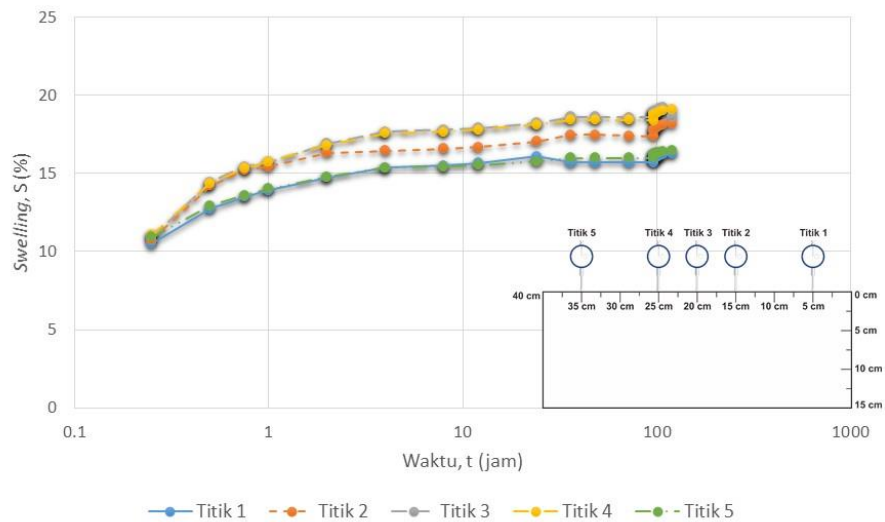


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Penelitian

#### 1. Pengembangan (*swelling*) tanah lempung tanpa elektrokinetik

Hasil pengujian pengembangan tanah lempung tanpa elektrokinetik dapat dilihat pada Lampiran B. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh grafik hubungan pengembangan tanah dan waktu seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik pengembangan (*swelling*) tanah dan waktu tanpa elektrokinetik

Dari grafik di atas, hasil pengujian selama 4 hari dan 1 hari tambahan didapatkan pengembangan maksimal tanah sebesar 19,267% pada titik 3. Data pengembangan maksimal pada setiap titik disajikan pada Tabel 4.1. (selengkapnya lihat Lampiran B)

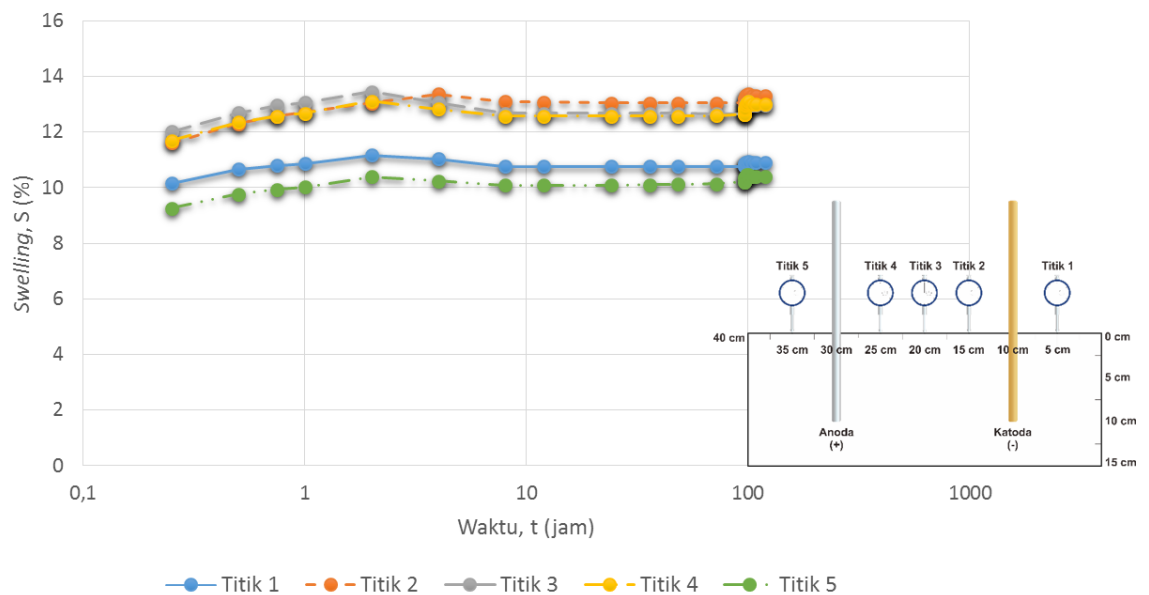
Tabel 4.1 Hasil pengembangan tanah tanpa elektrokinetik

| Titik                      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Pengembangan, S (%)</b> | 16.253 | 18.193 | 19.267 | 19.100 | 16.490 |

2. Pengembangan (*swelling*) tanah lempung menggunakan metode elektrokinetik

Hasil pengujian pengembangan tanah lempung menggunakan metode elektrokinetik dapat dilihat pada Lampiran C. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh grafik hubungan pengembangan tanah dan waktu pada setiap kedalaman elektroda dengan tegangan listrik tetap sebesar 12 volt.

a. Dengan kedalaman elektroda 5 cm



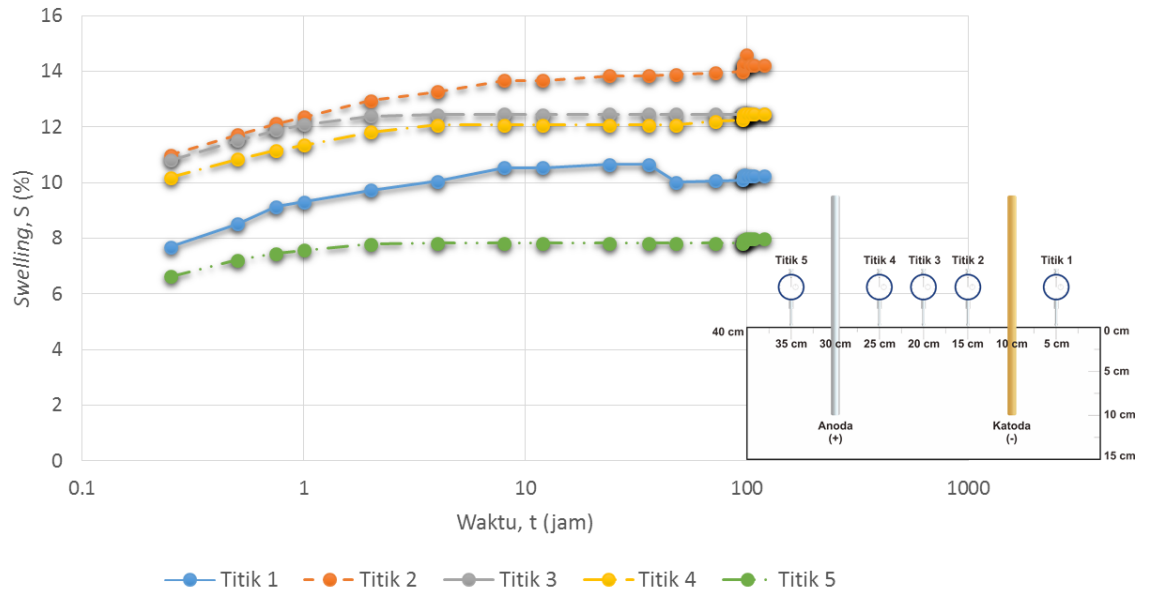
Gambar 4.2 Grafik pengembangan (*swelling*) tanah dan waktu pada kedalaman elektroda 5 cm

Dari grafik di atas, hasil pengujian selama 4 hari dan 1 hari tambahan didapatkan pengembangan maksimal tanah sebesar 13,447% pada titik 3. Data pengembangan maksimal pada setiap titik disajikan pada Tabel 4.2. (selengkapnya lihat Lampiran C)

Tabel 4.2 Hasil pengembangan tanah dengan elektrokinetik pada kedalaman elektroda 5 cm

| Titik               | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Pengembangan, S (%) | 11.167 | 13.387 | 13.447 | 13.120 | 10.473 |

b. Dengan kedalaman elektroda 10 cm



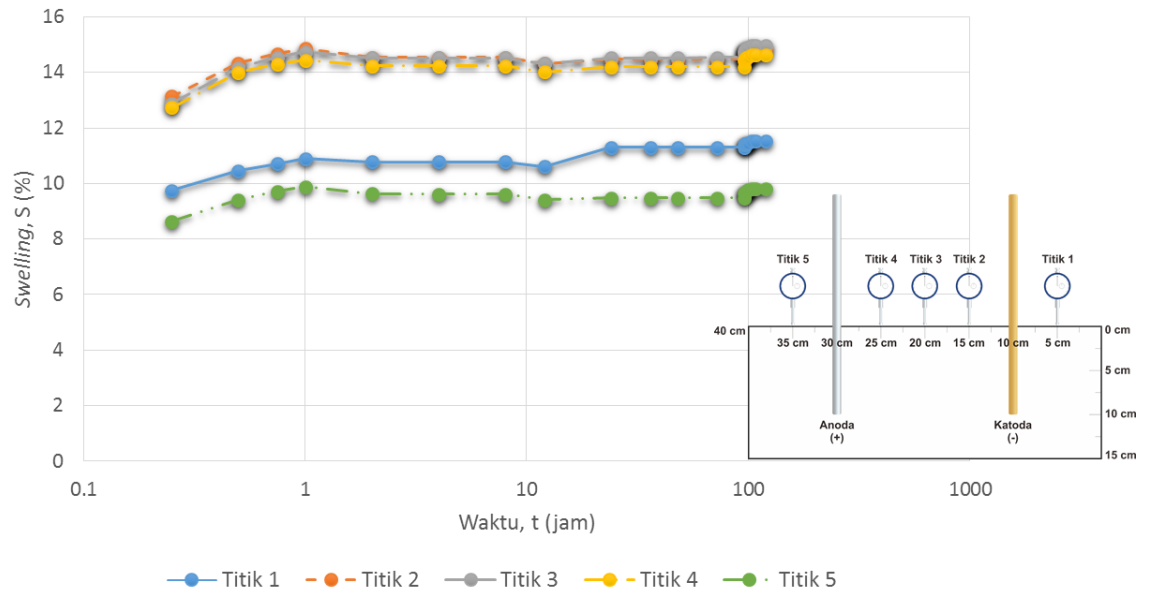
Gambar 4.3 Grafik pengembangan (*swelling*) tanah dan waktu pada kedalaman elektroda 10 cm

Dari grafik di atas, hasil pengujian selama 4 hari dan 1 hari tambahan didapatkan pengembangan maksimal tanah sebesar 14,577% pada titik 2. Data pengembangan maksimal pada setiap titik disajikan pada Tabel 4.3. (selengkapnya lihat Lampiran C)

Tabel 4.3 Hasil pengembangan tanah dengan elektrokinetik pada kedalaman elektroda 10 cm

| <b>Titik</b>               | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Pengembangan, S (%)</b> | 10.647   | 14.577   | 12.450   | 12.453   | 7.990    |

c. Dengan kedalaman elektroda 15 cm



Gambar 4.4 Grafik pengembangan (*swelling*) tanah dan waktu pada kedalaman elektroda 15 cm

Dari grafik di atas, hasil pengujian selama 4 hari dan 1 hari tambahan didapatkan pengembangan maksimal tanah sebesar 14,960% pada titik 3. Data pengembangan maksimal pada setiap titik disajikan pada Tabel 4.4. (selengkapnya lihat Lampiran C)

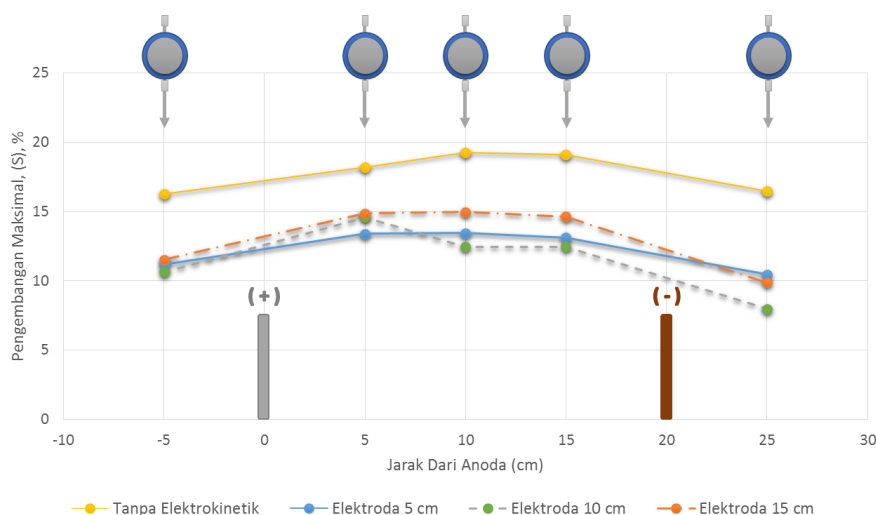
Tabel 4.4 Hasil pengembangan tanah dengan elektrokinetik pada kedalaman elektroda 15 cm

| Titik               | 1      | 2      | 3      | 4      | 5     |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Pengembangan, S (%) | 11.513 | 14.877 | 14.960 | 14.627 | 9.893 |

3. Pengembangan (*swelling*) tanah tanpa elektrokinetik dan dengan elektrokinetik selama 4 hari dan 1 hari tambahan

Pengujian dilakukan selama 4 hari tanpa elektrokinetik maupun dengan elektrokinetik, setelah itu diuji lagi selama 1 hari untuk mengetahui seberapa besar pengembangan yang terjadi. Dari data pengembangan selama 4 hari dan

1 hari tambahan, diperoleh pengembangan maksimal pada tanah tanpa elektrokinetik maupun dengan elektrokinetik. (lihat Gambar 4.5)



Gambar 4.5 Grafik pengembangan maksimal tanah

Dari grafik di atas, didapatkan hasil pengembangan paling kecil terjadi pada pengujian tanah dengan elektrokinetik pada kedalaman elektroda 10 cm. hasil pengembangannya disajikan pada Tabel 4.5.

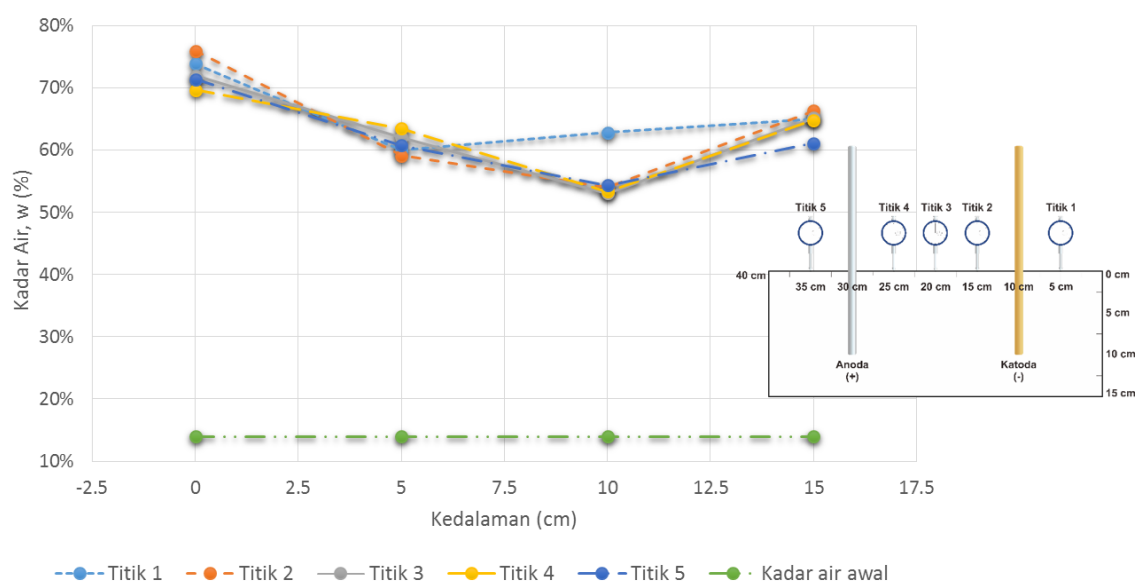
Tabel 4.5 Hasil pengembangan maksimal tanpa dan dengan elektrokinetik

| Jarak Dari Anoda (cm) | Pengembangan Tanpa Elektrokinetik | Pengembangan Maksimal (5 cm) | Pengembangan Maksimal (10 cm) | Pengembangan Maksimal (15 cm) |
|-----------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| -5                    | 16.253                            | 11.167                       | 10.647                        | 11.513                        |
| 5                     | 18.193                            | 13.387                       | 14.577                        | 14.877                        |
| 10                    | 19.267                            | 13.447                       | 12.450                        | 14.960                        |
| 15                    | 19.100                            | 13.120                       | 12.453                        | 14.627                        |
| 25                    | 16.490                            | 10.473                       | 7.990                         | 9.893                         |

#### 4. Kadar air setelah pengujian tanpa dan dengan elektrokinetik

Pengambilan sampel kadar air dilakukan pada setiap titik dengan letak pengambilan, yaitu permukaan (0 cm), tengah (7,5 cm) dan dasar (15 cm).

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak kadar air yang ada setelah proses elektrokinetik. Karena fenomena elektroosmosis dan elektroforesis yang dapat menarik partikel bermuatan kation (positif) dan anion (negatif) menuju elektroda sehingga kadar air berkurang. Jumlah air yang keluar pada setiap anoda dan katoda terhadap beda besaran voltase (lihat Tabel 4.10). Air yang diberikan untuk proses elektrokinetik selama 4 hari sebanyak 6400 ml dan tambahan 1 hari sebanyak 1850 ml.

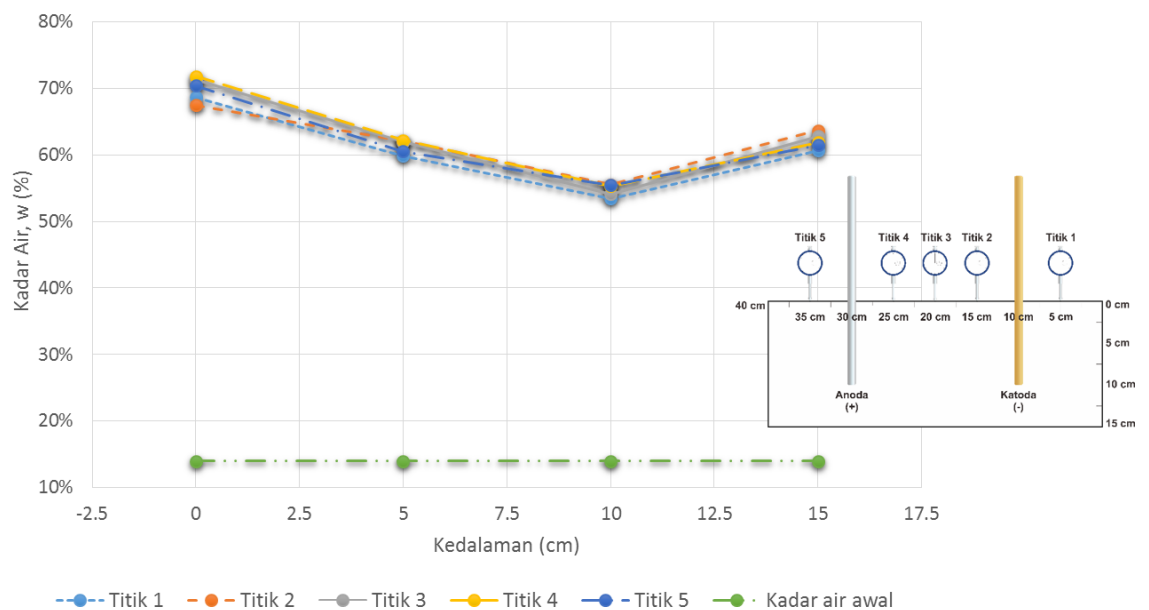


Gambar 4.6 Grafik kadar air pada bagian permukaan (0 cm)

Dari grafik di atas, kadar air minimum terdapat pada titik 3 dengan kedalaman elektroda 10 cm sebesar 53% (lihat Tabel 4.6).

Tabel 4.6 Kadar air pada permukaan (0 cm)

| Letak Pengambilan Sampel : Permukaan (0 cm) |                |       |     |     |     |     |
|---|----------------|-------|-----|-----|-----|-----|
| Pengujian Kadar Air                         |                |       |     |     |     |     |
| Kedalaman Elektroda (cm)                    | Kadar Air Awal | Titik |     |     |     |     |
|   |                | 1     | 2   | 3   | 4   | 5   |
| 0 (Tanpa Elektrokinetik)                    | 14%            | 74%   | 76% | 72% | 70% | 71% |
| 5   | 14%            | 60%   | 59% | 62% | 63% | 61% |
| 10  | 14%            | 63%   | 54% | 53% | 53% | 54% |
| 15  | 14%            | 65%   | 66% | 65% | 65% | 61% |

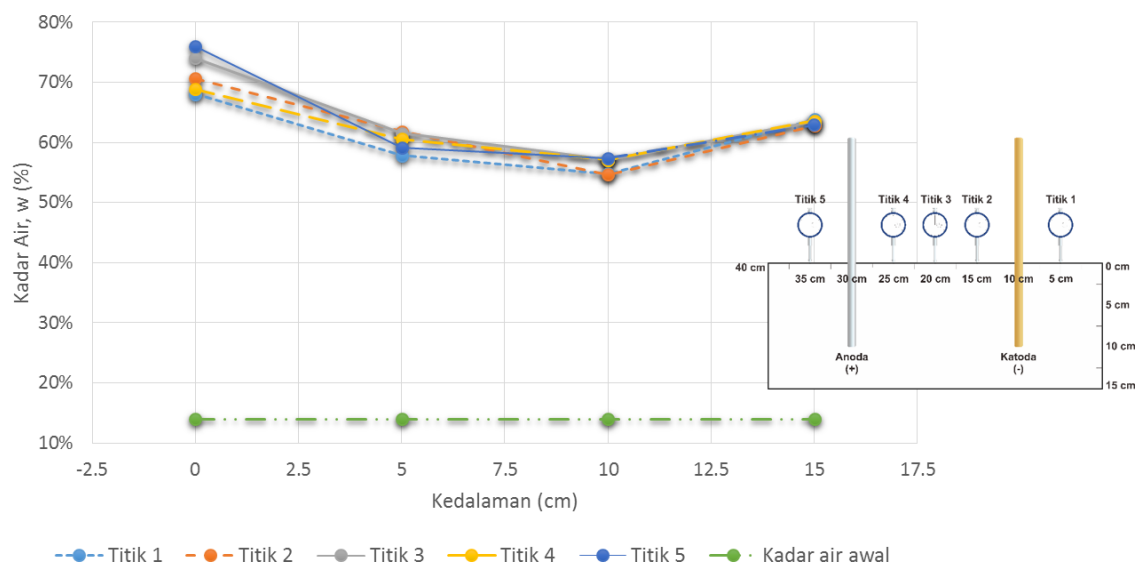


Gambar 4.7 Grafik kadar air pada bagian tengah (7,5 cm)

Dari grafik di atas, kadar air minimum terdapat pada titik 1 dengan kedalaman elektroda 10 cm sebesar 53% (lihat Tabel 4.7)

Tabel 4.7 Kadar air pada tengah (7,5 cm)

| Letak Pengambilan Sampel : Tengah (7,5 cm) |                |       |     |     |     |     |
|--|----------------|-------|-----|-----|-----|-----|
| Pengujian Kadar Air                        |                |       |     |     |     |     |
| Kedalaman Elektroda (cm)                   | Kadar Air Awal | Titik |     |     |     |     |
|  |                | 1     | 2   | 3   | 4   | 5   |
| <b>0 (Tanpa Elektrokinetik)</b>            | 14%            | 69%   | 67% | 71% | 72% | 70% |
| <b>5</b>                                   | 14%            | 60%   | 62% | 62% | 62% | 61% |
| <b>10</b>                                  | 14%            | 53%   | 56% | 54% | 55% | 55% |
| <b>15</b>                                  | 14%            | 61%   | 64% | 63% | 62% | 61% |



Gambar 4.8 Grafik kadar air pada bagian dasar (15 cm)

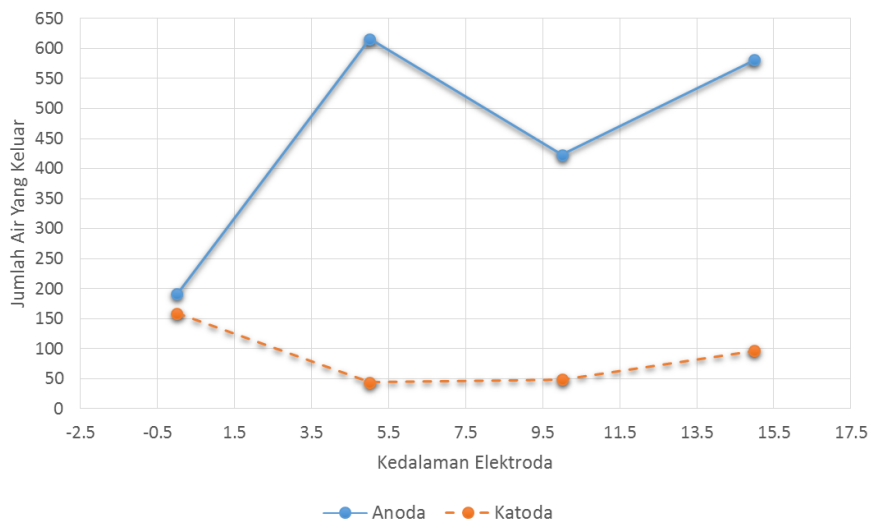
Dari grafik di atas, kadar air minimum terdapat pada titik 1 dan 2 dengan kedalaman elektroda 10 cm sebesar 55 % (lihat Tabel 4.8)



Tabel 4.8 Kadar air pada dasar (15 cm)

| Letak Pengambilan Sampel : Dasar (15 cm) |                |       |     |     |     |     |
|--|----------------|-------|-----|-----|-----|-----|
| Pengujian Kadar Air                      |                |       |     |     |     |     |
| Kedalaman Elektroda (cm)                 | Kadar Air Awal | Titik |     |     |     |     |
|  |                | 1     | 2   | 3   | 4   | 5   |
| <b>0 (Tanpa Elektrokinetik)</b>          | 14%            | 68%   | 71% | 74% | 69% | 76% |
| <b>5</b>                                 | 14%            | 58%   | 62% | 62% | 61% | 59% |
| <b>10</b>                                | 14%            | 55%   | 55% | 57% | 57% | 57% |
| <b>15</b>                                | 14%            | 64%   | 63% | 63% | 64% | 63% |

Pada box uji, diberikan lubang berdiameter 0,5 cm pada ketinggian 15 cm untuk mengetahui jumlah air yang keluar ketika pengujian berlangsung.



Gambar 4.9 Grafik jumlah air yang keluar dari lubang pada bagian anoda dan katoda

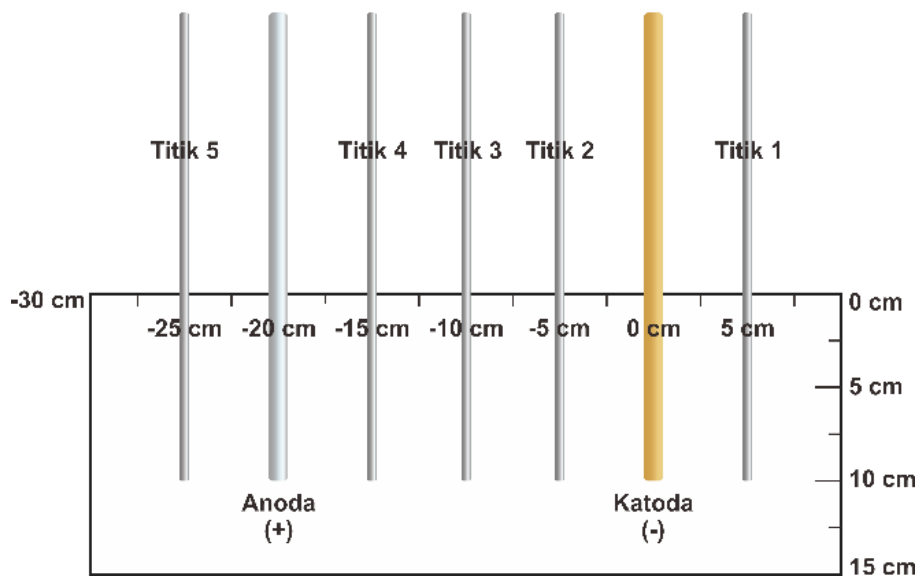
Jumlah air yang keluar paling banyak terjadi pada tanah dengan elektrokinetik dengan kedalaman elektroda 5 cm di lubang air anoda sebanyak 616 ml dan kedalaman elektroda 15 cm di lubang katoda sebanyak 97 ml. (lihat Tabel 4.9)

Tabel 4.9 Jumlah air yang keluar pada pengujian

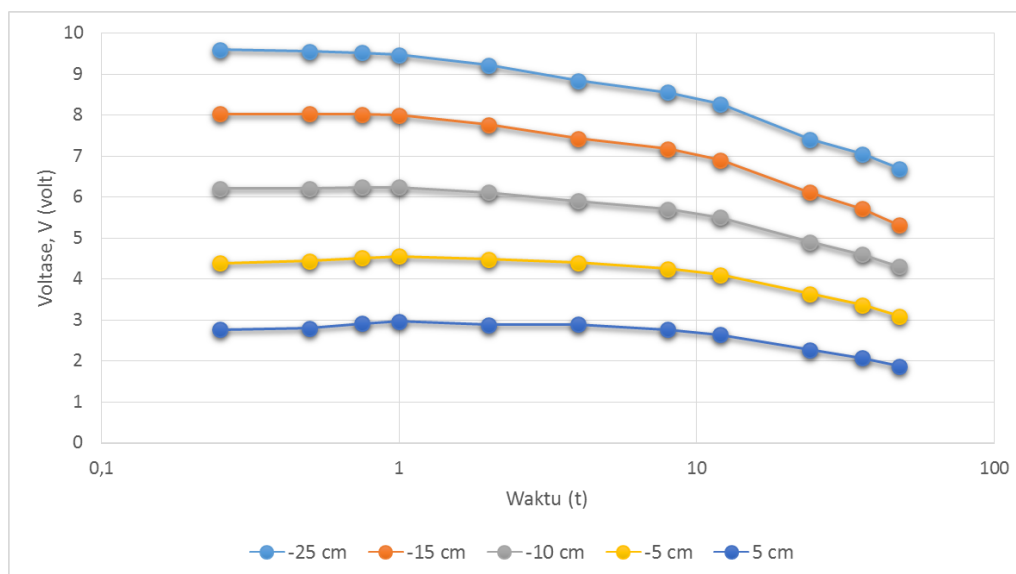
| <b>Kedalaman<br/>Elektroda<br/>(cm)</b> | <b>Jumlah Air Yang Keluar</b> |               |
|---|-------------------------------|---------------|
|   | <b>Anoda</b>                  | <b>Katoda</b> |
| <b>0 (Tanpa<br/>Elektrokinetik)</b>     | 191                           | 159           |
| <b>5</b>                                | 616                           | 44            |
| <b>10</b>                               | 423                           | 49            |
| <b>15</b>                               | 581                           | 97            |

5. Beda besaran voltase pada setiap titik pengujian

Pengukuran besar voltase dari katoda dilakukan dengan menggunakan besi berdiameter 0,6 cm yang dimasukkan ke dalam tanah sesuai pada titik-titik pengujian. Pengujian ini dilakukan dengan pemberian tegangan listrik sebesar 12 volt dan kedalaman elektroda 10 cm karena pada pengujian yang telah dilakukan dengan tegangan dan kedalaman elektroda ini, tanah mengalami pengembangan yang minimum (lihat Gambar 4.10). Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui besaran voltase pada tiap titik dial pengujian. Pengujian dilakukan selama 2 hari karena dari pengujian sebelumnya mengalami pengembangan yang cenderung tetap/stabil setelah proses elektrokinetik selama 2 hari (lihat Gambar 4.11).

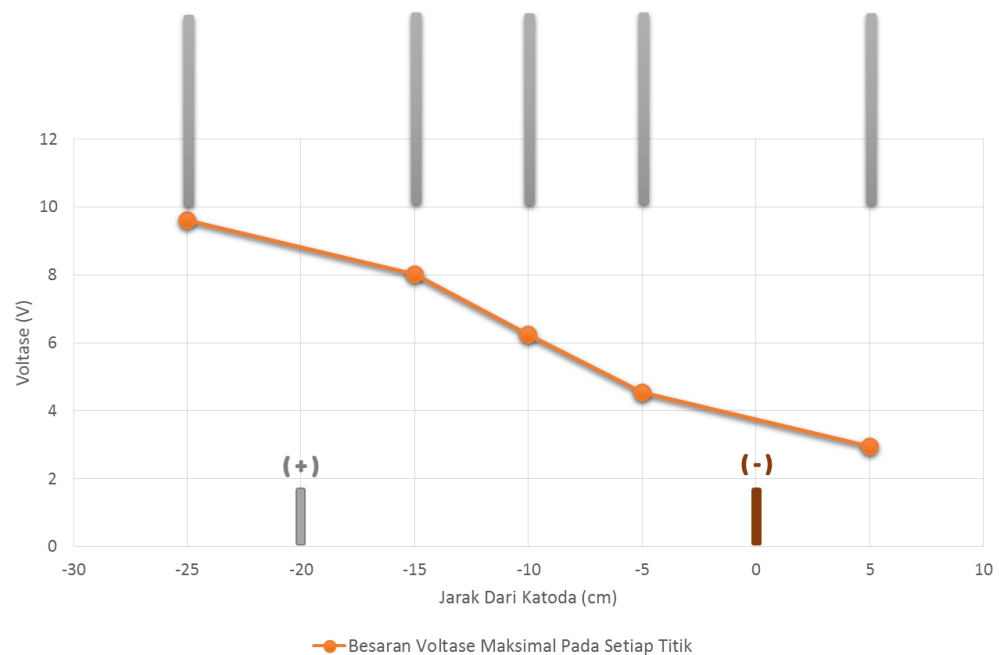


Gambar 4.10 Jarak besi terhadap katoda



Gambar 4.11 Grafik pengujian besaran voltase pada setiap titik

Hasil pengujian besaran voltase pada setiap titik-titik pengujian disajikan pada Lampiran A. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh besaran voltase maksimal pada setiap titik pengujian yang disajikan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik besaran voltase maksimum pada setiap titik pengujian terhadap jarak dari katoda

Tabel 4.10 Hasil uji besar voltase

| Jarak Dari Katoda (cm)       | -25  | -15  | -10  | -5   | 5    |
|------------------------------|------|------|------|------|------|
| Besaran Voltase Maksimal (V) | 9,60 | 8,03 | 6,24 | 4,55 | 2,96 |

## B. Pembahasan

1. Pengaruh kedalaman elektroda pada metode elektrokinetik terhadap pengembangan (*swelling*) tanah

Dalam pengujian elektrokinetik ini, diberi variasi kedalaman elektroda sebesar 5 cm, 10 cm dan 15 cm. Selisih pengembangan yang terjadi pada tanah lempung tanpa metode stabilisasi sangatlah besar (lihat Tabel 4.11).

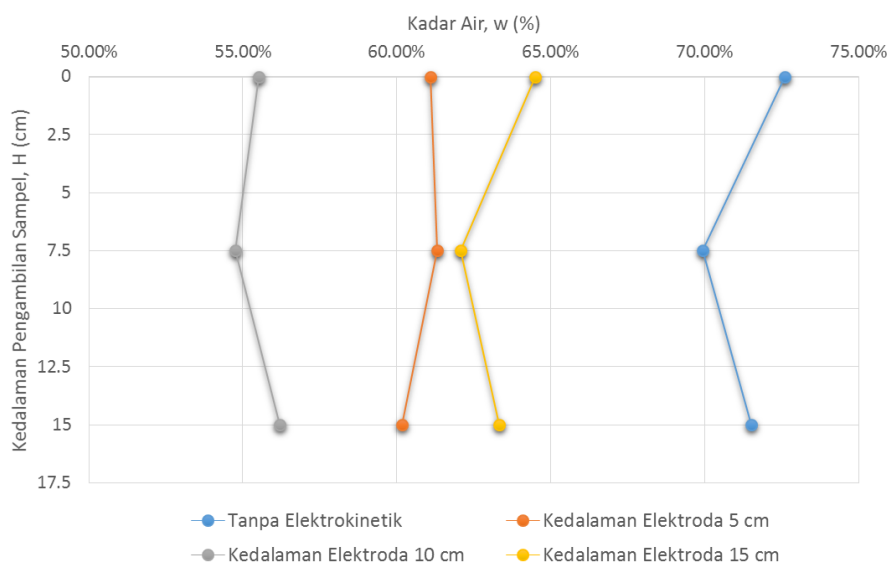
Tabel 4.11 Selisih pengembangan (*swelling*) tanah pada pengujian 4 hari dan 1 hari tambahan

| Kedalaman<br>Elektroda (cm) | Titik  |       |       |       |       |
|-----------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                             | 1      | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 0 (Tanpa<br>Elektrokinetik) | 0.21   | 1.065 | 0.97  | 0.975 | 0.74  |
| 5                           | -0.345 | 0.04  | -0.52 | -0.05 | 0.11  |
| 10                          | -0.555 | 0.88  | 0     | 0.3   | 0.24  |
| 15                          | 0.315  | 0.04  | 0.33  | 0.28  | -0.12 |

Pada pengujian elektrokinetik ini, didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa pengembangan yang terjadi pada pengujian dengan kedalaman elektroda 15 cm paling besar, sedangkan yang paling kecil terjadi pada pengujian dengan kedalaman elektroda 5 cm. Hal ini karena elektroda dimasukkan hingga menyentuh dasar box uji yang menyebabkan medan listrik pada elektroda tidak terdistribusi dengan baik dan potensial listrik di setiap tempat pada tanah yang diuji tidak sama, sehingga metode elektrokinetik tidak dapat menstabilisasi tanah dengan efektif pada kedalaman elektroda ini. Dari data Tabel 4.10, pengujian elektrokinetik dengan kedalaman elektroda 5 cm efektif untuk dapat menahan pengembangan yang terjadi tanah lempung ekspansif. Hal ini dibuktikan dengan nilai selisih antara pengembangan yang terjadi selama 4 hari dengan pengembangan 1 hari tambahan yang kecil. Namun bila dilihat dari nilai pengembangan (lihat Tabel 4.5), pengembangan paling kecil terjadi pada elektroda dengan kedalaman 10 cm. Maka dapat disimpulkan bahwa kedalaman elektroda 10 cm merupakan kedalaman elektroda yang paling efektif digunakan untuk menahan pengembangan tanah yang terjadi pada pengujian elektrokinetik ini.

## 2. Pengaruh kedalaman elektroda pada metode elektrokinetik terhadap kadar air tanah

Pada pengujian tanah dengan elektrokinetik pada kedalaman elektroda 15 cm mempunyai pengembangan tanah paling besar sehingga nilai kadar air yang dihasilkan sangat tinggi di antara tanah yang diuji elektrokinetik dengan kedalaman elektroda 5 cm dan 10 cm (lihat Gambar 4.13).



Gambar 4.13 Grafik hubungan kadar air rata-rata dan kedalaman pengambilan sampel

Nilai kadar air rata-rata pada tanah paling besar terdapat pada pengujian tanah tanpa elektrokinetik, sedangkan kadar air paling kecil terdapat pada pengujian tanah dengan elektrokinetik pada kedalaman elektroda 10 cm. Dapat disimpulkan bahwa kedalaman elektroda 10 cm mampu mengurangi kadar air pada tanah lempung yang sangat besar.

Tabel 4.12 Kadar air rata-rata tanah pada setiap kedalaman pengambilan sampel

| Kadar Air Rata-Rata |                |                          |       |       |       |
|---------------------|----------------|--------------------------|-------|-------|-------|
| Letak Sampel        | Kedalaman (cm) | Kedalaman Elektroda (cm) |       |       |       |
|                     |                | 0 (Tanpa Elektrokinetik) | 5     | 10    | 15    |
| Permukaan           | 0              | 71.3%                    | 61.8% | 55.5% | 64.5% |
| Tengah              | 7,5            | 69.9%                    | 61.3% | 54.8% | 62.1% |
| Dasar               | 15             | 71.5%                    | 60.2% | 56.2% | 63.3% |

### 3. Pengaruh Beda Bahan Elektroda Terhadap Pengujian Elektrokinetik

Pada pengujian yang dilakukan bahan sebagai elektroda adalah besi *stainless* (anoda (+)) dan tembaga (katoda (-)). Pada pengujian pertama bahan yang digunakan untuk anoda adalah besi tanpa *stainless*. Tetapi dikarenakan besi mengalami keropos, maka dilakukan penggantian menggunakan besi *stainless* yang diharapkan tidak mengalami keropos. (lihat Gambar 4.14)



Gambar 4.14 Elektroda anoda (besi) dan katoda (tembaga) mengalami keropos

Namun, hasil yang didapatkan setelah pengujian selesai ternyata besi *stainless* tetap mengalami keropos, tetapi tidak sebanyak besi tanpa *stainless* (lihat Gambar 4.15)



Gambar 4.15 Elektroda anoda (besi *stainless*) dan katoda (tembaga) mengalami keropos

Pemilihan bahan anoda (+) besi dan katoda (-) tembaga karena sifat besi (Fe) sebagai senyawa yang bermuatan kation (+) lebih banyak dari pada tembaga (Cu). Sehingga pemilihan besi sebagai anoda (+) lebih efektif untuk menarik anion (-) yang ada dalam tanah lempung dan tembaga sebagai katoda (-) yang memiliki kation yang lebih sedikit (lihat Tabel 4.13 dan Tabel 4.14).

Tabel 4.13 Rumus dan nama ion positif (kation)

| Kation Bermuatan +1 |             | Kation Bermuatan +2 |              | Kation Bermuatan +3 dan +4 |               |
|---------------------|-------------|---------------------|--------------|----------------------------|---------------|
| Rumus               | Nama        | Rumus               | Nama         | Rumus                      | Nama          |
| Na <sup>+</sup>     | Natrim      | Mg <sup>2+</sup>    | Magnesium    | Fe <sup>3+</sup>           | Besi (III)    |
| K <sup>+</sup>      | Kalium      | Ca <sup>2+</sup>    | Kalsium      | Cr <sup>3+</sup>           | Kromium (III) |
| Ag <sup>+</sup>     | Perak       | Sr <sup>2+</sup>    | Strontium    | Al <sup>3+</sup>           | Aluminium     |
| Li <sup>+</sup>     | Litium      | Ba <sup>2+</sup>    | Barium       | Co <sup>3+</sup>           | Kobalt (III)  |
| Cu <sup>+</sup>     | Tembaga (I) | Fe <sup>2+</sup>    | Besi (II)    | Ni <sup>3+</sup>           | Nikel (III)   |
| Au <sup>+</sup>     | Emas (I)    | Cu <sup>2+</sup>    | Tembaga (II) | Sn <sup>3+</sup>           | Timah (IV)    |
| Hg <sup>+</sup>     | Raksa (I)   | Zn <sup>2+</sup>    | Zing (seng)  | Pb <sup>3+</sup>           | Timbal (IV)   |
|                     |             | Pb <sup>2+</sup>    | Timbal (II)  | Au <sup>3+</sup>           | Emas (III)    |
|                     |             | Sn <sup>2+</sup>    | Timah (II)   | Pt <sup>3+</sup>           | Platinal (IV) |
|                     |             | Ni <sup>2+</sup>    | Nikel        |                            |               |
|                     |             | Hg <sup>2+</sup>    | Raksa (II)   |                            |               |

Sumber : Tatanama Senyawa dan Persamaan Reaksi Sederhana

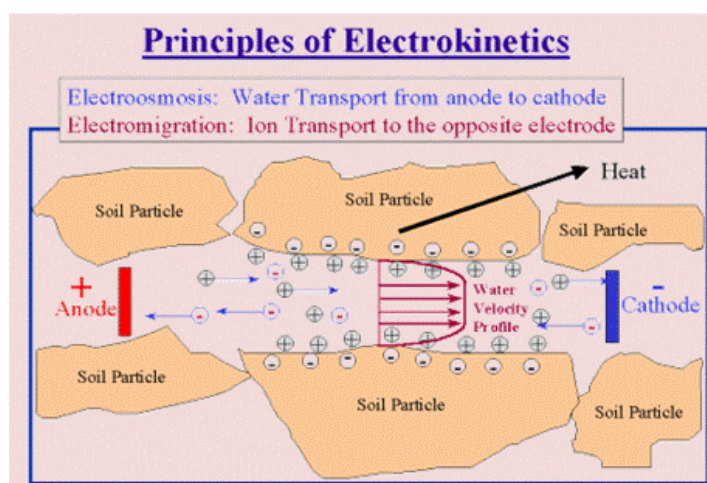


Tabel 4.14 Rumus dan nama ion negatif (anion)

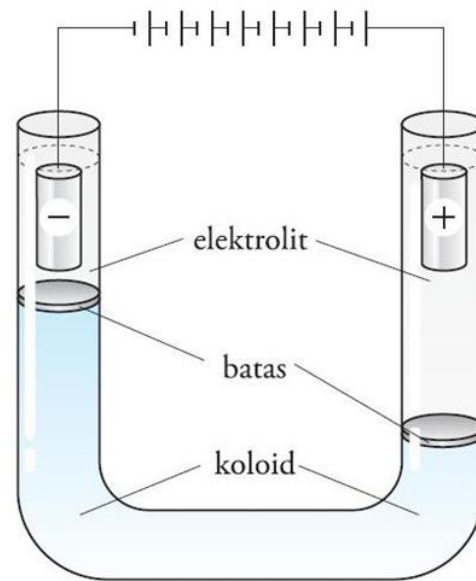
| Lambang Ion     | Muatan | Nama     |
|-----------------|--------|----------|
| F <sup>-</sup>  | -1     | Fluorida |
| Cl <sup>-</sup> | -1     | Klorida  |
| O <sup>2-</sup> | -2     | Oksida   |
| Br <sup>-</sup> | -1     | Bromida  |
| S <sup>2-</sup> | -2     | Sulfida  |
| N <sup>3-</sup> | -3     | Nitrida  |
| I <sup>-</sup>  | -1     | Iodida   |

Sumber : Tatanama Senyawa dan Persamaan Reaksi Sederhana

Pada pengujian dapat dilihat bahwa pada anoda (+) air yang keluar lebih banyak daripada air yang keluar pada katoda (-) (lihat Tabel 4.9 Jumlah air keluar pada anoda dan katoda). Hal ini terjadi oleh fenomena elektrokinetik, elektroosmosis dan elektroforesis yaitu proses perpindahan dan pergerakan larutan elektrolit terhadap dinding kapiler yang bermuatan dan dipengaruhi oleh medan listrik (lihat gambar 4.13 dan Gambar 4.14).



Gambar 4.16 Skema elektroosmosis



Gambar 4.17 Skema elektroforesis

#### 4. Pengaruh beda besaran voltase terhadap jarak dar katoda

Dari hasil besaran voltase maksimum yang diperoleh (lihat Tabel 4.1), terlihat bahwa semakin lama waktu pengujian, semakin kecil besaran voltase atau mengalami penurunan seiring waktu pembacaan selama 2 hari. Hal ini diakibatkan dari proses elektrokinetik yang menyebabkan ion yang berada dalam tanah lempung terikat dan keluar dari box pengujian, sehingga perantara elektron pada elektroda menjadi semakin sedikit dan membuat tegangan listrik yang dialirkan semakin berkurang.