# BAB X

# KONSOLIDASI

## 1 REFERENSI

- Das, Braja M. 1985. Mekanika Tanah jilid 1. Penerbit Erlangga: Jakarta. Bab 7, “Kemampumampatan Tanah”, Hal. 177.

## 2 DASAR TEORI

Telah kita ketahui bahwa ketika sebuah material dibebani atau ditekan, material tadi akan berdeformasi atau meregang. Terkadang, respons terhadap beban tadi adalah seketika itu juga. Material lainnya seperti tanah membutuhkan waktu yang relatif lama untuk menunjukkan deformasinya, hal ini khususnya terjadi pada tanah lempung.

Ketika tanah dibebani oleh timbunan atau struktur bangunan, maka deformasi akan muncul. Total deformasi vertikal pada permukaan yang disebabkan oleh beban disebut settlement. Pergerakan itu bisa ke bawah dengan penambahan beban atau ke atas dengan berkurangnya beban (swelling). Total settlement, $s_t$, dari tanah yang dibebani terdiri dari tiga komponen, yaitu:

$$s_t = s_i + s_c + s_s$$

dimana $s_i$ = penurunan segera (immediate settlement)

$s_c$ = penurunan konsolidasi (consolidation settlement)

$s_s$ = pemampatan sekunder (secondary compression)

Dari ketiga komponen settlement tersebut, pada kesempatan ini dilakukan uji konsolidasi. Penurunan konsolidasi adalah proses yang bergantung pada waktu yang muncul pada tanah berbutir halus yang jenuh dan memiliki nilai kofisien permeabilitas yang kecil. Sehingga tingkat dari settlementnya sangat bergantung pada tingkat drainase air porinya.

Pada umumnya konsolidasi ini berlangsung dalam satu arah saja atau disebut juga one dimensional consolidation. Pergerakan dalam arah horizontal dapat diabaikan, karena tertahan oleh lapisan tanah sekelilingnya. Selama peristiwa konsolidasi berlangsung, tanah akan mengalami penurunan (settle).

Dua hal yang penting mengenai penurunan ialah :

- Besarnya penurunan yang terjadi.
- Kecepatan penurunan tersebut.

Besarnya penurunan yang terjadi

Analisa Terzaghi:

$$U = \sum_{i=1}^{n} \left[ \left( \frac{Cc}{1+e_0} \right) H_i \times \log \left( \frac{P_{2i}}{P_{1i}} \right) \right]$$

dengan:

U = besarnya penurunan ultimate (waktu tak hingga)

Cc = Indeks pemampatan, diperoleh dari lengkung pemampatan

e = angka pori

$H_i$ = tebal lapisan yang mengalami pemempatan

$P_1$ = tekanan lapangan efektif (sebelum ada pembebanan)

$P_2$ = $P_1$ + P

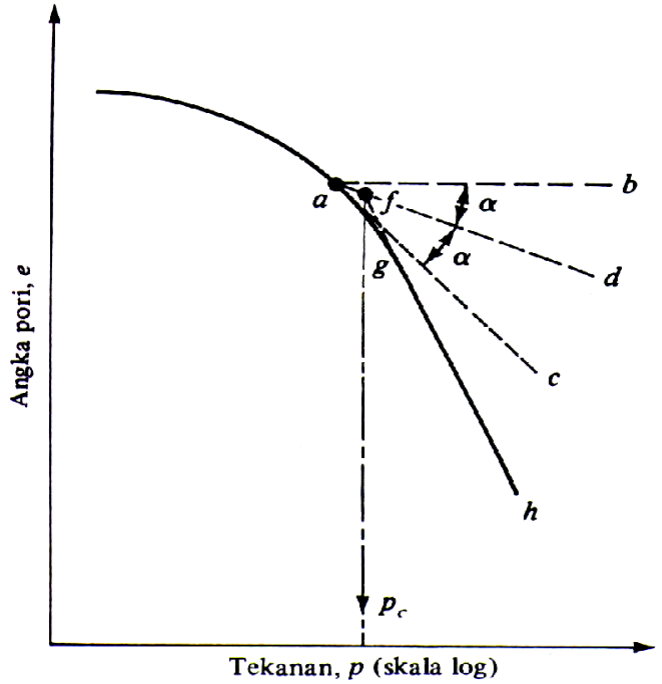
P = perubahan tekanan akibat peningkatan tekanan pada umumnya

Penentuan Nilai Cc (indeks pemadatan)

Untuk menentukan nilai Cc, sebelumnya kita perlu menentukan terlebih dahulu besarnya tekanan prakonsolidasi. Casagrande (1936) menyarankan suatu cara yang mudah untuk menentukan besarnya tekanan prakonsolidasi, $\mathbf{p_c}$, dengan berdasarkan grafik angka pori (e) terhadap log p yang digambar dari hasil percobaan konsolidasi di laboratorium.

Prosedurnya adalah sebagai berikut (lihat gambar di bawah).

1. Dengan melakukan pengamatan secara visual pada grafik, tentukan titik **a** di mana grafik e versus log p memiliki jari-jari kelengkungan yang paling mnimum.
2. Gambar garis datar **ab**.
3. Gambar garis singgung ac pada titik **a**.
4. Gambar garis **ad** yang merupakan garis bagi sudut **bac**.
5. Perpanjang bagian grafik e versus log p yang merupakan garis lurus hingga me-motong garis **ad** di titik **f**.
6. Absis untuk titik **f** adalah besarnya tekanan prakonsolidasi ($p_c$).




Gambar 14.1 Penentuan Tekanan Prakonsolidasi

Setelah mendapatkan harga tekanan prakonsolidasi, maka harga Cc dapat ditentukan dengan menggunakan prinsip sebagai berikut:

- Dari grafik e vs log p dicari bagian grafik yang paling linear pada bagian dimana tanah sudah melewati tekanan prakonsolidasi.

- Diambil dua titik ujung pada grafik yang paling linear tersebut
- Mengaplikasikan rumus berikut:

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log\left(\frac{p_2}{p_1}\right)}$$

dengan:

Cc : indeks kompresi

$e_1$, $e_2$ : void ratio pada ujung bagian linear kurva e versus log p setelah tanah mengalami tekanan yang melampaui tekan-an prakonsolidasi

$p_1$, $p_2$ : tekanan yang berkaitan dengan e1 dan e2.

Penentuan t90

Grafik pembacaan penurunan vs akar pangkat dua dari waktu untuk setiap pembebanan dapat digunakan untuk mencari besarnya t90. Setelah didapat nilai t90 untuk masing-masing pembebanan maka dapat dicari besar nilai Cv.

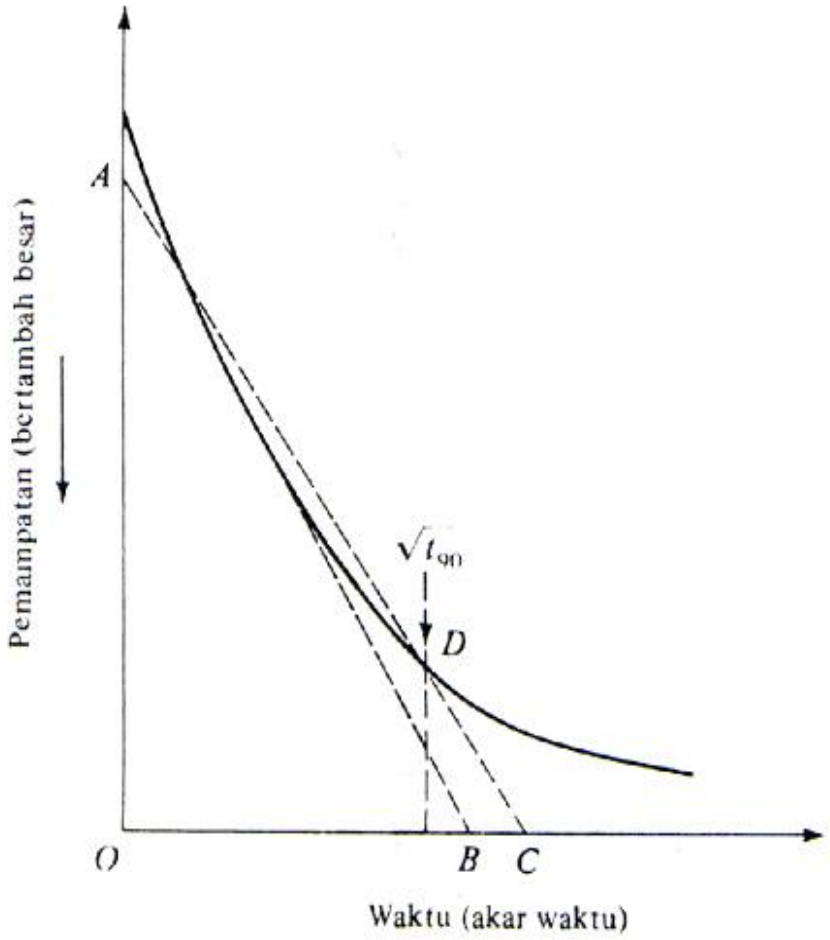
Harga koefisien konsolidasi ditentukan dengan metoda akar waktu (time square root method) adalah sebagai berikut (lihat gambar di bawah):

1. Gambar suatu garis AB melalui bagian awal kurva (ambil kurva yang lurus).

2. Gambar suatu garis AC sehingga OC = 1.15 OB. Absis titik D, yang merupakan perpotongan antara garis AC dan kurva konsolidasi merupakan perpotongan an-tara garis AC dan kurva konsolidasi, memberikan harga akar waktu untuk terca-painya konsolidasi 90 %.

3. Hitung koefisien konsolidasi dengan menggunakan rumus berikut:

$$C_v = \frac{0.848 \times H_{dr}^{\ 2}}{t_{90}}$$




Gambar 14.2 Cara Penentuan t90

**Kecepatan penurunan**

Berbicara mengenai kecepatan penurunan, kita selalu berhubungan dengan waktu yang dibutuhkan untuk penurunan tersebut. Waktu penurunan dihitung dengan rumus :

$$t = \frac{TH_{dr}^{2}}{Cv}$$

dengan:

t = waktu

T = faktor waktu, dapat dilihat dari tabel

$H_{dr}$ = jarak lintas drainage (tergantung susunan lapisan tanah)

Cv = koefisien konsolidasi, dicari dari lengkung konsolidasi.

## 3 TUJUAN PERCOBAAN

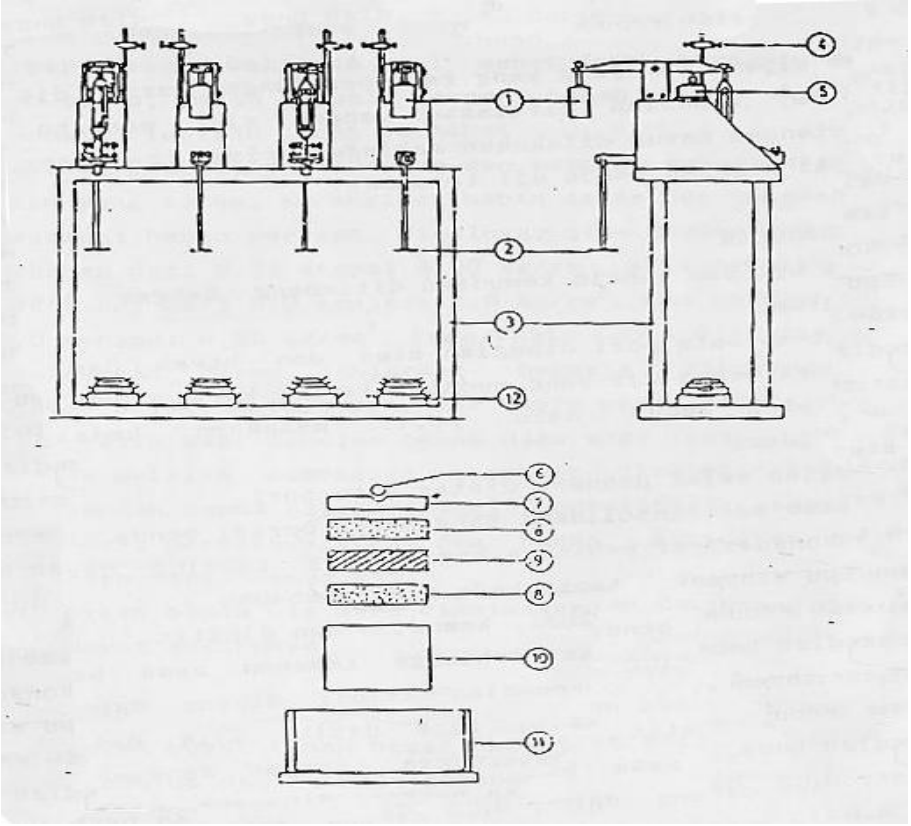
Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menentukan sifat pemampatan suatu jenis tanah, yaitu sifat-sifat perubahan isi dan proses keluarnya air dari dalam pori tanah yang diakibatkan adanya perubahan tekanan vertikal yang bekerja pada tanah. Selain hal tersebut percobaan ini juga bertujuan untuk:

- Menentukan nilai Cc (Indeks Kompresibilitas)
- Menentukan nilai Cv (Koefisien Konsolidasi)

## 4 ALAT PERCOBAAN

- Satu set alat konsolidasi.
- Tabung contoh tanah.
- Silinder penolong untuk mengisi contoh tanah kedalaman tabung contoh tanah.
- Silinder ring yang berisi batu pori.
- Pelat tembaga untuk meratakan gaya pembebanan dengan peluru di tengah-tengah.
- Oedometer.
- Pisau, stopwatch, neraca, dan lain-lain

Gambar 14.4 Bagian-Bagian Alat Uji Konsolidasi



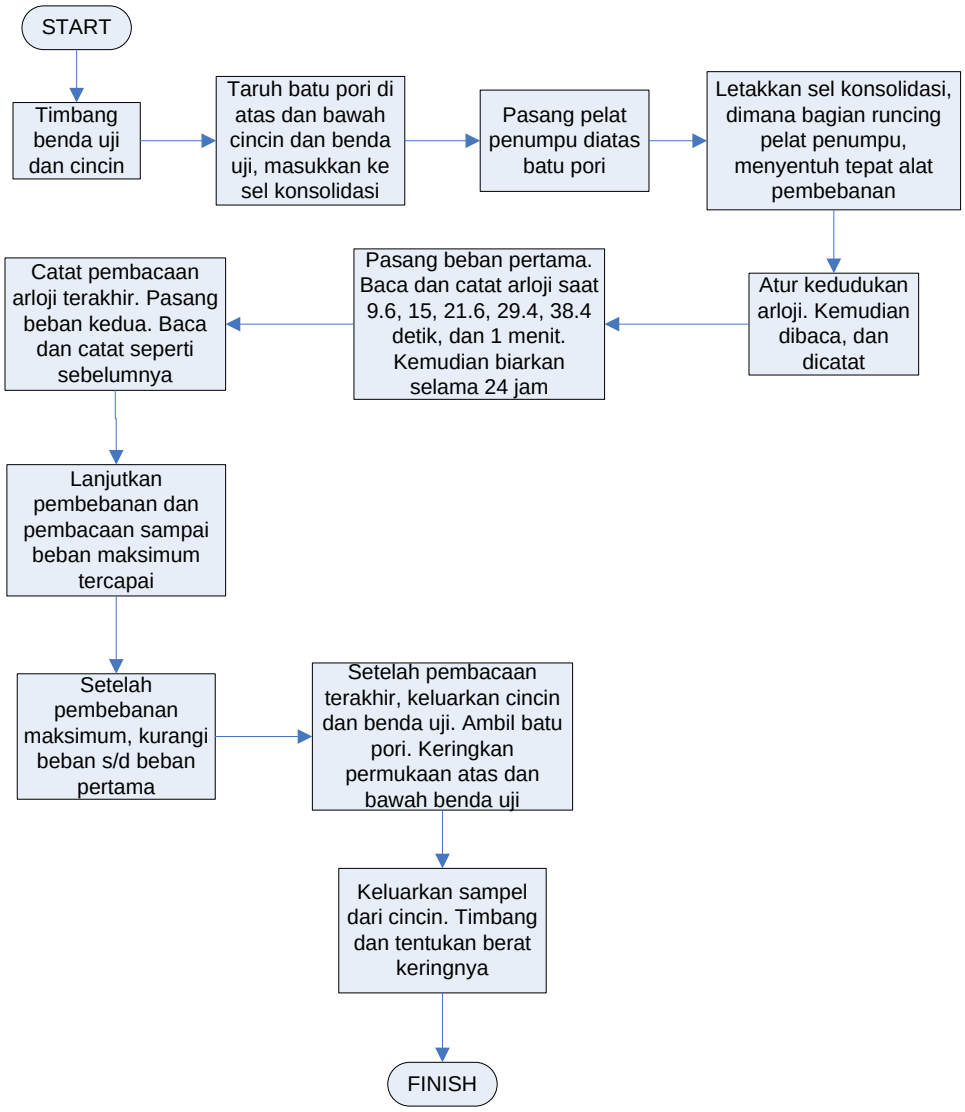

Keterangan Gambar:

1. Beban Keseimbangan
2. Plat Beban
3. Tiang Penyangga
4. Dudukan Dial
5. Sel Konsolidasi
6. Bola Baja
7. Plat Penekan
8. Batu Pori
9. Benda Uji
10. Ring Contoh
11. Sel Konsolidasi
12. Beban

## 14.5 DOKUMENTASI PRAKTIKUM



## 6 PROSEDUR PERCOBAAN




Pada alat percobaan dimana konsolidasi sedang berlangsung, dipasang pembebanan sebagai berikut:

| Hari Ke- | I<br>Beban yg dipasang (kg) | II<br>Beban yg bekerja<br>(1x10 kg) | III<br>Tegangan pd sample (II/A)<br>($kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0.316 | 3.16 | 0.1 |
| 2 | 0.612 | 6.12 | 0.2 |
| 3 | 1.254 | 12.54 | 0.4 |
| 4 | 2.518 | 25.18 | 0.8 |
| 5 | 5.056 | 50.56 | 1.6 |
| 6 | 10.112 | 101.24 | 3.2 |
| 7 | 0.316 | 3.16 | 0.1 |

Tabel 14.1 Tabel Pembebanan

- Setiap pembebanan berlangsung selama 24 jam mulai saat beban dipasang.
- Pembacaan dial dilakukan pada menit-menit ke:
  0 ; 0.15 ; 1.0 ; 4 ; 6.15 ; 9 ; 12.15 ; 16.0 ; 20.15 ; 25.0 ; 36.0 ; 64.0 ; 100.0
  untuk beban pada hari kedelapan pembacaan dial hanya dilakukan satu hari setelah pembebanan
- Setelah keseluruhan pembebanan selama 8 hari selesai, contoh tanah diambil.
- Contoh tanah ditimbang, lalu dioven selama 24 jam pada temperatur 110 C.
- Contoh tanah yang sudah kering ditimbang kembali.

## 7 DATA DAN PENGOLAHAN

| | |
|---|---|
| Wet Container + Wet Soil | 121 gr |
| Wet Container + Dry Soil | 98.7 gr |
| Wet Water | 22.3 gr |
| Wet Container | 4.2 gr |
| Wet Dry Soil (Ws) | 94.5 gr |
| Water Content | 23.60% |
| Specific Gravity (Gs) | 2.63 |
| Po | 10 kg/cm$^2$ |

Tabel 14.2 Sampel Properties

| **Elapsed Time** | **t** | **Dial Reading** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Minute** | | **0.1 kg/cm$^2$** | **0.2 kg/cm$^2$** | **0.4 kg/cm$^2$** | **1 kg/cm$^2$** | **2.5 kg/cm$^2$** | **5 kg/cm$^2$** |
| 0 | 0 | 10 | 9.641 | 9.408 | 9 | 8.249 | 7.22 |
| 0.15 | 0.5 | 9.898 | 9.611 | 9.348 | 8.845 | 8.069 | 7.131 |
| 1 | 1 | 9.881 | 9.6 | 9.312 | 8.795 | 7.998 | 7.096 |
| 2.15 | 1.5 | 9.879 | 9.591 | 9.298 | 8.752 | 7.925 | 7.061 |
| 4 | 2 | 9.859 | 9.581 | 9.26 | 8.712 | 7.87 | 7.021 |
| 6.15 | 2.5 | 9.848 | 9.569 | 9.24 | 8.675 | 7.802 | 6.982 |
| 9 | 3 | 9.836 | 9.559 | 9.225 | 8.639 | 7.745 | 6.946 |
| 12.15 | 3.5 | 9.827 | 9.55 | 9.208 | 8.602 | 7.687 | 6.909 |
| 16 | 4 | 9.818 | 9.54 | 9.19 | 8.57 | 7.642 | 6.878 |
| 20.15 | 4.5 | 9.808 | 9.529 | 9.179 | 8.54 | 7.575 | 6.841 |
| 25 | 5 | 9.8 | 9.52 | 9.15 | 8.51 | 7.53 | 6.817 |
| 36 | 6 | 9.788 | 9.506 | 9.11 | 8.461 | 7.54 | 6.717 |
| 64 | 8 | 9.765 | 9.478 | 9.085 | 8.397 | 7.36 | 6.712 |
| 100 | 10 | 9.75 | 9.461 | 9.075 | 8.367 | 7.316 | 6.681 |

Tabel 14.3 Dial Reading Percobaan

| Applied Pressure kg/cm2 | Final Dial Mm | Dial Change mm | 2H mm | H 4H/H mm | Void Height 2H - 2Ho mm | Void Ratio e=(2H-2Ho)/ 2Ho | $(t90)^{1/2}$ menit | t90 sec | Cv= $0.848H^2/t90$ $cm^2/sec$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.0000 | 10.000 | 0.0000 | 20.0000 | 10.0000 | 8.6293 | 0.7589 | | | |
| 0.1000 | 9.641 | -0.3590 | 19.6410 | 9.8205 | 8.2703 | 0.7274 | 6.0000 | 2160.00 | 0.0004 |
| 0.2000 | 9.408 | -0.2330 | 19.4080 | 9.7040 | 8.0373 | 0.7069 | 7.7000 | 3557.40 | 0.0002 |
| 0.4000 | 9.000 | -0.4080 | 19.0000 | 9.5000 | 7.6293 | 0.6710 | 5.8500 | 2053.35 | 0.0004 |
| 1.0000 | 8.249 | -0.7510 | 18.2490 | 9.1245 | 6.8783 | 0.6049 | 5.3000 | 1685.40 | 0.0004 |
| 2.5000 | 7.220 | -1.0290 | 17.2200 | 8.6100 | 5.8493 | 0.5144 | 6.2000 | 2306.40 | 0.0003 |
| 5.0000 | 6.598 | -0.6220 | 16.5980 | 8.2990 | 5.2273 | 0.4597 | 6.2000 | 2306.40 | 0.0003 |

Tabel 14.4 Angka Pori

Contoh perhitungan sebagai berikut:

Contoh perhitungan diambil untuk applied pressure sebesar 0 kg/cm$^2$

Final Dial = 10 mm

Dial Change = 9.641- 10 = -0.3590 mm

2H (dari dial change) = 20-0.359 = 19.641 mm

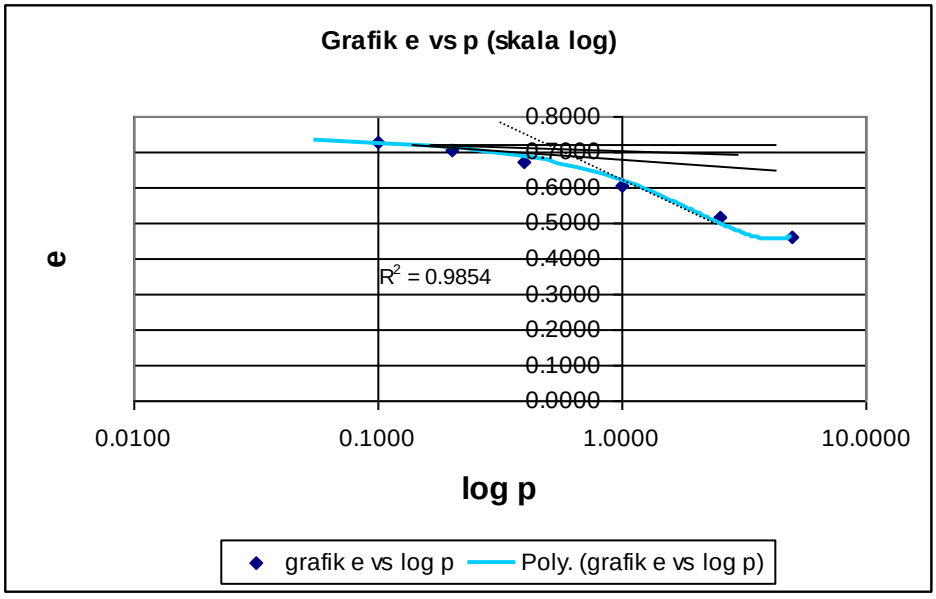
maka H = 19.641 /2 = 9.8205 mm

Untuk tanah dengan: Ws = 94.5 gr ; Gs = 2.63 ; BjAir = 1 gr/cm$^3$ ; A = 31.60 cm$^2$

maka 2Ho = Ws / [Gs×BjAir×A] = 1.137 cm = 11.37 mm

2H – 2Ho = 20 – 11.37 = 8.6293 mm

maka e = [2H – 2Ho] / 2Ho = 0.7599




Grafik 14.1 Void Ratio (e) vs log p

Setelah diplot garis menurut langkah – langkah seperti yang telah dijeslakan dalam bagian 13.2, maka didapat bahwa tekanan pra konsolidasi $P_c = 0.66$ $^{kg}/_{cm^2}$

Besarnya harga indeks pemampatan dapat dihitung sebagai berikut:

Pada kurva di atas, garis yang paling linear berada di antara P = 1 $^{kg}/_{cm^2}$ (e = 0.605) dan P =2.5 $^{kg}/_{cm^2}$ (e = 0.514)

Dengan demikian, maka nilai Cc (indeks pemadatan) dapat dicari sebagai berikut :

$$Cc = \frac{e_1 - e_2}{\log P_{2-} \log P_1}$$

$$Cc = \frac{0.605 - 0.514}{\log 2.5 - \log 1.0}$$

$$Cc = \frac{0.091}{0.397} = 0.229$$

Besarnya harga indeks pengembangan dapat dihitung sebagai berikut:

→ Untuk pembebanan 0.2 kg/cm$^2$

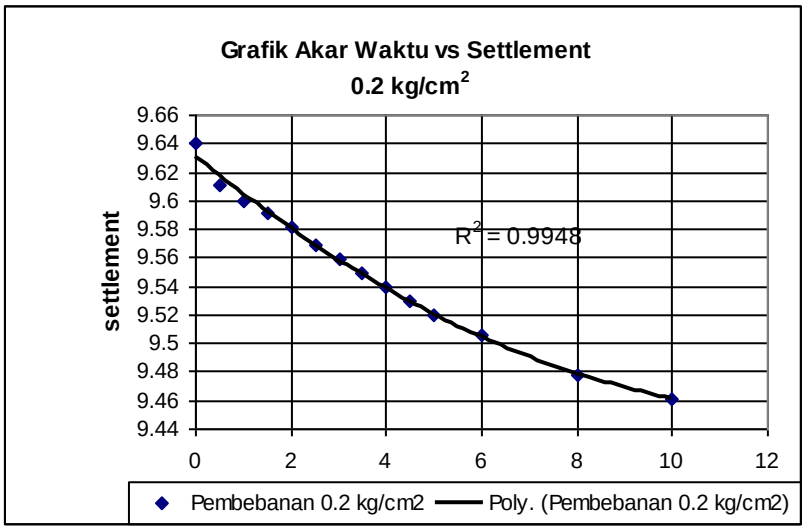
Dari grafik didapat nilai $t_{90}$ = 3557.4 dtk

H = 9.704 mm

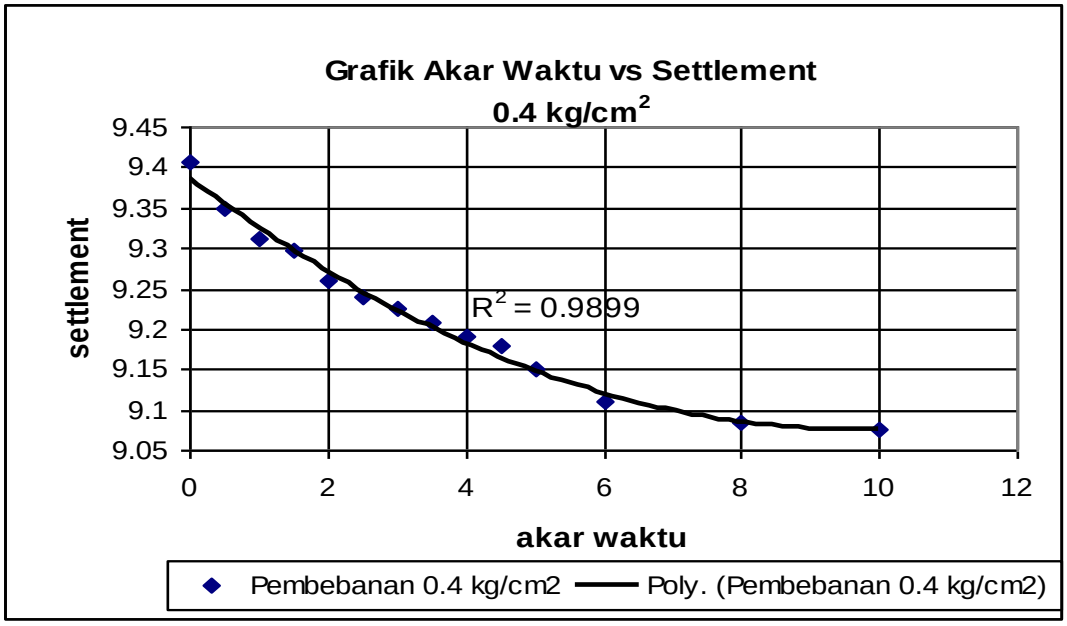
$C_v = 0.848 ( H^2) / t_{90}$

$C_v$ = 0.000224473 cm2/dtk

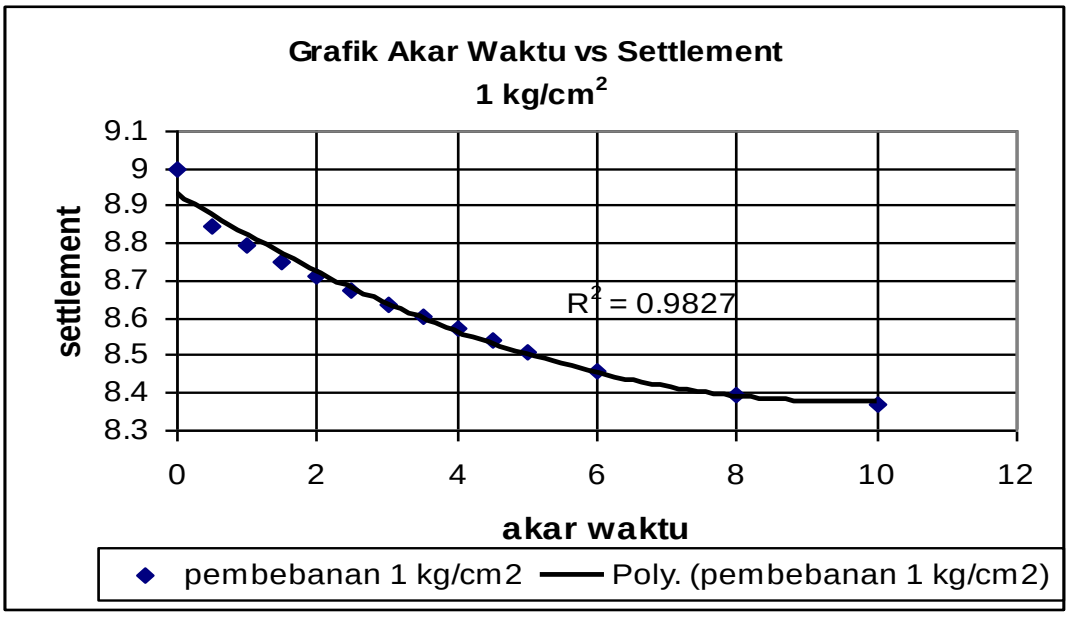
14.8 ANALISIS PERCOBAAN



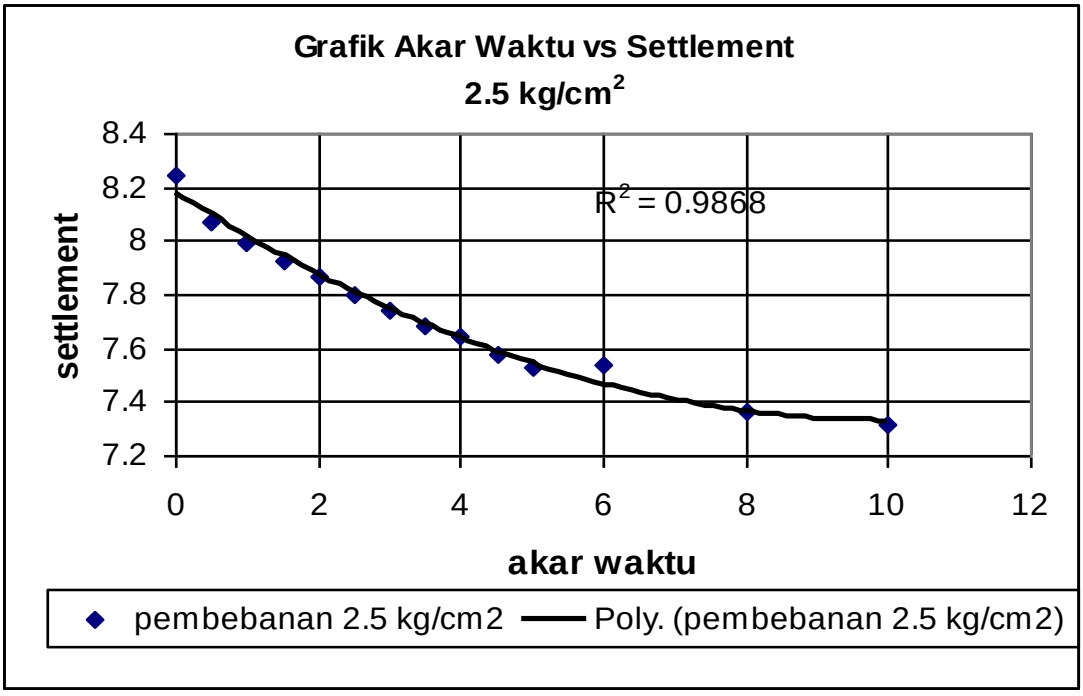

Grafik 14.3 Deformasi vs Akar Waktu Beban 0.2 kg/cm



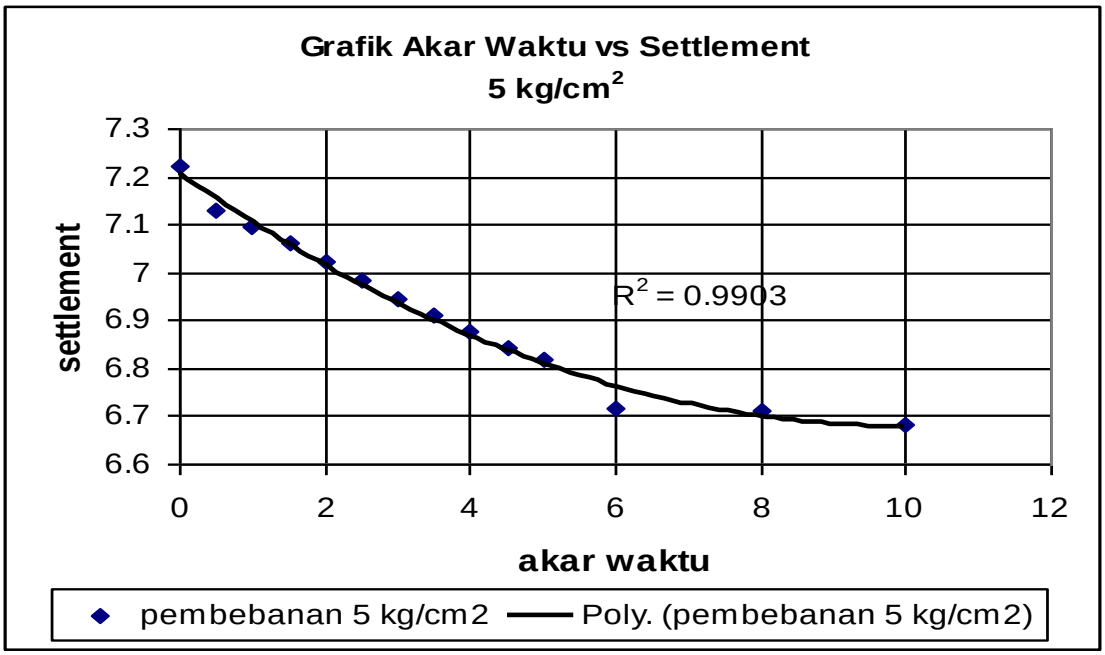

Grafik 14.4 Deformasi vs Akar Waktu Beban 0.4 kg/cm$^2$




Grafik 14.5 Deformasi vs Akar Waktu Beban 1 kg/cm$^2$




Grafik 14.6 Deformasi vs Akar Waktu Beban 2.5 kg/cm$^2$




Grafik 14.7 Deformasi vs Akar Waktu Beban 5 kg/cm$^2$

| Applied Pressure kg/cm2 | Final Dial mm | Dial Change mm | 2H From Dial Change mm | H = 4H/H mm | Void Height 2H - 2Ho mm | Void Ratio e=(2H-2Ho)/ 2Ho | $(t90)^{1/2}$ menit | t90 sec | Cv= $0.848H^2/t90$ $cm^2/sec$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.00 | 10 | 0 | 20 | 10 | 8.629253501 | 0.758949297 | | | |
| 0.10 | 9.641 | -0.359 | 19.641 | 9.8205 | 8.270253501 | 0.727374978 | 6 | 2160 | 0.000378625 |
| 0.20 | 9.408 | -0.233 | 19.408 | 9.704 | 8.037253501 | 0.706882454 | 7.7 | 3557.4 | 0.000224473 |
| 0.40 | 9 | -0.408 | 19 | 9.5 | 7.629253501 | 0.670998549 | 5.85 | 2053.35 | 0.000372718 |
| 1.00 | 8.249 | -0.751 | 18.249 | 9.1245 | 6.878253501 | 0.604947538 | 5.3 | 1685.4 | 0.000418901 |
| 2.50 | 7.22 | -1.029 | 17.22 | 8.61 | 5.849253501 | 0.514446218 | 6.2 | 2306.4 | 0.000272563 |
| 5.00 | 6.598 | -0.622 | 16.598 | 8.299 | 5.227253501 | 0.459740853 | 6.2 | 2306.4 | 0.000253229 |

Tabel 14.5 perhitungan Cv

Contoh perhitungan sebagai berikut:

Contoh perhitungan diambil untuk applied pressure 0,1 $kg/cm^2$

Dari percobaan didapat nilai final dial 9,641 mm, sedangkan final dial dari applied pressure sebelumnya 10 mm, maka:

Dial Change = 9.641 mm – 10 mm = -0.359 mm

Tinggi sampel adalah 10 mm, karena pada konsolidasi ini air mengalir ke atas dan ke bawah (double drainage) maka 2H = (2 x 10 mm)-359 mm = 19,641 mm

H = 4H/H = 9,8205 mm = 0,98205 cm

H solid = $\frac{W_s}{A.G_s.\gamma_w}$

Dimana: Ws = Berat solid

A = Luas sampel

Gs = Specific gravity

$\gamma_w$ = Berat jenis air

H solid = = 1.137 cm = 11.37 mm

Void Height = 2H-H solid = 2H – 2Ho = 20 – 11.37 = 8.6293 mm

maka e = [2H – 2Ho] / 2Ho = 0.7599

Besarnya harga indeks pengembangan dapat dihitung sebagai berikut:

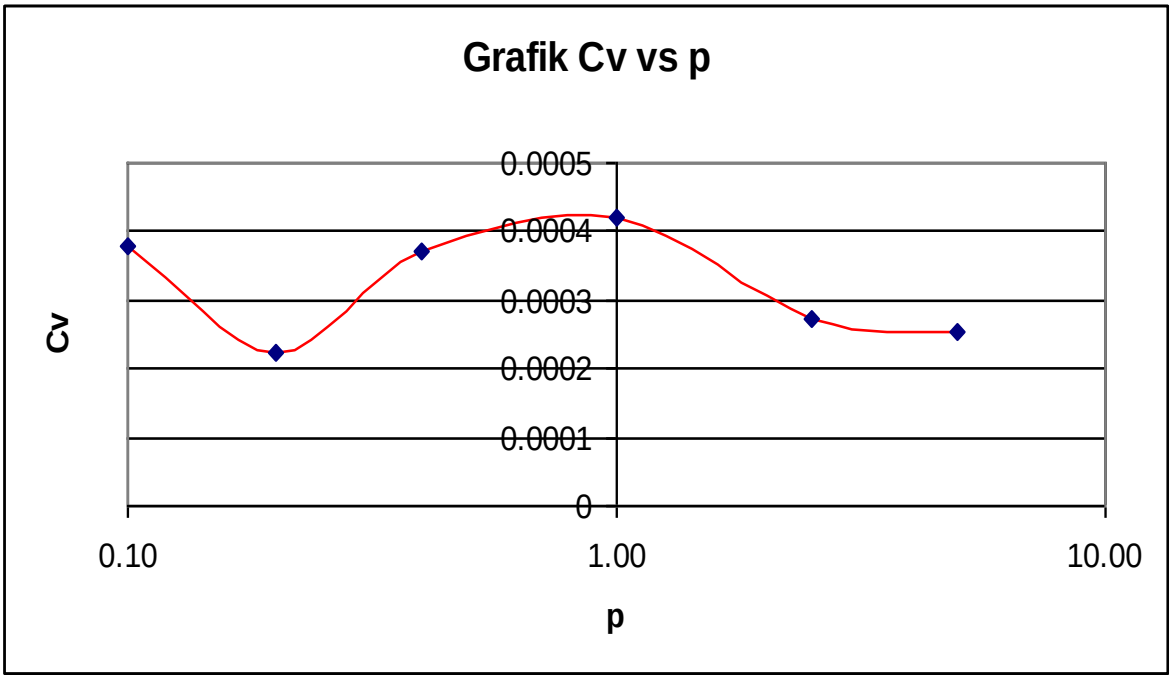
→ Untuk pembebanan 0.2 kg/cm$^2$

Dari grafik didapat nilai $t_{90}$ = 3557.4 dtk

H = 9.704 mm

$C_v$ = 0.848 ( H$^2$) / $t_{90}$

$C_v$ = 0.000224473 cm2/dtk




Grafik 14.9 Cv vs log p

Dari hasil pengamatan terlihat bahwa terjadi penurunan ketinggian tanah (benda uji). Penurunan ini sebanding dengan besarnya beban dan lamanya pembebanan. Penurunan ini dapat terjadi karena keluarnya sejumlah air pori yang ada di dalam tanah sebagai akibat penambahan tegangan vertikal pada tanah (prinsip dasar konsolidasi).

Tekanan prakonsolidasi adalah tekanan efektif over burden maksimum yang pernah dialami tanah sebelumnya. Dari grafik e vs P, diperoleh nilai Pc (tegangan prakonsolidai) = 0.66 kg/cm$^2$.

Dari grafik Cv vs P (tekanan), tampak bahwa diperoleh nilai Cv yang berbeda-beda dari tiap-tiap pembebanan. Cv mengalami nilai minimum pada tekanan sekitar 0.2 kg/cm$^2$ dan maksimumnya pada sekitar 1.0 kg/cm$^2$.

Dari grafik e (angka pori) terhadap tekanan diperoleh hubungan bahwa nilai angka pori menurun sebanding dengan penambahan logaritma dari tekanan. Penyebab turunnya angka pori adalah pada saat tekanan diperbesar, ketinggian sampel

tanah mengalami penurunan. Penurunan ini menandakan adanya pengurangan jumlah dari pori tanah yang ada sehingga mengurangi besarnya angka pori. Kemiringan grafik ini menunjuk nilai Cc yakni sebesar 0.229.

## 9 KESIMPULAN

Kesimpulan yang bisa diambil dari uji konsolidasi ini adalah:

1. Didapat dari sampel tanah nilai Cc = 0.22
2. Nilai Cv tidak konstant diakibatkan oleh beberapa alasan, sebagai berikut :
   - Besar nilai Cv sangat tergantung dari rasio peningkatan pembebanan (pada uji konsolidasi ini rasio pembebanan adalah 2x pembebanan sebelumnya)
   - Nilai Cv ini juga sangat dipengaruhi oleh beban yang terpasang dimana sering dikaitkan apakah beban yang terpasang sudah melebihi nilai beban terbesar yang pernah dialami tanah.
   - Nilai Cv juga dapat berbeda dari perhitungan satu orang ke orang lainnya.
3. Penggunaan metode ini sangatlah rentan terhadap perbedaan dalam pembacaan nilai, karena banyak menggunakan asumsi, terutama dalam menarik garis singgung dan menarik garis sejajar
4. Konsolidasi adalah proses yang bergantung pada waktu hanya dapat terjadi pada lapisan lempung dikarenakan nilai permeabilitasnya yang rendah.