi, P., 2012, The Phenomenon of Electromigration During Electrokinetic Process On Expansive Clay Soil. *International Journal of Civil and Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, 12(4), 47–50.
- Sudjianto, A. T., Suryolelono, K. B., Rifa, A., dan Mochtar, I. B., 2011, The Effect of Variation Index Plasticity and Activity in Swelling Vertical of Expansive Soil. *International Journal of Engineering & Technology*, 11(6), 142–148.
- Thuy, T. T. T., Putra, D. P. E., Budianta, W., dan Hazarika, H., 2013, Improvement of expansive soils by electrokinetic method. *Journal Sains Engineering Asian Applied. Geological*, 5(1), 50–59.
- Osipov, V. I., Bik, N.N., dan Rumjantseva, N. A., 1987, Cyclic Swelling of Clays, *Applied Clay Science*, 2(4), 363–374.