

## Pertemuan VII

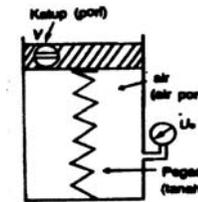
### IV. Konsolidasi

#### IV.1 Pendahuluan.

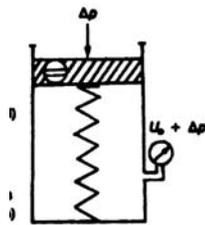
Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpemeabilitas rendah akibat pembebanan. Proses ini terjadi jika tanah jenuh berpemeabilitas rendah dibebani, maka tekanan air pori tanah bertambah, akibatnya air mengalir kelapisan tanah dengan tekanan air pori yang rendah yang diikuti dengan penurunan tanah. karena permeabilitas tanah rendah, maka proses ini membutuhkan waktu. Proses konsolidasi dilapangan dapat diamati dengan pemasangan piezometer. Besarnya penurunan dapat diukur dari titik referensi yang ditetapkan.

#### IV.2 Analogi Konsolidasi Satu Dimensi.

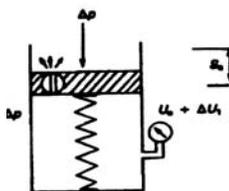
Mekanisme proses konsolidasi satu dimensi dapat dijelaskan dengan gambar yaitu



Gambar IV.1a



Gambar IV.1b



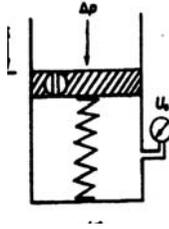
Gambar IV.1c

Silinder berpiston yang berlubang dan berpegas, diisi dengan air sampai penuh (**Gambar IV.1a**). Pegas bebas tidak ada gesekan dengan dinding silinder. **Pegas melukiskan tanah**, sedangkan **air melukiskan air pori**, dan **lubang piston melukiskan permeabilitas tanah**. Gambar ini menunjukkan kondisi sistem dalam keadaan seimbang. Alat ukur tekanan air menunjukkan angka  $\mu_0$ .

(**Gambar IV. 1b**) menunjukkan beban  $\Delta p$  dikerjakan diatas piston dengan katup tertutup. Ternyata piston tidak bergerak, hal ini disebabkan air tidak keluar dari tabung, sedangkan air tidak dapat mampat. Pada kondisi ini beban sepenuhnya dipikul oleh air. Pengukur tekanan air menunjukkan angka  $\mu_0 + \Delta p$ , kenaikan tekana air pori sebesar  $\Delta p$  disebut kelebihan tekanan air pori. Kondisi dengan katup tertutup ini melukiskan **kondisi tak terdrainase (Undrained)** dalam tanah.

(**Gambar IV.1c**) menunjukkan katup dibuka, sehingga air keluar dengan kecepatan tergantung luas lubang. Akibatnya piston bergerak kebawah, sehingga pegas mendukung beban. Setiap kelebihan beban pegas, tekanan air pori berkurang. Kondisi ini menggambarkan **tanah sedang berkonsolidasi**. Beban yang didukung pegas melukiskan

**tegangan efektif tanah** sedangkan tekanan air dalam silinder melukiskan **tekanan air pori tanah**.



Gambar IV.1d

Proses pada (Gambar IV.1c) berjalan terus sampai tekanan air pori nol, Kedudukan ini melukiskan **kondisi terdrainase (drained)** dan saat angka pori menunjukkan **konsolidasi telah berakhir (Gambar IV.1d)**.

### IV. 3 Lempung Normally Consolidated dan Over Consolidated.

**Lempung normally consolidated (NC)** adalah jika tegangan efektif pada suatu titik dalam tanah lempung yang berlaku sekarang merupakan tegangan maksimumnya.

**Lempung Over Consolidated (OC)** adalah jika tegangan efektif pada suatu titik dalam tanah lempung karena sejarah geologinya pernah mengalami tegangan yang lebih besar dari tegangan yang sekarang.

**Tekanan Prokonsolidasi ( $p_c'$ )** adalah tekanan maksimum yang pernah dialami tanah dalam sejarah geologinya.

Jadi kondisi normally consolidated jika tekanan overburden efektifnya pada waktu sekarang ( $p_o'$ ) = ( $p_c'$ ).

Dan kondisi over consolidated jika tekanan overburden efektifnya pada waktu sekarang ( $p_o'$ ) < ( $p_c'$ ).

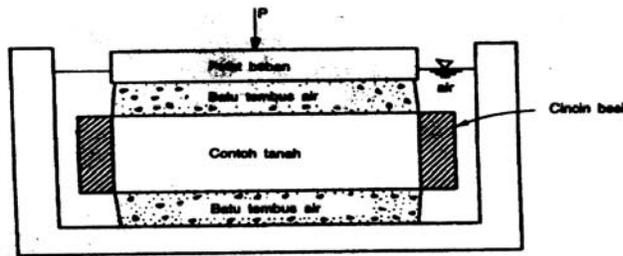
**Overconsolidation ratio (OCR)** adalah angka yang menunjukkan nilai banding antara tekanan prakonsolidasi ( $p_c'$ ) dengan tegangan efektif yang ada sekarang. Secara rumus dapat ditulis ;

$$OCR = \frac{p_c'}{p_o'}$$

Jadi tanah normally consolidated nilai OCR = 1 dan Over Consolidated nilai OCR > 1, sedangkan tanah yang sedang mengalami konsolidasi nilai OCR < 1.

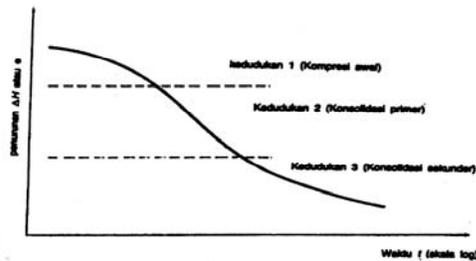
### IV. 4 Uji Konsolidasi.

Uji konsolidasi satu dimensi di laboratorium dilakukan dengan alat **Oedometer** atau **konsolidometer**.



Gambar IV.2 Oedometer.

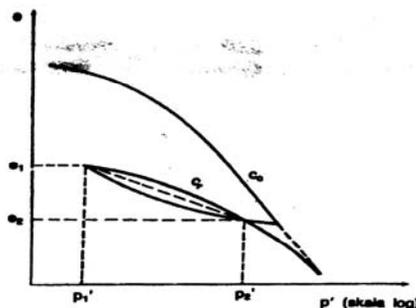
Contoh tanah dimasukan hati-hati kedalam cincin besi. Bagian atas dan bawah benda uji dibatasi oleh batu tembus air (porous stone). Beban P dikerjakan, dan penurunan diukur dengan arloji pembacaan, umumnya beban diterapkan selama 24 jam dengan benda uji yang selalu terendam dalam air. Penambahan beban secara periodik diterapkan, Leonard (1962) menyatakan penambahan beban dua kali sebelumnya dengan urutan beban 0,25 ; 0,50; 1,00 ; 2,00; 4,00; 8,00; 16,00 kg/cm<sup>2</sup>. Setiap penambahan beban deformasi dan waktu dicatat dan diplot dalam grafik semi logaritmis hubungan antara penurunan ( $\Delta h$ ) dengan waktu (log t).



Grafik IV.3 Grafik hubungan penurunan dengan waktu.

- Kedudukan 1 kompresi awal akibat beban awal terhadap benda uji
- Kedudukan 2 bagian garis lurus, menunjukan proses konsolidasi awal.
- Kedudukan 3 menunjukan proses konsolidasi sekunder.

Untuk penambahan beban, tegangan yang terjadi tegangan efektif, jika nilai  $G_s$  dimensi awal serta penurunan dicatat, maka angka pori diperoleh, selanjutnya tegangan efektif dan angka pori (e) diplot digrafik semi logaritmis,

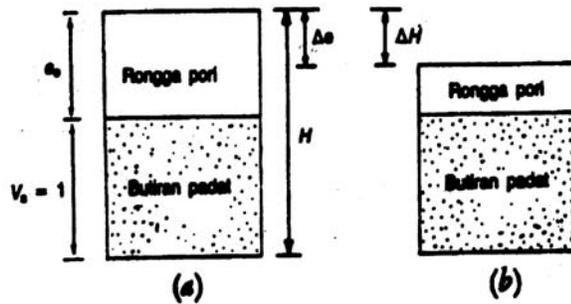


Gambar IV.4 Hubungan e dengan log p'

#### IV.5 Interpretasi Uji Konsolidasi.

Uji konsolidasi satu dimensi, perubahan tinggi ( $\Delta H$ ) per tinggi awal ( $H$ ) adalah sama dengan perubahan volume ( $\Delta V$ ) per satuan volume awal ( $V$ ).

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta V}{V}$$



Gambar II.5 Fase konsolidasi

Jika  $V_s = 1$  dan angka pori awal  $= e_o$ , maka kedudukan akhir proses konsolidasi adalah,

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta e}{1 + e_o} \text{ sehingga } \Delta H = H \frac{\Delta e}{1 + e_o}$$

#### IV.6 Koefisien Pemampatan ( $a_v$ ) dan Koefisien Perubahan Volume ( $m_v$ ).

**Koefisien pemampatan ( $a_v$ )** adalah koefisien yang menyatakan kemiringan kurva  $e - p'$ , jika volume awal  $V_1$  mampat menjadi  $V_2$ , maka terjadi pengurangan angka pori, perubahan volume menjadi ;

$$\frac{V_1 - V_2}{V_1} = \frac{(1 + e_1) - (1 + e_2)}{1 + e_1} = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1}$$

dengan ;

$e_1$  = angka pori pada tegangan  $p_1'$

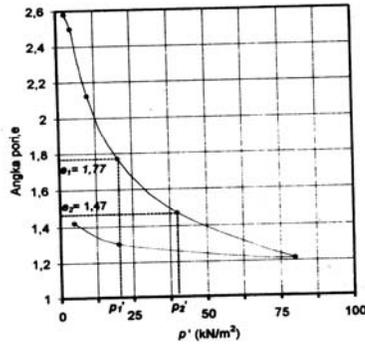
$e_2$  = angka pori pada tegangan  $p_2'$

$V_1$  = volume pada tegangan  $p_1'$

$V_2$  = volume pada tegangan  $p_2'$

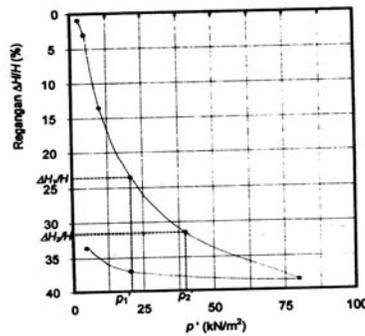
Kemiringan kurva  $e - p' = a_v$ , dinyatakan (**Gambar IV.6**)

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta p} = \frac{(e_1 - e_2)}{p_2' - p_1'}$$



Gambar IV.6 Grafik angka pori vs tegangan efektif.

**Koefisien perubahan volume ( $m_v$ )** adalah perubahan volume persatuan penambahan tegangan efektif ( $m^2/kN$ ). Jika kenaikan tegangan efektif  $p_1'$  ke  $p_2'$ , maka angka pori berkurang dari  $e_1$  ke  $e_2$  dengan perubahan tebal ( $\Delta H$ ).



Gambar IV.7 Grafik regangan vs tegangan efektif

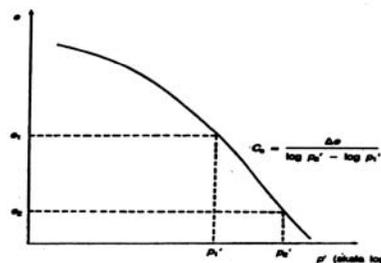
$$\text{Perubahan volume } (m_v) = \frac{V_1 - V_2}{V_1} = \frac{H_1 - H_2}{H_1} = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} = \frac{(e_1 - e_2)(p_2' - p_1')}{(p_2' - p_1')(1 + e_1)} = \frac{a_v \Delta p}{1 + e_1}$$

Karena  $m_v$  adalah perubahan volume per satuan penambahan tegangan, maka ;

$$m_v = \frac{a_v \cdot \Delta p}{(1 + e_1) \Delta p} = \frac{a_v}{1 + e_1}$$

#### IV.7 Indeks Pemampatan ( $C_c$ )

Indeks pemampatan adalah kemiringan dari bagian garis lurus grafik  $e - \log p'$ .



Gambar IV.8 Indeks pemampatan ( $C_c$ )

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} = \frac{(e_1 - e_2)}{\log p_2' - \log p_1'} = \frac{e_1 - e_2}{\log(p_2' / p_1')}$$

Dari penelitian (Terzaghi dan Peck, 1967) untuk lempung normally consolidated ;

$$C_c = 0,009 (LL - 10)$$

Untuk tanah yang dibentuk kembali (remolded) ;

$$C_c = 0,007 (LL - 10)$$

Beberapa nilai  $C_c$  didasarkan kepada sifat-sifat tanah (Azzouz, 1976) ;

$$\begin{aligned} C_c &= 0,01 W_N \text{ (lempung Chikago)} \\ &= 0,0046 (LL - 9) \text{ (lempung Brasilia)} \\ &= 0,208 e_o + 0,0083 \text{ (lempung Chikago)} \\ &= 0,0115 W_N \text{ (tanah organik, gambut)} \end{aligned}$$

Dengan  $W_N$  = kadar air asli dilapangan (%) dan  $e_o$  = angka pori.

#### IV.8 Indeks Pemampatan Kembali ( $C_r$ )

Indeks pemampatan kembali adalah kemiringan dari kurva pelepasan beban dan pembebanan kembali pada grafik  $e - \log p'$  (lihat **Gambar IV.4**).

$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} = \frac{e_1 - e_2}{\log p_2' - \log p_1'} = \frac{e_1 - e_2}{\log(p_2' / p_1')}$$

#### Contoh soal.

Hasil uji konsolidasi pada lempung jenuh diperoleh data sebagai berikut ;

**Tabel CIV.1**

| Tegangan ( $p'$ ) kN/m <sup>2</sup> | Tebal contoh setelah berkonsolidasi (mm) |
|-------------------------------------|--|
| 0                                   | 20,000                                   |
| 50                                  | 19,649                                   |
| 100                                 | 19,519                                   |
| 200                                 | 19,348                                   |
| 400                                 | 19,151                                   |
| 800                                 | 18,950                                   |
| 0                                   | 19,250                                   |

Akhir pengujian , diukur kadar air ( $w$ ) 24,5% berat jenis tanah  $G_s = 2,70$  ;

- Gambarkan hubungan angka pori vs tegangan efektifnya
- Koef pemampatan ( $a_v$ ) dan koef perubahan volume ( $m_v$ ) pada tegangan 250 s/d 350 kN/m<sup>2</sup>

- c. Tentukanlah nilai  $C_c$  laboratorium tanah tersebut
- d. Tentukan juga nilai  $C_r$  laboratorium

**Penyelesaian ;**

a. Pada tanah jenuh berlaku  $e = w G_s$

Akhir pengujian  $w = 24,5\%$  maka angka pori akhir pengujian  $e_1 = 0,245 \times 2,70 = 0,662$

Maka angka pori awal pengujian  $e_o = e_1 + \Delta e$

$$\Delta H = H \frac{\Delta e}{1 + e_o} \text{ sehingga } \frac{\Delta e}{\Delta H} = \frac{1 + e_o}{H} = \frac{1 + e_1 + \Delta e}{H}$$

$\Delta H = 20 - 19,250 = 0,750$  mm, dan persamaan menjadi

$$\frac{\Delta e}{0,750} = \frac{1 + 0,662 + \Delta e}{20} = \frac{1,662 + \Delta e}{20}$$

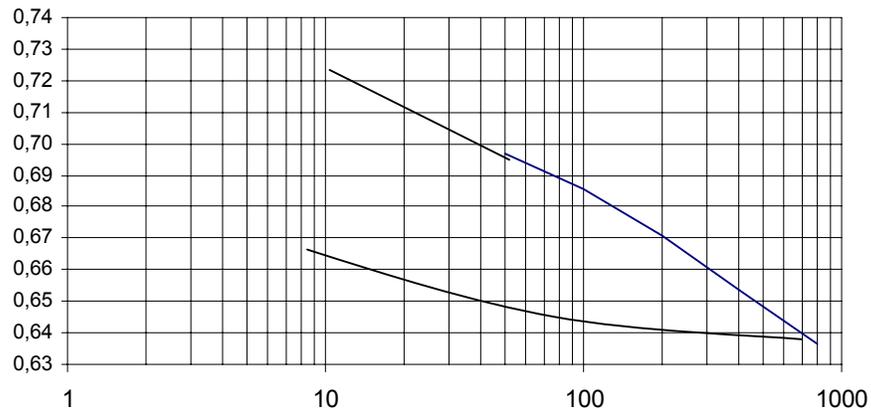
$$20 \Delta e = 1,2465 + 0,750 \Delta e$$

$19,250 \Delta e = 1,2465$  diperoleh  $\Delta e = 0,065$  sehingga  $e_o = 0,662 + 0,065 = 0,727$

$$\frac{\Delta e}{\Delta H} = \frac{1 + e_o}{H} = \frac{1 + 0,727}{20} = \frac{1,727}{20} = 0,0864 \text{ Sehingga } \Delta e = 0,0864 \Delta H$$

**Tabel CIV.2**

| Tegangan<br>( $p'$ )<br>( $\text{kN/m}^2$ ) | H<br>(mm) | $\Delta H$<br>(mm) | $\Delta e$ | e     |
|---|-----------|--------------------|------------|-------|
| 0   | 20,000    | 0,000              | 0,000      | 0,727 |
| 50  | 19,649    | 0,351              | 0,030      | 0,697 |
| 100   | 19,519    | 0,481              | 0,042      | 0,685 |
| 200   | 19,348    | 0,652              | 0,056      | 0,671 |
| 400   | 19,151    | 0,849              | 0,073      | 0,654 |
| 800   | 18,950    | 1,050              | 0,091      | 0,636 |
| 0   | 19,250    | 0,750              | 0,065      | 0,662 |



**Gambar CIV.1** Grafik hubungan tegangan vs angka pori

b. Dari grafik hubungan  $e - \log p'$  dapat dibaca ;

$$p'_1 = 250 \text{ kN/m}^2 \quad e_1 = 0,665$$

$$p'_2 = 350 \text{ kN/m}^2 \quad e_2 = 0,658$$

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta p} = \frac{0,665 - 0,658}{350 - 250} = 0,00007 \text{ m}^2 / \text{kN}$$

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_1} = \frac{0,00007}{1 + 0,665} = 0,00042 \text{ m}^2 / \text{kN}$$

c. Indeks pemampatan  $C_c$  laboratorium dengan memperhatikan kurva, dimana kurva mendekati linier dari 100 s/d 600  $\text{kN/m}^2$ .

$$p'_1 = 100 \text{ kN/m}^2 \quad e_1 = 0,685$$

$$p'_2 = 600 \text{ kN/m}^2 \quad e_2 = 0,648$$

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} = \frac{e_1 - e_2}{\log \frac{p'_2}{p'_1}} = \frac{0,685 - 0,648}{\log \frac{600}{100}} = \frac{0,037}{0,778} = 0,048$$

e. Indeks pemampatan kembali  $C_r$  laboratorium adalah

$$p'_1 = 800 \quad e_1 = 0,636$$

$$p'_2 = 10 \quad e_2 = 0,662$$

$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} = \frac{e_1 - e_2}{\log \frac{p'_2}{p'_1}} = \frac{0,636 - 0,662}{\log \frac{10}{800}} = 0,013$$