

BAB IV

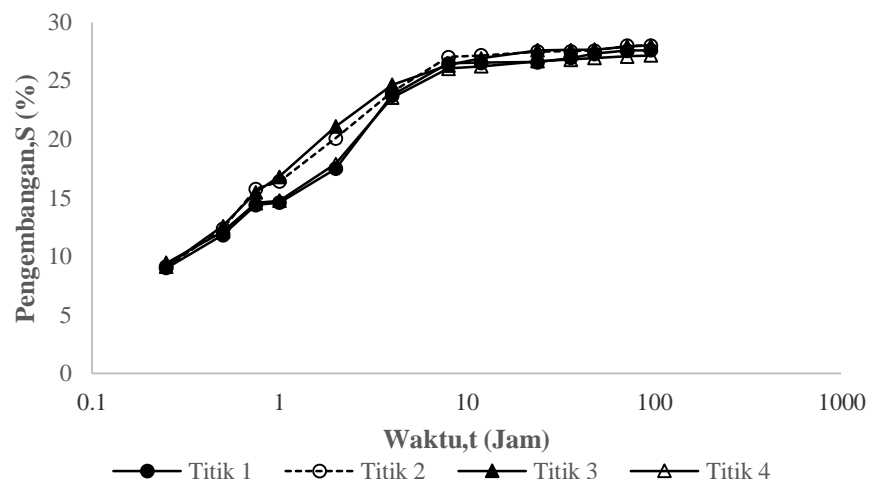
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Pengembangan tanah lempung ekspansif tanpa stabilisasi kolom kapur dan elektrokinetik

Pengujian pengembangan tanah tanpa stabilisasi dilakukan selama 4 hari sebagai pembanding pengembangan tanah menggunakan metode stabilisasi kolom kapur dengan kombinasi elektrokinetik. Pengembangan tanah diperoleh dari perendaman benda uji dengan air sebesar 8000 ml dan pembacaan arloji diamati dalam 4 titik pada setiap letak *dial gauge* dengan jarak 5 cm antara anoda (+), kolom kapur dan katoda (-). Grafik pengembangan tanah terhadap waktu seperti yang terlihat pada Gambar 4.1. Nilai maksimum pengembangan tanah tanpa stabilisasi terdapat pada titik 2 dan 3 sebesar 28%, sedangkan nilai minimum pengembangan tanah terdapat pada titik 4 sebesar 27,2% seperti yang disajikan pada Tabel 4.1.

Hasil Pengujian pengembangan tanah tanpa proses elektrokinetik dan kolom kapur dilakukan untuk menentukan besarnya pengembangan yang terjadi pada kondisi asli yang nantinya akan dibandingkan dengan pengembangan tanah yang terjadi pasca stabilisasi kolom kapur dengan kombinasi elektrokinetik.



Gambar 4.1. Kurva pengembangan tanah tanpa elektrokinetik dan kolom kapur (Khatimah, 2017).

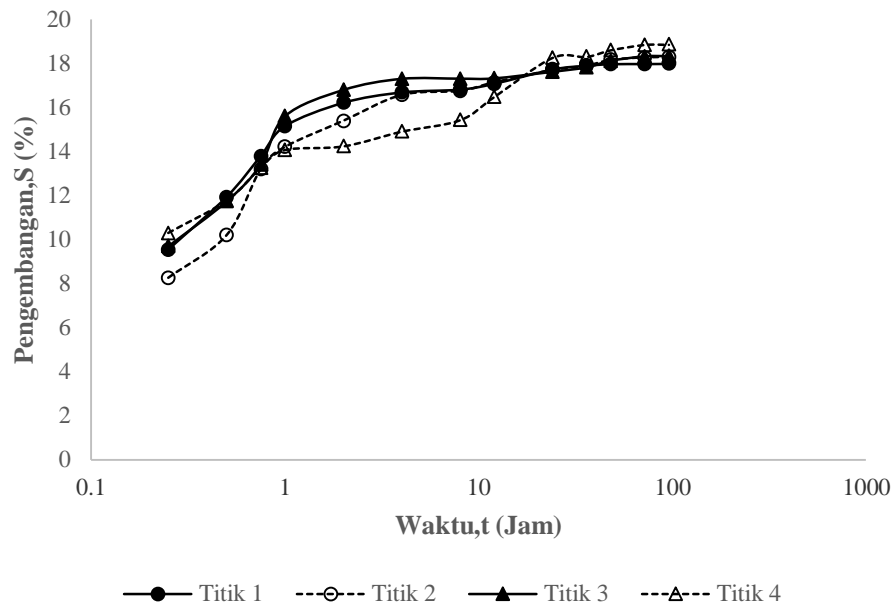
Tabel 4.1. Hasil Pengembangan Tanah tanpa Elektrokinetik dan kolom Kapur (Khatimah, 2017)

Keterangan	Titik			
	1	2	3	4
Pengembangan, S (%)	27,6	28,0	28,0	27,2

Keterangan : Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada lampiran B

4.1.2 Pengembangan tanah lempung ekspansif dengan stabilisasi kolom kapur pasca elektrokinetik

Pengujian pengembangan tanah dengan metode elektrokinetik dan kolom kapur dilakukan selama 4 hari dan tambahan waktu pengeringan selama 1,2 dan 3 hari untuk mengamati perilaku pengembangan pasca pengujian. Penelitian ini dilakukan dengan interval waktu pembacaan arloji 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. Dari hasil pengujian didapat kurva pengembangan tanah terhadap waktu. Pengembangan yang terjadi terus bertambah seiring dengan waktu dan mengalami pengembangan yang relatif konstan setelah 1 jam proses perendaman. Kondisi tanah yang pada awalnya kering menjadikan pengembangan yang terjadi cukup signifikan ketika tanah dicampurkan dengan air, sedangkan setelah 1 jam air akan menyebar ke tanah yang mengakibatkan tanah menjadi jenuh air sehingga pengembangannya relatif konstan. Besaran voltase yang digunakan pada proses elektrokinetik sebesar 12 volt dengan kedalaman elektroda 10 cm, dan jarak elektroda dengan kolom kapur masing-masing 10 cm. Pengujian pengembangan diamati sebanyak 4 titik pada setiap letak *dial gauge* dengan jarak 5 cm antara anoda dan katoda. Pengujian dengan elektrokinetik dilakukan 3 kali pengujian, yaitu 3 hari pengeringan (benda uji A), 2 hari pengeringan (benda uji B), dan 1 hari pengeringan (benda uji C). Nilai pengembangan maksimum tanah dengan metode elektrokinetik dan kolom kapur benda uji A terdapat pada titik 4 sebesar 18,9%, sedangkan nilai pengembangan minimum terdapat pada titik 1 sebesar 18,0% seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.2.



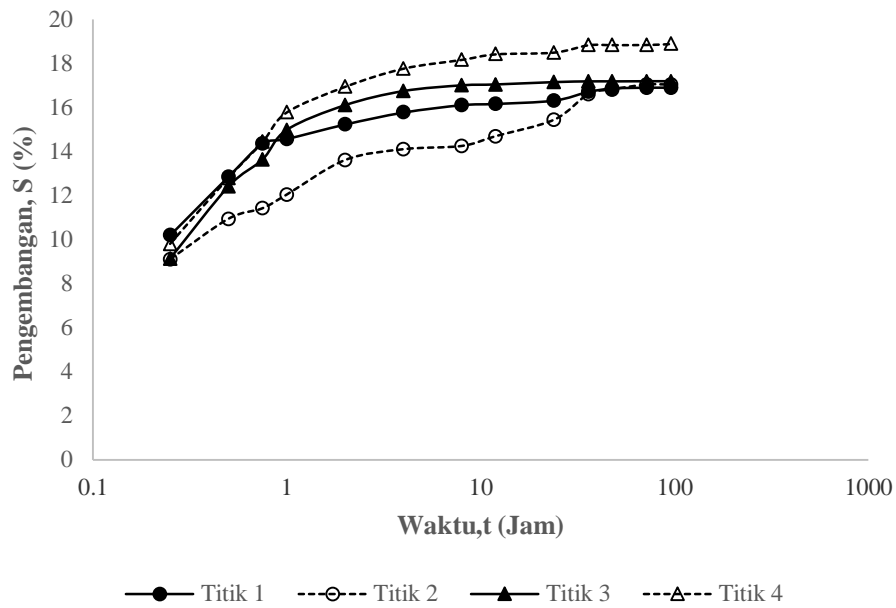
Gambar 4.2. Kurva pengembangan tanah dengan elektrokinetik dan kolom kapur benda uji A (3 hari pengeringan).

Tabel 4.2. Hasil Pengembangan Tanah dengan Elektrokinetik dan kolom Kapur benda uji A (3 hari pengeringan)

Keterangan	Titik			
	1	2	3	4
Pengembangan, S (%)	18.0	18.3	18.3	18.9

Keterangan : Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada lampiran C

Nilai pengembangan pada tanah lempung ekspansif pasca pengujian dengan elektrokinetik dan kolom kapur dengan lama waktu pengeringan selama 2 hari (benda uji 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% seperti yang terlihat pada Gambar 4.3 dan Tabel 4.3.



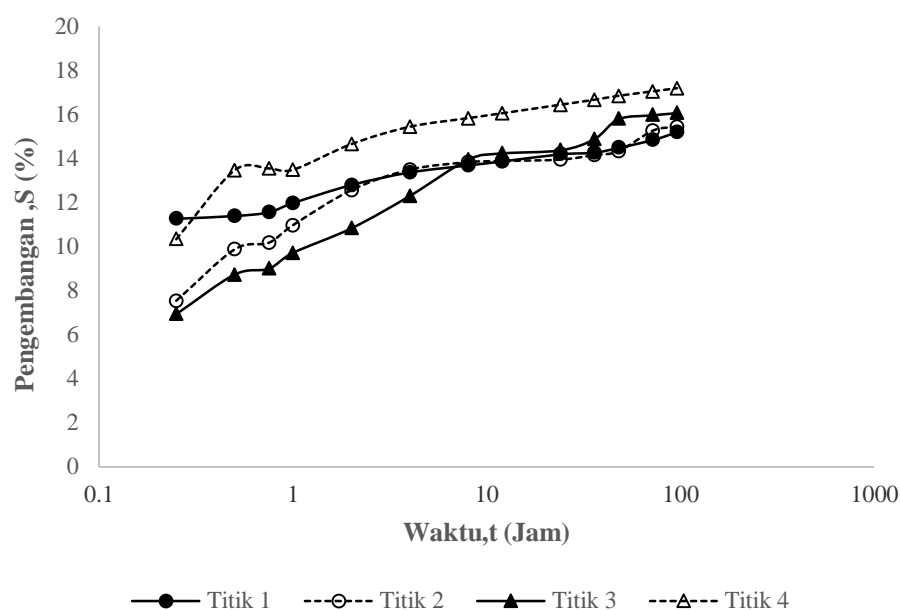
Gambar 4.3. Kurva pengembangan tanah dengan elektrokinetik dan kolom kapur benda uji B (2 hari pengeringan).

Tabel 4.3. Hasil Pengembangan Tanah dengan Elektrokinetik dan kolom Kapur benda uji B (2 hari pengeringan)

Keterangan	Titik			
	1	2	3	4
Pengembangan, S (%)	16,9	17,0	17,2	18,9

Keterangan : Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada lampiran C

Nilai pengembangan pada tanah lempung ekspansif pasca pengujian dengan elektrokinetik dan kolom kapur dengan lama waktu pengeringan selama 1 hari (benda uji C) mengalami peningkatan pengembangan terhadap waktu, Pengembangan maksimum yang terjadi pada tanah dengan metode elektrokinetik dan kolom kapur terdapat pada titik 4 sebesar 17,2%, sedangkan nilai pengembangan minimum terdapat pada titik 1 sebesar 15,2% seperti yang terlihat pada Gambar 4.4 dan Tabel 4.4.



Gambar 4.4. Kurva pengembangan tanah dengan elektrokinetik dan kolom kapur benda uji C (1 hari pengeringan).

Tabel 4.4. Hasil Pengembangan Tanah dengan Elektrokinetik dan kolom Kapur benda uji C (1 hari pengeringan)

Keterangan	Titik			
	1	2	3	4
Pengembangan, S (%)	15,2	15,4	16,1	17,2

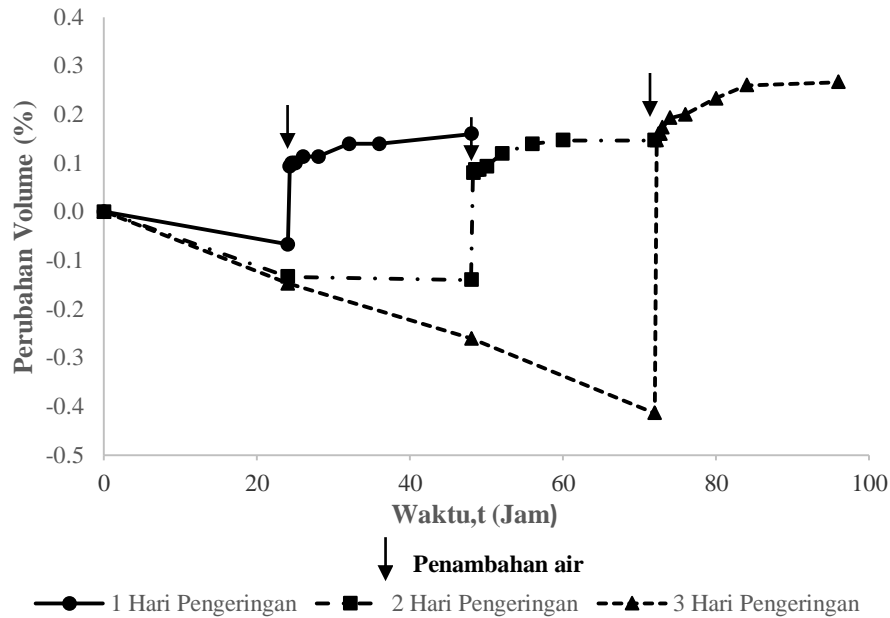
Keterangan : Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada lampiran C

4.1.3 Pengembangan tanah lempung ekspansif dengan stabilisasi kolom kapur dan lama proses pengeringan pasca elektrokinetik

Proses pengeringan dilakukan dalam 3 kondisi, yaitu 3 hari pengeringan ditambah dengan 1 hari proses perendaman (benda uji A), 2 hari pengeringan ditambah 1 hari proses perendaman (benda uji B), dan 1 hari pengeringan ditambah 1 hari proses perendaman (benda uji C). Pada tahapan ini terjadi penyusutan saat proses pengeringan dilakukan dan pengembangan kembali terjadi sesaat setelah tanah kembali diberi air. Sebanyak 4 titik diamati menggunakan *dial gauge* dengan jarak 5 cm antara anoda (+), kolom kapur dan katoda (-).

Dari kurva perubahan volume terhadap waktu diketahui bahwa pengembangan yang terjadi semakin besar dengan lamanya waktu pengeringan. Hal ini ditunjukkan oleh 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% seperti yang disajikan pada Gambar 4.5 dan Tabel 4.5.



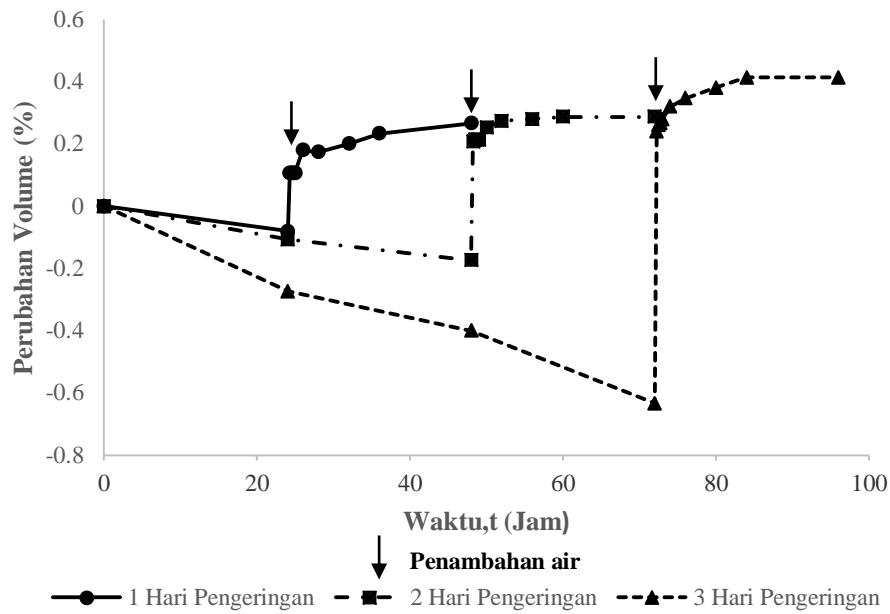
Gambar 4.5. Kurva pengembangan terhadap lama proses pengeringan pasca elektrokinetik pada titik 1.

Tabel 4.5. Nilai maksimum pengembangan tanah pasca elektrokinetik pada titik 1

Keterangan	Pengeringan (Hari)		
	1	2	3
Pengembangan, S (%)	0,16	0,15	0,27

Keterangan: Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada lampiran C

Dari kurva perubahan volume terhadap waktu diketahui bahwa pengembangan yang terjadi semakin besar dengan lamanya waktu pengeringan. Hal ini ditunjukkan oleh pengembangan tanah maksimum pada titik 2 yang terjadi pasca elektrokinetik dan kolom kapur dengan lamanya proses pengeringan selama 1 hari sebesar 0,27% ,pengembangan pada proses pengeringan selama 2 hari sebesar 0,29%, dan pengembangan pada proses pengeringan selama 3 hari sebesar 0,41% seperti yang disajikan pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.6.



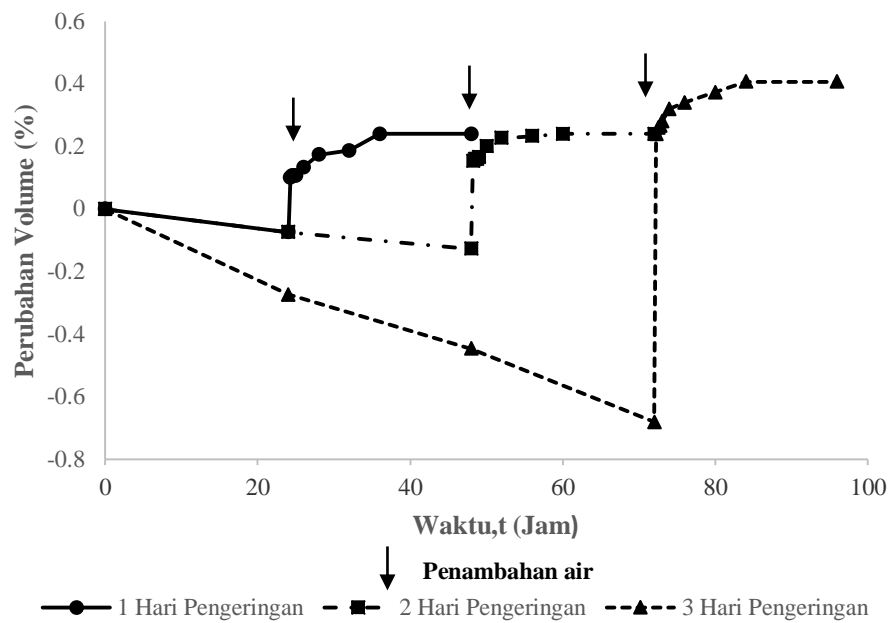
Gambar 4.6. Kurva pengembangan terhadap lama proses pengeringan pasca elektrokinetik pada titik 2.

Tabel 4.6. Nilai maksimum pengembangan tanah pasca elektrokinetik pada titik 2

Keterangan	Pengeringan (Hari)		
	1	2	3
Pengembangan, S (%)	0,27	0,29	0,41

Keterangan: Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada lampiran C

Dari kurva perubahan volume terhadap waktu diketahui bahwa pengembangan yang terjadi semakin besar dengan lamanya waktu pengeringan. Hal ini ditunjukkan oleh pengembangan tanah maksimum pada titik 3 yang terjadi pasca elektrokinetik dan kolom kapur dengan lamanya proses pengeringan selama 1 hari sebesar 0,24% ,pengembangan pada proses pengeringan selama 2 hari sebesar 0,24%, dan pengembangan pada proses pengeringan selama 3 hari sebesar 0,41% seperti yang disajikan pada Gambar 4.7 dan Tabel 4.7.



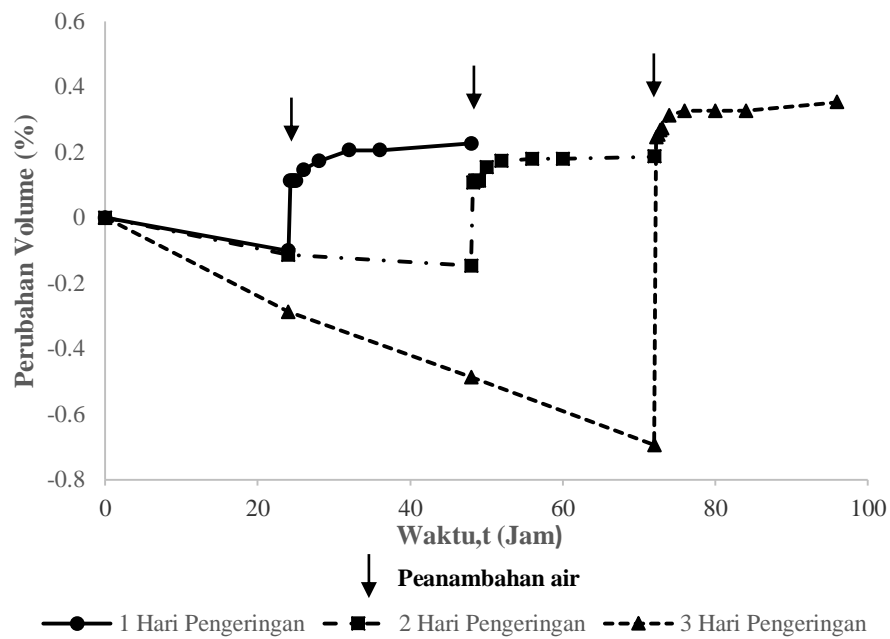
Gambar 4.7. Kurva pengembangan terhadap lama proses pengeringan pasca elektrokinetik pada titik 3.

Tabel 4.7. Nilai maksimum pengembangan tanah pasca elektrokinetik pada titik 3

Keterangan	Pengeringan (Hari)		
	1	2	3
Pengembangan, S (%)	0,24	0,24	0,41

Keterangan: Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada lampiran C

Dari kurva perubahan volume terhadap waktu diketahui bahwa pengembangan yang terjadi semakin besar dengan lamanya waktu pengeringan. Hal ini ditunjukkan oleh pengembangan tanah maksimum pada titik 4 yang terjadi pasca elektrokinetik dan kolom kapur dengan lamanya proses pengeringan selama 1 hari sebesar 0,23% ,pengembangan pada proses pengeringan selama 2 hari sebesar 0,19%, dan pengembangan pada proses pengeringan selama 3 hari sebesar 0,35% seperti yang disajikan pada Gambar 4.8 dan Tabel 4.8.



Gambar 4.8. Kurva pengembangan terhadap lama proses pengeringan pasca elektrokinetik pada titik 4.

Tabel 4.8. Nilai maksimum pengembangan tanah pasca elektrokinetik pada titik 4

Keterangan	Pengeringan (Hari)		
	1	2	3
Pengembangan, S (%)	0,23	0,19	0,35

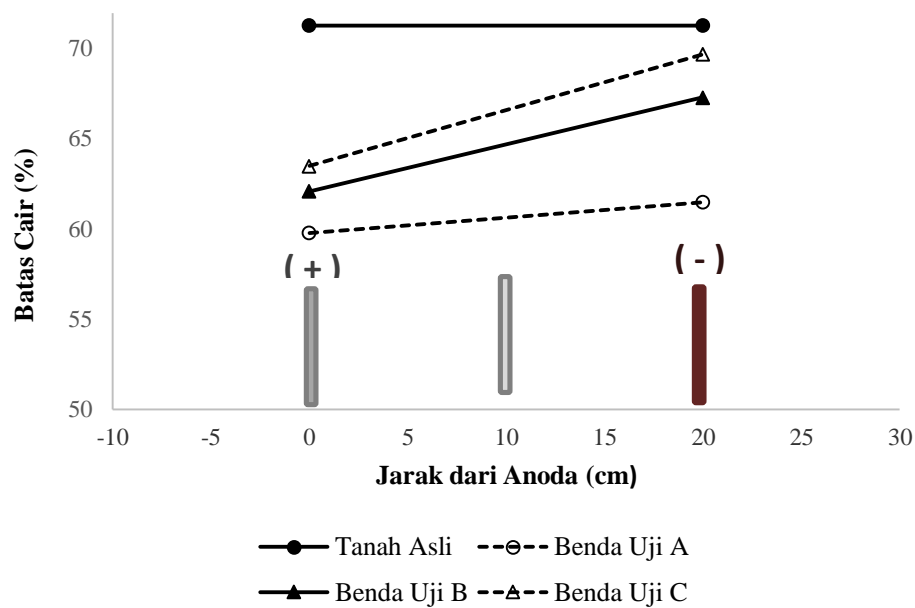
Keterangan: Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada lampiran C

4.1.4 Batas-batas atterbeg tanah lempung ekspansif pasca metode elektrokinetik dan kolom kapur

Pasca pengujian elektrokinetik dengan kombinasi kolom kapur selama 4 hari perendaman dan 3 hari pengeringan ditambah dengan 1 hari proses perendaman (benda uji A), 2 hari pengeringan ditambah 1 hari proses perendaman (benda uji B), dan 1 hari pengeringan ditambah 1 hari proses perendaman (benda uji C). Contoh tanah pada area di sekitar elektroda yaitu anoda (+) dan katoda (-) diambil untuk diuji batas-batas *Atterberg*.

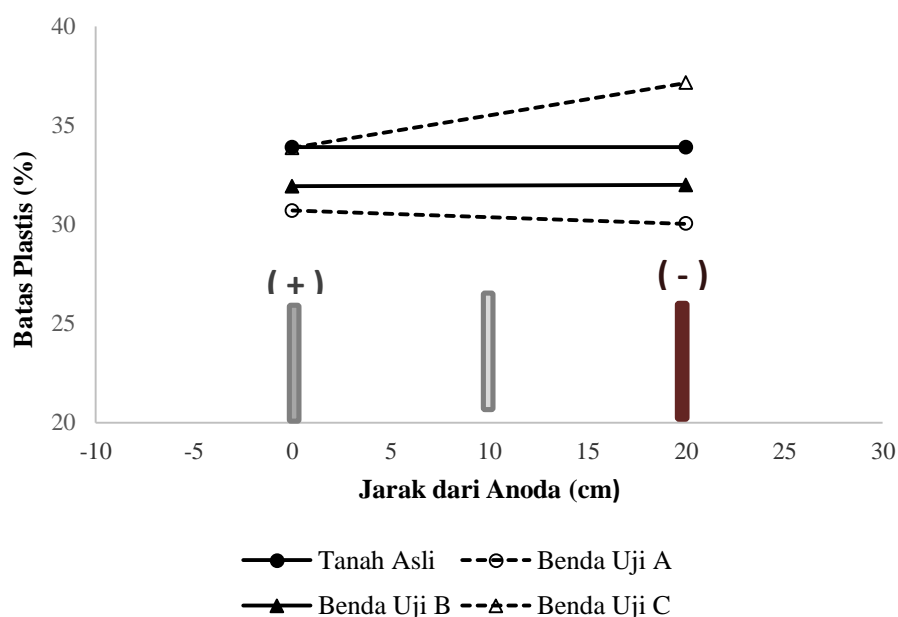
Pada pengujian batas cair didapat kurva hubungan antara nilai batas cair terhadap jarak dari anoda. Nilai batas cair setelah pengujian terhadap lama waktu pengeringan selama 1 hari sebesar 59,8% pada anoda (+) dan 61,5% pada katoda (-), waktu pegeringan selama 2 hari sebesar 62,1% pada anoda (+) dan 67,3% pada

katoda (-), dan pada lama waktu pengeringan selama 3 hari sebesar 63,5% pada anoda (+) dan 69,7% pada katoda (-). Dapat dilihat bahwa nilai batas cair pasca pengujian elektrokinetik dengan kombinasi kolom kapur mengalami penurunan jika dibandingkan dengan nilai batas cair tanah asli yaitu sebesar 71,3%. Pada area di sekitar anoda (+) memiliki penurunan yang lebih besar dari pada area di sekitar katoda (-) seperti yang terlihat pada Gambar 4.9.



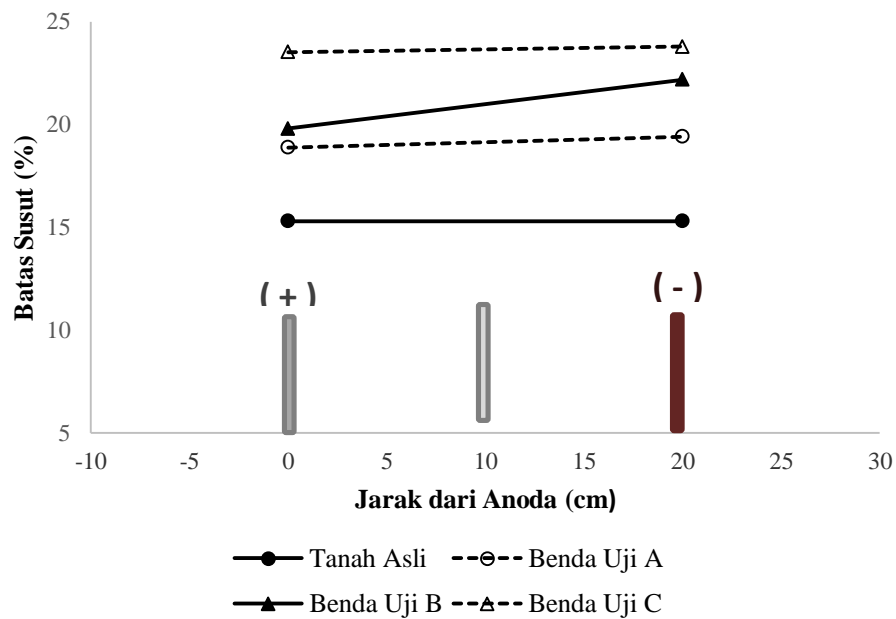
Gambar 4.9. Grafik hubungan antara nilai batas cair terhadap jarak dari anoda.

Pada pengujian batas plastis didapat kurva hubungan antara nilai batas plastis terhadap jarak dari anoda. Nilai batas plastis setelah pengujian terhadap lama waktu pengeringan selama 1 hari sebesar 30,7% pada anoda (+) dan 30% pada katoda (-), waktu pengeringan 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 (-). Dapat diketahui bahwa nilai batas plastis setelah pengujian elektrokinetik dengan kombinasi kolom kapur mengalami peningkatan pada 3 hari proses pengeringan (benda uji C) jika dibandingkan dengan nilai batas plastis tanah asli yaitu sebesar 33,9% seperti yang terlihat pada Gambar 4.10.



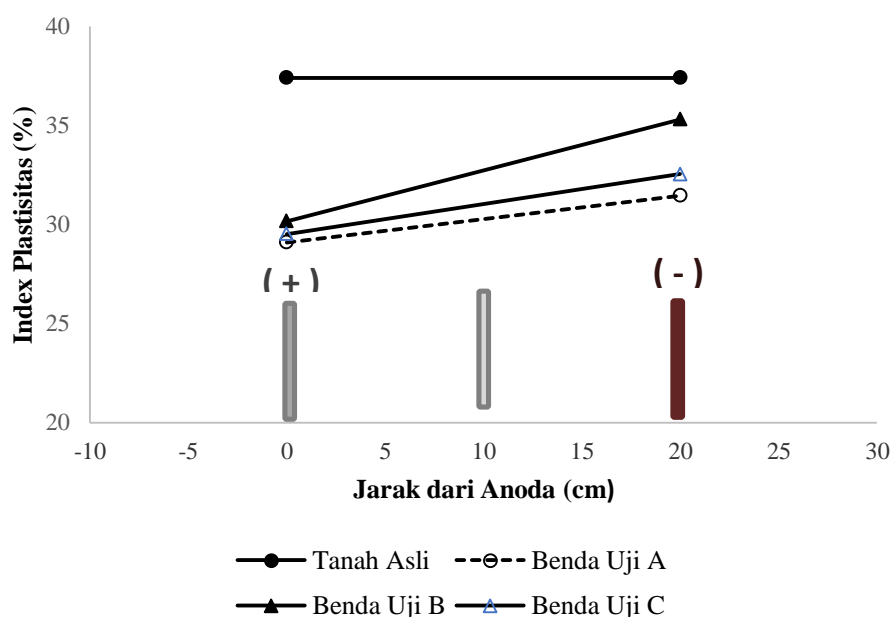
Gambar 4.10. Grafik hubungan antara nilai batas plastis terhadap jarak dari anoda.

Pada pengujian batas susut didapat kurva hubungan antara nilai batas susut terhadap jarak dari anoda. Nilai batas susut setelah pengujian terhadap lama waktu pengeringan selama 1 hari sebesar 18,9% pada area anoda (+) dan 19,4% pada katoda (-), waktu pengeringan 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 (-). Dapat dilihat bahwa nilai batas susut setelah pengujian elektrokinetik dengan kombinasi kolom kapur mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan nilai batas susut tanah asli yaitu sebesar 15,3%, di area sekitar anoda (+) memiliki peningkatan yang lebih kecil dari pada area di sekitar katoda (-) seperti yang terlihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik hubungan antara nilai batas susut terhadap jarak dari anoda.

Nilai indeks plastisitas setelah pengujian terhadap lama waktu pengeringan selama 1 hari sebesar 29,1% pada anoda (+) dan 31,5% pada katoda (-), waktu pengeringan 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 (-). Dapat dilihat bahwa nilai indeks plastisitas setelah pengujian elektrokinetik dengan kombinasi kolom kapur area di sekitar anoda (+) dan katoda (-) mengalami penurunan jika dibandingkan dengan nilai indeks plastisitas tanah asli yaitu sebesar 37,4%. Pada area di sekitar anoda (+) memiliki penurunan yang lebih besar dari pada area di sekitar katoda (-) seperti yang terlihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Grafik hubungan antara nilai indek plastisitas terhadap jarak dari anoda.

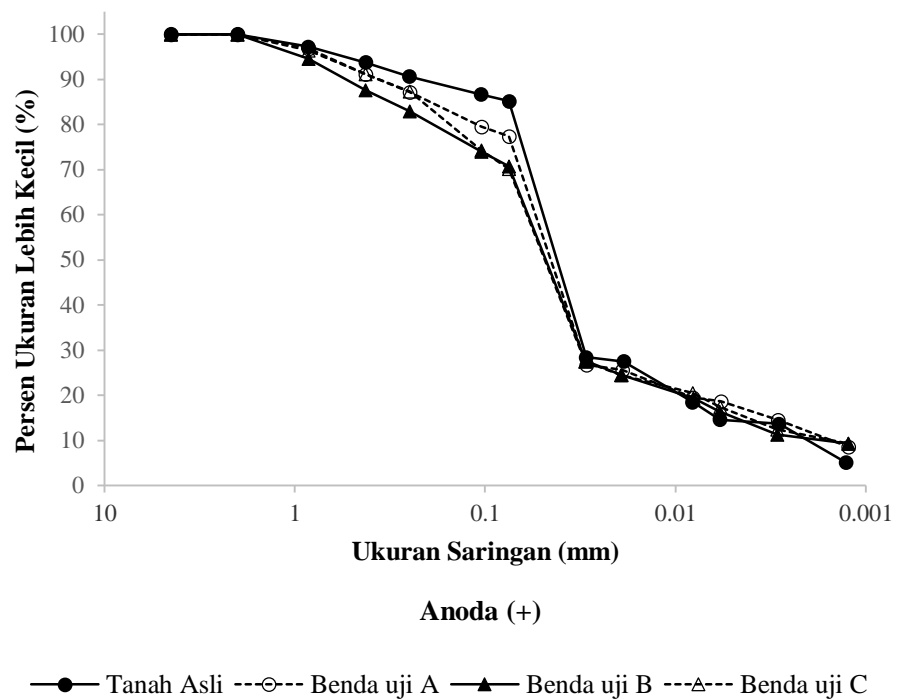
4.1.5 Distribusi ukuran butir tanah lempung ekspansif pasca elektrokinetik dan kolom kapur

Pasca proses pengujian elektrokinetik dengan kombinasi kolom kapur selama 4 hari perendaman dan 3 hari pengeringan ditambah dengan 1 hari proses perendaman (benda uji A), 2 hari pengeringan ditambah 1 hari proses perendaman (benda uji B), dan 1 hari pengeringan ditambah 1 hari proses perendaman (benda uji C). Contoh tanah pada area di sekitar elektroda yaitu anoda (+) dan katoda (-) diambil untuk diuji distribusi ukuran butirannya. Pada pengujian gradasi butiran didapat kurva distribusi ukuran butir tanah pada area di sekitar anoda (+) dan katoda (-) untuk setiap lama proses pengeringan. Dari pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan presentase ukuran butir pada tanah di sekitar area anoda (+) dan katoda (-). Peningkatan presentase fraksi kasar yang signifikan terjadi pada tanah di area sekitar katoda (-) untuk setiap lamanya proses pengeringan jika dibandingkan dengan fraksi kasar di sekitar anoda (+) dan tanah asli seperti yang terlihat pada tabel 4.9, Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.

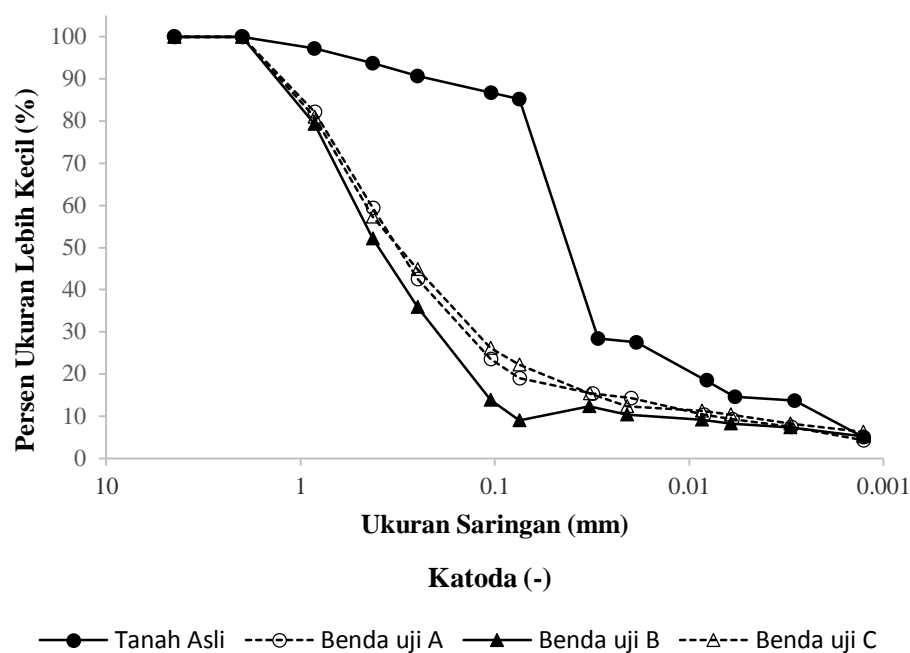
Tabel 4.9. Hasil pengujian distribusi ukuran butir

	Fraksi Halus, %	Fraksi Kasar, %
Tanah Asli	85,3	14,7
Sekitar Katoda		
Benda uji A	19,01	80,99
Benda uji B	8,99	91,01
Benda uji C	22,24	77,76
Sekitar Anoda		
Benda uji A	77,36	22,64
Benda uji B	70,72	29,28
Benda uji C	70,14	29,86

Keterangan: Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada lampiran B



Gambar 4.13. Kurva distribusi ukuran butir tanah di sekitar anoda (+).



Gambar 4.14. Kurva distribusi ukuran butir tanah di sekitar katoda (-).

4.1.6 Kadar air pasca elektrokinetik dan kolom kapur

Pengujian kadar air dilakukan pasca pengujian untuk setiap lama proses pengeringan tanah selama 3 hari pengeringan (benda uji A), 2 hari pengeringan (benda uji B), dan 1 hari pengeringan (benda uji C) maupun tanpa elektrokinetik dan kolom kapur. Pada pengujian kadar air dilakukan pengambilan sampel pada kedalaman (0cm), kedalaman (7,5cm) dan kedalaman (15cm). Berdasarkan tabel nilai kadar air pada kedalaman (0 cm) memiliki nilai kadar air lebih besar dibandingkan kedalaman 7,5 cm dan 15 cm.

Nilai maksimum kadar air kondisi tanpa metode elektrokinetik dan kolom kapur pada kedalaman (0 cm) sebesar 79,5% pada titik 2, pada kedalaman (7,5 cm) sebesar 57% pada titik 1, dan pada kedalaman (15 cm) sebesar 50,5% pada titik 1 seperti yang disajikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Hasil pengujian kadar air tanpa elektrokinetik

Pengujian Kadar Air					
Kedalaman (cm)	Kadar Air Awal, %	Titik			
		1	2	3	4
0	14	75,8	79,5	75,9	76,7
7,5	14	57,0	56,9	54,4	56,1
15	14	50,5	48,1	50,3	50,2

Keterangan: Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada lampiran B

Nilai maksimum kadar air pada benda uji A (3 hari pengeringan) elektrokinetik dan kolom kapur pada kedalaman (0 cm) sebesar 65,6% pada titik 3, pada kedalaman (7,5 cm) sebesar 57 % pada titik 4, dan pada kedalaman (15 cm) sebesar 49,7% pada titik 1 seperti yang disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Hasil pengujian kadar air benda uji A (3 hari pengeringan)

Pengujian Kadar Air					
Kedalaman (cm)	Kadar Air Awal, %	Titik			
		1	2	3	4
0	14	59,6	60,9	65,6	59,4
7,5	14	50,9	48,0	52,9	57,0
15	14	49,7	49,1	47,7	45,9

Keterangan: Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada lampiran B

Nilai maksimum kadar air pada benda uji B (2 hari pengeringan) elektrokinetik dan kolom kapur pada kedalaman (0 cm) sebesar 63,8% pada titik 4, pada kedalaman (7,5 cm) sebesar 56,7 % pada titik 4, dan pada kedalaman (15 cm) sebesar 49,1% pada titik 2 seperti yang disajikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12. Hasil pengujian kadar air benda uji B (2 hari pengeringan)

Pengujian Kadar Air					
Kedalaman (cm)	Kadar Air Awal, %	Titik			
		1	2	3	4
0	14	60,4	60,9	61,7	63,8
7,5	14	47,4	48,0	56,7	52,2
15	14	47,6	49,1	47,9	46,0

Keterangan: Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada lampiran B

Nilai maksimum kadar air pada benda uji C (1 hari pengeringan) elektrokinetik dan kolom kapur pada kedalaman (0 cm) sebesar 65,8% pada titik 4, pada kedalaman (7,5 cm) sebesar 50,0 % pada titik 4, dan pada kedalaman (15 cm) sebesar 49,5% pada titik 4 seperti yang disajikan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13. Hasil pengujian kadar air benda uji C (1 hari pengeringan)

Pengujian Kadar Air					
Kedalaman (cm)	Kadar Air Awal, %	Titik			
		1	2	3	4
0	14	57,2	58,6	57,8	65,8
7,5	14	47,8	47,9	49,3	50,0
15	14	45,5	48,3	48,9	49,5

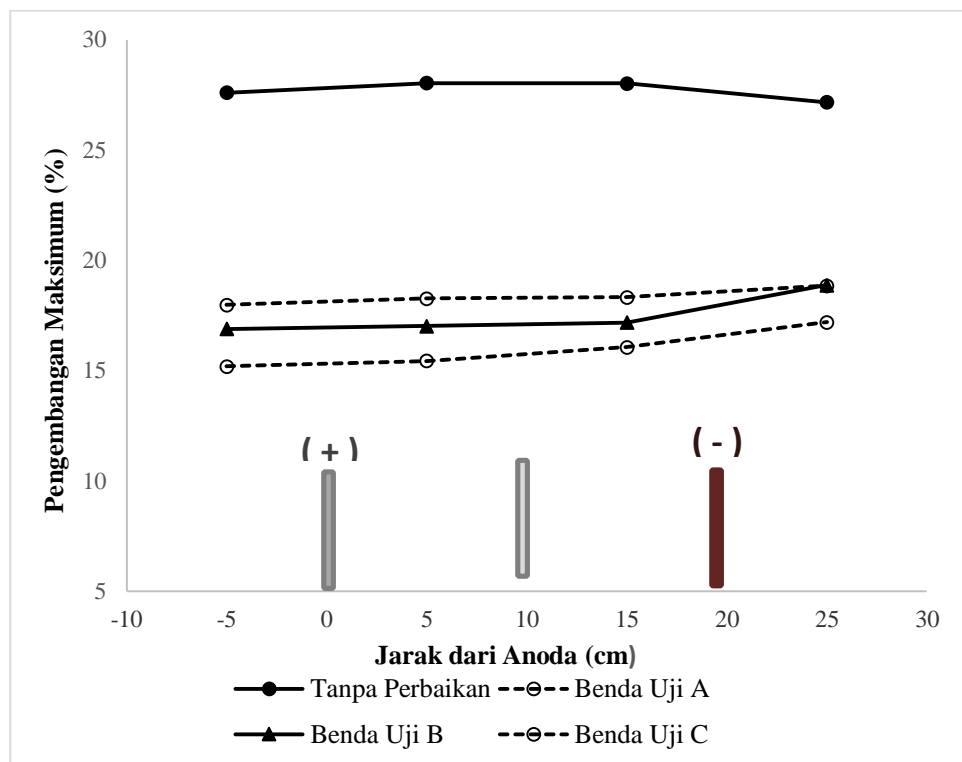
Keterangan: Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada lampiran B

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh stabilisasi kolom kapur pasca elektrokinetik terhadap pengembangan tanah

Pengujian dengan dan tanpa pemberian elektrokinetik dan kolom kapur dilakukan selama 4 hari, Pada proses pengujian ditanamkan dua buah elektroda pada tanah uji dengan kedalaman 10 cm dengan tegangan listrik 12 volt dan arus 5A, Pengembangan tanah didapat dari perendaman benda uji dengan air sebesar 8000 ml dan pembacaan arloji diamati dalam 4 titik pada setiap letak *dial gauge* dengan jarak 5 cm antara elektroda. Pengujian dengan metode elektrokinetik dan

kolom kapur dilakukan pada setiap lama proses pengeringan, yaitu 3 hari pengeringan (benda uji A), 2 hari pengeringan (benda uji B), dan 1 hari pengeringan (benda uji C). Dari 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 seperti yang terlihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15. Grafik pengembangan maksimum terhadap jarak dari anoda (+).

Khatimah (2017) melakukan pengujian elektrokinetik dengan lama waktu perendaman selama 4 hari dan diberi arus listrik sebesar 12 volt dan 5 ampere untuk semua benda uji, kemudian dilakukan proses pengeringan dengan variasi lama proses pengeringan selama 3 hari (benda uji A), 2 hari (benda uji B), 1 hari (benda uji C) kemudian dilanjutkan dengan proses perendaman selama 1 hari pada

semua benda uji untuk melihat apakah proses elektrokinetik dan kolom kapur mampu menahan nilai pengembangan pada tanah lempung ekspansif. Nilai pengembangan maksimum dibandingkan dengan penelitian Khatimah (2017) seperti yang disajikan pada Tabel 4.13. Dari pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa dengan penambahan kolom kapur dalam stabilisasi elektrokinetik secara efektif dapat mengurangi nilai pengembangan jika dibandingkan dengan metode elektrokinetik tanpa kolom kapur.

Tabel 4.14. Pengembangan maksimum semua benda uji

Benda Uji	Pengembangan Maksimum Metode Elektrokinetik, S (%) (Khatimah 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
A	24,7	24,8	25,9	25,1	18,0	18,3	18,3	18,9
B	18,5	19,3	19,2	19	16,9	17,0	17,2	18,9
C	20,6	20,1	21,3	19,9	15,2	15,4	16,1	17,2

Keterangan: Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada lampiran B

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 di dalam kapur. Dengan pertukaran ion tersebut potensi dan tekanan pengembangan pada tanah akan menurun.

Proses migrasi kapur pada tanah lempung ekspansif yang terjadi saat proses elektroosmosis berlangsung. Proses penyebaran kapur di dalam tanah 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, akan bereaksi dengan mineral lempung seperti *montmorillonite*, 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 (IP) tanah akan menurun. Fenomena tersebut menunjukkan terjadinya pertukaran ion-ion K^+ dan Na^+ oleh ion-ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang terkandung di dalam 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 kemudian dengan pemberian arus yang lebih lama pengembangan lebih dapat dikurangi.

4.2.2 Pengaruh stabilisasi kolom kapur dan lama proses pengeringan pasca elektrokinetik terhadap pengembangan tanah.

Pengujian pengeringan dan pengembangan tanah dilakukan setelah proses elektrokinetik tanpa pemberian arus listrik. Pengujian pengeringan tanah dilakukan selama 1, 2, dan 3 hari kemudian dilanjutkan dengan 1 hari penambahan air untuk mengetahui apakah pasca elektrokinetik tanah dapat menjaga pengembangan yang terjadi. Hasil pengujian menunjukkan semakin lama proses pengeringan tanah pengembangan yang terjadi semakin besar (lihat Gambar 4.5, Gambar 4.4, Gambar 4.5, Gambar 4.6 dan Gambar 4.7). 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 menunjukkan bahwa pengujian pengeringan selama 1,2 dan 3 hari pasca elektrokinetik dan kolom kapur tidak mampu menjaga pengembangan pada tanah.

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.

4.2.3 Pengaruh stabilisasi kolom kapur pasca elektrokinetik terhadap sifat-sifat geoteknik tanah.

1. Pengaruh stabilisasi kolom kapur pasca elektrokinetik terhadap batas-batas *Atterberg*

Pengujian batas *Atterberg* dilakukan untuk mengetahui karakteristik tanah pasca stabilisasi elektrokinetik dengan kombinasi kolom kapur. Tanah di sekitar anoda (+) dan katoda (-) diambil sebagai sampel uji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi penurunan pada nilai batas cair dan indek plastisitas serta peningkatan pada nilai batas plastis dan batas susut seperti yang disajikan pada Tabel 4.14.

Pada kondisi konsentrasi Ca^{2+} lebih kecil dari pada nilai konsentrasi Ca^{2+} awal, 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. Hal ini disebabkan oleh perubahan konsentrasi ion yang ada di tanah lempung ekspansif setelah proses elektrokinetik (Panjaitan and Andi 2017). 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^+ oleh ion-ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang terkandung di dalam kapur. Dengan pertukaran ion tersebut potensi dan tekanan pengembangan pada tanah menurun.

Tabel 4.15. Hasil pengujian batas *Atterberg* setiap benda uji

No	Tipe Pengujian	Area Tanah Pengujian		
		Anoda (+)	Katoda (-)	
1	Batas Cair,%	Benda Uji A	63,5	69,7
		Benda Uji B	62,1	67,3
		Benda Uji C	59,8	61,5
2	Batas Plastis,%	Benda Uji A	33,9	37,1
		Benda Uji B	31,9	32,0
		Benda Uji C	30,7	30,0
3	Batas Susut,%	Benda Uji A	23,54	23,80
		Benda Uji B	19,82	22,21
		Benda Uji C	18,89	19,43
4	Indek Plastistas,%	Benda Uji A	29,53	32,55
		Benda Uji B	30,17	35,30
		Benda Uji C	29,10	31,46

2. Pengaruh stabilisasi kolom kapur pasca elektrokinetik terhadap Distribusi Ukuran Butir Tanah

Pengujian distribusi ukuran butir tanah dilakukan untuk mengetahui perubahan ukuran butir tanah pasca metode elektrokinetik dan kolom kapur. Diambil sampel tanah pada bagian anoda (+) dan katoda (-) untuk setiap lamanya proses pengeringan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada area tanah di sekitar katoda (-) terjadi penggumpalan dan pembesaran partikel tanah, fraksi kasar tanah asli sebesar 14,7% meningkat menjadi 80,99% pada benda uji A, 91,01% benda uji B, dan 77,76 benda uji C. Hal ini menunjukkan bahwa presentase fraksi kasar pada area katoda (-) mengalami peningkatan yang signifikan. Sedangkan pada area anoda (+) juga mengalami peningkatan presentase fraksi kasar namun tidak terlalu signifikan seperti yang terlihat pada Gambar 4.12.

Hal ini dikarenakan terjadinya proses penggumpalan butiran tanah sekitar katoda (-) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16. Penggumpalan yang terjadi pada tanah disebabkan oleh proses flokulasi. Hal ini disebabkan oleh pertukaran ion yang terdapat pada kapur. Pada saat proses elektrokinetik berlangsung mengakibatkan terjadi perpindahan partikel air dari anoda (+) ke katoda (-) dan disaat yang sama terjadi perpindahan kapur yang dibawa oleh air ke katoda (-) sehingga menyebabkan area di sekitar katoda memiliki lebih banyak kandungan kapur.

Bell (1996); Hatmoko dan Lulie (2007) menjelaskan terjadinya perubahan struktur lempung disebabkan karena pertukaran ion-ion positif (kation) yang ada di dalam tanah lempung (Na^+ dan K^+) oleh ion ion positif yang ada di dalam 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 4.16. Penggumpalan tanah pada ara di sekitar katoda (-).



Gambar 4.17. Penggumpalan tanah pada area di sekitar anoda (+).

3. Pengaruh stabilisasi kolom kapur pasca elektrokinetik terhadap kadar air

Hasil pengujian kadar air pasca elektrokinetik 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 di sekitar elektroda menunjukkan bahwa nilai kadar air di sekitar katoda (-) lebih besar jika dibandingkan dengan kadar air di sekitar 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 *montmorillonite*, kemudian akan menetralkan 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 di sekitar 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.

