

**BAB IV**  
**ANALISIS STRUKTUR**  
**KOLOM PASIR VERTIKAL DISELIMUTI GEOTEKSTIL**

**4.1 Data-data**

1) *Data-data tanah*

Data karakteristik tanah menggunakan data tanah dari Godean, Sleman, Yogyakarta. Data tanah hasil penelitian oleh Laboratorium Mekanika Tanah UII adalah :

- Angka pori awal ( $e_0$ ) = 1,606
- Angka pori akhir ( $e_1$ ) = 1,539
- Kohesi tanah ( $C$ ) = 0,124 kg/cm<sup>2</sup>
- Berat volume tanah ( $\gamma$ ) = 1,89 kg/cm<sup>3</sup>
- Koefisien permeabilitas tanah ( $k_s$ ) = 2,0015 . 10<sup>-9</sup> cm/dt
- Koefisien permeabilitas pasir ( $k_p$ ) = 1,00 . 10<sup>-5</sup> cm/dt

2) *Data-data pasir dan geotekstil*

- Tegangan ijin pondasi kolom pasir ( $\sigma_{\text{bahan}}$ ) = 2,80 kg/cm<sup>2</sup>
- Geotekstil *non-woven* tipe *Polyfelt* TS 800 (kuat tekan bahan 200 kPa) :
  - Massa = 400 gr/m<sup>2</sup>
  - Permeabilitas arah vertikal ( $z$ ) = 6 . 10<sup>-2</sup> cm/s

- Permeabilitas arah horisontal ( $\alpha$ ) =  $2 \cdot 10^{-1}$  cm/s

- Ketebalan bahan = 1,6 mm

(Data dari *Polyfelt Asia Sdn Bhd, Malaysia*)

#### 4.2 Perhitungan Konsolidasi

Waktu konsolidasi dapat diketahui dengan menggunakan suatu perhitungan numerik. Waktu konsolidasi dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya diameter ( $d$ ), jarak antara kolom ( $a$ ) dan susunan kolom, baik untuk susunan bujur sangkar maupun susunan segi tiga. Untuk perhitungan konsolidasi tanah dalam penelitian ini hanya menggunakan satu contoh hitungan dan dilakukan terhadap 2 jenis kolom pasir yaitu :

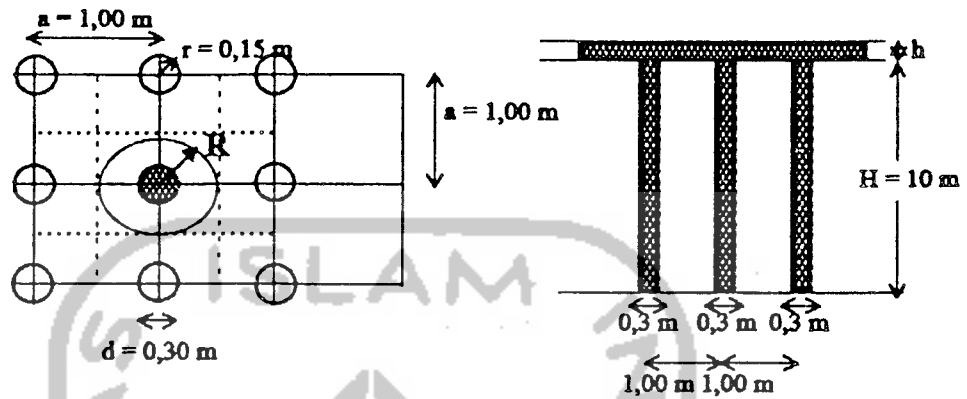
1. Kolom pasir vertikal tanpa geotekstil
2. Kolom pasir vertikal dengan geotekstil

Sedangkan untuk perhitungan yang lainnya (variasi diameter dan jarak antar kolom) digunakan program *Excel (Microsoft Corporation Production Copyright 1985-1993, Microsoft Excel Version 5.0)*. Contoh hasil perhitungan konsolidasi tanah dengan program *Excel* adalah sebagai berikut :

##### Data-data yang dimasukkan (Input).

- tebal lapisan tanah lempung ( $H$ ) = 10,00 m
- $\sigma_p$  (asumsi beban untuk pelat pondasi satu kolom) = 120 kN/m<sup>2</sup>

#### 4.2.1 Perhitungan Konsolidasi Susunan Bujur Sangkar



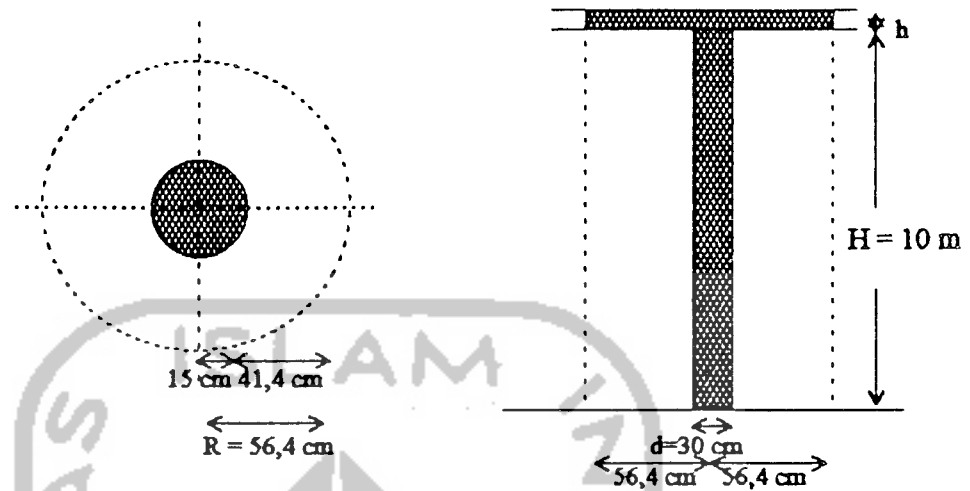
Gambar 4.1 Susunan bujur sangkar drainasi vertikal

##### 1) Kolom pasir vertikal tanpa geotekstil susunan bujur sangkar

Pada perhitungan ini dengan harga permeabilitas yang berbeda, perhitungan pada  $d = 30$  cm dan  $a = 1,00$  m akan mempunyai jari-jari pengaruh sebesar  $R = 0,564 a = 56,4$  cm yang dapat ditabelkan sebagai berikut.

Tabel 4.1 Permeabilitas dan ketebalan susunan bujur sangkar tanpa geotekstil

Jenis	Tebal (cm)	Permeabilitas (m/df)
Pasir (0.5d)	15,00	$1 \cdot 10^{-7}$
Tanah Lempung	41,40	$2,0015 \cdot 10^{-11}$
Jari-jari pengaruh (R)	$\Sigma = 56,40$	



Gambar 4.2 Kolom pasir vertikal tanpa geotekstil susunan bujur sangkar

Data-data yang diproses (Process)

Perhitungan koefisien perubahan volume (mv)

Digunakan rumus : (3.8)

$$\begin{aligned}
 mv &= \frac{e_0 - e_1}{\sigma_p \cdot (1 + e_0)} \\
 &= \frac{1,606 - 1,539}{120 \cdot (1 + 1,606)} \\
 &= 2,142 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{kN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan permeabilitas (k)

Digunakan rumus : (3.18), (3.19), (3.20)

a. permeabilitas ekuivalen arah z ( $k_z$ )

$$k_z = \frac{Z}{\sum(z_j / k_j)}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{56,40}{\frac{41,40}{2,0015 \cdot 10^{-9}} + \frac{15,00}{1 \cdot 10^{-5}}} \\
 &= 2,726 \cdot 10^{-9} \text{ cm/dt} \\
 &= 2,726 \cdot 10^{-11} \text{ m/dt}
 \end{aligned}$$

b. permeabilitas ekuivalen arah x ( $k_x$ )

$$\begin{aligned}
 k_x &= \frac{\Sigma(z_j \cdot k_j)}{Z} \\
 &= \frac{(41,40 \cdot 2,0015 \cdot 10^{-9}) + (15,00 \cdot 1 \cdot 10^{-5})}{56,40} \\
 &= 2,661 \cdot 10^{-6} \text{ cm/dt} \\
 &= 2,661 \cdot 10^{-8} \text{ m/dt}
 \end{aligned}$$

c. permeabilitas efektif ( $k$ )

$$\begin{aligned}
 k &= \sqrt{k_x \cdot k_x} \\
 &= \sqrt{(2,726 \cdot 10^{-9}) \cdot (2,661 \cdot 10^{-6})} \\
 &= 8,518 \cdot 10^{-8} \text{ cm/dt} \\
 &= 8,518 \cdot 10^{-10} \text{ m/dt}
 \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien konsolidasi ( $C_v$ )

Digunakan rumus : (3.9)

$$\begin{aligned}
 C_v &= \frac{k}{m_v \cdot \gamma_w} \longrightarrow \gamma_w = 1 \text{ t/m}^3 = 10 \text{ kN/m}^3 \\
 &= \frac{8,518 \cdot 10^{-10}}{2,142 \cdot 10^{-4} \cdot 10} = 3,977 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{dt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_h &= 1,67 \cdot C_v \text{ *)} \\
 &= 1,67 \cdot 3,977 \cdot 10^{-7} \\
 &= 6,641 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{dt}
 \end{aligned}$$

Perhitungan waktu konsolidasi (t)

Digunakan rumus : (3.11), (3.13), (3.14), (3.15), (3.16), (3.17)

$$\begin{aligned}
 R &= 0,564 \text{ a} \\
 &= 0,564 \cdot 1,00 \\
 &= 0,564 \text{ m} \\
 n &= R/r \\
 &= 0,564 / 0,15 = 3,760 \\
 y &= \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln n - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \\
 &= \frac{3,76^2}{3,76^2 - 1} \ln 3,76 - \frac{3 \cdot 3,76^2 - 1}{4 \cdot 3,76^2} \\
 &= 0,6929
 \end{aligned}$$

Faktor konsolidasi arah vertikal ( $T_v$ ) :

$$T_v = \frac{C_v}{H^2} \cdot t \rightarrow t = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v} \quad (4.1)$$

Faktor konsolidasi arah horisontal/radial ( $T_r$ ) :

$$T_r = \frac{C_h}{(2R)^2} \cdot t \rightarrow t = \frac{T_r \cdot (2R)^2}{C_h} \quad (4.2)$$

\*)  $C_h = (1 - 2) C_v$  diambil  $C_h = 1,67 \cdot C_v$  seperti pada contoh perhitungan konsolidasi (Soedarmo, Purnomo, 1997 dan Deruslan, 1994)

Derajat konsolidasi gabungan adalah :

$$(1 - U) = (1 - U_v) \cdot (1 - U_r) \quad (4.3)$$

diperkirakan  $U_v < 60\%$  sehingga,

$$U_v = \sqrt{((4 \cdot T_v) / \pi)} \quad (4.4)$$

$$U_r = 1 - e^{-8 \cdot T_r / y} \quad (4.5)$$

dari persamaan (4.1) dan (4.2) didapat,

$$\frac{T_v \cdot H^2}{C_v} = \frac{T_r \cdot (2R)^2}{C_h}$$

$$T_r = \frac{T_v \cdot H^2 \cdot C_h}{C_v \cdot (2R)^2} \quad (4.6)$$

Derajat konsolidasi gabungan terjadi pada  $U = 90\%$  selanjutnya dari persamaan (4.3), (4.4), (4.5) dihitung,

$$(1 - U) = (1 - U_v) \cdot (1 - U_r)$$

$$(1 - 0,90) = (1 - \sqrt{((4 \cdot T_v) / \pi)}) \cdot (1 - (1 - e^{-8 \cdot T_r / y})) \quad (4.7)$$

Dari persamaan (4.6) dimasukkan ke persamaan (4.7)

$$(1 - U) = (1 - \sqrt{((4 \cdot T_v) / \pi)}) \cdot (1 - (1 - e^{((-8 \cdot T_v \cdot d^2 \cdot C_h) / (C_v \cdot (2R)^2 \cdot y))}))$$

$$(1 - 0,90) = (1 - \sqrt{((4 \cdot T_v) / \pi)}) \cdot (1 - (1 - e^{((-8 \cdot T_v \cdot 10^2 \cdot 6,641E-7) / (3,977E-7 \cdot (2 \cdot 0,564)^2 \cdot 0,6929))}))$$

$$(1 - 0,90) = (1 - \sqrt{((4 \cdot T_v) / \pi)}) \cdot (1 - (1 - e^{(-1515,337 \cdot T_v)}))$$

$$0,10 = (1 - \sqrt{((4 \cdot T_v) / \pi)}) \cdot (1 - (1 - e^{(-1515,337 \cdot T_v)}))$$

masukkan perhitungan *trial and error* ke dalam persamaan di atas :

$$\text{jika } T_v = 0,00140 \longrightarrow 0,1148$$

$$\text{jika } T_v = 0,00149 \longrightarrow 0,10002$$

$$\text{jika } T_v = 0,00150 \longrightarrow 0,0985$$

dimasukkan ke persamaan (4.4)

$$\begin{aligned} U_v &= \sqrt{((4 \cdot T_v) / \pi)} \\ &= \sqrt{((4 \cdot 0,00149) / \pi)} \\ &= 4,355 \% < 60 \% \text{ ok.} \end{aligned}$$

$$T_v = 0,00149 \longrightarrow T_r = \frac{T_v \cdot H^2 \cdot C_h}{C_v \cdot (2R)^2} = \frac{0,00149 \cdot 10^2 \cdot 6,641 \cdot 10^{-7}}{3,977 \cdot 10^{-7} \cdot (2 \cdot 0,564)^2} = 0,1956$$

**Data-data yang dihasilkan (Output)**

waktu konsolidasi arah vertikal ( $t_v$ ) pada  $t_{90}$  :

Digunakan rumus : (3.11)

$$t_v = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v} = \frac{0,00149 \cdot 10^2}{3,977 \cdot 10^{-7} \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 4,337 \text{ hari}$$

waktu konsolidasi arah radial ( $t_r$ ) pada  $t_{90}$  :

Digunakan rumus : (3.13)

$$t_r = \frac{T_r \cdot (2R)^2}{C_h} = \frac{0,1956 \cdot (2 \cdot 0,564)^2}{6,641 \cdot 10^{-7} \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 4,337 \text{ hari}$$

Hasil perhitungan dengan variasi diameter tiang ( $d = 0,30 - 1,00$  m, interval  $0,10$  m) dan jarak antar tiang ( $a = 1,00 - 2,75$  m, interval  $0,25$  m) dapat dilihat pada tabel 4.2.



Tabel 4.2 Perhitungan waktu konsolidasi susunan bujur sangkar tanpa geotekstil

d (m)	a (m)	R (m)	$m_v$ ( $m^2/kN$ )	$k_z$ (m/dt)	$k_x$ (m/dt)	$k$ (m/dt)	$C_v$ ( $m^2/dt$ )	$Ch$ ( $m^2/dt$ )	n	y	T <sub>v</sub>	t <sub>v</sub> (hari)	Tr	t <sub>r</sub> (hari)
0.3	1	0.564	0.0002142	2.726E-11	2.661E-08	8.518E-10	3.977E-07	6.641E-07	3.76	0.6929	0.00149	4.3368	0.1956	4.3368
0.4	1.25	0.705	0.0002142	2.794E-11	2.838E-08	8.905E-10	4.157E-07	6.943E-07	3.525	0.6403	0.00214	5.9633	0.1799	5.9633
0.5	1.5	0.846	0.0002142	2.841E-11	2.956E-08	9.165E-10	4.278E-07	7.145E-07	3.384	0.6075	0.00291	7.8842	0.17	7.8842
0.6	1.75	0.987	0.0002142	2.875E-11	3.041E-08	9.351E-10	4.365E-07	7.29E-07	3.29	0.5852	0.00381	10.091	0.1631	10.091
0.7	2	1.128	0.0002142	2.902E-11	3.104E-08	9.491E-10	4.431E-07	7.399E-07	3.223	0.569	0.00481	12.573	0.1579	12.573
0.8	2.25	1.269	0.0002142	2.923E-11	3.153E-08	9.6E-10	4.482E-07	7.485E-07	3.173	0.5567	0.00594	15.327	0.1539	15.327
0.9	2.5	1.41	0.0002142	2.939E-11	3.193E-08	9.688E-10	4.523E-07	7.553E-07	3.133	0.5471	0.00717	18.351	0.1506	18.351
1	2.75	1.551	0.0002142	2.953E-11	3.225E-08	9.76E-10	4.556E-07	7.609E-07	3.102	0.5393	0.00852	21.635	0.1478	21.635

Data-data yang diproses (Process)Perhitungan penurunan maksimum (S)

Digunakan rumus : (3.21)

$$\begin{aligned} S &= H \cdot m_v \cdot \sigma_p \\ &= 10 \cdot 2,142 \cdot 10^{-4} \cdot 120 \\ &= 0,257 \text{ m} \\ &= 25,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

Perhitungan debit air ( $Q_a$ )

Digunakan rumus : (3.22), (3.23), (3.24)

a. Debit air yang melewati lapisan tanah lempung, geotekstil dan pasir secara tegak

lurus adalah :

$$Q_a = A \cdot v \longrightarrow v = k \cdot i = k \cdot (h/Z)$$

dimana :

$$\begin{aligned} A &= \pi \cdot R^2 \\ &= \pi \cdot (0,564)^2 \\ &= 0,9993 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$k = 8,518 \cdot 10^{-10} \text{ m/dt}$$

$$i = (h/Z) = 0,564/0,564 = 1,0$$

sehingga harga  $Q_a$

$$\begin{aligned} Q_a &= A \cdot k \cdot i \\ &= 0,9993 \cdot 8,518 \cdot 10^{-10} \cdot 1,0 \\ &= 8,512 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Debit air sedalam 10 m adalah :

$$Q_a = 10 \cdot 8,512 \cdot 10^{-10} = 8,512 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{dt}$$

**Data-data yang dihasilkan (Output)**

b. Debit air yang melewati lapisan pasir pada permukaan tanah (*sand blanket*) arah sejajar lapisan dan setebal  $h$ . Tebal *sand blanket* ( $h$ ) dapat dicari dengan perhitungan sebagai berikut :

$$Q_a = A \cdot k_x \cdot i \quad \longrightarrow \quad i = (h/l) = (0,564/0,564) = 1,0$$

$$8,512 \cdot 10^{-9} = (h \cdot 0,9993) \frac{(h \cdot 1,00 \cdot 10^{-7})}{h} \cdot 1,0$$

didapatkan tebal *sand blanket* ( $h$ ) = 0,0852 m = 8,52 cm

Hasil perhitungan dengan variasi diameter tiang ( $d = 0,30 - 1,00$  m, interval 0,10 m) dan jarak antar tiang ( $a = 1,00 - 2,75$  m, interval 0,25 m) dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perhitungan tebal sand blanket susunan bujur sangkar tanpa geotekstil

d (m)	a (m)	R (m)	kz (m/dt)	kx (m/dt)	k (m/dt)	A (m <sup>2</sup> )	mv (m <sup>2</sup> /kN)	S (m)	Q (m <sup>3</sup> /dt)	h (m)
0.3	1	0.564	2.726E-11	2.661E-08	8.518E-10	0.99933	0.0002142	0.257	8.51207E-09	0.08518
0.4	1.25	0.705	2.794E-11	2.838E-08	8.905E-10	1.56145	0.0002142	0.257	1.39049E-08	0.08905
0.5	1.5	0.846	2.841E-11	2.956E-08	9.165E-10	2.24849	0.0002142	0.257	2.06063E-08	0.09165
0.6	1.75	0.987	2.875E-11	3.041E-08	9.351E-10	3.06044	0.0002142	0.257	2.8617E-08	0.09351
0.7	2	1.128	2.902E-11	3.104E-08	9.491E-10	3.99731	0.0002142	0.257	3.79373E-08	0.09491
0.8	2.25	1.269	2.923E-11	3.153E-08	9.6E-10	5.05909	0.0002142	0.257	4.85674E-08	0.096
0.9	2.5	1.41	2.939E-11	3.193E-08	9.688E-10	6.2458	0.0002142	0.257	6.05074E-08	0.09688
1	2.75	1.551	2.953E-11	3.225E-08	9.76E-10	7.55741	0.0002142	0.257	7.37573E-08	0.09759

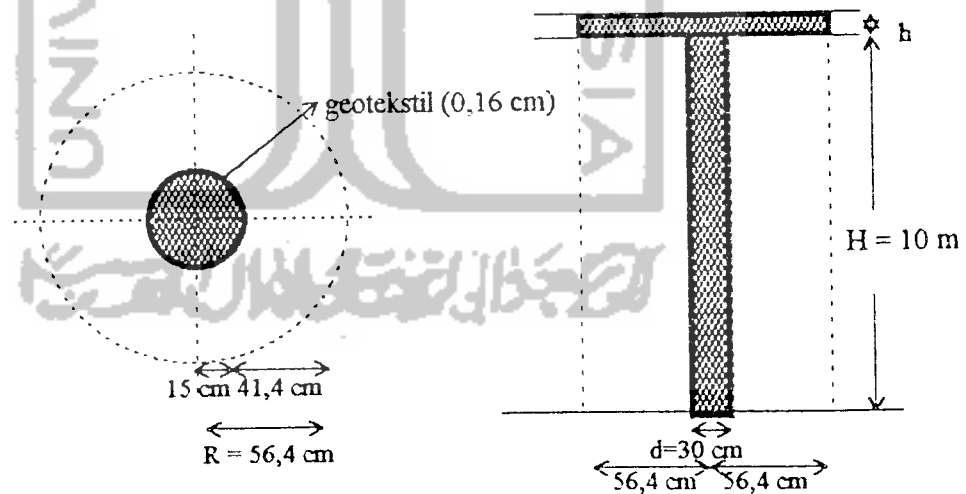
Data-data yang dimasukkan (Input)

2) Kolom pasir vertikal dengan geotekstil susunan bujur sangkar

Harga permeabilitas dan ketebalan dengan  $d = 30$  cm dan  $a = 1,00$  m akan mempunyai jari-jari pengaruh sebesar  $R = 0,564 a = 56,4$  cm yang dapat ditabelkan sebagai berikut.

Tabel 4.4 Permeabilitas dan ketebalan susunan bujur sangkar dengan geotekstil

Jenis	Tebal (cm)	Permeabilitas (m/dt)
Pasir (0.5d)	15,00	$1 \cdot 10^{-7}$
Geotekstil : - (arah z) - (arah x)	0,16	$6 \cdot 10^{-4}$ $2 \cdot 10^{-3}$
Tanah Lempung	41,24	$2,0015 \cdot 10^{-11}$
Jari-jari pengaruh (R)	$\Sigma = 56,40$	



Gambar 4.3 Kolom pasir vertikal dengan geotekstil susunan bujur sangkar

Data-data yang diproses (Process)

Perhitungan koefisien perubahan volume (mv)

Digunakan rumus : (3.8)

$$\begin{aligned}
 mv &= \frac{e_0 - e_1}{\sigma_p \cdot (1 + e_0)} \\
 &= \frac{1,606 - 1,539}{120 \cdot (1 + 1,606)} \\
 &= 2,142 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{kN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan permeabilitas (k)

Digunakan rumus : (3.18), (3.19), (3.20)

a. permeabilitas ekuivalen arah z ( $k_z$ )

$$\begin{aligned}
 k_z &= \frac{Z}{\sum(z_j / k_j)} \\
 &= \frac{56,40}{\frac{41,24}{2,0015 \cdot 10^{-9}} + \frac{0,16}{6 \cdot 10^{-2}} + \frac{15,00}{1 \cdot 10^{-3}}} \\
 &= 2,737 \cdot 10^{-9} \text{ cm/dt} \\
 &= 2,737 \cdot 10^{-11} \text{ m/dt}
 \end{aligned}$$

b. permeabilitas ekuivalen arah x ( $k_x$ )

$$\begin{aligned}
 k_x &= \frac{\sum(z_j \cdot k_j)}{Z} \\
 &= \frac{(41,24 \cdot 2,0015 \cdot 10^{-9}) + (0,16 \cdot 2 \cdot 10^{-2}) + (15,00 \cdot 1 \cdot 10^{-3})}{56,40} \\
 &= 5,700 \cdot 10^{-4} \text{ cm/dt} \\
 &= 5,700 \cdot 10^{-6} \text{ m/dt}
 \end{aligned}$$

c. permeabilitas efektif (k)

$$\begin{aligned} k &= \sqrt{k_z \cdot k_x} \\ &= \sqrt{(2,737 \cdot 10^{-9} \cdot 5,700 \cdot 10^{-4})} \\ &= 1,249 \cdot 10^{-6} \text{ cm/dt} = 1,249 \cdot 10^{-8} \text{ m/dt} \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien konsolidasi (Cv)

Digunakan rumus : (3.9)

$$\begin{aligned} C_v &= \frac{k}{m_v \cdot \gamma_w} \quad \rightarrow \quad \gamma_w = 1 \text{ t/m}^3 = 10 \text{ kN/m}^3 \\ &= \frac{1,249 \cdot 10^{-8}}{2,142 \cdot 10^{-4} \cdot 10} \\ &= 5,831 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{dt} \\ C_h &= 1,67 \cdot C_v \text{ *)} \\ &= 1,67 \cdot 5,831 \cdot 10^{-6} \\ &= 9,738 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{dt} \end{aligned}$$

Perhitungan waktu konsolidasi (t)

Derajat konsolidasi gabungan terjadi pada  $U = 90 \%$

Dari persamaan (4.6) dimasukkan ke persamaan (4.7)

$$(1 - U) = (1 - \sqrt{((4 \cdot T_v) / \pi)}) \cdot (1 - (1 - e^{((-8 \cdot T_v \cdot d^2 \cdot C_h) / (C_v \cdot (2 \cdot R)^2 \cdot y)})))$$

$$(1 - 0,90) = (1 - \sqrt{((4 \cdot T_v) / \pi)}) \cdot (1 - (1 - e^{((-8 \cdot T_v \cdot 10^2 \cdot 9,7381 \cdot 10^{-6}) / (5,831 \cdot 10^{-6} \cdot (2 \cdot 0,564)^2 \cdot 0,6929)})))$$

$$(1 - 0,90) = (1 - \sqrt{((4 \cdot T_v) / \pi)}) \cdot (1 - (1 - e^{(-1515,337 \cdot T_v)}))$$

$$0,10 = (1 - \sqrt{((4 \cdot T_v) / \pi)}) \cdot (1 - (1 - e^{(-1515,337 \cdot T_v)}))$$

\*)  $C_h = (1 - 2) C_v$  diambil  $C_h = 1,67 C_v$  seperti pada contoh perhitungan konsolidasi (Soedarmo, Purnomo, 1997 dan Daruslan, 1994)

masukkan perhitungan *trial and error* ke dalam persamaan di atas :

$$\text{jika } T_v = 0,00140 \longrightarrow 0,1148$$

$$\text{jika } T_v = 0,00149 \longrightarrow 0,10002$$

$$\text{jika } T_v = 0,00150 \longrightarrow 0,0985$$

dimasukkan ke persamaan (4.4)

$$\begin{aligned} U_v &= \sqrt{\frac{4 \cdot T_v}{\pi}} \\ &= \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00149}{\pi}} \\ &= 4,355 \% < 60 \% \text{ ok.} \end{aligned}$$

$$T_v = 0,00149 \longrightarrow T_r = \frac{T_v \cdot H^2 \cdot C_h}{C_v \cdot (2R)^2} = \frac{0,00149 \cdot 10^2 \cdot 9,738 \cdot 10^{-6}}{5,831 \cdot 10^{-6} \cdot (2 \cdot 0,564)^2} = 0,1956$$

Data-data yang dihasilkan (Output)

waktu konsolidasi arah vertikal ( $t_v$ ) pada  $t_{90}$  :

Digunakan rumus : (3.11)

$$t_v = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v} = \frac{0,00149 \cdot 10^2}{5,831 \cdot 10^{-6} \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 0,296 \text{ hari}$$

waktu konsolidasi arah radial ( $t_r$ ) pada  $t_{90}$  :

Digunakan rumus : (3.13)

$$t_r = \frac{T_r \cdot (2R)^2}{C_h} = \frac{0,1956 \cdot (2 \cdot 0,564)^2}{9,738 \cdot 10^{-6} \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 0,296 \text{ hari}$$

Hasil perhitungan dengan variasi diameter tiang ( $d = 0,30 - 1,00$  m interval  $0,10$  m) dan jarak antar tiang ( $a = 1,00 - 2,75$  m interval  $0,25$  m) dapat dilihat pada tabel 4.5.



Tabel 4.5 Perhitungan waktu konsolidasi susunan bujur sangkar dengan geotekstil

d (m)	a (m)	R (m)	$m_v$ ( $m^2/kN$ )	$k_z$ (m/dt)	$k_x$ (m/dt)	$k$ (m/dt)	$C_v$ ( $m^2/dt$ )	$Ch$ ( $m^2/dt$ )	n	y	TV	$t_v$ (hari)	Tr	$t_r$ (hari)
0.3	1	0.564	0.0002142	2.737E-11	5.7E-06	1.249E-08	5.831E-06	9.738E-06	3.76	0.6929	0.00149	0.2957	0.1956	0.2957
0.4	1.25	0.705	0.0002142	2.803E-11	4.567E-06	1.131E-08	5.282E-06	8.821E-06	3.525	0.6403	0.00214	0.4693	0.1799	0.4693
0.5	1.5	0.846	0.0002142	2.848E-11	3.812E-06	1.042E-08	4.865E-06	8.124E-06	3.384	0.6075	0.00291	0.6934	0.17	0.6934
0.6	1.75	0.987	0.0002142	2.882E-11	3.273E-06	9.712E-09	4.534E-06	7.572E-06	3.29	0.5852	0.00381	0.9716	0.1631	0.9716
0.7	2	1.128	0.0002142	2.908E-11	2.868E-06	9.132E-09	4.263E-06	7.12E-06	3.223	0.569	0.00481	1.3067	0.1579	1.3067
0.8	2.25	1.269	0.0002142	2.928E-11	2.553E-06	8.646E-09	4.036E-06	6.741E-06	3.173	0.5567	0.00594	1.7018	0.1539	1.7018
0.9	2.5	1.41	0.0002142	2.944E-11	2.301E-06	8.232E-09	3.843E-06	6.418E-06	3.133	0.5471	0.00717	2.1597	0.1506	2.1597
1	2.75	1.551	0.0002142	2.958E-11	2.095E-06	7.873E-09	3.675E-06	6.138E-06	3.102	0.5393	0.00852	2.682	0.1478	2.682

Data-data yang diproses (Process)Perhitungan penurunan maksimum (S)

Digunakan rumus : (3.21)

$$\begin{aligned}
 S &= H \cdot m_v \cdot \sigma_p \\
 &= 10 \cdot 2,142 \cdot 10^{-4} \cdot 120 \\
 &= 0,257 \text{ m} \\
 &= 25,7 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan debit air ( $Q_a$ )

Digunakan rumus : (3.22), (3.23), (3.24)

a. Debit air yang melewati lapisan tanah lempung, geotekstil dan pasir secara tegak

lurus adalah :

$$Q_a = A \cdot v \longrightarrow v = k \cdot i = k \cdot (h/Z)$$

dimana :

$$A = \pi \cdot R^2$$

$$\begin{aligned}
 &= \pi \cdot (0,564)^2 \\
 &= 0,9993 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$k = 1,249 \cdot 10^{-8} \text{ m/dt}$$

$$i = (h/Z) = 0,564/0,564 = 1,0$$

sehingga harga  $Q_a$

$$\begin{aligned}
 Q_a &= A \cdot k \cdot i \\
 &= 0,9993 \cdot 1,249 \cdot 10^{-8} \cdot 1,0 \\
 &= 1,248 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

Debit air sedalam 10 m adalah :

$$Q_a = 10 \cdot 1,248 \cdot 10^{-8} = 1,248 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{dt}$$

**Data-data yang dihasilkan (Output)**

b. Debit air yang melewati lapisan pasir dan geotekstil pada permukaan tanah (*sand blanket*) arah sejajar lapisan dan setebal  $h$ . Tebal *sand blanket* ( $h$ ) dapat dicari dengan perhitungan sebagai berikut :

$$Q_a = A \cdot k_x \cdot i \quad \longrightarrow \quad i = (h/l) = (0,564/0,564) = 1,0$$

$$1,248 \cdot 10^{-7} = (h \cdot 0,9993) \frac{(h \cdot 1,00 \cdot 10^{-7}) + (0,0016 \cdot 2 \cdot 10^{-3})}{(h + 0,0016)} \cdot 1,0$$

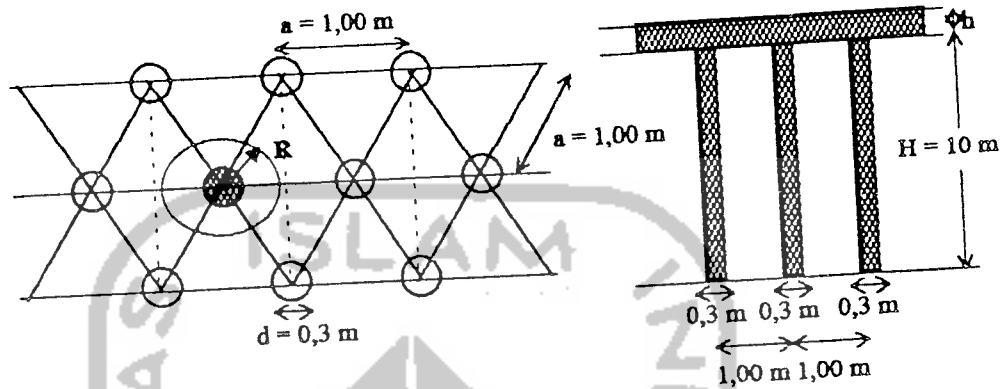
didapatkan tebal *sand blanket* ( $h$ ) = 0,000065 m = 0,0065 cm

Hasil perhitungan dengan variasi diameter tiang ( $d = 0,30 - 1,00$  m, interval 0,10 m) dan jarak antar tiang ( $a = 1,00 - 2,75$  m, interval 0,25 m) dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perhitungan tebal sand blanket susunan bujur sangkar dengan geotekstil

d (m)	a (m)	R (m)	kz (m/dt)	kex (m/dt)	k (m/dt)	A (m <sup>2</sup> )	mv (m <sup>2</sup> /kN)	s (m)	Q (m <sup>3</sup> /dt)	h (m)
0.3	1	0.564	2.737E-11	5.7E-06	1.249E-08	0.99933	0.0002142	0.257	1.24825E-07	0.000065
0.4	1.25	0.705	2.803E-11	4.567E-06	1.131E-08	1.56145	0.0002142	0.257	1.76669E-07	5.865E-05
0.5	1.5	0.846	2.848E-11	3.812E-06	1.042E-08	2.24849	0.0002142	0.257	2.34302E-07	0.000054
0.6	1.75	0.987	2.882E-11	3.273E-06	9.712E-09	3.06044	0.0002142	0.257	2.97216E-07	0.0000501
0.7	2	1.128	2.908E-11	2.868E-06	9.132E-09	3.99731	0.0002142	0.257	3.65024E-07	0.000047
0.8	2.25	1.269	2.928E-11	2.553E-06	8.646E-09	5.05909	0.0002142	0.257	4.37416E-07	4.443E-05
0.9	2.5	1.41	2.944E-11	2.301E-06	8.232E-09	6.2458	0.0002142	0.257	5.14139E-07	4.225E-05
1	2.75	1.551	2.958E-11	2.095E-06	7.873E-09	7.55741	0.0002142	0.257	5.94981E-07	4.035E-05

#### 4.2.2 Perhitungan Konsolidasi Susunan Segi Tiga



Gambar 4.4 Susunan segi tiga sama sisi drainasi vertikal

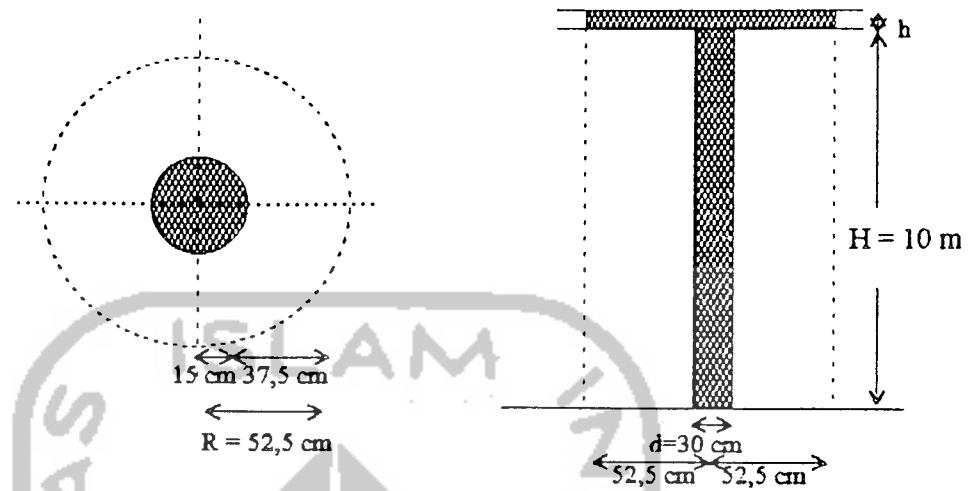
#### Data-data yang dimasukkan (Input)

##### 1) Kolom pasir vertikal tanpa geotekstil susunan segi tiga

Pada perhitungan ini dengan harga permeabilitas yang berbeda, perhitungan pada  $d = 30$  cm dan  $a = 1,00$  m akan mempunyai jari-jari pengaruh sebesar  $R = 0,525 a = 52,5$  cm yang dapat ditabelkan sebagai berikut.

Tabel 4.7 Permeabilitas dan ketebalan susunan segi tiga tanpa geotekstil

Jenis	Tebal (cm)	Permeabilitas (m/dt)
Pasir (0.5d)	15,00	$1 \cdot 10^{-7}$
Tanah Lempung	37,50	$2,0015 \cdot 10^{-11}$
Jari-jari pengaruh (R)	$\Sigma = 52,50$	



Gambar 4.5 Kolom pasir vertikal tanpa geotekstil susunan segi tiga

Data-data yang diproses (Process)

Perhitungan koefisien perubahan volume (mv)

Digunakan rumus : (3.8)

$$\begin{aligned}
 mv &= \frac{e_0 - e_1}{\sigma_p \cdot (1 + e_0)} \\
 &= \frac{1,606 - 1,539}{120 \cdot (1 + 1,606)} \\
 &= 2,142 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{kN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan permeabilitas (k)

Digunakan rumus : (3.18), (3.19), (3.20)

a. permeabilitas ekuivalen arah z ( $k_z$ )

$$k_z = \frac{Z}{\sum(z_j / k_j)}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{52,50}{\frac{37,50}{2,0015 \cdot 10^{-9}} + \frac{15,00}{1 \cdot 10^{-5}}} \\
 &= 2,802 \cdot 10^{-9} \text{ cm/dt} \\
 &= 2,802 \cdot 10^{-11} \text{ m/dt}
 \end{aligned}$$

b. permeabilitas ekuivalen arah x ( $k_x$ )

$$\begin{aligned}
 k_x &= \frac{\sum(z_j \cdot k_j)}{Z} \\
 &= \frac{(37,50 \cdot 2,0015 \cdot 10^{-9}) + (15,00 \cdot 1 \cdot 10^{-5})}{52,50} \\
 &= 2,859 \cdot 10^{-6} \text{ cm/dt} \\
 &= 2,859 \cdot 10^{-8} \text{ m/dt}
 \end{aligned}$$

c. permeabilitas efektif ( $k$ )

$$\begin{aligned}
 k &= \sqrt{k_z \cdot k_x} \\
 &= \sqrt{(2,802 \cdot 10^{-9} \cdot 2,859 \cdot 10^{-6})} \\
 &= 8,949 \cdot 10^{-8} \text{ cm/dt} \\
 &= 8,949 \cdot 10^{-10} \text{ m/dt}
 \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien konsolidasi ( $C_v$ )

Digunakan rumus : (3.9)

$$\begin{aligned}
 C_v &= \frac{k}{mv \cdot \gamma_w} \longrightarrow \gamma_w = 1 \text{ t/m}^3 = 10 \text{ kN/m}^3 \\
 &= \frac{8,949 \cdot 10^{-10}}{2,142 \cdot 10^{-4} \cdot 10} = 4,178 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{dt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_h &= 1,67 \cdot C_v^*) \\
 &= 1,67 \cdot 4,178 \cdot 10^{-7} \\
 &= 6,977 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{dt}
 \end{aligned}$$

Perhitungan waktu konsolidasi (t)

Digunakan rumus : (3.15)

$$\begin{aligned}
 R &= 0,525 \text{ a} \\
 &= 0,525 \cdot 1,00 \\
 &= 0,525 \text{ m} \\
 n &= R/r \\
 &= 0,525 / 0,15 = 3,50 \\
 y &= \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln n - \frac{3n^2 - 1}{4n^2} \\
 &= \frac{3,50^2}{3,50^2 - 1} \ln 3,50 - \frac{3 \cdot 3,50^2 - 1}{4 \cdot 3,50^2} \\
 &= 0,6345
 \end{aligned}$$

Derajat konsolidasi gabungan terjadi pada  $U = 90\%$

Dari persamaan (4.6) dimasukkan ke persamaan (4.7)

$$(1 - U) = (1 - \sqrt{(4 \cdot T_v) / \pi}) \cdot (1 - (1 - e^{(-8 T_v d^2 C_h) / (C_v (2 R)^2 y)}))$$

$$(1 - 0,90) = (1 - \sqrt{(4 \cdot T_v) / \pi}) \cdot (1 - (1 - e^{(-8 T_v 10^2 6,977E-7) / (4,178E-7 (2 \cdot 0,564)^2 0,6929)}))$$

$$(1 - 0,90) = (1 - \sqrt{(4 \cdot T_v) / \pi}) \cdot (1 - (1 - e^{(-1909,753 T_v)}))$$

$$0,10 = (1 - \sqrt{(4 \cdot T_v) / \pi}) \cdot (1 - (1 - e^{(-1909,753 T_v)}))$$

\*)  $C_h = (1 - 2) C_v$  diambil  $C_h = 1,67 C_v$  seperti pada contoh perhitungan konsolidasi (Soedarmo, Purnomo, 1997 dan Daruslan, 1994)



masukkan perhitungan *trial and error* ke dalam persamaan di atas :

$$\text{jika } T_v = 0,001 \longrightarrow 0,1434$$

$$\text{jika } T_v = 0,001185 \longrightarrow 0,10008$$

$$\text{jika } T_v = 0,0012 \longrightarrow 0,0976$$

dimasukkan ke persamaan (4.4)

$$\begin{aligned} U_v &= \sqrt{\left(\frac{4 \cdot T_v}{\pi}\right)} \\ &= \sqrt{\left(\frac{4 \cdot 0,001185}{\pi}\right)} \\ &= 3,884 \% < 60 \% \text{ ok.} \end{aligned}$$

$$T_v = 0,001185 \longrightarrow T_r = \frac{T_v \cdot H^2 \cdot C_h}{C_v \cdot (2R)^2} = \frac{0,001185 \cdot 10^2 \cdot 6,977 \cdot 10^{-7}}{4,178 \cdot 10^{-7} \cdot (2 \cdot 0,525)^2} = 0,1794$$

#### Data-data yang dihasilkan (Output)

waktu konsolidasi arah vertikal ( $t_v$ ) pada  $t_{90}$  :

Digunakan rumus : (3.11)

$$t_v = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v} = \frac{0,001185 \cdot 10^2}{4,178 \cdot 10^{-7} \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 3,281 \text{ hari}$$

waktu konsolidasi arah radial ( $t_r$ ) pada  $t_{90}$  :

Digunakan rumus : (3.13)

$$t_r = \frac{T_r \cdot (2R)^2}{C_h} = \frac{0,1794 \cdot (2 \cdot 0,525)^2}{6,977 \cdot 10^{-6} \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 3,281 \text{ hari}$$

Hasil perhitungan dengan variasi diameter tiang ( $d = 0,30 - 1,00$  m, interval  $0,10$  m) dan jarak antar tiang ( $a = 1,00 - 2,75$  m, interval  $0,25$  m) dapat dilihat pada **tabel 4.8**.

Tabel 4.8 Perhitungan waktu konsolidasi susunan segi tiga tanpa geotekstil

d (m)	a (m)	R (m)	$m_v$ ( $m^2/kN$ )	kz (m/dt)	kx (m/dt)	k (m/dt)	Cv ( $m^2/dt$ )	Cl ( $m^2/dt$ )	n	y	Tv	tv (hari)	Tr	tr (hari)
0.3	1	0.525	0.0002142	2.802E-11	2.859E-08	8.95E-10	4.178E-07	6.977E-07	3.5	0.6345	0.00118	3.2813	0.1794	3.2813
0.4	1.25	0.656	0.0002142	2.879E-11	3.049E-08	9.369E-10	4.374E-07	7.304E-07	3.281	0.5831	0.0017	4.4854	0.1643	4.4854
0.5	1.5	0.788	0.0002142	2.932E-11	3.176E-08	9.65E-10	4.505E-07	7.524E-07	3.15	0.5512	0.0023	5.9063	0.1548	5.9063
0.6	1.75	0.919	0.0002142	2.972E-11	3.267E-08	9.853E-10	4.6E-07	7.682E-07	3.063	0.5295	0.003	7.5362	0.1481	7.5362
0.7	2	1.05	0.0002142	3.002E-11	3.335E-08	1.001E-09	4.671E-07	7.801E-07	3	0.5137	0.00378	9.3713	0.1432	9.3713
0.8	2.25	1.181	0.0002142	3.026E-11	3.388E-08	1.012E-09	4.727E-07	7.894E-07	2.953	0.5018	0.00466	11.406	0.1394	11.406
0.9	2.5	1.313	0.0002142	3.045E-11	3.43E-08	1.022E-09	4.771E-07	7.968E-07	2.917	0.4924	0.00562	13.64	0.1363	13.64
1	2.75	1.444	0.0002142	3.062E-11	3.465E-08	1.03E-09	4.808E-07	8.03E-07	2.888	0.4849	0.00668	16.068	0.1337	16.068

Data-data yang diproses (Process)

Perhitungan penurunan maksimum (S)

Digunakan rumus : (3.21)

$$\begin{aligned} S &= H \cdot mv \cdot \sigma p \\ &= 10 \cdot 2,142 \cdot 10^{-4} \cdot 120 \\ &= 0,257 \text{ m} \\ &= 25,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

Perhitungan debit air ( $Q_a$ )

Digunakan rumus : (3.22), (3.23), (3.24)

a. Debit air yang melewati lapisan tanah lempung, geotekstil dan pasir secara tegak

lurus adalah :

$$Q_a = A \cdot v \longrightarrow v = k \cdot i = k \cdot (h/Z)$$

dimana :

$$\begin{aligned} A &= \pi \cdot R^2 \\ &= \pi \cdot (0,525)^2 \\ &= 0,8659 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$k = 8,949 \cdot 10^{-10} \text{ m/dt}$$

$$i = (h/Z) = 0,525/0,525 = 1,0$$

sehingga harga  $Q_a$

$$\begin{aligned} Q_a &= A \cdot k \cdot i \\ &= 0,8659 \cdot 8,949 \cdot 10^{-10} \cdot 1,0 \\ &= 7,749 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Debit air sedalam 10 m adalah :

$$Q_a = 10 \cdot 7,749 \cdot 10^{-10} = 7,749 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{dt}$$

**Data-data yang dihasilkan (Output)**

b. Debit air yang melewati lapisan pasir pada permukaan tanah (*sand blanket*) arah sejajar lapisan dan setebal  $h$ . Tebal *sand blanket* ( $h$ ) dapat dicari dengan perhitungan sebagai berikut :

$$Q_a = A \cdot k_x \cdot i \quad \longrightarrow \quad i = (h/l) = (0,525/0,525) = 1,0$$

$$8,512 \cdot 10^{-9} = (h \cdot 0,8659) \frac{(h \cdot 1,00 \cdot 10^{-7})}{h} \cdot 1,0$$

didapatkan tebal *sand blanket* ( $h$ ) = 0,0895 m = 8,95 cm

Hasil perhitungan dengan variasi diameter tiang ( $d = 0,30 - 1,00$  m, interval 0,10 m) dan jarak antar tiang ( $a = 1,00 - 2,75$  m, interval 0,25 m) dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perhitungan tebal sand blanket susunan segi tiga tanpa geotekstil

d (m)	a (m)	R (m)	kz (m/dt)	kx (m/dt)	k (m/dt)	A (m <sup>2</sup> )	m <sub>v</sub> (m <sup>3</sup> /kN)	S (m)	Q (m <sup>3</sup> /dt)	h (m)
0.3	1	0.525	2.802E-11	2.859E-08	8.95E-10	0.8659	0.0002142	0.257	7.74938E-09	0.0895
0.4	1.25	0.656	2.879E-11	3.049E-08	9.369E-10	1.35297	0.0002142	0.257	1.26753E-08	0.09371
0.5	1.5	0.788	2.932E-11	3.176E-08	9.65E-10	1.94828	0.0002142	0.257	1.88011E-08	0.0965
0.6	1.75	0.919	2.972E-11	3.267E-08	9.853E-10	2.65182	0.0002142	0.257	2.61272E-08	0.0985
0.7	2	1.05	3.002E-11	3.335E-08	1.001E-09	3.4636	0.0002142	0.257	3.46542E-08	0.10005
0.8	2.25	1.181	3.026E-11	3.388E-08	1.012E-09	4.38362	0.0002142	0.257	4.43822E-08	0.10125
0.9	2.5	1.313	3.045E-11	3.43E-08	1.022E-09	5.41188	0.0002142	0.257	5.53112E-08	0.10221
1	2.75	1.444	3.062E-11	3.465E-08	1.03E-09	6.54837	0.0002142	0.257	6.74414E-08	0.10299

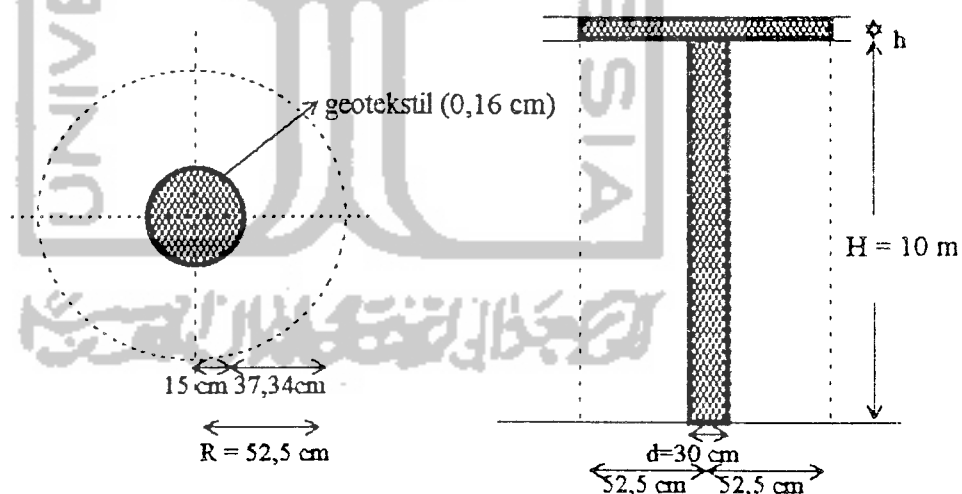
Data-data yang dimasukkan (Input)

2) kolom pasir vertikal susunan segi tiga dengan geotekstil

Harga permeabilitas dan ketebalan dengan  $d = 30$  cm dan  $a = 1,00$  m akan mempunyai jari-jari pengaruh sebesar  $R = 0,525 a = 52,5$  cm yang dapat ditabelkan sebagai berikut.

Tabel 4.10 Permeabilitas dan ketebalan susunan segi tiga dengan geotekstil

Jenis	Tebal (cm)	Permeabilitas (m/dt)
Pasir (0.5d)	15,00	$1 \cdot 10^{-7}$
Geotekstil : - (arah z) - (arah x)	0,16	$6 \cdot 10^{-4}$ $2 \cdot 10^{-3}$
Tanah lempung	37,34	$2,0015 \cdot 10^{-11}$
Jari-jari pengaruh (R)	$\Sigma = 52,50$	



Gambar 4.6 Kolom pasir vertikal dengan geotekstil susunan segi tiga

Data-data yang diproses (Process)

Perhitungan koefisien perubahan volume (mv)

Digunakan rumus : (3.8)

$$\begin{aligned}
 mv &= \frac{e_0 - e_1}{\sigma_p \cdot (1 + e_0)} \\
 &= \frac{1,606 - 1,539}{120 \cdot (1 + 1,606)} \\
 &= 2,142 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{kN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan permeabilitas (k)

Digunakan rumus : (3.18), (3.19), (3.20)

a. permeabilitas ekuivalen arah z ( $k_z$ )

$$\begin{aligned}
 k_z &= \frac{Z}{\sum(z_j / k_j)} \\
 &= \frac{52,50}{\frac{37,34}{2,0015 \cdot 10^{-9}} + \frac{0,16}{6 \cdot 10^{-2}} + \frac{15,00}{1 \cdot 10^{-5}}} \\
 &= 2,814 \cdot 10^{-9} \text{ cm/dt} \\
 &= 2,814 \cdot 10^{-11} \text{ m/dt}
 \end{aligned}$$

b. permeabilitas ekuivalen arah x ( $k_x$ )

$$\begin{aligned}
 k_x &= \frac{\sum(z_j \cdot k_j)}{Z} \\
 &= \frac{(37,34 \cdot 2,0015 \cdot 10^{-9}) + (0,16 \cdot 2 \cdot 10^{-2}) + (15,00 \cdot 1 \cdot 10^{-5})}{52,50} \\
 &= 6,124 \cdot 10^{-4} \text{ cm/dt} \\
 &= 6,124 \cdot 10^{-6} \text{ m/dt}
 \end{aligned}$$

c. permeabilitas efektif (k)

$$\begin{aligned} k &= \sqrt{k_z \cdot k_x} \\ &= \sqrt{(2,814 \cdot 10^{-9} \cdot 6,124 \cdot 10^{-4})} \\ &= 1,313 \cdot 10^{-6} \text{ cm/dt} = 1,313 \cdot 10^{-8} \text{ m/dt} \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien konsolidasi (Cv)

Digunakan rumus : (3.9)

$$\begin{aligned} C_v &= \frac{k}{m_v \cdot \gamma_w} \rightarrow \gamma_w = 1 \text{ t/m}^3 = 10 \text{ kN/m}^3 \\ &= \frac{1,313 \cdot 10^{-8}}{2,142 \cdot 10^{-4} \cdot 10} \\ &= 6,128 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{dt} \\ C_h &= 1,67 \cdot C_v \text{ *)} \\ &= 1,67 \cdot 6,128 \cdot 10^{-6} \\ &= 1,023 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{dt} \end{aligned}$$

Perhitungan waktu konsolidasi (t)

Derajat konsolidasi gabungan terjadi pada  $U = 90 \%$

Dari persamaan (4.6) dimasukkan ke persamaan (4.7)

$$(1 - U) = (1 - \sqrt{((4 \cdot T_v) / \pi)}) \cdot (1 - (1 - e^{((-8 \cdot T_v \cdot d^2 \cdot C_h) / (C_v \cdot (2 \cdot R)^2 \cdot y))}))$$

$$(1 - 0,90) = (1 - \sqrt{((4 \cdot T_v) / \pi)}) \cdot (1 - (1 - e^{((-8 \cdot T_v \cdot 10^2 \cdot 1,023 \cdot 10^{-5}) / (6,128 \cdot 10^{-6} \cdot (2 \cdot 0,525)^2 \cdot 0,6345))}))$$

$$(1 - 0,90) = (1 - \sqrt{((4 \cdot T_v) / \pi)}) \cdot (1 - (1 - e^{(-1909,753 \cdot T_v)}))$$

$$0,10 = (1 - \sqrt{((4 \cdot T_v) / \pi)}) \cdot (1 - (1 - e^{(-1909,753 \cdot T_v)}))$$

\*)  $C_h = (1 - 2) C_v$  diambil  $C_h = 1,67 C_v$  seperti pada contoh perhitungan konsolidasi (Soedarmo, Purnomo, 1997 dan Daruslan, 1994)



masukkan perhitungan *trial and error* ke dalam persamaan di atas :

$$\text{jika } T_v = 0,00140 \longrightarrow 0,1148$$

$$\text{jika } T_v = 0,001185 \longrightarrow 0,10008$$

$$\text{jika } T_v = 0,00150 \longrightarrow 0,0985$$

dimasukkan ke persamaan (4.4)

$$\begin{aligned} U_v &= \sqrt{((4 \cdot T_v) / \pi)} \\ &= \sqrt{((4 \cdot 0,001185) / \pi)} \\ &= 3,884 \% < 60 \% \text{ ok.} \end{aligned}$$

$$T_v = 0,001185 \longrightarrow T_r = \frac{T_v \cdot H^2 \cdot C_h}{C_v \cdot (2R)^2} = \frac{0,001185 \cdot 10^2 \cdot 1,023 \cdot 10^{-5}}{6,128 \cdot 10^{-6} \cdot (2 \cdot 0,525)^2} = 0,1794$$

#### Data-data yang dihasilkan (Output)

waktu konsolidasi arah vertikal ( $t_v$ ) pada  $t_{90}$  :

Digunakan rumus : (3.11)

$$t_v = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v} = \frac{0,001185 \cdot 10^2}{6,128 \cdot 10^{-6} \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 0,224 \text{ hari}$$

waktu konsolidasi arah radial ( $t_r$ ) pada  $t_{90}$  :

Digunakan rumus : (3.13)

$$t_r = \frac{T_r \cdot (2R)^2}{C_h} = \frac{0,1794 \cdot (2 \cdot 0,525)^2}{1,023 \cdot 10^{-5} \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 0,224 \text{ hari}$$

Hasil perhitungan dengan variasi diameter tiang ( $d = 0,30 - 1,00$  m, interval  $0,10$  m) dan jarak antara tiang ( $a = 1,00 - 2,75$  m, interval  $0,25$  m) dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Perhitungan waktu konsolidasi susunan segi tiga dengan geotekstil

d (m)	a (m)	R (m)	$m_{iv}$ ( $m^2/kN$ )	kz (m/dt)	kx (m/dt)	ky (m/dt)	Ch ( $m^2/dt$ )	n	y	Tv	tv (hari)	Tr	ur (hari)
0.3	1	0.525	0.0002142	2.814E-11	6.124E-06	1.313E-08	6.128E-06	3.5	0.6345	0.00118	0.2237	0.1794	0.2237
0.4	1.25	0.656	0.0002142	2.889E-11	4.907E-06	1.191E-08	5.558E-06	3.281	0.5831	0.0017	0.353	0.1643	0.353
0.5	1.5	0.788	0.0002142	2.941E-11	4.095E-06	1.097E-08	5.123E-06	3.15	0.5512	0.0023	0.5194	0.1548	0.5194
0.6	1.75	0.919	0.0002142	2.979E-11	3.516E-06	1.023E-08	4.778E-06	3.063	0.5295	0.003	0.7255	0.1481	0.7255
0.7	2	1.05	0.0002142	3.009E-11	3.081E-06	9.628E-09	4.495E-06	3	0.5137	0.00378	0.9738	0.1432	0.9738
0.8	2.25	1.181	0.0002142	3.032E-11	2.743E-06	9.12E-09	4.258E-06	2.953	0.5018	0.00466	1.2663	0.1394	1.2663
0.9	2.5	1.313	0.0002142	3.051E-11	2.472E-06	8.685E-09	4.053E-06	2.917	0.4924	0.00562	1.605	0.1363	1.605
1	2.75	1.444	0.0002142	3.067E-11	2.251E-06	8.309E-09	3.879E-06	2.888	0.4849	0.00668	1.9917	0.1337	1.9917

Data-data yang diproses (Process)Perhitungan penurunan maksimum (S)

Digunakan rumus : (3.21)

$$\begin{aligned}
 S &= H \cdot mv \cdot \sigma \\
 &= 10 \cdot 2,142 \cdot 10^{-4} \cdot 120 \\
 &= 0,257 \text{ m} \\
 &= 25,7 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan debit air ( $Q_a$ )

Digunakan rumus : (3.22), (3.23), (3.24)

a. Debit air yang melewati lapisan tanah lempung, geotekstil dan pasir secara tegak lurus adalah :

$$Q_a = A \cdot v \longrightarrow v = k \cdot i = k \cdot (h/Z)$$

dimana :

$$\begin{aligned}
 A &= \pi \cdot R^2 \\
 &= \pi \cdot (0,525)^2 \\
 &= 0,8659 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$k = 1,313 \cdot 10^{-8} \text{ m/dt}$$

$$i = (h/Z) = 0,525/0,525 = 1,0$$

sehingga harga  $Q_a$

$$\begin{aligned}
 Q_a &= A \cdot k \cdot i \\
 &= 0,8659 \cdot 1,313 \cdot 10^{-8} \cdot 1,0 \\
 &= 1,137 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

Debit air sedalam 10 m adalah :

$$Q_a = 10 \cdot 1,137 \cdot 10^{-8} = 1,137 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{dt}$$

**Data-data yang dihasilkan (Output)**

b. Debit air yang melewati lapisan pasir dan geotekstil pada permukaan tanah (*sand blanket*) arah sejajar lapisan dan setebal  $h$ . Tebal *sand blanket* ( $h$ ) dapat dicari dengan perhitungan sebagai berikut :

$$Q_a = A \cdot k_x \cdot i \longrightarrow i = (h/l) = (0,525/0,525) = 1,0$$

$$1,137 \cdot 10^{-7} = (h \cdot 0,8659) \frac{(h \cdot 1,00 \cdot 10^{-7}) + (0,0016 \cdot 2 \cdot 10^{-3})}{(h + 0,0016)} \cdot 1,0$$

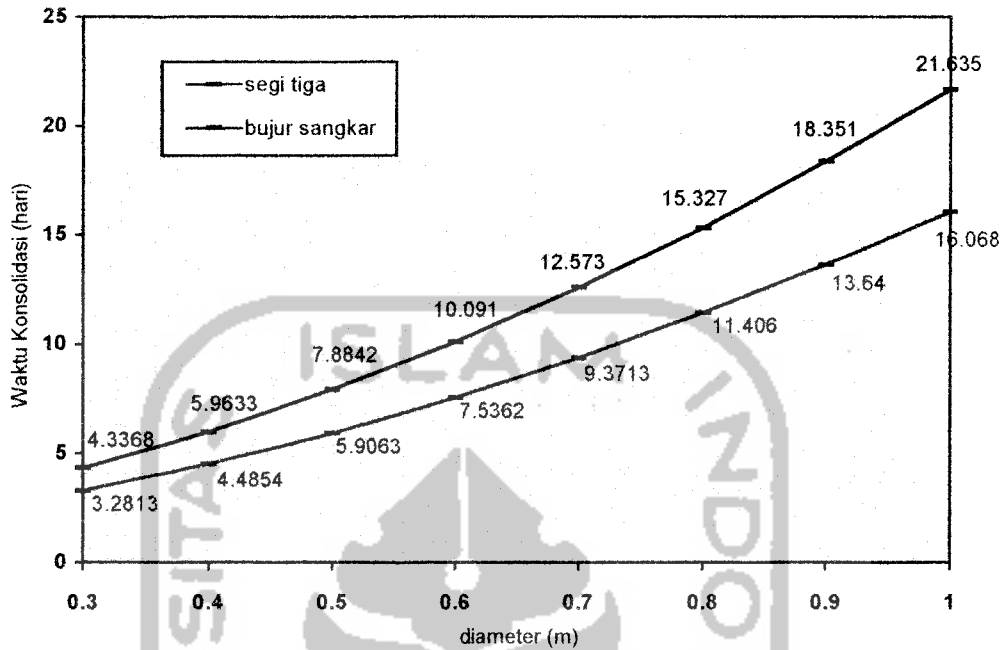
didapatkan tebal *sand blanket* ( $h$ ) = 0,0000684 m = 0,00684 cm

Hasil perhitungan dengan variasi diameter tiang ( $d = 0,30 - 1,00$  m, interval 0,10 m) dan jarak antar tiang ( $a = 1,00 - 2,75$  m, interval 0,25 m) dapat dilihat pada tabel 4.12

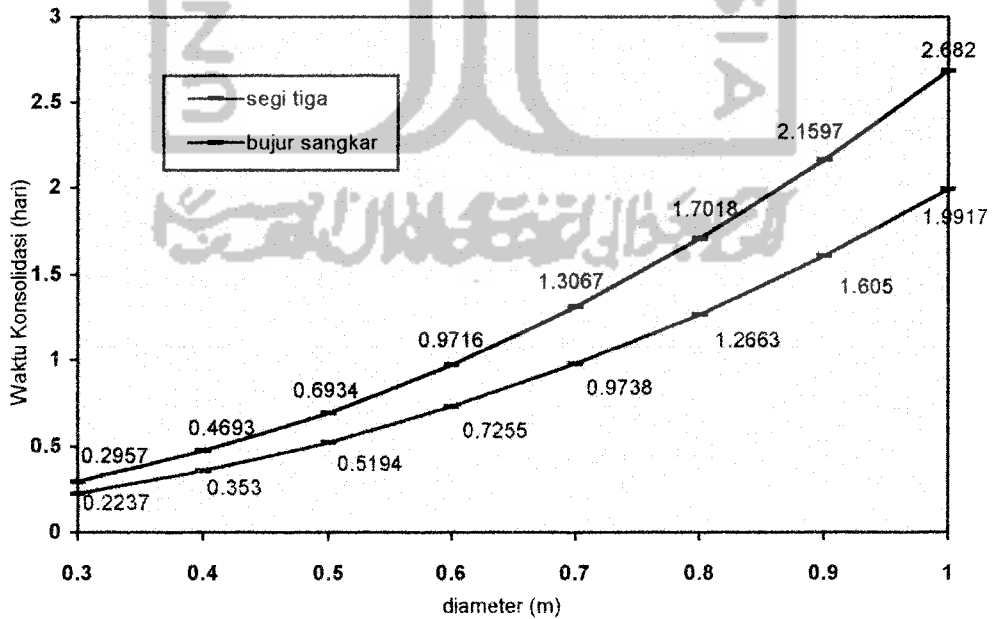
Tabel 4.12 Perhitungan tebal sand blanket susunan segi tiga dengan geotekstil

d (m)	a (m)	R (m)	kz (m/dt)	kx (m/dt)	k (m/dt)	A (m <sup>2</sup> )	mv (m <sup>2</sup> /kN)	S (m)	Q (m <sup>3</sup> /dt)	h (m)
0.3	1	0.525	2.814E-11	6.124E-06	1.313E-08	0.8659	0.0002142	0.257	1.13666E-07	0.0000684
0.4	1.25	0.656	2.889E-11	4.907E-06	1.191E-08	1.35297	0.0002142	0.257	1.61078E-07	0.0000618
0.5	1.5	0.788	2.941E-11	4.095E-06	1.097E-08	1.94828	0.0002142	0.257	2.13812E-07	0.0000568
0.6	1.75	0.919	2.979E-11	3.516E-06	1.023E-08	2.65182	0.0002142	0.257	2.71399E-07	0.0000529
0.7	2	1.05	3.009E-11	3.081E-06	9.628E-09	3.4636	0.0002142	0.257	3.3348E-07	0.0000496
0.8	2.25	1.181	3.032E-11	2.743E-06	9.12E-09	4.38362	0.0002142	0.257	3.99772E-07	0.0000469
0.9	2.5	1.313	3.051E-11	2.472E-06	8.685E-09	5.41188	0.0002142	0.257	4.70041E-07	0.0000447
1	2.75	1.444	3.067E-11	2.251E-06	8.309E-09	6.54837	0.0002142	0.257	5.44091E-07	0.0000427

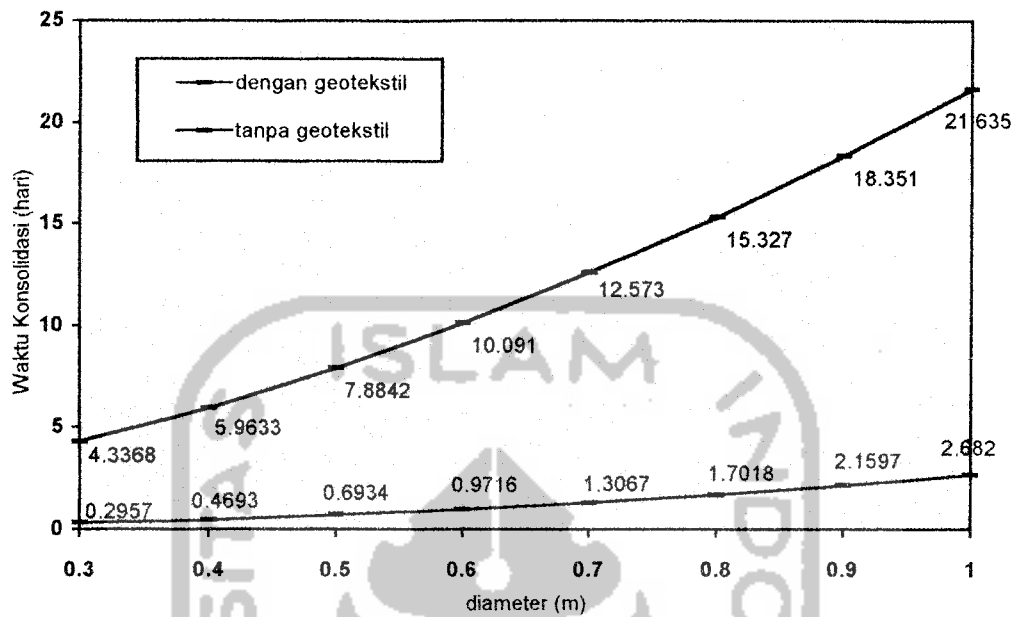
4.2.3 Superposisi Grafik Konsolidasi Susunan Bujur Sangkar dan Segi Tiga



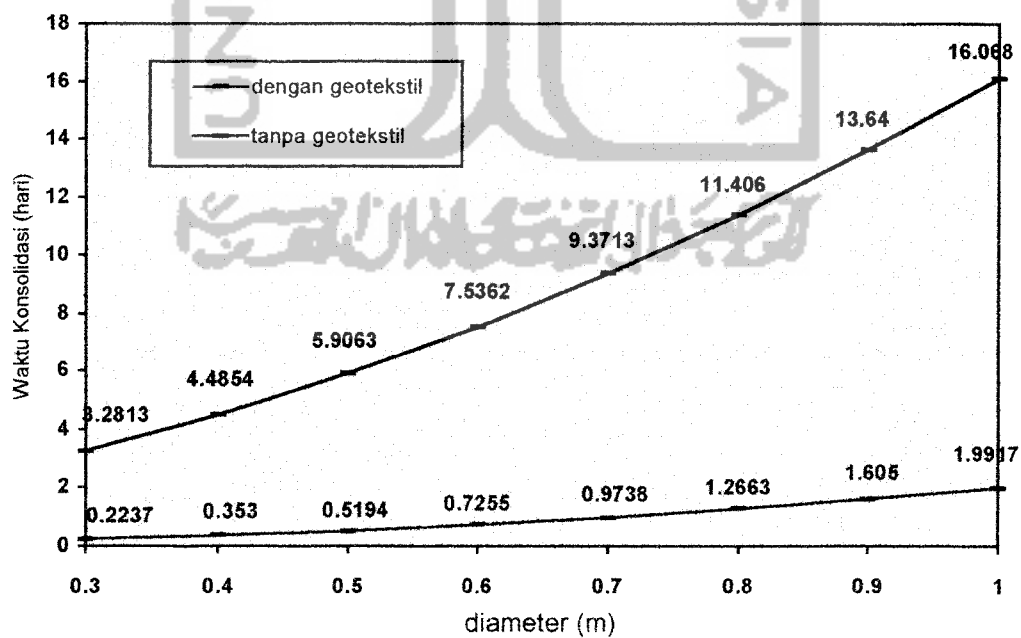
Gambar 4.1 Perbandingan waktu konsolidasi ( $t_v$  dan  $t_r$ ) susunan bujur sangkar dengan susunan segi tiga tanpa geotekstil.



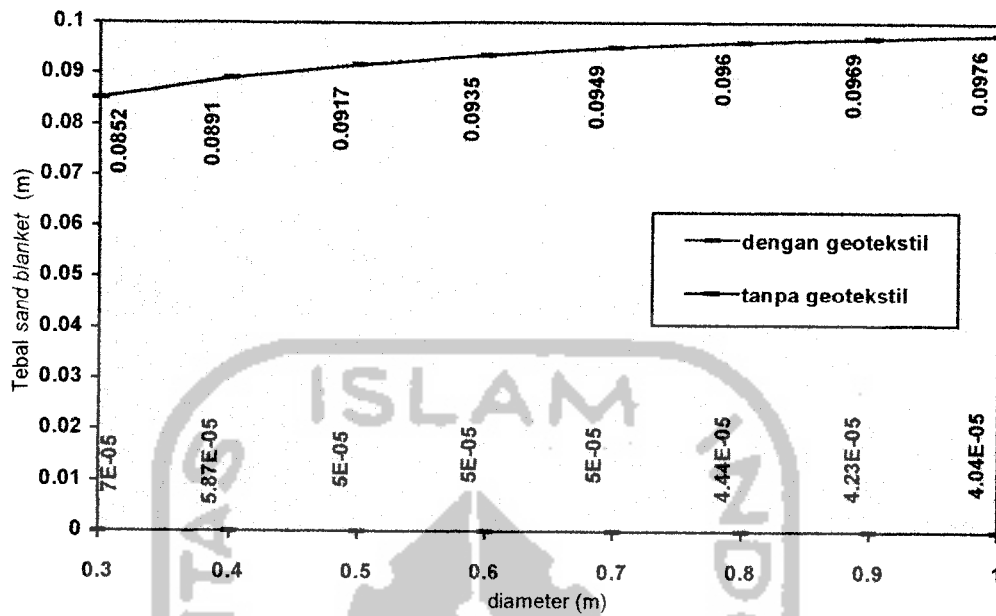
Grafik 4.2 Perbandingan waktu konsolidasi ( $t_v$  dan  $t_r$ ) susunan bujur sangkar dengan susunan segi tiga dengan geotekstil.



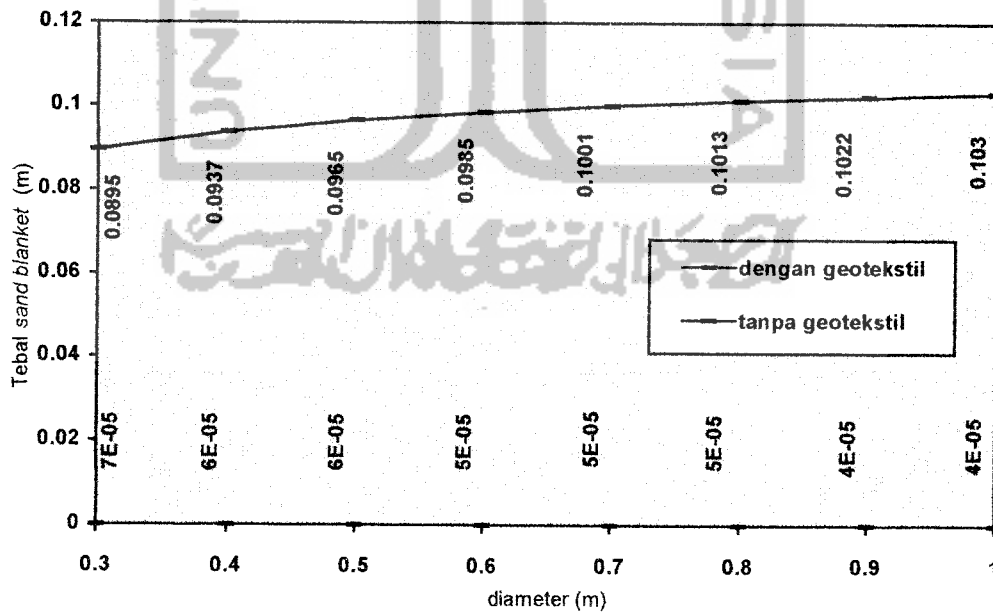
**Grafik 4.3** Perbandingan waktu konsolidasi ( $t_v$  dan  $t_r$ ) susunan bujur sangkar dengan geotekstil dan tanpa geotekstil.



**Grafik 4.4** Perbandingan waktu konsolidasi ( $t_v$  dan  $t_r$ ) susunan segi tiga dengan geotekstil dan tanpa geotekstil.



Grafik 4.7 Perbandingan tebal *sand blanket* pada susunan bujur sangkar dengan geotekstil dan tanpa geotekstil.



Grafik 4.8 Perbandingan tebal *sand blanket* pada susunan segi tiga dengan geotekstil dan tanpa geotekstil



### 4.3 Perhitungan Kapasitas Dukung Pondasi

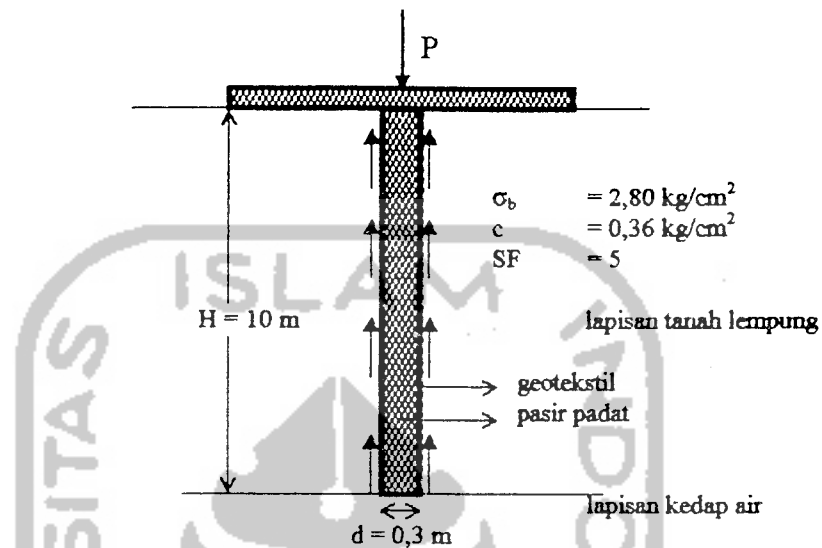
Perhitungan kapasitas dukung pondasi ditinjau sebagai pondasi tiang pancang. Pondasi ini dalam analisisnya dianggap sebagai pondasi *friction pile*.

Perhitungan kapasitas dukung ditinjau sebagai tiang tunggal dan tiang kelompok. Dalam perhitungan ini hanya menggunakan satu contoh hitungan, sedangkan untuk perhitungan yang lain digunakan program *Excel (Microsoft Corporation Production Copyright 1985-1993, Microsoft Excel Version 5.0)*. Contoh perhitungan kapasitas dukung pondasi dengan program *Excel*, adalah :

#### Data-data yang dimasukkan (Input)

- tebal lapisan tanah lempung (H) = 10,00 m
- diameter tiang (d) = 30 cm
- jarak antara tiang (a) = 1,00 m
- $\sigma_{\text{bahan}}$  (asumsi untuk tiang pasir padat) = 2,80 kg/cm<sup>2</sup>
- $\sigma_p$  (asumsi beban untuk pelat pondasi satu kolom) = 120 kN/m<sup>2</sup>

### 4.3.1 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Tunggal



Gambar 4.7 Tiang tunggal

Kekuatan bahan tiang

Digunakan rumus : (3.25)

Luas penampang tiang ( $A_t$ ) =  $1/4 \cdot \pi \cdot (d)^2$

$$= 1/4 \cdot \pi \cdot (30)^2$$

$$= 706,858 \text{ cm}^2$$

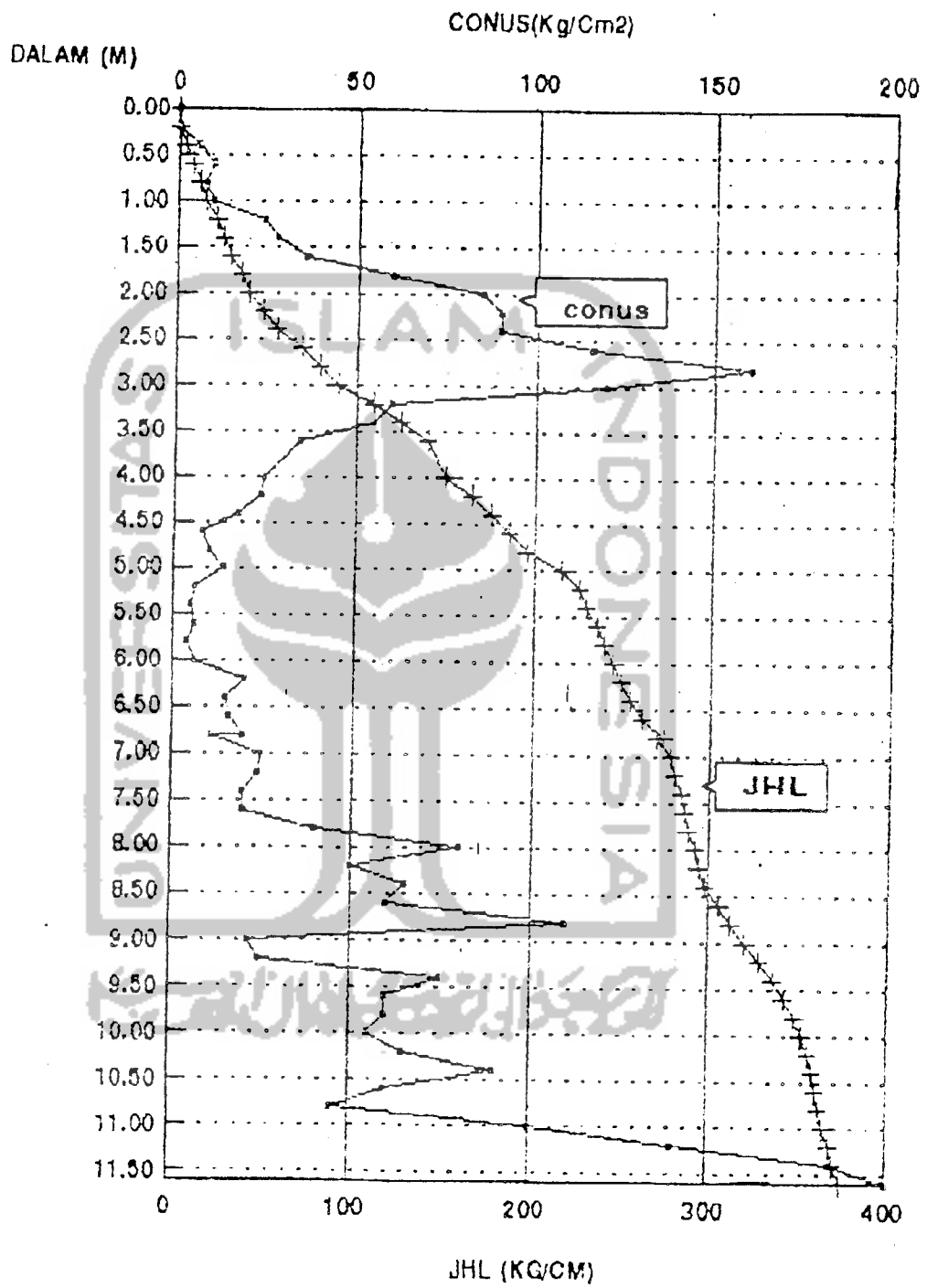
Kekuatan ijin tiang ( $P_t$ ) =  $(\sigma_b) \cdot (A_t)$

$$= 2,80 \cdot 706,858$$

$$= 1979,2034 \text{ kg}$$

Kekuatan tanah

Data hasil penyondiran pada tanah Godean yang dilakukan oleh Laboratorium Mekanika Tanah UII, dapat dilihat pada grafik 4.9.



Grafik 4.9 Hasil penyondiran tanah Godean

Data-data yang diproses (Process)

Harga *cleef* rata-rata ( $c$ ) dengan panjang tiang ( $H$ ) = 10,00 m yang dibagi menjadi 5 bagian :

$$\begin{aligned}
 &\bullet 0,00 - 2,00 \rightarrow c = (45 - 0) / 200 = 0,225 \text{ kg/cm}^2 \\
 &\bullet 2,00 - 4,00 \rightarrow c = (150 - 45) / 200 = 0,525 \text{ kg/cm}^2 \\
 &\bullet 4,00 - 6,00 \rightarrow c = (245 - 150) / 200 = 0,475 \text{ kg/cm}^2 \\
 &\bullet 6,00 - 8,00 \rightarrow c = (295 - 245) / 200 = 0,250 \text{ kg/cm}^2 \\
 &\bullet 8,00 - 10,00 \rightarrow c = (360 - 295) / 200 = 0,325 \text{ kg/cm}^2 \\
 &\hline
 &\Sigma c = 1,80 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Harga *cleef* rata-rata ( $c$ )

$$\begin{aligned}
 c &= \Sigma c / 5 \\
 &= 1,80 / 5 \\
 &= 0,360 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling tiang ( $O$ )

$$\begin{aligned}
 O &= \pi \cdot d \\
 &= \pi \cdot 30 \\
 &= 94,248 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Kapasitas tiang tunggal ( $Q$ ), diambil angka keamanan ( $SF$ ) = 5

Digunakan rumus : (3.28)

$$\begin{aligned}
 Q &= (O \cdot L \cdot c) / 5 \\
 &= (94,248 \cdot 1000 \cdot 0,360) / 5 \\
 &= 6786,86 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

**Data-data yang dihasilkan (Output)**

Hasil perhitungan dengan variasi diameter tiang ( $d = 30 - 100$  cm, interval 10 cm) dapat dilihat pada **tabel 4.13**

**Tabel 4.13** Perhitungan kapasitas dukung tiang tunggal

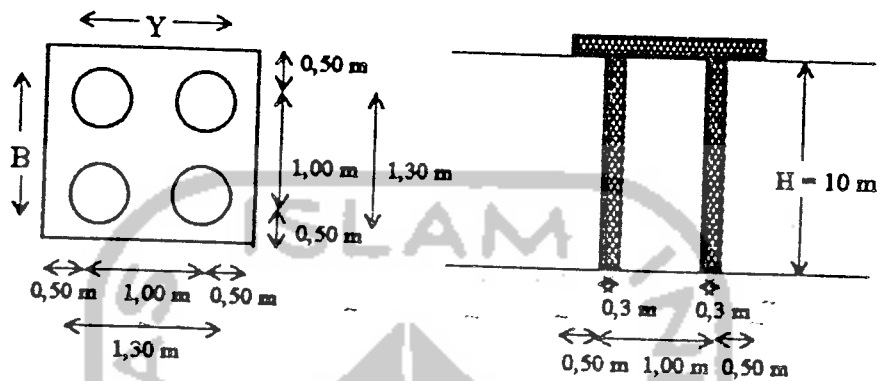
<b>d (cm)</b>	<b>A (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>L (cm)</b>	<b>O (cm)</b>	<b>c (kg/cm)</b>	<b>P<sub>u</sub> (kg)</b>	<b>Q (kg)</b>
30	706.9	1000	94.248	0.36	1979.2034	6785.84
40	1257	1000	125.66	0.36	3518.5838	9047.787
50	1963	1000	157.08	0.36	5497.7871	11309.73
60	2827	1000	188.5	0.36	7916.8135	13571.68
70	3848	1000	219.91	0.36	10775.663	15833.63
80	5027	1000	251.33	0.36	14074.335	18095.57
90	6362	1000	282.74	0.36	17812.83	20357.52
100	7854	1000	314.16	0.36	21991.149	22619.47

**4.3.2 Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Kelompok**

Perhitungan kapasitas dukung tiang kelompok berdasarkan perhitungan daya dukung tanah Direktorat Jendral Bina Marga Departemen P.U.T.L. Analisis perhitungan dilakukan dengan variasi jumlah tiang, diameter dan jarak antara tiang dengan bantuan program *Excel (Microsoft Corporation Production Copyright 1984-1993, Microsoft Excel Version 5.0)*.

Data-data yang diproses (Process)

Tiang Kelompok 2 x 2



Gambar 4.8 Tiang kelompok 2 x 2

Daya dukung keseimbangan :

Digunakan rumus : (3.34)

$$Q_t = C \cdot N_c \cdot A + 2(B+Y) \cdot L \cdot c \cdot K \longrightarrow K = 1,0$$

Luas pile cap (A)

$$\begin{aligned} A &= B \cdot Y \\ &= 130 \cdot 130 \\ &= 16900 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Untuk jenis pondasi lingkaran menurut Skempton, 1951.

Digunakan rumus : (3.36)

$$N_c = (1 + 0,2 (B/Y)) \cdot N_{c\alpha}$$

Dari interpolasi pada tabel 3.4 dengan  $H/B = 10/2 = 5$  didapat  $N_{c\alpha} = 9,30$

$$N_c = (1 + 0,2 (130/130)) \cdot 9,30 = 11,20$$

sehingga daya dukung keseimbangan ( $Q_t$ )

$$\begin{aligned} Q_t &= (0,124 \cdot 11,20 \cdot 16900) + (2 (130 + 130) \cdot 1000 \cdot 0,360 \cdot 1) \\ &= 23387 + 187200 = 210587 \text{ kg} \end{aligned}$$

Data-data yang dihasilkan (Output)

diambil angka keamanan (SF) = 3 dan 5, kapasitas dukung tiang kelompok ( $Q_{pg}$ )

Digunakan rumus : (3.35)

$$\begin{aligned} Q_{pg} &= Q_t / SF \\ &= (23387 / 3) + (187200 / 5) \\ &= 45235,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kapasitas dukung satu tiang dalam tiang kelompok 2 x 2

$$\begin{aligned} Q &= 1/4 \cdot Q_{pg} \\ &= 1/4 \cdot 45235,6 \\ &= 11309 \text{ kg} \end{aligned}$$

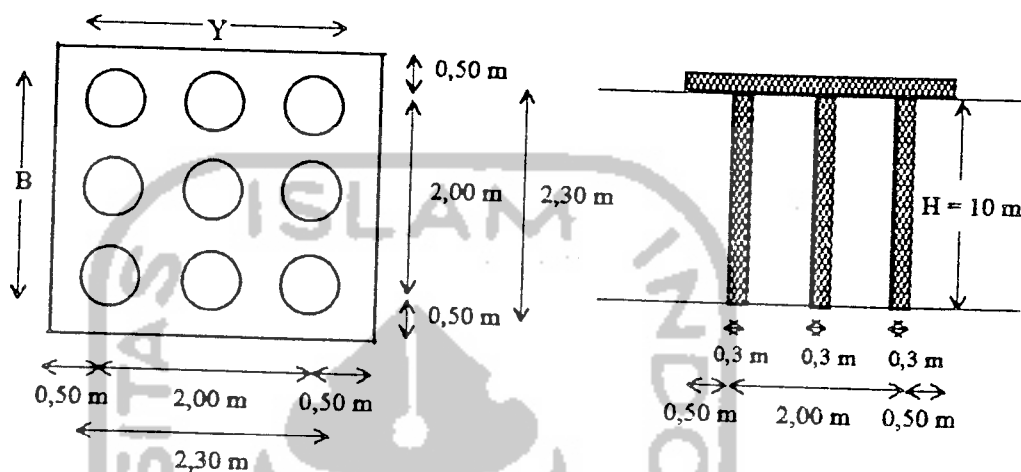
Hasil perhitungan dengan variasi diameter tiang ( $d = 30 - 100$  cm, interval 10 cm) dan jarak antar tiang ( $a = 100 - 275$  cm, interval 25 cm) dapat dilihat pada tabel 4.14 berikut.

Tabel 4.14 Kapasitas dukung tiang kelompok 2 x 2

d (cm)	a (cm)	B (cm)	Y (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	C (kg/cm <sup>2</sup> )	c (kg/cm <sup>2</sup> )	N <sub>cs</sub>	N <sub>c</sub>	Q <sub>t</sub> (kg)	Q <sub>pg</sub> (kg)	Q (kg)
30	100	130	130	16900	0.124	0.360	9.30	11.16	210587	45235.6	11309
40	125	165	165	27225	0.124	0.360	9.30	11.16	275275	60078.3	15020
50	150	200	200	40000	0.124	0.360	9.16	10.99	342520	75773.4	18943
60	175	235	235	55225	0.124	0.360	9.03	10.84	412604	92414.6	23104
70	200	270	270	72900	0.124	0.360	8.85	10.62	484801	109760	27440
80	225	305	305	93025	0.124	0.360	8.71	10.45	559765	128028	32007
90	250	340	340	115600	0.124	0.360	8.60	10.32	637531	147230	36808
100	275	375	375	140625	0.124	0.360	8.53	10.24	718490	167497	41874

Data-data yang diproses (Process)

Tiang Kelompok 3 x 3



Gambar 4.9 Tiang kelompok 3 x 3

Daya dukung keseimbangan :

Digunakan rumus : (3.34)

$$Q_t = C \cdot N_c \cdot A + 2(B+Y) \cdot L \cdot c \cdot K \longrightarrow K = 1,0$$

Luas pile cap (A)

$$\begin{aligned} A &= B \cdot Y \\ &= 230 \cdot 230 \\ &= 52900 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Untuk jenis pondasi lingkaran menurut Skempton, 1951.

Digunakan rumus : (3.36)

$$N_c = (1 + 0,2 (B/Y)) \cdot N_{cs}$$

Dari interpolasi pada tabel 3.4 dengan  $H/B = 10/3 = 3,3333$  didapat  $N_{cs} = 9,16$

$$N_c = (1 + 0,2 (230/230)) \cdot 9,16 = 10,992$$



sehingga daya dukung keseimbangan ( $Q_t$ )

$$\begin{aligned} Q_t &= (0,124 \cdot 10,992 \cdot 52900) + (2 (230 + 230) \cdot 1000 \cdot 0,360 \cdot 1) \\ &= 72103 + 331200 \\ &= 403303 \text{ kg} \end{aligned}$$

**Data-data yang dihasilkan (Output)**

diambil angka keamanan (SF) = 3 dan 5, kapasitas dukung tiang kelompok ( $Q_{pg}$ )

Digunakan rumus : (3.35)

$$\begin{aligned} Q_{pg} &= Q_t / SF \\ &= (72103 / 3) + (331200 / 5) \\ &= 90274,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

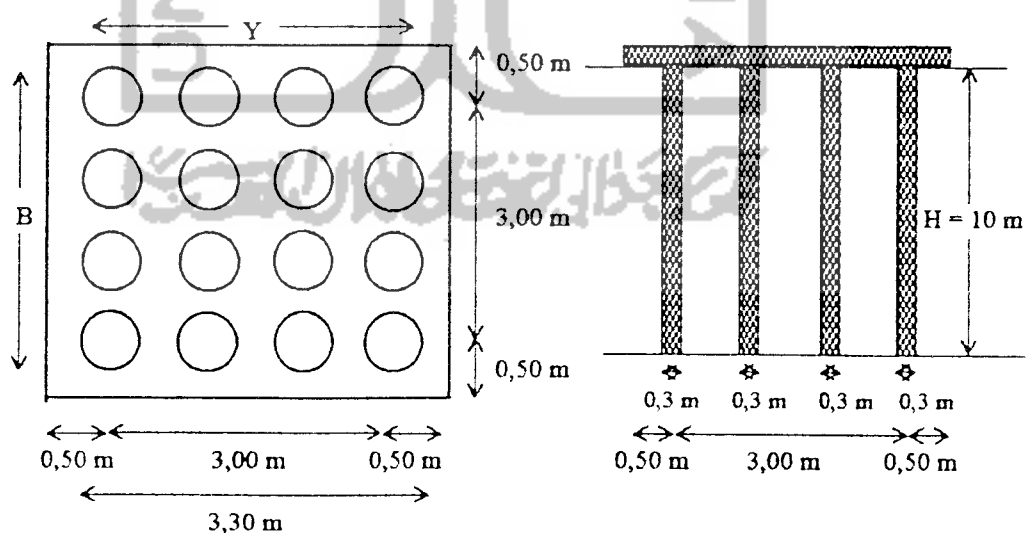
Kapasitas dukung satu tiang dalam tiang kelompok 3 x 3

$$\begin{aligned} Q &= 1/9 \cdot Q_{pg} \\ &= 1/9 \cdot 90274,4 \\ &= 10030 \text{ kg} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan dengan variasi diameter tiang ( $d = 30 - 100$  cm, interval 10 cm) dan jarak antara tiang ( $a = 100 - 275$  cm, interval 25 cm) dapat dilihat pada tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.15 Kapasitas dukung tiang kelompok 3 x 3

d (cm)	a (cm)	B (cm)	Y (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	C (kg/cm <sup>2</sup> )	c (kg/cm <sup>2</sup> )	N <sub>cs</sub>	N <sub>c</sub>	Q <sub>t</sub> (kg)	Q <sub>pg</sub> (kg)	Q (kg)
30	100	230	230	52900	0.124	0.360	9.16	10.99	403303	90274.4	10030
40	125	290	290	84100	0.124	0.360	9.93	11.92	541865	124942	13882
50	150	350	350	122500	0.124	0.360	8.71	10.45	662766	153722	17080
60	175	410	410	168100	0.124	0.360	8.56	10.27	804514	189451	21050
70	200	470	470	220900	0.124	0.360	8.46	10.15	954880	228053	25339
80	225	530	530	280900	0.124	0.360	8.05	9.66	1099673	264798	29422
90	250	590	590	348100	0.124	0.360	7.91	9.492	1259316	306492	34055
100	275	650	650	422500	0.124	0.360	7.75	9.3	1423227	349609	38845

Data-data yang diproses (Process)Tiang Kelompok 4 x 4

Gambar 4.10 Tiang kelompok 4 x 4

Daya dukung keseimbangan :

Digunakan rumus : (3.34)

$$Q_t = C \cdot N_c \cdot A + 2 (B+Y) \cdot L \cdot c \cdot K \longrightarrow K = 1,0$$

Luas *pile cap* (A)

$$\begin{aligned} A &= B \cdot Y \\ &= 330 \cdot 330 \\ &= 108900 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Untuk jenis pondasi lingkaran menurut Skempton, 1951.

Digunakan rumus : (3.36)

$$N_c = (1 + 0,2 (B/Y)) \cdot N_{cs}$$

Dari interpolasi pada tabel 3.4 dengan  $H/B = 10/4 = 2,50$  didapat  $N_{cs} = 8,85$

$$N_c = (1 + 0,2 (330/330)) \cdot 8,85 = 10,62$$

sehingga daya dukung keseimbangan ( $Q_t$ )

$$\begin{aligned} Q_t &= (0,124 \cdot 10,62 \cdot 108900) + (2 (330 + 330) \cdot 1000 \cdot 0,360 \cdot 1) \\ &= 143408 + 475200 = 618608 \text{ kg} \end{aligned}$$

Data-data yang dihasilkan (Output)

diambil angka keamanan (SF) = 3 dan 5, kapasitas dukung tiang kelompok ( $Q_{pg}$ )

Digunakan rumus : (3.35)

$$\begin{aligned} Q_{pg} &= Q_t / SF \\ &= (143408 / 3) + (475200 / 5) \\ &= 142843 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kapasitas dukung satu tiang dalam tiang kelompok 4 x 4

$$\begin{aligned}
 Q &= 1/16 \cdot Q_{pg} \\
 &= 1/16 \cdot 142843 \\
 &= 8928 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

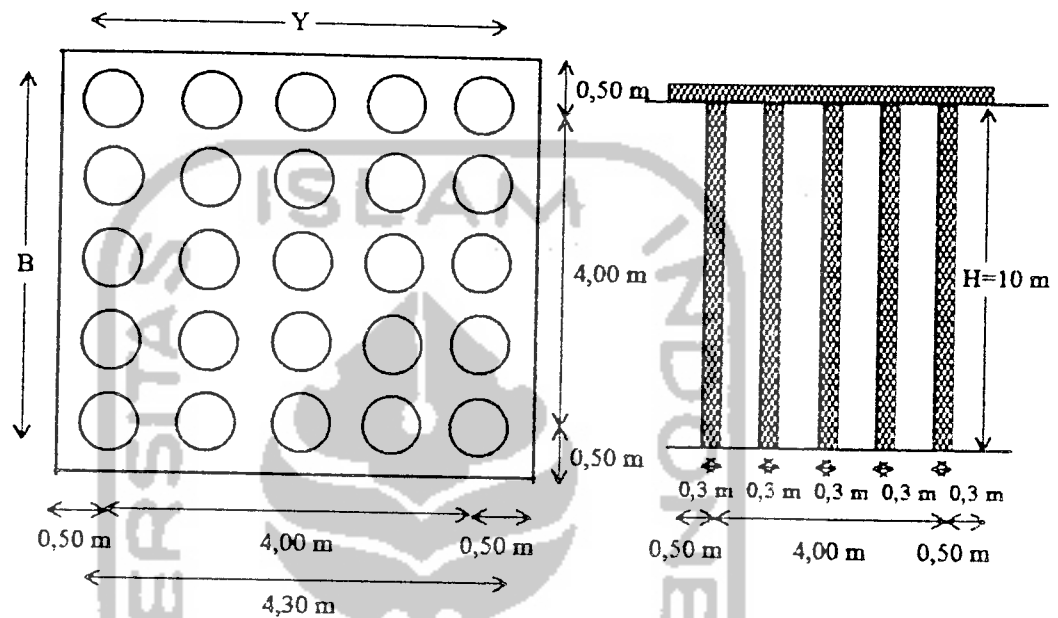
Hasil perhitungan dengan variasi diameter tiang ( $d = 30 - 100$  cm, interval 10 cm) dan jarak antara tiang ( $a = 100 - 275$  cm, interval 25 cm) dapat dilihat pada tabel 4.16 berikut.

Tabel 4.16 Kapasitas dukung tiang kelompok 4 x 4

d (cm)	a (cm)	B (cm)	v (cm)	A (cm <sup>3</sup> )	C (kg/cm <sup>3</sup> )	c (kg/cm <sup>3</sup> )	Nes	Ne	Q <sub>1</sub> (kg)	Q <sub>pg</sub> (kg)	Q (kg)
30	100	330	330	108900	0.124	0.360	8.85	10.62	618608	142843	8928
40	125	415	415	172225	0.124	0.360	8.60	10.32	817993	192984	12062
50	150	500	500	250000	0.124	0.360	8.46	10.15	1034712	248904	15557
60	175	585	585	342225	0.124	0.360	8.01	9.612	1250294	304445	19028
70	200	670	670	448900	0.124	0.360	7.85	9.42	1489151	367744	22984
80	225	755	755	570025	0.124	0.360	7.65	9.18	1736071	433730	27108
90	250	840	840	705600	0.124	0.360	7.61	9.132	2008599	508253	31766
100	275	925	925	855625	0.124	0.360	7.55	9.06	2293243	586814	36676

Data-data yang diproses (Process)

Tiang Kelompok 5 x 5



Gambar 4.11 Tiang kelompok 5 x 5

Daya dukung keseimbangan :

Digunakan rumus : (3.34)

$$Q_t = C \cdot N_c \cdot A + 2(B+Y) \cdot L \cdot c \cdot K \longrightarrow K = 1,0$$

Luas pile cap (A)

$$A = B \cdot Y$$

$$= 430 \cdot 430 = 184900 \text{ cm}^2$$

Untuk jenis pondasi lingkaran menurut Skempton, 1951.

Digunakan rumus : (3.36)

$$N_c = (1 + 0,2 (B/Y)) \cdot N_{cs}$$

Dari interpolasi pada tabel 3.4 dengan  $H/B = 10/5 = 2,0$  didapat  $N_{cs} = 8,60$

$$N_c = (1 + 0,2 (430/430)) \cdot 8,60 = 10,32$$

sehingga daya dukung keseimbangan ( $Q_t$ )

$$Q_t = (0,124 \cdot 10,32 \cdot 184900) + (2 (430 + 430) \cdot 1000 \cdot 0,360 \cdot 1)$$

$$= 236613 + 619200 = 855813 \text{ kg}$$

**Data-data yang dihasilkan (Output)**

diambil angka keamanan (SF) = 3 dan 5, kapasitas dukung tiang kelompok ( $Q_{pg}$ )

Digunakan rumus : (3.35)

$$Q_{pg} = Q_t / SF$$

$$= (236613 / 3) + (619200 / 5)$$

$$= 202711 \text{ kg}$$

Kapasitas dukung satu tiang dalam tiang kelompok 5 x 5

$$Q = 1/25 \cdot Q_{pg}$$

$$= 1/25 \cdot 202711 = 8108 \text{ kg}$$

Hasil perhitungan dengan variasi diameter tiang ( $d = 30 - 100 \text{ cm}$ , interval 10 cm) dan jarak antara tiang ( $a = 100 - 275 \text{ cm}$ , interval 25 cm) dapat dilihat pada tabel 4.17 berikut.

**Tabel 4.17 Kapasitas dukung tiang kelompok 5 x 5**

d (cm)	a (cm)	B (cm)	Y (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	C (kg/cm <sup>2</sup> )	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Ncs	Nc	Qt (kg)	Qpg (kg)	Q (kg)
30	100	430	430	184900	0.124	0.360	8.60	10.32	855813	202711	8108
40	125	540	540	291600	0.124	0.360	8.44	10.13	1143812	277591	11104
50	150	650	650	422500	0.124	0.360	7.91	9.492	1433286	352962	14118
60	175	760	760	577600	0.124	0.360	7.63	9.156	1750175	437472	17499
70	200	870	870	756900	0.124	0.360	7.61	9.132	2109889	536256	21450
80	225	980	980	960400	0.124	0.360	7.48	8.976	2480148	638556	25542
90	250	1090	1090	1188100	0.124	0.360	7.33	8.796	2865465	745875	29835
100	275	1200	1200	1440000	0.124	0.360	6.95	8.34	3217190	841997	33680