

# **ADVANCE SOIL MECHANIC**

---

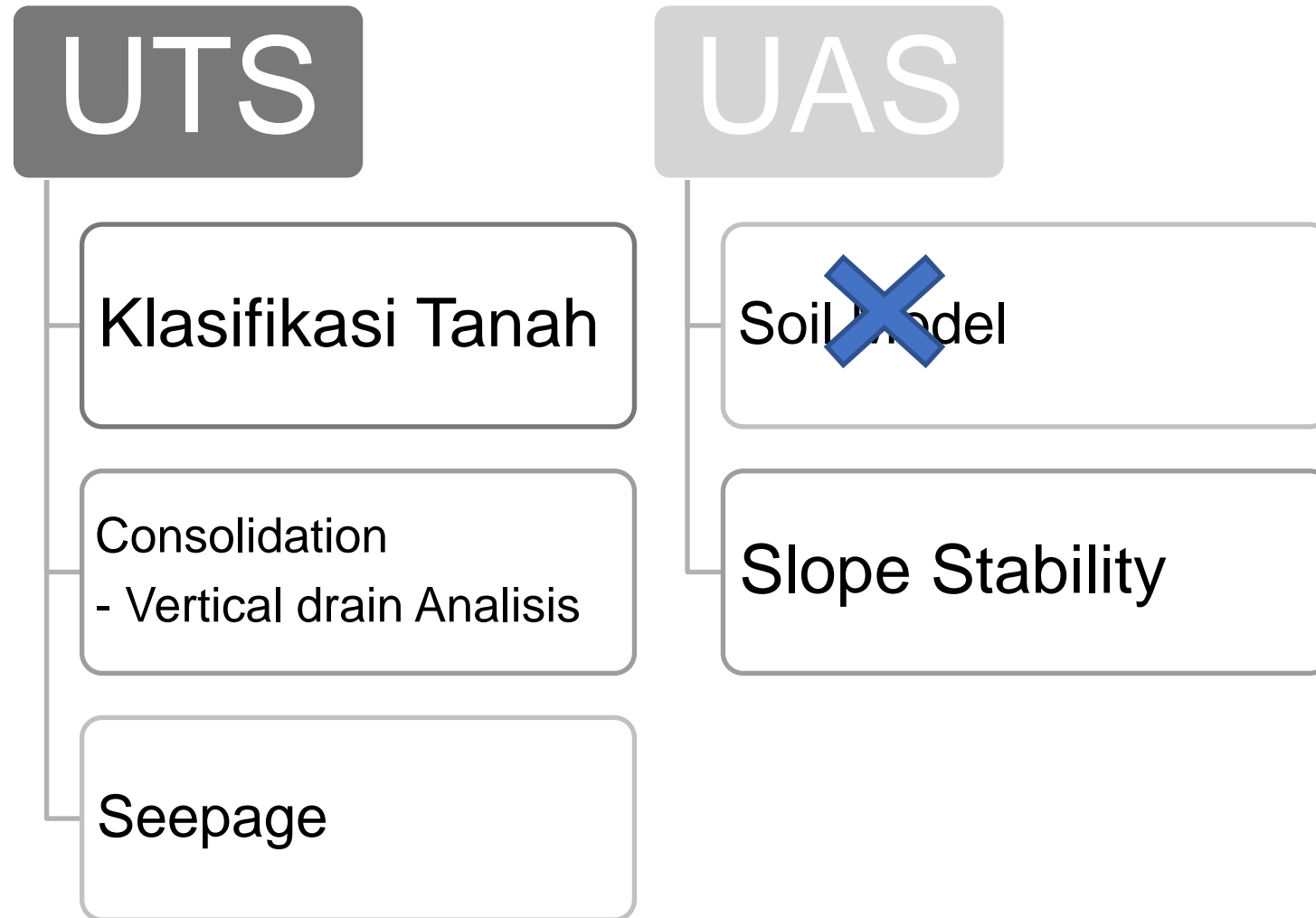
## **Vertical Drain Analysis**

**Sherly Meiwa , ST., MT**



Department of Civil Engineering  
Universitas Komputer Indonesia  
Bandung, 2020

# Rencana Materi Pembelajaran



# Penilaian

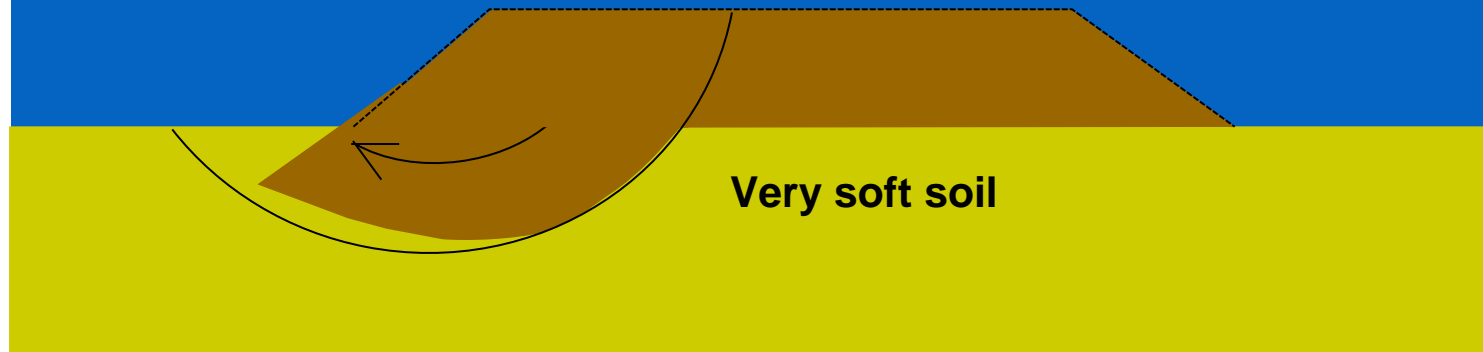
UTS	: 30%
UAS	: 30%
KUIS + Tugas	: 40%

# Penilaian

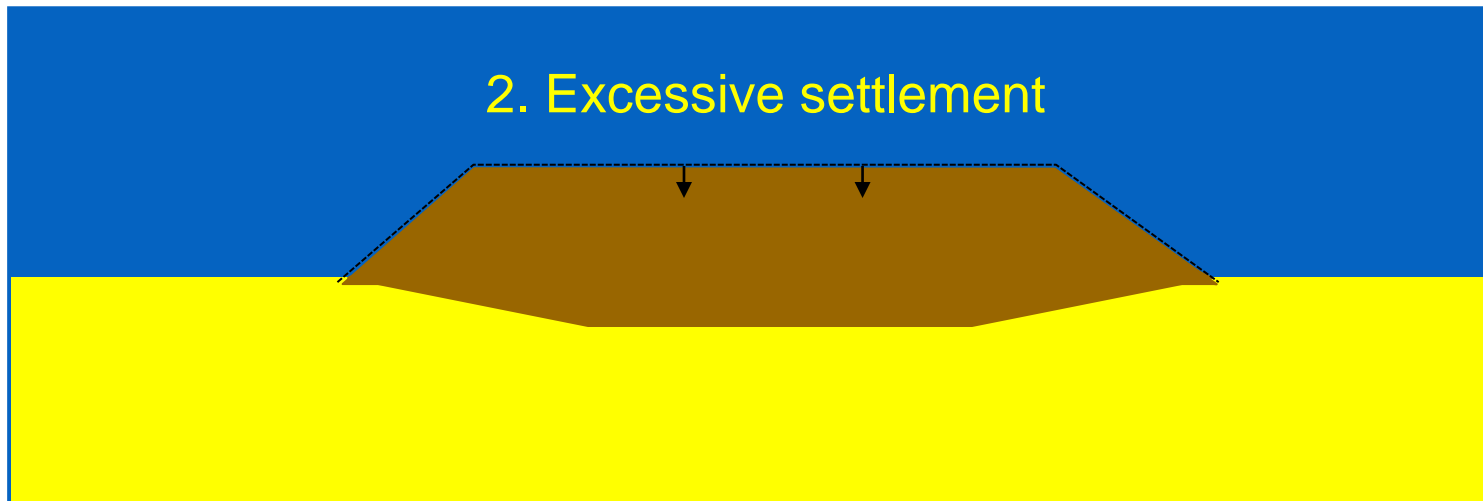
1. 2016, Hutapea Bigman, Persentation : Aspek Geoteknik dalam Perencanaan dan Pengawasan Pembangunan/Pemeliharaan Jalan Tol dan Runway, Taxiway, Apron Bandar Udara, ITB
2. 2015, Meiwa Sherly, Tugas Akhir : Analisis konsolidasi dengan PVD untuk kondisi *axisymmetric* dan beberapa metoda ekuivalensi *plane strain* menggunakan metode elemen hingga,ITENAS

# Permasalahan Konstruksi di atas tanah lunak

## 1. Kapasitas Daya Dukung Rendah



## 2. Excessive settlement



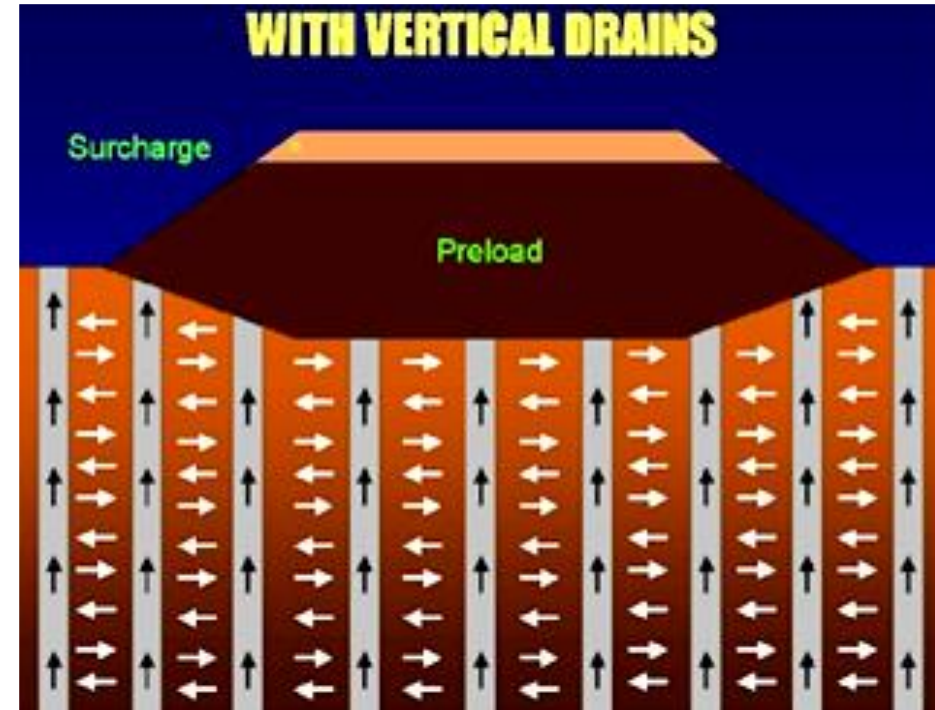
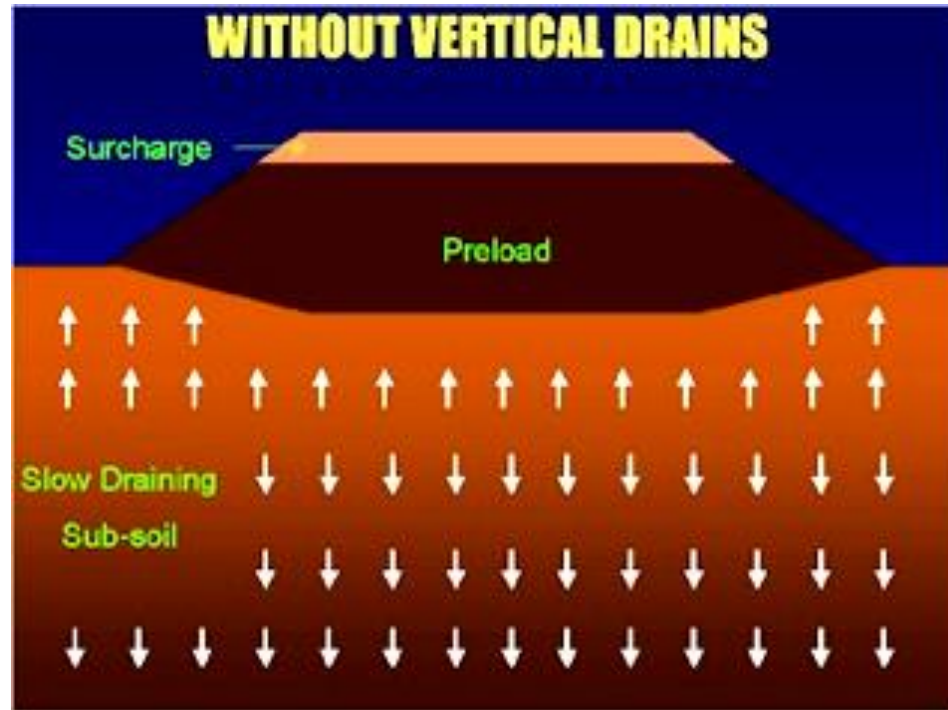
# Timbunan di atas tanah lunak



# Timbunan di atas tanah lunak

1. Daya dukung tanah sangat lunak akan mengganggu stabilitas dari timbunan.
2. Tinggi timbunan yang dilakukan sangat terbatas, sehingga untuk timbunan yang tinggi perlu dilakukan secara bertahap atau diberikan perkuatan (stone column, geotextile)
3. Penurunan konsolidasi yang sangat besar akan memakan waktu lama. Jika proses konsolidasi tidak dipercepat akan membutuhkan waktu cukup lama (bertahun-tahun). Penurunan konsolidasi ini dapat dipercepat antara lain dengan kombinasi prefabricated vertical drains dan preloading.

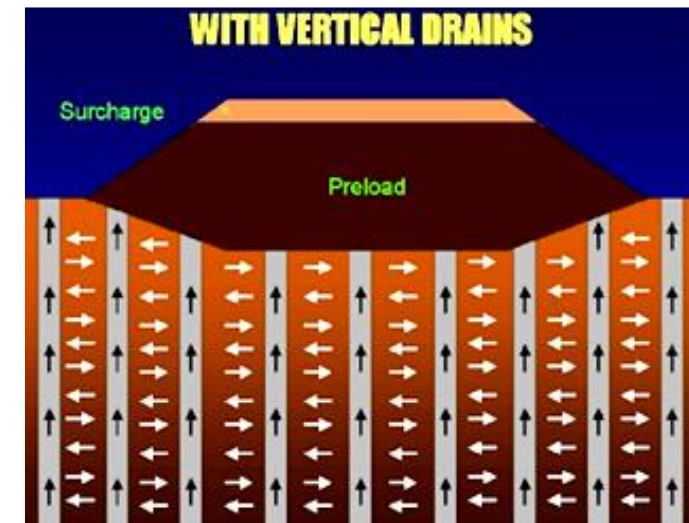
# Vertical Drain





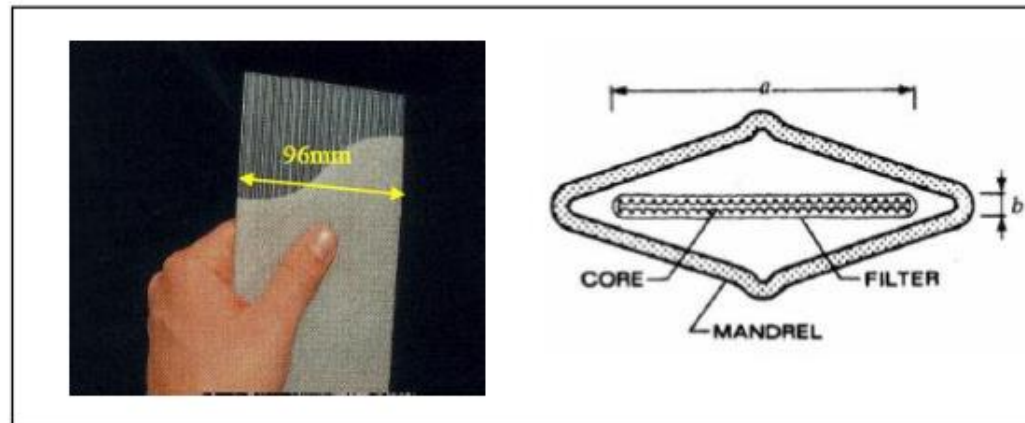
# Preloading

*Preloading* adalah pembebanan awal pada lapisan tanah berfungsi untuk mereduksi penurunan yang akan terjadi dan juga dapat meningkatkan daya dukung tanah tersebut. Dengan terdisipasinya air pori pada lapisan tanah tersebut maka akan meningkatkan kuat geser tanahnya sehingga tanah tersebut dapat memikul beban lebih besar. Penambahan tekanan dilakukan secara bertahap sehingga lapisan tanah yang lemah tidak tertekan sebelum mereka memiliki waktu untuk memperbaiki strukturnya. Umumnya timbunan yang dilakukan bertahap adalah timbunan di atas tanah lunak.



# Vertical Drain

*Vertical drain* merupakan saluran yang dibuat secara vertikal yang berfungsi untuk memperpendek lintasan air pori dari dalam tanah sehingga dapat mempersingkat waktu konsolidasi. Secara umum ada dua jenis *vertical drain* yaitu *sand drain* dan *prefabricated drain*. Konsolidasi tanah lempung lunak sekarang pada umumnya menggunakan *prefabricated vertical drain* (atau disebut juga *wick drain* atau *band drain*). *Wick drain* adalah lapisan pada PVD (*prefabricated vertical drain*) yang terdiri atas inti plastik yang diselimuti *polypropylene geotextile jacket* (Gambar 2.6)



Sumber : Muhammad abdul rahman, 2010

# Vertical Drain



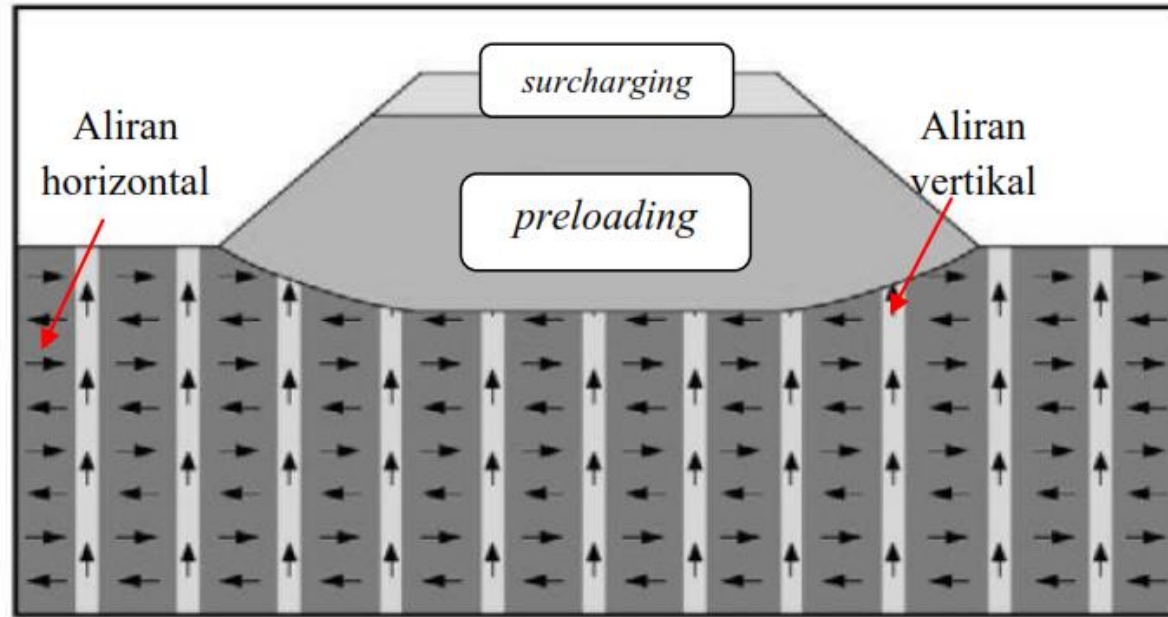
PVD dipasang secara vertikal didalam area tanah lunak tersebut berfungsi sebagai tempat keluar saluran air pori berlebih mengalir. Dengan adanya PVD jarak aliran tegangan air pori pada tanah menjadi lebih pendek karena air terdisipasi ke arah radial (horizontal) selain arah vertikal sehingga mempercepat laju konsolidasi.

# Mekanisme Vertikal Drain

Untuk mengurangi penurunan tanah akibat konsolidasi, maka pemakaian vertikal drain ini umumnya disertai dengan *surcharging*, yaitu pemberian beban *preloading* yang besarnya melebihi beban akhir paska konstruksi. Setelah mengalami *surcharging* dengan *vertical drain*, maka tanah yang tadinya berperilaku *normally consolidated* dengan indeks kompresi ( $C_c$ ) yang tinggi akan berubah menjadi tanah yang berperilaku *over consolidated* dengan indeks kompresi yang jauh lebih rendah dari harga semula.



# Mekanisme Vertikal Drain



**Gambar 2.9** Aliran air pori pada *vertical drain*

Penerapan *preloading* hanya akan mengurangi penurunan setelah konstruksi. Tetapi belum tentu mengurangi waktu untuk proses konsolidasi. Sehingga harus menggunakan metode lain untuk mempersingkat waktu yang dibutuhkan selama proses konsolidasi yaitu dengan mengurangi panjang jalan drainase. Hal ini dapat dicapai dengan memasang *vertical drain* dengan jarak yang lebih dekat dibandingkan jarak aliran pada arah vertikal, maksudnya adalah jarak radial (horizontal) akan lebih pendek daripada jarak vertikal (Gambar 2.9).

# Parameter PVD

## 1. Diameter PVD ( $d_w$ )

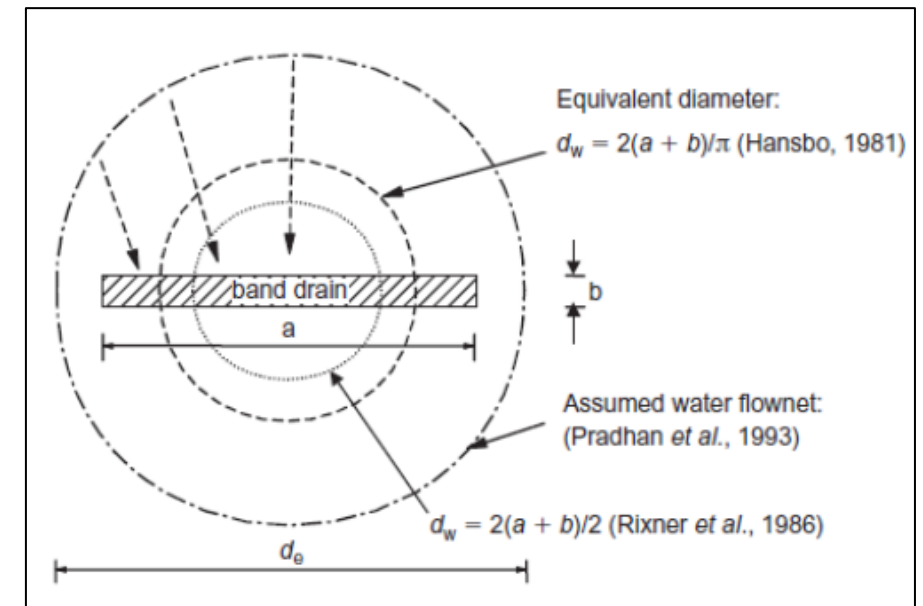
Banyak teori dalam menentukan diameter *drain* ( $d_w$ ). Ukuran  $d_w$  berkisar antara 2 in (50 mm) hingga 3 in (75 mm) pada PVD. Perkiraan  $d_w$  dapat diperoleh dari teori Hansbo (1981):

$$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi} \dots\dots\dots (2.6)$$

Sedangkan Rixner et al (1986) mengasumsikan nilai  $d_w$  sbagai berikut :

$$d_w = \frac{a+b}{2} \dots\dots\dots (2.7)$$

Variable  $a$  dan  $b$  adalah lebar dan tebal dari pita PVD. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat gambar skematik PVD dan penampang PVD pada Gambar 2.7

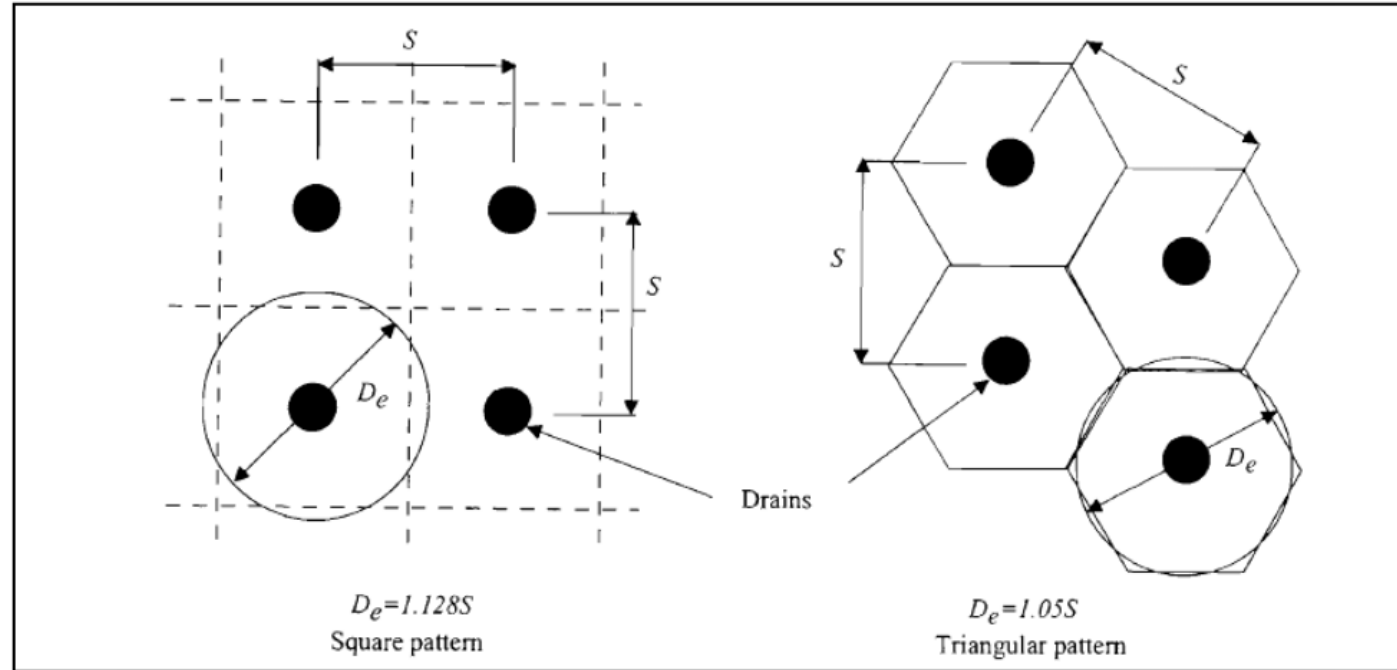


# Parameter PVD

## 2. Diameter Equivalen ( $d_e$ )

$$D = 1,128 \times S \dots\dots$$

$$D = 1,05 \times S \dots\dots$$



Sumber : Iyathurai Sathananthan (2005), *University of Wollongong*

# Parameter PVD

## 3. $f(n)$ dan $n$

$$n = \frac{de}{dw} \text{ atau } \frac{R}{rw}$$

de = diameter equivalen

dw = diameter PVD

$$\text{nilai } F(n) \\ F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{(3n^2 - 1)}{4n^2}$$



# Parameter Konsolidasi Akibat PVD

## 4. Th dan Uh

$$T_h = \frac{C_h \cdot t}{r_e^2}$$

$$\overline{U}_h = 1 - \exp\left[\frac{-2T_h}{F(n)}\right]$$

$$U = 1 - (1 - U_h)(1 - U_v)$$

Th = time factor

Ch = koefisien konsolidasi horizontal

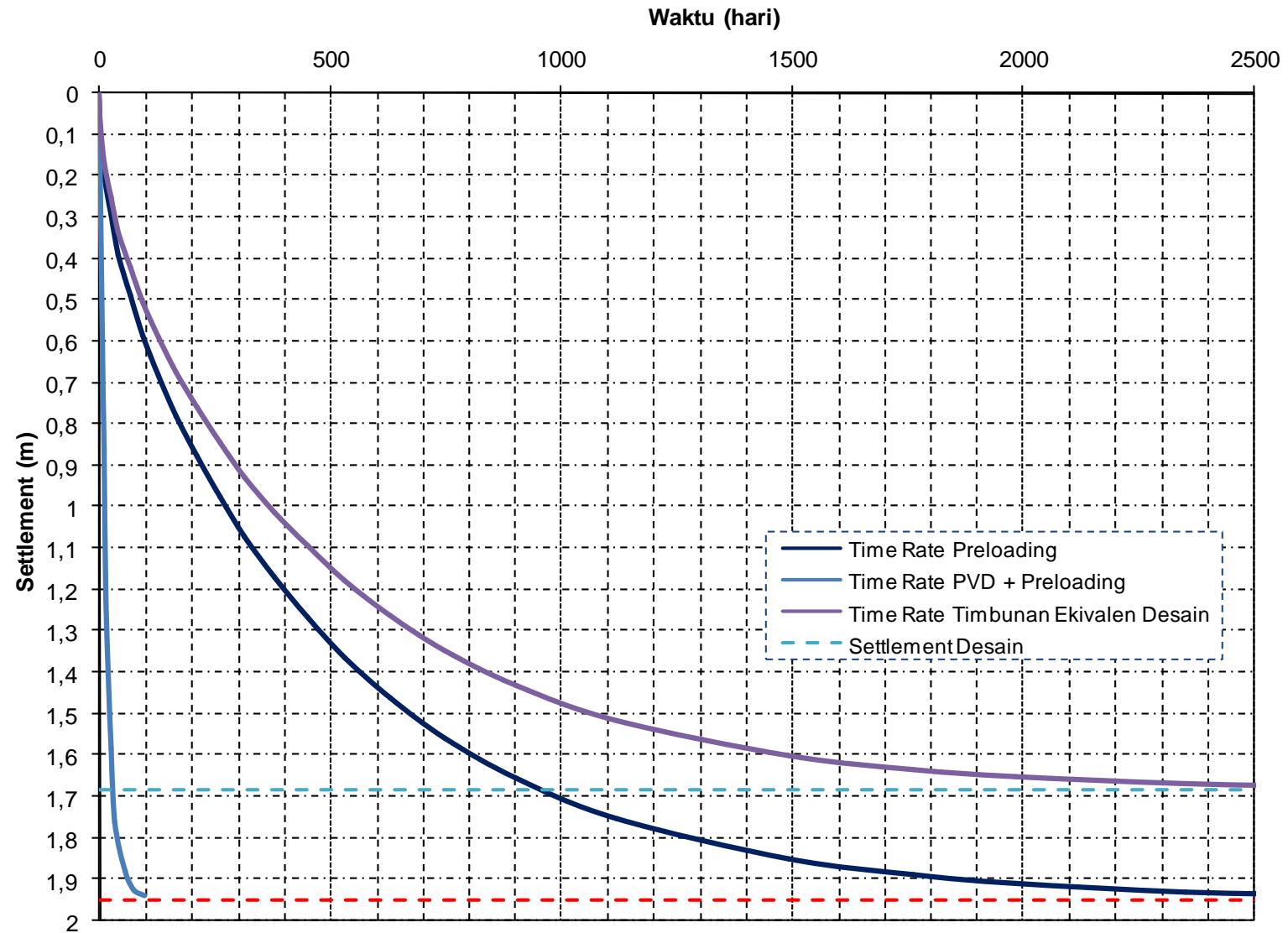
re = Jari-jari PVD ekuivalen.  $r_e = d_e/2$

Uh = derajat konsolidasi arah horizontal

Uv = derajat konsolidasi arah vertikal

U = derajat konsolidasi gabungan

# PVD



# Contoh Perhitungan

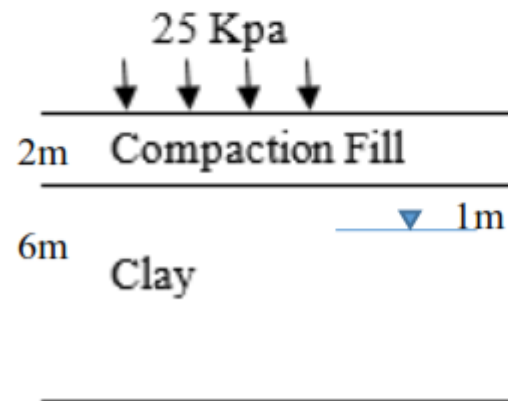
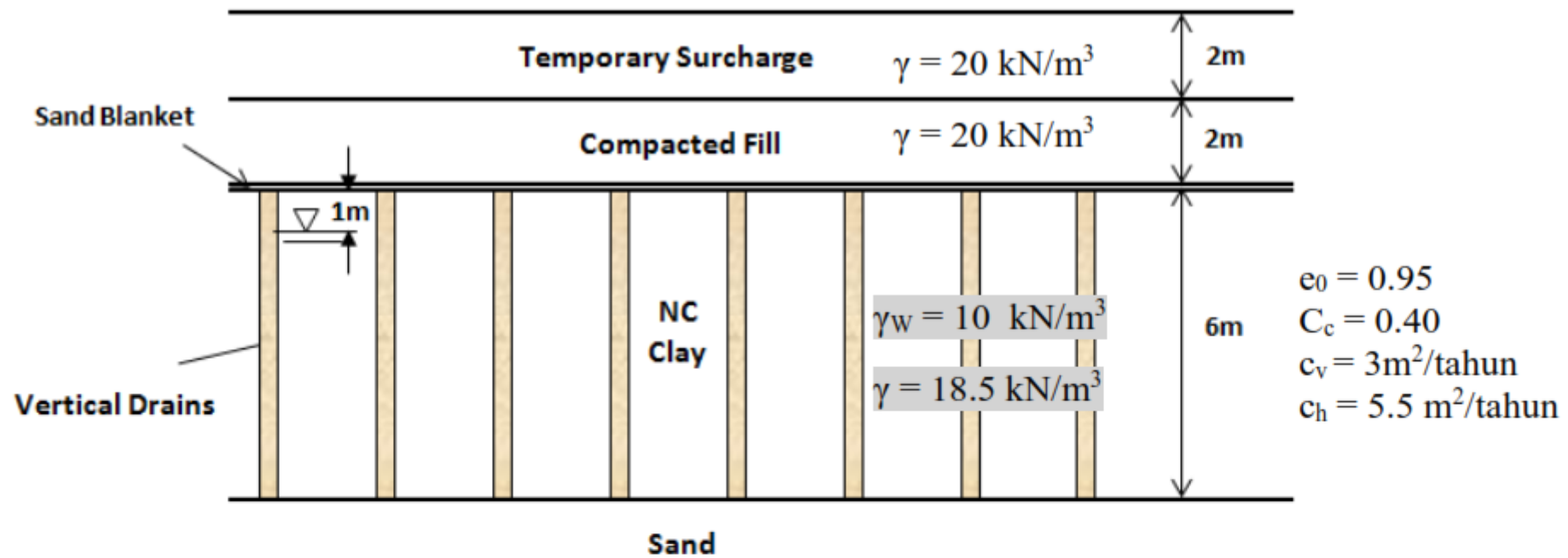
Diberikan suatu lapisan tanah lempung NC (normally consolidated) setebal 6m yang terletak di atas lapisan pasir seperti terlihat pada Gambar 1a. Muka air tanah terdapat pada kedalaman 1.0m di bawah permukaan lempung. Lapisan tersebut kemudian ditimbun oleh compacted fill setinggi 2m. Di atas compacted fill tersebut akan dibangun landasan pacu (runway) yang pelaksanaannya akan dimulai 1 tahun sejak dimulainya timbunan. Landasan pacu ini akan memberikan tekanan sebesar 25 kPa. Dengan demikian pada saat operasional maka lapisan lempung tersebut akan menerima beban dari 2m compacted fill ditambah 25 kPa.

Jika penurunan maksimum yang diijinkan pada saat operasional sebesar 60 mm dan temporary surcharge setebal 2m diberikan pada timbunan tersebut seperti terlihat pada Gambar 1a, maka desain lah suatu sistim vertical drains yang dapat memenuhi persyaratan penurunan ini.

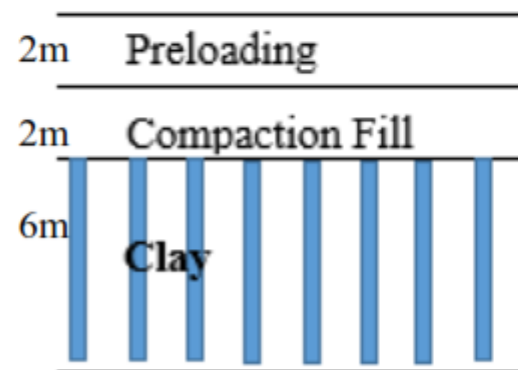
Adapun  $\gamma_{\text{compacted fill}} = 20 \text{ kN/m}^3$ , sementara parameter-parameter tanah lempung adalah sbb:  $\gamma_{\text{lempung}} = 18.5 \text{ kN/m}^3$ ,  $e_0 = 0.95$ ,  $C_c = 0.40$ ,  $c_v = 3 \text{ m}^2/\text{tahun}$ , dan  $c_h = 5.5 \text{ m}^2/\text{tahun}$ . Adapun  $\gamma_{\text{surcharge}}$  di ambil  $= \gamma_{\text{compacted fill}} = 20 \text{ kN/m}^3$ , sementara  $\gamma_{\text{air}} = 10 \text{ kN/m}^3$ .

Catatan: dalam soal ini diasumsikan bahwa:

1. Tebal lapisan sand blanket diabaikan
2. Lapisan lempung NC mampu memikul beban compacted fill + surcharge
3. Penurunan yang diperhitungkan hanyalah penurunan konsolidasi primer
4. Hubungan tinggi timbunan terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 1b, sehingga beban timbunan setinggi 4m (fill+surcharge) dianggap bekerja selama **7 bulan** (dari bulan ke-3 sampai dengan bulan ke-10).



Final condition



Soil Improvement

Radial consolidation dapat dianalisis dengan menggunakan persamaan-persamaan sbb:

$$\overline{U}_h = 1 - \exp\left[\frac{-2T_h}{F(n)}\right]; \quad T_h = \frac{C_h \cdot t}{r_e^2}; \quad F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{(3n^2 - 1)}{4n^2}; \quad n = \frac{r_e}{r_w}$$

dimana:  $r_e$  = jari-jari pengaruh dan  $r_w$  = jari-jari vertical drain.

Derajat konsolidasi rata-rata untuk aliran **vertikal** dapat dihitung melalui persamaan-persamaan sbb:

$$T \leq 0.2 : U = \sqrt{\frac{4T}{\pi}} \quad \text{dan} \quad T > 0.2 : U = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{\frac{-T\pi^2}{4}}$$

# Soil improvement using Preloading and PVD

## 1. Analysis : Settlement and time consolidation (without PVD and preloading)

Diketahui bahwa penurunan yang diijinkan 60mm (6 cm) dalam waktu konsolidasi 7bulan. Berdasarkan kondisi ini perlu dihitung besar penurunan yang terjadi dan lamanya konsolidasi.berikut analisis dimana belum memperhitungkan preloading dan PVD

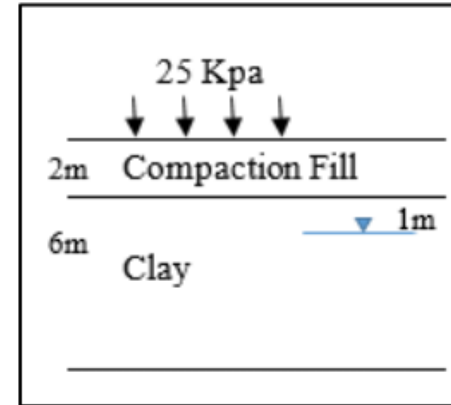
### Penurunan

$$\gamma_{\text{compacted fill}} = 20 \text{ kN/m}^3 \quad \gamma_{\text{lempung}} = 18.5 \text{ kN/m}^3$$

$$\Delta P = 25 \text{ Kpa} + (\gamma_{\text{compacted fill}} \times h) = 25 + (2 \times 20) = 65 \text{ Kpa}$$

$$P_o = (h \times \gamma_{\text{sat}}) + (h \times (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)) = (1 \times 18.5) + (2 \times (18.5 - 10)) = 35.5 \text{ Kpa}$$

$$S = \frac{C_c \cdot H}{1 - e_o} \log \frac{\Delta P + P_o}{P_o} \rightarrow S = \frac{0.4 \cdot 6}{1 - 0.95} \log \frac{65 + 35.5}{35.5} = 0.55 \text{ m}$$



Diperoleh penurunan sebesar 55 cm sehingga perlu dilakukan preloading untuk memperkecil penurunan landasan pacu saat beroperasi

### Waktu Konsolidasi

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H_{dr}^2} \rightarrow 0.848 = \frac{3 \cdot t}{3^2} \rightarrow t = 2.544 \text{ tahun}$$

Nb :  $H_{dr} = 3 \text{ m}$  karena double drainange

Diperoleh waktu konsolidasi 2.544 tahun sedangkan landasan pacu direncanakan akan beroperasi 1 tahun kemudian setelah konstruksi selesai. Sehingga konstruksi ini **memerlukan** perbaikan tanah preloading + PVD

## 2. Preloading Analysis

$$\gamma_{\text{compacted fill}} = \gamma_{\text{temporary surcharge}} = 20 \text{ kN/m}^3$$

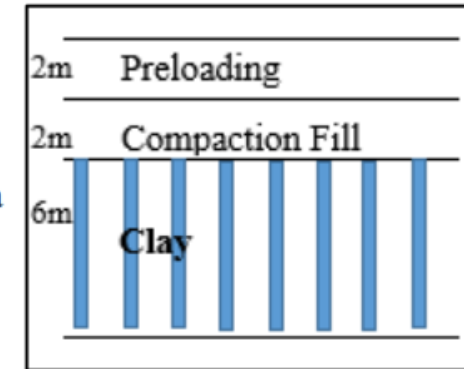
$$\gamma_{\text{lempung}} = 18.5 \text{ kN/m}^3$$

### *Penurunan akibat preloading*

$$\Delta P = (\gamma_{\text{compacted fill}} \times h) + (\gamma_{\text{temporary surcharge}} \times h) = (2 \times 20) + (2 \times 20) = 80 \text{ Kpa}$$

$$P_o = (h \times \gamma_{\text{sat}}) + (h \times (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)) = (1 \times 18.5) + (2 \times (18.5 - 10)) = 35.5 \text{ Kpa}$$

$$S = \frac{C_c \cdot H}{1 - e_o} \log \frac{\Delta P + P_o}{P_o} \rightarrow S = \frac{0.4 \cdot 6}{1 - 0.95} \log \frac{80 + 35.5}{35.5} = 0.63 \text{ m}$$



Diperoleh penurunan **akibat preloading** sebesar 63 cm sedangkan penurunan yang rencana adalah 55cm, dari data ini dapat dihitung derajat konsolidasi penurunan rencana terhadap rencana penurunan preloading.

### *Waktu konsolidasi akibat preloading*

- Penurunan rencana = 55cm
- Penurunan akibat preloading = 63cm

$$U = \frac{S}{s_t} = \frac{55}{63} = 87.3 \%$$

$$U = 87.3 \% > 60 \% \quad \text{sehingga} \quad \begin{aligned} T_v &= 1.781 - 0.933 \log (100 - U\%) \\ T_v &= 1.781 - 0.933 \log (100 - 87.3\%) = 0.742 \end{aligned}$$

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H_{dr}^2} \rightarrow 0.742 = \frac{3 \cdot t}{3^2} = 2.226 \text{ tahun}$$

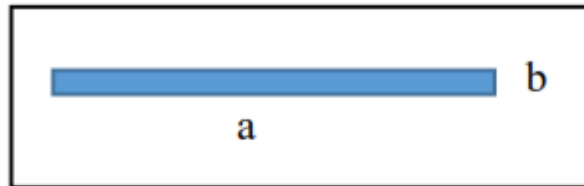
Waktu yang di izinkan adalah 7 bulan < 2.226 tahun sehingga perlu PVD untuk mempercepat konsolidasi



### 3. PVD analysis

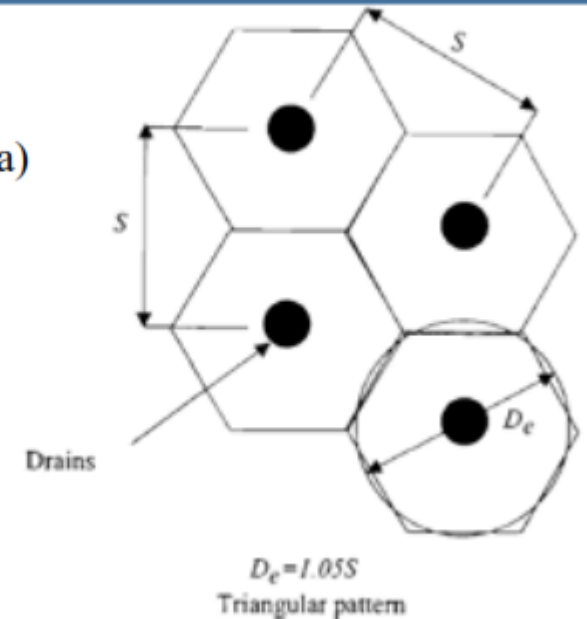
Sebelum melakukan analisis waktu konsolidasi akibat pemasangan PVD langkah awal adalah menentukan parameter PVD. Perlu diketahui bahwa semakin besar jarak antara PVD yang dipasang akan lebih ekonomis. Sehingga pada langkah ini kita akan melakukan analisis jarak antara PVD yang paling efektif ( $S$ ) yang memenuhi kriteria penurunan ijin  $S_{all}$  6cm dan derajat konsolidasi terhadap penurunan rencana  $U$  sebesar 87.8 %. Hasil analisis dengan *back calculation* diperoleh  $S = 2.3$  m dan  $S = 2.5$  m (dengan penurunan ijin 6cm)

#### Design PVD



$a \times b = 100 \times 4 \text{ mm}$

Triangular pattern (pola segitiga)



### Parameter PVD

- Diameter PVD (dw)

$$dw = \frac{2(a+b)}{\pi} = \frac{2(100+4)}{\pi} = 66.21 \text{ mm}$$

- Diameter pengaruh (de)

$de = 1.05 S \dots S$  = spasi antar PVD

$$de = 1.05 \times (2.3) = 2.415 \text{ m}$$

- Nilai n

$$n = \frac{de}{dw} = \frac{2415}{66.21} = 36.47$$

- nilai F(n)

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) - \frac{(3n^2 - 1)}{4n^2};$$

$$F(n) = \frac{36.47^2}{36.47^2 - 1} \ln(36.47) - \frac{(36.47^2 - 1)}{4 \times 36.47^2} = 2.8495$$

### Menghitung $T_h$ dan $U_h$ saat $t=7$ bulan (akibat pengaruh PVD)

- $T_h$  (time factor of horizontal)

$$c_h = 5.5 \text{ m}^2/\text{tahun}$$

$$r_e = d_e/2 = 1.208 \text{ m}$$

$$t = 7_{\text{bln}}/12_{\text{bln}} = 0.583$$

$$T_h = \frac{C_h \cdot t}{r_e^2} \quad T_h = \frac{5.5 \cdot (7/12)}{1.208^2} = 2.2$$

- $U_h$  (degree of consolidation Horizontal)

$$\overline{U}_h = 1 - \exp\left[\frac{-2T_h}{F(n)}\right];$$

$$\overline{U}_h = 1 - \exp\left[\frac{-2 \times 2.2}{2.8495}\right] = 0.787$$

### Menghitung $T_v$ dan $U_v$ saat $t=7$ bulan (akibat pengaruh Preloading)

- $T_v$  (Time Factor of Vertical)

$$C_v = 3 \text{ m}^2/\text{thn}$$

$$H_{dr} = 3 \text{ m}$$

$$t = 7/12 \text{ (bln)} = 0.583 \text{ tahun}$$

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H_{dr}^2}$$

$$T_v = \frac{3 \cdot 0.583}{3^2} = 0.194$$

- $U_v$  (degree of consolidation vertical)

$$T \leq 0.2 : U = \sqrt{\frac{4T}{\pi}} \quad \text{dan} \quad T > 0.2 : U = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\frac{T\pi^2}{4}}$$

$$T < 0.2 \text{ sehingga } U_v = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\frac{T_v \pi^2}{4}}$$

$$U_v = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\frac{0.194 \pi^2}{4}} = 0.498$$

### Menghitung derajat konsolidasi gabungan ( $U_{gab}$ ) akibat preloading+PVD

$$U = 1 - (1 - U_h)(1 - U_v)$$

$$U = 1 - (1 - 0.787)(1 - 0.498) = 0.893$$

### Analisis penurunan tanpa PVD dan dengan PVD

- $S_{\text{tanpa PVD}} = U_v \times St$   
 $= 48.9\% \times 63 \text{ cm} = 31.347 \text{ cm}$
- $S_{\text{PVD}} = U_{gab} \times St$   
 $= 89.3\% \times 63 \text{ cm} = 56.244 \text{ cm}$

### Kesimpulan :

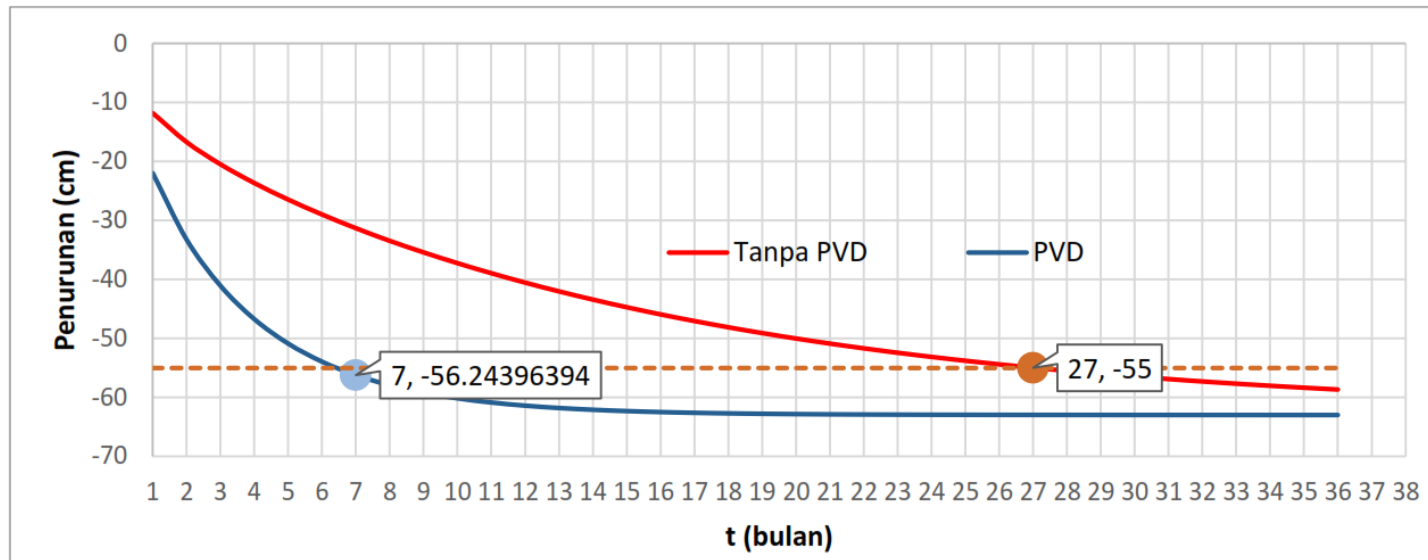
Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya derajat konsolidasi yang direncanakan adalah 88% dari total penurunan 63cm akibat Preloading (sebesar 55 cm).

berdasarkan *back calculation* dengan jarak spasi antar PVD 2.3cm diperoleh :

$U_{89.3\%} > U_{rencana}$

$S_{pvd} = 56.24 > S_{rencana}$

*Grafik analisis penurunan dengan  $S=2.3\text{ m}$*



## Kesimpulan 1

Hasil perhitungan sebelumnya diperoleh derajat konsolidasi rencana akibat preloading sebesar 88% dari total penurunan 63cm diperoleh penurunan rencana minimal sebesar 55 cm dalam waktu **7 bulan**.

Tabel disamping memberikan informasi :

Dibutuhkan jarak antar PVD  $S = 2.3\text{ m}$  agar terkonsolidasi 88% (penurunan 55cm) dalam waktu 7 bulan.

$U\ 89.3\ \% > U\ \text{rencana} \dots \text{OK}$   
 $SPVD = 56.24 > S$   
 rencana.....OK

Gambar dibawah memberikan informasi :

- dibutuhkan waktu 7 bulan untuk terkonsolidasi 88% (penurunan 55cm) dengan PVD.
- dibutuhkan waktu 27 bulan untuk terkonsolidasi 88% (penurunan 55cm) **tanpa** PVD.