

FOUNDATION ENGINEERING 1

Soil Mechanics I

Sherly Meiwa , ST., MT



Department of Civil Engineering
Universitas Komputer Indonesia
Bandung, 2019

Tegangan Vertikal dalam Tanah

Tegangan Akibat Beban Terkonsentrasi

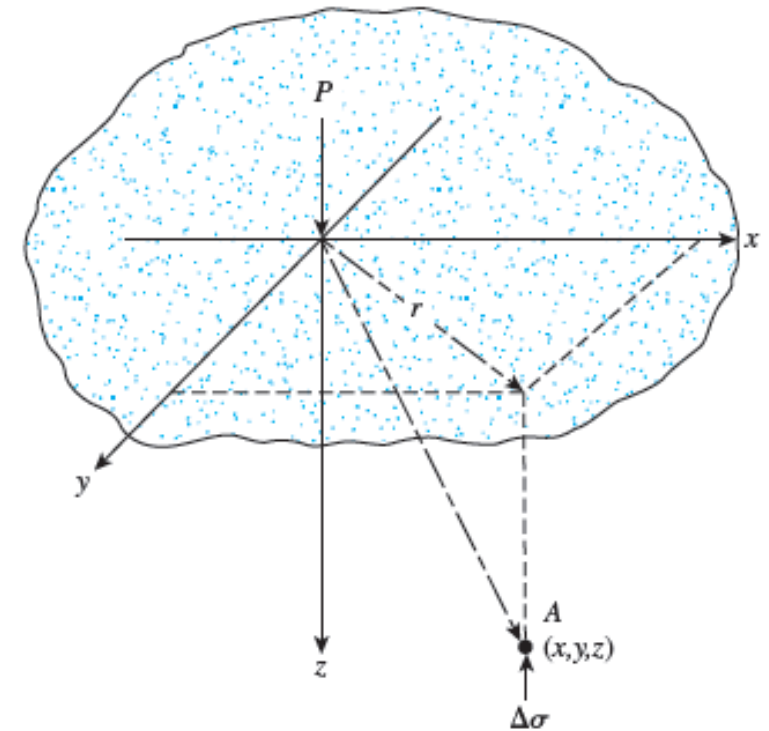
Tahun 1885, Boussinesq menemukan sebuah hubungan matematis untuk menentukan tegangan normal dan tegangan geser untuk kondisi tanah homogen, elastic, dan isotropic akibat beban terkonsentrasi di permukaan tanah.

$$\Delta\sigma = \frac{3P}{2\pi z^2 \left[1 + \left(\frac{r}{z} \right)^2 \right]^{5/2}}$$

where

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

x, y, z = coordinates of the point A

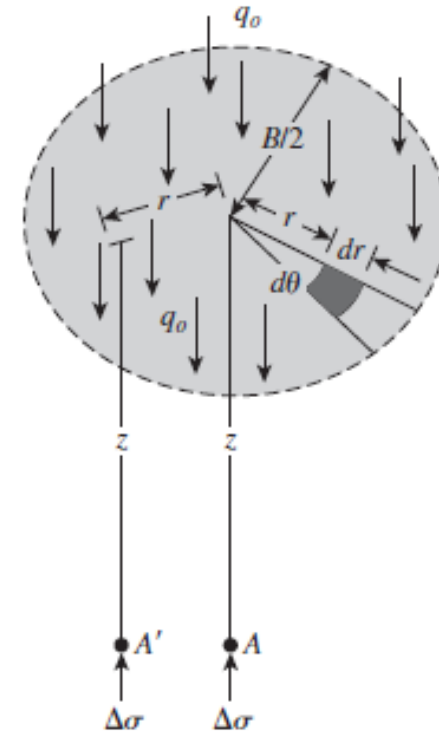


Tegangan Vertikal dalam Tanah

Tegangan Akibat Beban Lingkaran

Di asumsikan radius = $B/2$, dan q_o adalah beban yang terdistribusi seragam per unit area. Untuk menentukan tegangan pada titik A yang berlokasi pada kedalaman z , Z harus diasumsikan persis dibawah titik pusat beban lingkaran.

$$\Delta\sigma = q_o \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{B}{2z} \right)^2 \right]^{3/2}} \right\}$$



Tegangan Vertikal dalam Tanah

Tegangan Akibat Beban Lingkaran

Table 6.1 Variation of $\Delta\sigma/q_o$ for a Uniformly Loaded Flexible Circular Area

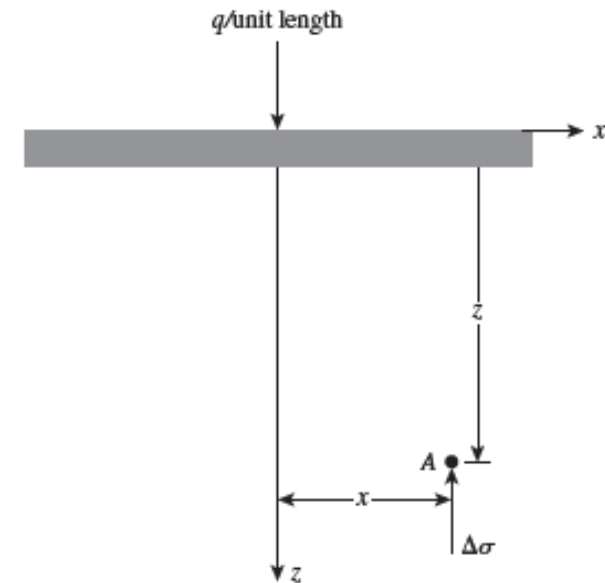
$z/(B/2)$	$r/(B/2)$					
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.1	0.999	0.999	0.998	0.996	0.976	0.484
0.2	0.992	0.991	0.987	0.970	0.890	0.468
0.3	0.976	0.973	0.963	0.922	0.793	0.451
0.4	0.949	0.943	0.920	0.860	0.712	0.435
0.5	0.911	0.902	0.869	0.796	0.646	0.417
0.6	0.864	0.852	0.814	0.732	0.591	0.400
0.7	0.811	0.798	0.756	0.674	0.545	0.367
0.8	0.756	0.743	0.699	0.619	0.504	0.366
0.9	0.701	0.688	0.644	0.570	0.467	0.348
1.0	0.646	0.633	0.591	0.525	0.434	0.332
1.2	0.546	0.535	0.501	0.447	0.377	0.300
1.5	0.424	0.416	0.392	0.355	0.308	0.256
2.0	0.286	0.286	0.268	0.248	0.224	0.196
2.5	0.200	0.197	0.191	0.180	0.167	0.151
3.0	0.146	0.145	0.141	0.135	0.127	0.118
4.0	0.087	0.086	0.085	0.082	0.080	0.075

Tegangan Vertikal dalam Tanah

Tegangan Akibat Beban Garis

Table 6.2 Variation of $\Delta\sigma/(q/z)$ with x/z [Eq. (6.5)]

x/z	$\Delta\sigma/(q/z)$	x/z	$\Delta\sigma/(q/z)$
0	0.637	1.3	0.088
0.1	0.624	1.4	0.073
0.2	0.589	1.5	0.060
0.3	0.536	1.6	0.050
0.4	0.473	1.7	0.042
0.5	0.407	1.8	0.035
0.6	0.344	1.9	0.030
0.7	0.287	2.0	0.025
0.8	0.237	2.2	0.019
0.9	0.194	2.4	0.014
1.0	0.159	2.6	0.011
1.1	0.130	2.8	0.008
1.2	0.107	3.0	0.006



$$\Delta\sigma = \frac{2q}{\pi z [(x/z)^2 + 1]^2}$$
$$\frac{\Delta\sigma}{(q/z)} = \frac{2}{\pi [(x/z)^2 + 1]^2}$$

$$\Delta\sigma = \frac{2qz^3}{\pi(x^2 + z^2)^2}$$

Tegangan Vertikal dalam Tanah

Tegangan Akibat Beban Area Persegi Panjang

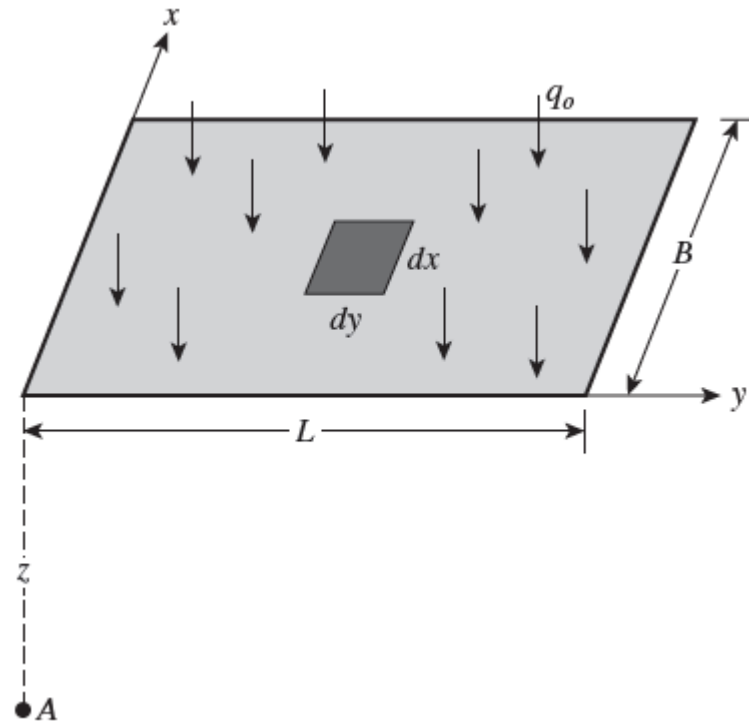
Formula Boussinesq

$$\Delta\sigma = \int_{y=0}^L \int_{x=0}^B \frac{3q_o (dx dy) z^3}{2\pi(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} = q_o I$$

$$I = \text{influence factor} = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + m^2n^2 + 1} \cdot \frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} + \tan^{-1} \frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + 1 - m^2n^2} \right)$$

$$m = \frac{B}{z}$$

$$n = \frac{L}{z}$$



Tegangan Vertikal dalam Tanah

Tegangan Akibat Beban Area Persegi Panjang

Table 6.4 Variation of Influence Value I [Eq. (6.10)]^a

m	n											
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
0.1	0.00470	0.00917	0.01323	0.01678	0.01978	0.02223	0.02420	0.02576	0.02698	0.02794	0.02926	0.03007
0.2	0.00917	0.01790	0.02585	0.03280	0.03866	0.04348	0.04735	0.05042	0.05283	0.05471	0.05733	0.05894
0.3	0.01323	0.02585	0.03735	0.04742	0.05593	0.06294	0.06858	0.07308	0.07661	0.07938	0.08323	0.08561
0.4	0.01678	0.03280	0.04742	0.06024	0.07111	0.08009	0.08734	0.09314	0.09770	0.10129	0.10631	0.10941
0.5	0.01978	0.03866	0.05593	0.07111	0.08403	0.09473	0.10340	0.11035	0.11584	0.12018	0.12626	0.13003
0.6	0.02223	0.04348	0.06294	0.08009	0.09473	0.10688	0.11679	0.12474	0.13105	0.13605	0.14309	0.14749
0.7	0.02420	0.04735	0.06858	0.08734	0.10340	0.11679	0.12772	0.13653	0.14356	0.14914	0.15703	0.16199
0.8	0.02576	0.05042	0.07308	0.09314	0.11035	0.12474	0.13653	0.14607	0.15371	0.15978	0.16843	0.17389
0.9	0.02698	0.05283	0.07661	0.09770	0.11584	0.13105	0.14356	0.15371	0.16185	0.16835	0.17766	0.18357
1.0	0.02794	0.05471	0.07938	0.10129	0.12018	0.13605	0.14914	0.15978	0.16835	0.17522	0.18508	0.19139
1.2	0.02926	0.05733	0.08323	0.10631	0.12626	0.14309	0.15703	0.16843	0.17766	0.18508	0.19584	0.20278
1.4	0.03007	0.05894	0.08561	0.10941	0.13003	0.14749	0.16199	0.17389	0.18357	0.19139	0.20278	0.21020
1.6	0.03058	0.05994	0.08709	0.11135	0.13241	0.15028	0.16515	0.17739	0.18737	0.19546	0.20731	0.21510
1.8	0.03090	0.06058	0.08804	0.11260	0.13395	0.15207	0.16720	0.17967	0.18986	0.19814	0.21032	0.21836
2.0	0.03111	0.06100	0.08867	0.11342	0.13496	0.15326	0.16856	0.18119	0.19152	0.19994	0.21235	0.22058
2.5	0.03138	0.06155	0.08948	0.11450	0.13628	0.15483	0.17036	0.18321	0.19375	0.20236	0.21512	0.22364
3.0	0.03150	0.06178	0.08982	0.11495	0.13684	0.15550	0.17113	0.18407	0.19470	0.20341	0.21633	0.22499
4.0	0.03158	0.06194	0.09007	0.11527	0.13724	0.15598	0.17168	0.18469	0.19540	0.20417	0.21722	0.22600
5.0	0.03160	0.06199	0.09014	0.11537	0.13737	0.15612	0.17185	0.18488	0.19561	0.20440	0.21749	0.22632
6.0	0.03161	0.06201	0.09017	0.11541	0.13741	0.15617	0.17191	0.18496	0.19569	0.20449	0.21760	0.22644
8.0	0.03162	0.06202	0.09018	0.11543	0.13744	0.15621	0.17195	0.18500	0.19574	0.20455	0.21767	0.22652
10.0	0.03162	0.06202	0.09019	0.11544	0.13745	0.15622	0.17196	0.18502	0.19576	0.20457	0.21769	0.22654
∞	0.03162	0.06202	0.09019	0.11544	0.13745	0.15623	0.17197	0.18502	0.19577	0.20458	0.21770	0.22656

Tegangan Vertikal dalam Tanah

Tegangan Akibat Beban Area Persegi Panjang

Table 6.4 (Continued)

<i>m</i>	<i>n</i>										
	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	∞
0.1	0.03058	0.03090	0.03111	0.03138	0.03150	0.03158	0.03160	0.03161	0.03162	0.03162	0.03162
0.2	0.05994	0.06058	0.06100	0.06155	0.06178	0.06194	0.06199	0.06201	0.06202	0.06202	0.06202
0.3	0.08709	0.08804	0.08867	0.08948	0.08982	0.09007	0.09014	0.09017	0.09018	0.09019	0.09019
0.4	0.11135	0.11260	0.11342	0.11450	0.11495	0.11527	0.11537	0.11541	0.11543	0.11544	0.11544
0.5	0.13241	0.13395	0.13496	0.13628	0.13684	0.13724	0.13737	0.13741	0.13744	0.13745	0.13745
0.6	0.15028	0.15207	0.15326	0.15483	0.15550	0.15598	0.15612	0.15617	0.15621	0.15622	0.15623
0.7	0.16515	0.16720	0.16856	0.17036	0.17113	0.17168	0.17185	0.17191	0.17195	0.17196	0.17197
0.8	0.17739	0.17967	0.18119	0.18321	0.18407	0.18469	0.18488	0.18496	0.18500	0.18502	0.18502
0.9	0.18737	0.18986	0.19152	0.19375	0.19470	0.19540	0.19561	0.19569	0.19574	0.19576	0.19577
1.0	0.19546	0.19814	0.19994	0.20236	0.20341	0.20417	0.20440	0.20449	0.20455	0.20457	0.20458
1.2	0.20731	0.21032	0.21235	0.21512	0.21633	0.21722	0.21749	0.21760	0.21767	0.21769	0.21770
1.4	0.21510	0.21836	0.22058	0.22364	0.22499	0.22600	0.22632	0.22644	0.22652	0.22654	0.22656
1.6	0.22025	0.22372	0.22610	0.22940	0.23088	0.23200	0.23236	0.23249	0.23258	0.23261	0.23263
1.8	0.22372	0.22736	0.22986	0.23334	0.23495	0.23617	0.23656	0.23671	0.23681	0.23684	0.23686
2.0	0.22610	0.22986	0.23247	0.23614	0.23782	0.23912	0.23954	0.23970	0.23981	0.23985	0.23987
2.5	0.22940	0.23334	0.23614	0.24010	0.24196	0.24344	0.24392	0.24412	0.24425	0.24429	0.24432
3.0	0.23088	0.23495	0.23782	0.24196	0.24394	0.24554	0.24608	0.24630	0.24646	0.24650	0.24654
4.0	0.23200	0.23617	0.23912	0.24344	0.24554	0.24729	0.24791	0.24817	0.24836	0.24842	0.24846
5.0	0.23236	0.23656	0.23954	0.24392	0.24608	0.24791	0.24857	0.24885	0.24907	0.24914	0.24919
6.0	0.23249	0.23671	0.23970	0.24412	0.24630	0.24817	0.24885	0.24916	0.24939	0.24946	0.24952
8.0	0.23258	0.23681	0.23981	0.24425	0.24646	0.24836	0.24907	0.24939	0.24964	0.24973	0.24980
10.0	0.23261	0.23684	0.23985	0.24429	0.24650	0.24842	0.24914	0.24946	0.24973	0.24981	0.24989
∞	0.23263	0.23686	0.23987	0.24432	0.24654	0.24846	0.24919	0.24952	0.24980	0.24989	0.25000

*Based on Saika, 2012

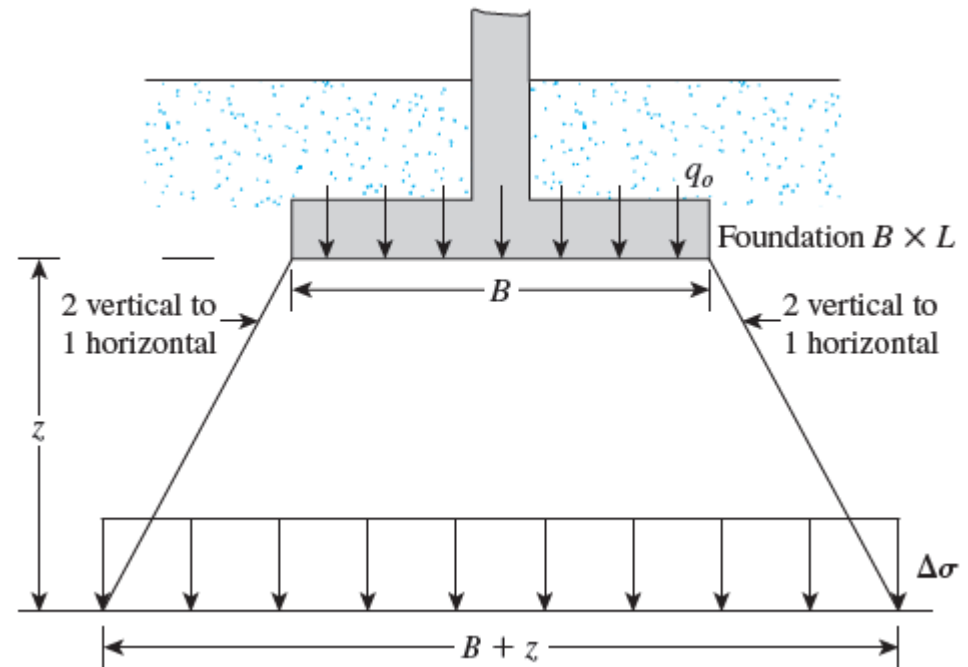
Tegangan Vertikal dalam Tanah

Tegangan Akibat Beban Area Persegi Panjang

Metode 2:1

Formula Boussinesq

$$\Delta\sigma = \frac{q_o \times B \times L}{(B + z)(L + z)}$$



Tegangan Vertikal dalam Tanah

Tegangan Akibat Beban Timbunan

$$\Delta\sigma = \frac{q_o}{\pi} \left[\left(\frac{B_1 + B_2}{B_2} \right) (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{B_1}{B_2} (\alpha_2) \right]$$

where

$$q_o = \gamma H$$

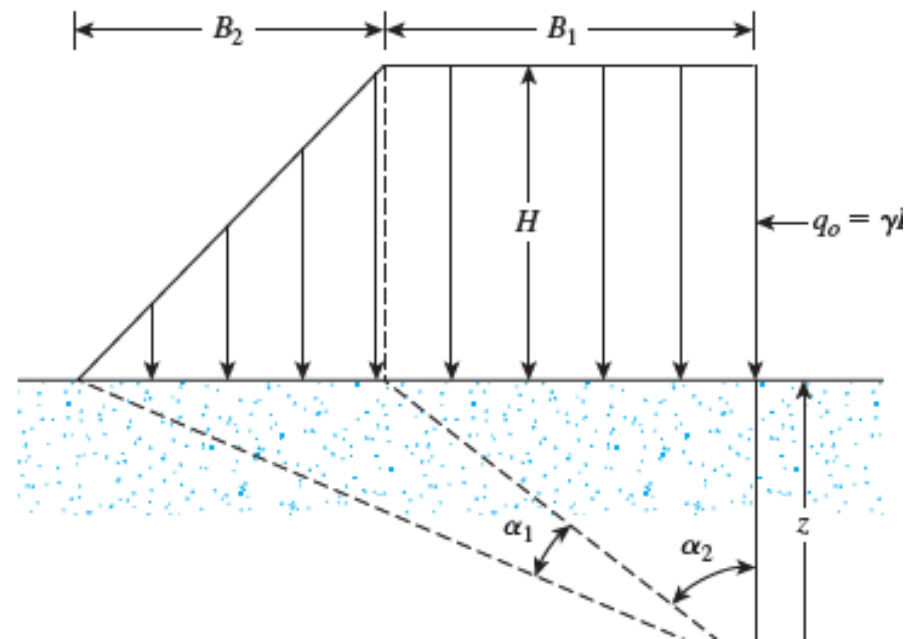
γ = unit weight of the embankment soil

H = height of the embankment

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left(\frac{B_1 + B_2}{z} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{B_1}{z} \right)$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \left(\frac{B_1}{z} \right)$$

(Note that α_1 and α_2 are in radians.)



Penurunan Konsolidasi

$$S_c = \frac{C_c H}{1 + e_o} \log \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o} \right)$$

(for normally consolidated clays) [Eq. (2.65)]

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + e_o} \log \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o} \right)$$

(for overconsolidated clays with $\sigma'_o + \Delta\sigma'_{av} < \sigma'_c$) [Eq. (2.67)]

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + e_o} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{C_c H}{1 + e_o} \log \left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_c} \right)$$

(for overconsolidated clays with $\sigma'_o < \sigma'_c < \sigma'_o + \Delta\sigma'_{av}$) [Eq. (2.69)]

where

σ'_o = average effective pressure on the clay layer before the construction of the foundation

$\Delta\sigma'_{av}$ = average increase in effective pressure on the clay layer caused by the construction of the foundation

σ'_c = preconsolidation pressure

e_o = initial void ratio of the clay layer

C_c = compression index

C_s = swelling index

H_c = thickness of the clay layer

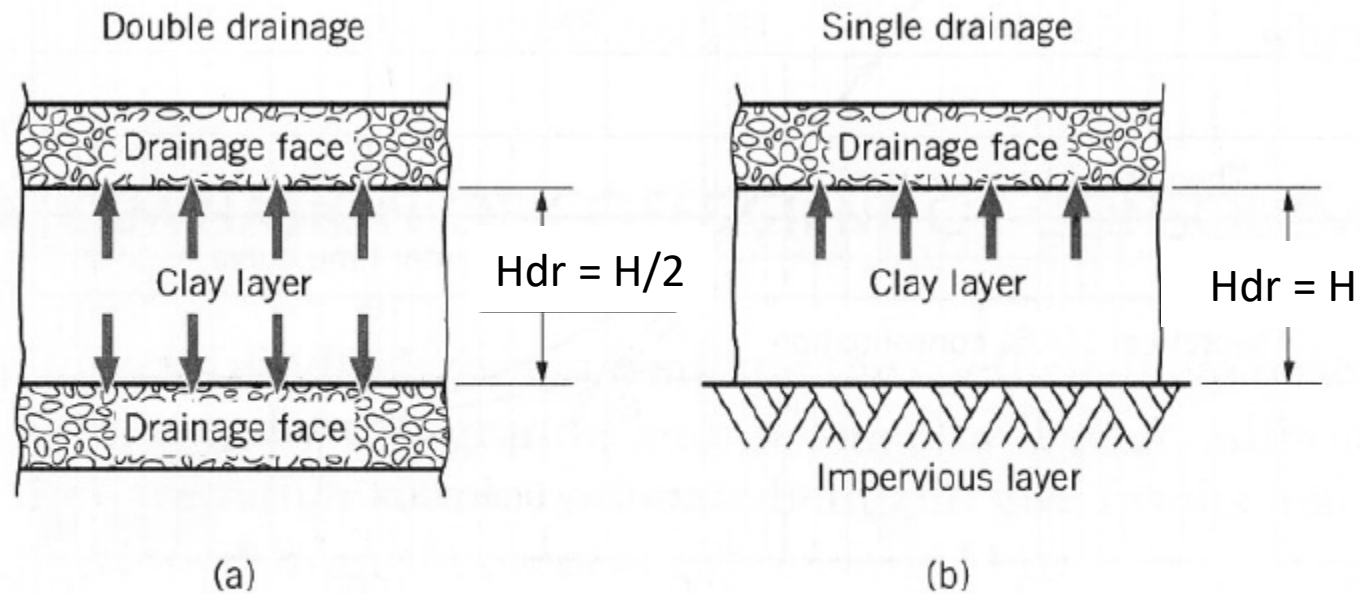
Analisis Waktu Penurunan

$$T_v = \frac{c_v t}{H_{dr}^2} = \text{time factor}$$

$$U = \frac{S_c(t)}{S_c}$$

T_v	= Time Factor (variable)
C_v	= koefisien Konsolidasi (satuan area/waktu)
t	= Waktu Konsolidasi (satuan waktu)
H_{dr}	= Panjang lintasan terdrainase (satuan Panjang)
U	= Derajat konsolidasi (%)
$S_c(t)$	= Penurunan saat waktu t
S_c	= Penurunan konsolidasi

Analisis Waktu Penurunan



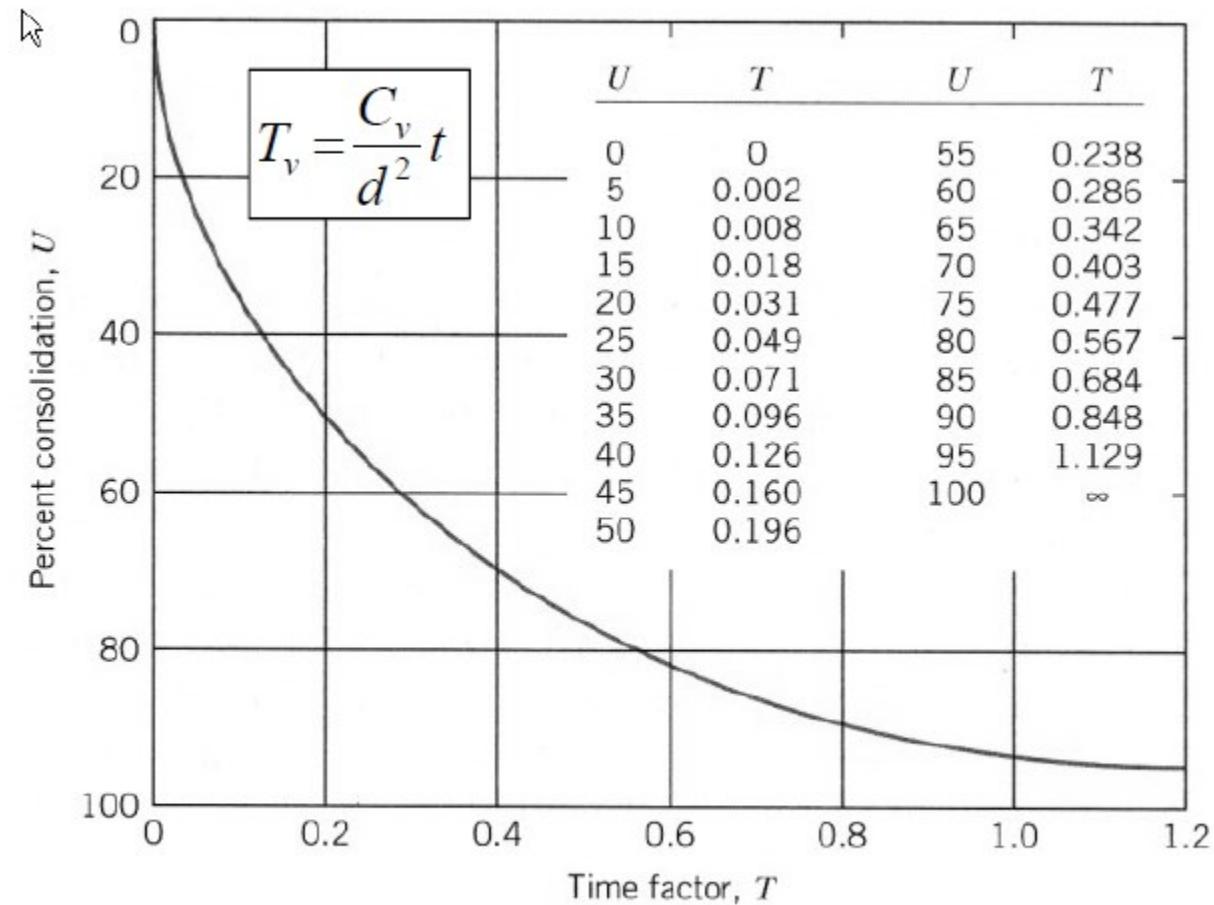
(a) Double Drainage (b) Single Drainage

Analisis Waktu Penurunan

Contoh Soal

1. Lapisan tanah lempung kompresibel dengan tebal 4 m dengan sistem double drainage, koef. Konsolidasinya ($C_v = 50 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$). Berapa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi 50% dan 90% (t_{50} & t_{90}) ?
2. Tebal lapisan tanah lempung kompresibel 4 m dengan sistem drainasenya double drainage mengalami penurunan maksimum 15 cm. Berapa besar penurunan 1 th setelah beban bekerja.

Analisis Waktu Penurunan



Average percent consolidation versus time factor.

Analisis Waktu Penurunan

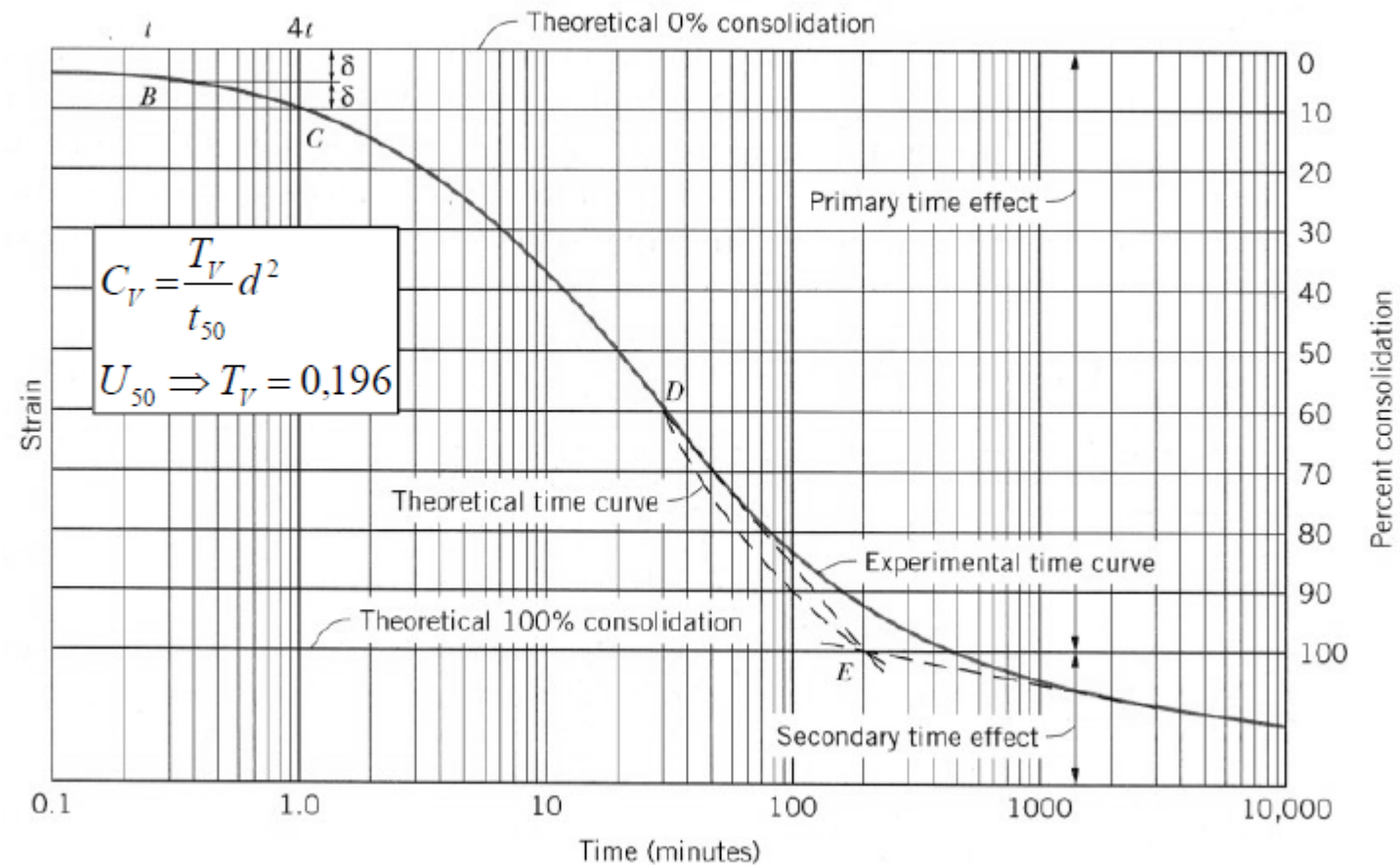
Koefisien Konsolidasi
(Coefficient of consolidation, C_v)

Bagaimana mendapatkannya????

1. Menentukan nilai C_v di laboratorium:
Log Time method
Root Time Method

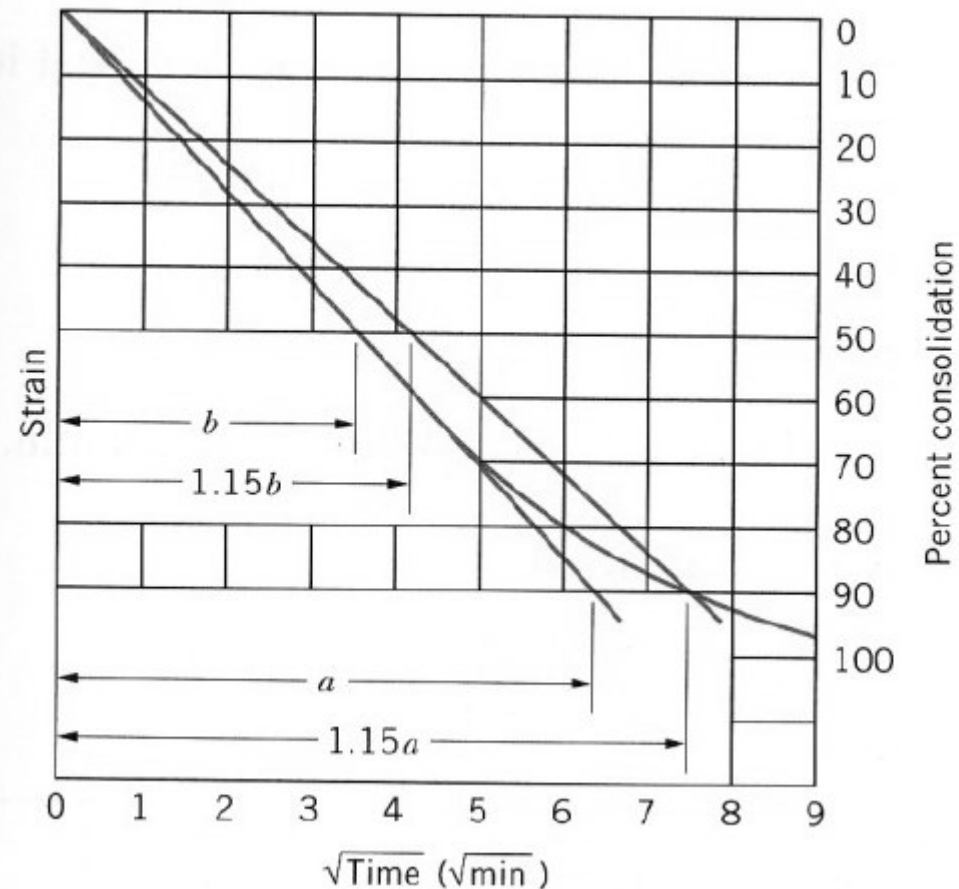
Analisis Waktu Penurunan

Log Time Method



Analisis Waktu Penurunan

Root Time Method



$$C_v = \frac{T_v}{t_{90}} d^2$$
$$U_{90} \Rightarrow T_v = 0,848$$

DRAINASE VERTIKAL

1. Metode yang sering digunakan untuk mempercepat proses konsolidasi adalah:

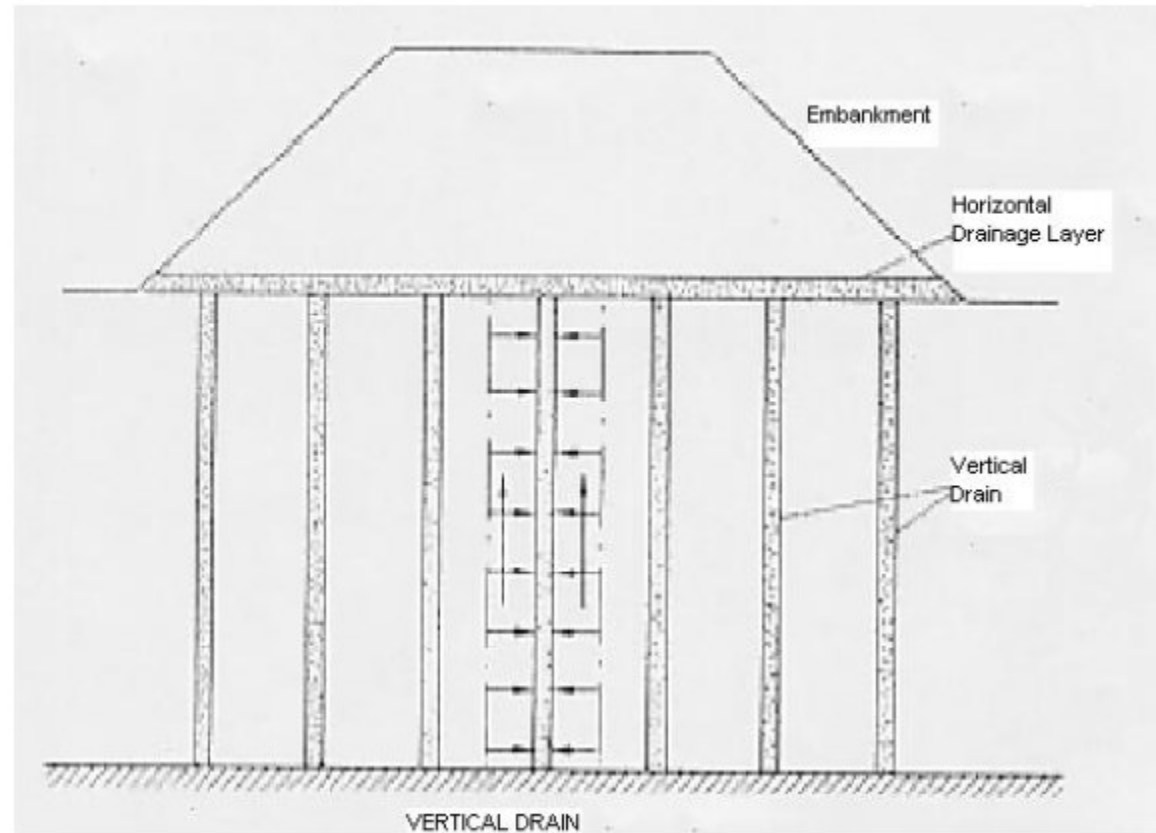
Preloading

Drainase vertikal

Kombinasi

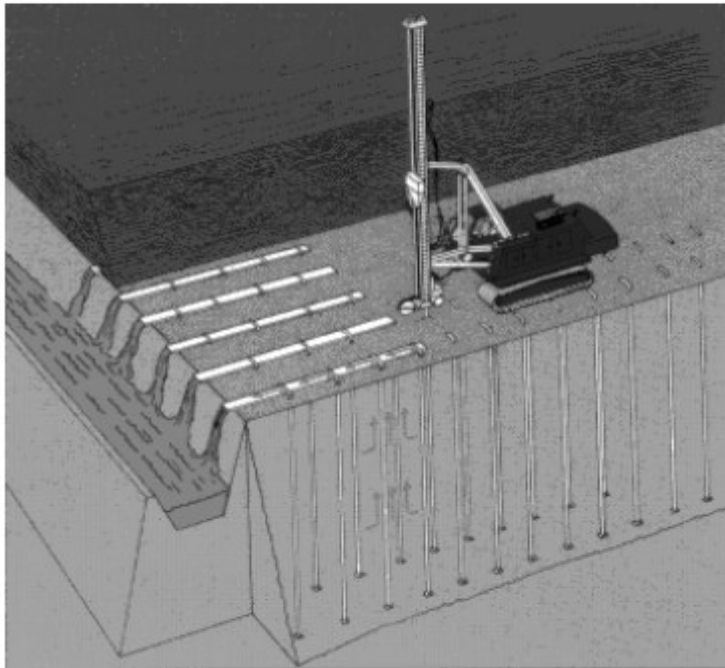
Analisis Waktu Penurunan

Vertical Drains



Analisis Waktu Penurunan

Vertical Drains



Bentuk dan kelenturan dari Colbond-drain memudahkan pemasangan dengan memakai peralatan tertentu tanpa menimbulkan gangguan yang berarti pada tanahnya. Konstruksi yang menumpuk ini menjamin kestabilan dan aliran sesudah pemasangan. Keuntungan ekonomis yang utama adalah bertambah cepatnya peningkatan kekuatan geser lapisan tanah bagian bawah yang memungkinkan tanah terburai ditaklukkan dengan cepat disamping mempertahankan faktor keamanan terhadap kelongsoran. Penurunan primer biasanya akan selesai selama masa konstruksi.



Penyerapan yang mudah dapat mengurangi pemakaian tenaga.



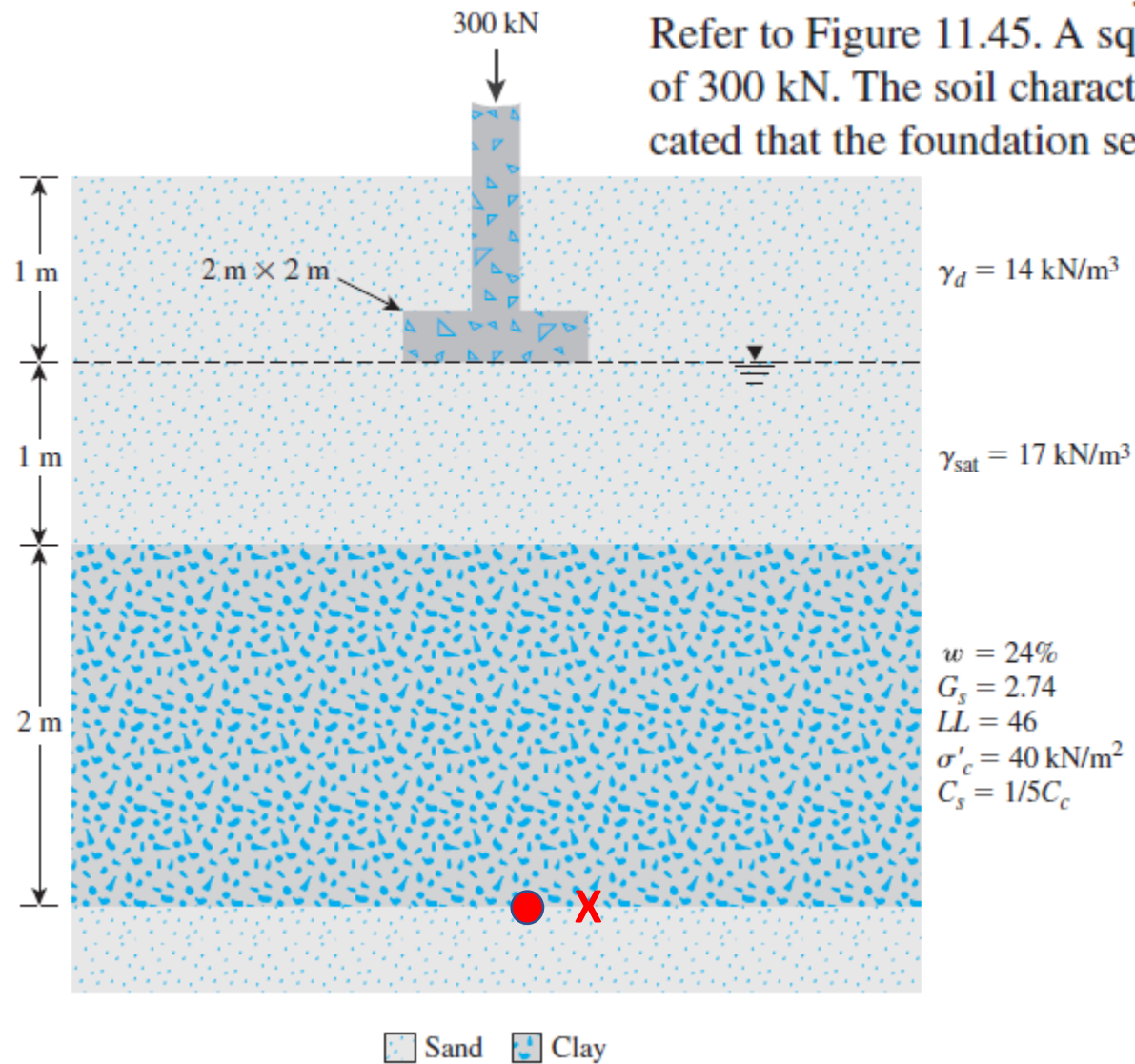
Selanjutnya dipasang drain yang penting sekali.



Pemasangan Colbond-drain pada interval yang rapat akan mempercepat proses kompaksi air pori di dalam tanah akibat.

Problem 11.19 (page 426)

(Braja M Das, *Principle of Geotechnical Engineering* 8th edition)



Refer to Figure 11.45. A square footing, $2 \times 2\text{ m}$ in size, supports a column load of 300 kN . The soil characteristics are given in the figure. Field monitoring indicated that the foundation settlement was 19 mm during the first 12 months.

1. Tentukan Tegangan akibat beban pondasi dangkal di titik X ($\Delta\sigma'$)
2. Tentukan tegangan overbudden di titik X ($\sigma\sigma'$)
3. Tentukan derajat konsolidasi saat 12 bulan (U saat 12 bulan)
4. Tentukan koefisien konsolidasi (C_v)
5. Tentukan besar penurunan setelah 24 bulan

Problem 11.19 (page 426)

(Braja M Das, *Principle of Geotechnical Engineering* 8th edition)

1. Tentukan Tegangan akibat beban pondasi dangkal di titik X ($\Delta\sigma'$)

Anda bisa memilih salah satu metoda untuk menghitung tambahan tegangan :

- Tegangan akibat beban garis
- Tegangan akibat beban area persegi panjang
- Tegangan akibat beban area persegi Panjang metoda 2:1 Boussinesq

2. Tentukan tegangan overbudden (berat sendiri tanah) di titik X (σ_o')

Pertimbangkan lokasi MAT (Muka Air Tanah)

Problem 11.19 (page 426)

(Braja M Das, *Principle of Geotechnical Engineering 8th edition*)

3. Tentukan derajat konsolidasi U (%) saat 12 bulan

Tahapan awal soal no 3, Anda harus menghitung besarnya penurunan yang terjadi (S_c), pada tahapan ini anda akan menentukan sendiri nilai void ratio (e_o), compression Index (C_c), dan Swelling Index (C_s)

- Terlebih dahulu anda perlu menentukan nilai void ratio (e_o) dan compression Index (C_c) berdasarkan data parameter tanah yang tersedia, dapat ditentukan dari rumus kolerasi pada halaman 381-383 buku *Braja M Das, Principle of Geotechnical Engineering 8th edition*
- Hitung besarnya penurunan konsolidasi yang terjadi pada lapisan tanah lempung tersebut (S_c)
- Hitung Derajat konsolidasi saat 12 bulan (U saat $t=12$ bulan),

$$U = \frac{S_{c(t)}}{S_c}$$

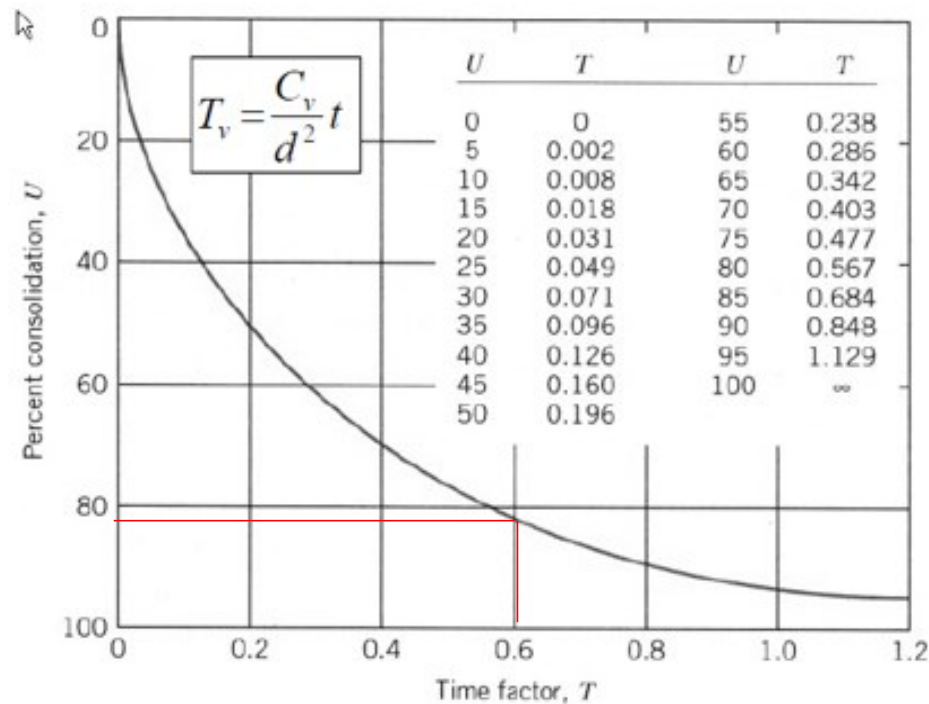
didalam soal sudah disebutkan besar penurunan setelah 12 bulan, $S_{c(t)}$

Problem 11.19 (page 426)

(Braja M Das, Principle of Geotechnical Engineering 8th edition)

4. Tentukan koefisien konsolidasi (Cv)

a. Tentukan time factor (Tv) berdasarkan nilai U yang anda dapat dari soal sebelumnya, anda bisa menggunakan tabel dibawah ini dengan syarat harus dinterpolasikan terlebih dahulu, Anda juga bisa langsung menggunakan grafik kurva



Average percent consolidation versus time factor.

Tabel : U 82.5% maka nilai Tv adalah 0.6255

Grafik : U 82.5% maka nilai Tv adalah 0.61

Problem 11.19 (page 426)

(Braja M Das, Principle of Geotechnical Engineering 8th edition)

4. Tentukan koefisien konsolidasi (Cv)

- b. Anda dapat menghitung Cv, dengan menggunakan data U, Tv, dan t = 12 bulan, Perhatikan kondisi layer (double/single drainange) untuk menentukan nilai Hdr

$$T_v = \frac{c_v t}{H_{dr}^2} = \text{time factor}$$

5. Tentukan besar penurunan setelah 24 bulan

- a. Anda perlu menentukan nilai time factor terlebih dahulu (Tv) saat 24 bulan
- b. Berdasarkan nilai Tv, anda tentukan derajat konsolidasi U (dengan table atau grafik)
- c. Anda dapat menghitung besarnya penurunan berdasarkan nilai derajat konsolidasi tersebut ,