



Modul ke:

08

Fakultas
**TEKNIK
PERENCANAAN
& DESAIN**
Program Studi
Teknik Sipil

Rekayasa Fondasi 1

Penurunan
Fondasi Dangkal

Edwin Laurencis, ST., MT.

Penurunan Fondasi Dangkal

Rekayasa Fondasi 1

Sub-Pokok bahasan ini diharapkan dapat menjadi pedoman bagi mahasiswa untuk menentukan penurunan fondasi dangkal.

Penurunan Konsolidasi

- Pada tanah lempung jenuh air, pembebanan menyebabkan meningkatnya tekanan air pori.

$$\text{Tek. Air pori awal (hidrostatik)} = u_0 = \gamma_w \cdot Z$$

$$\text{Tek. Ekses air pori} = \Delta u$$

$$\text{Tek. Air pori saat pembebanan} = u = u_0 + \Delta u$$

- Konsolidasi: proses terdisipasinya tekanan ekses air pori sebesar Δu seiring dengan berjalannya waktu.
- Konsolidasi ditandai dengan penurunan tanah lempung.

Penurunan Konsolidasi

Apabila tanah lempung terkonsolidasi normal
(*normally consolidated clays*)

$$S_c = \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0} \right)$$

C_c = Indeks kompresi (*compression index*)

H_c = Tebal lapisan lempung jenuh yang ditinjau

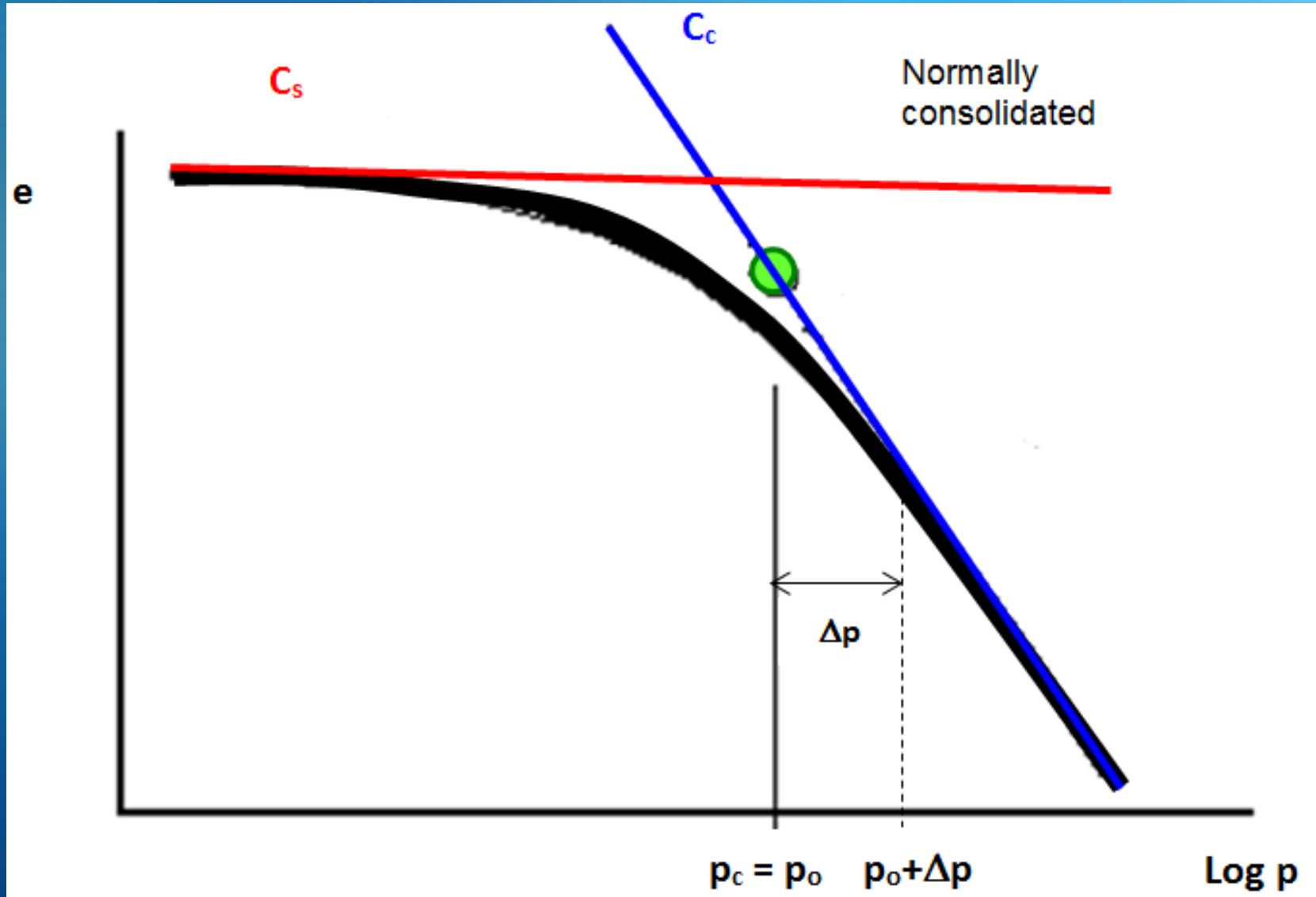
e_0 = angka pori awal sebelum pembebanan (*initial void ratio*)

p_c = Tekanan prakonsolidasi (kg/cm², kPa, ton/m²)

p_0 = Teg. ver. efektif tanah pd lapisan yg ditinjau sebelum pembebanan

Δp = Tambahan tekanan akibat beban luar

Penurunan Konsolidasi



Penurunan Konsolidasi

Untuk tanah lempung terkonsolidasi berlebih (*overly consolidated clays*) dengan $(p_0 + \Delta p) < p_c$

$$S_c = \frac{C_s H_c}{1 + e_0} \log \left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0} \right)$$

C_s = Indeks pengembangan (*swelling index*)

H_c = Tebal lapisan lempung jenuh yang ditinjau

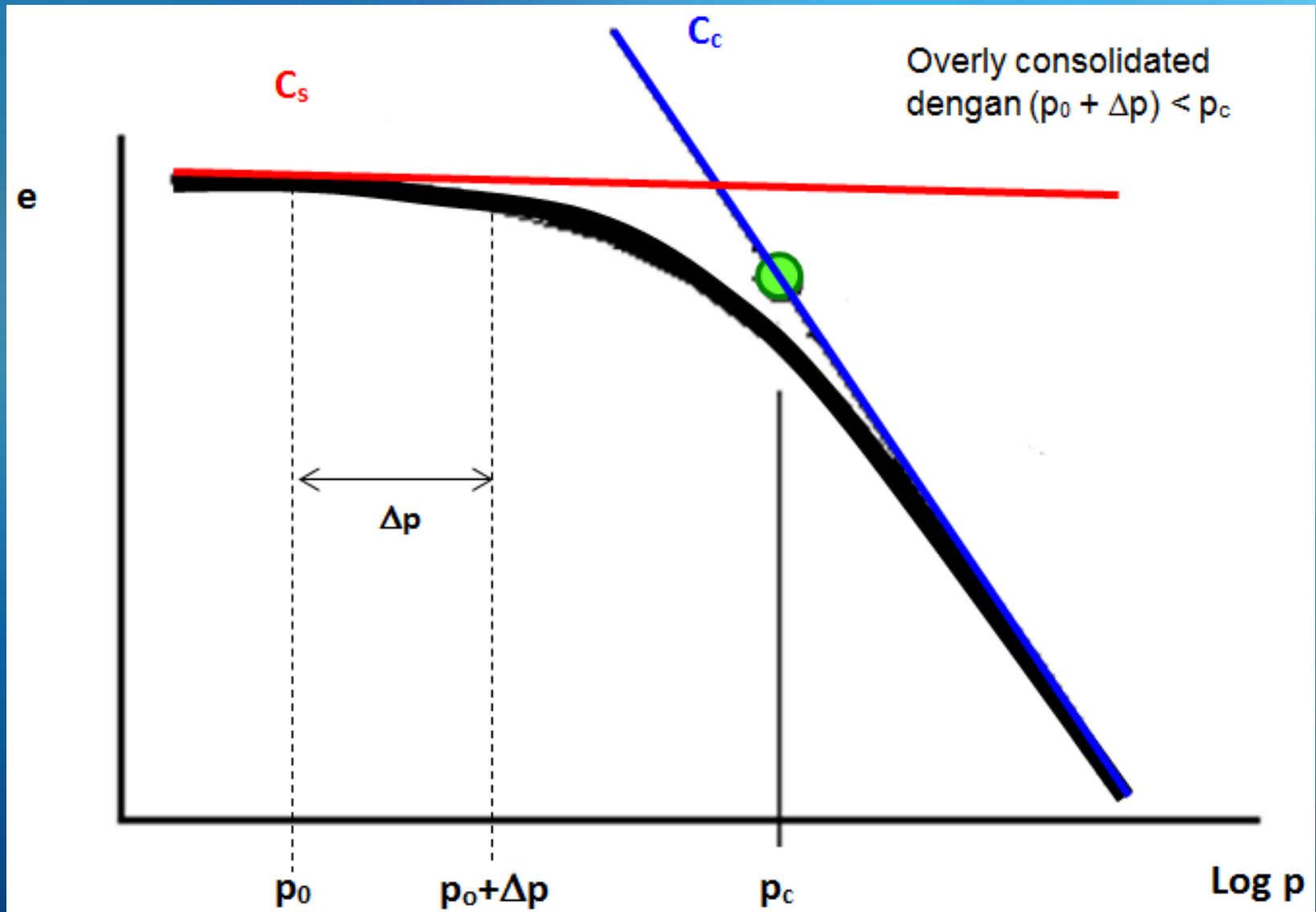
e_0 = angka pori awal sebelum pembebanan (*initial void ratio*)

p_c = Tekanan prakonsolidasi (kg/cm², kPa, ton/m²)

p_0 = Teg. ver. efektif tanah pd lapisan yg ditinjau sebelum pembebanan

Δp = Tambahan tekanan akibat beban luar

Penurunan Konsolidasi



Penurunan Konsolidasi

Untuk tanah lempung terkonsolidasi berlebih (*overly consolidated clays*) dengan $p_0 < p_c < (p_0 + Dp)$

$$S_c = \frac{C_s H_c}{1 + e_0} \log \left(\frac{p_c}{p_0} \right) + \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_c} \right)$$

C_c = Indeks kompresi (*compression index*)

C_s = Indeks pengembangan (*swelling index*)

H_c = Tebal lapisan lempung jenuh yang ditinjau

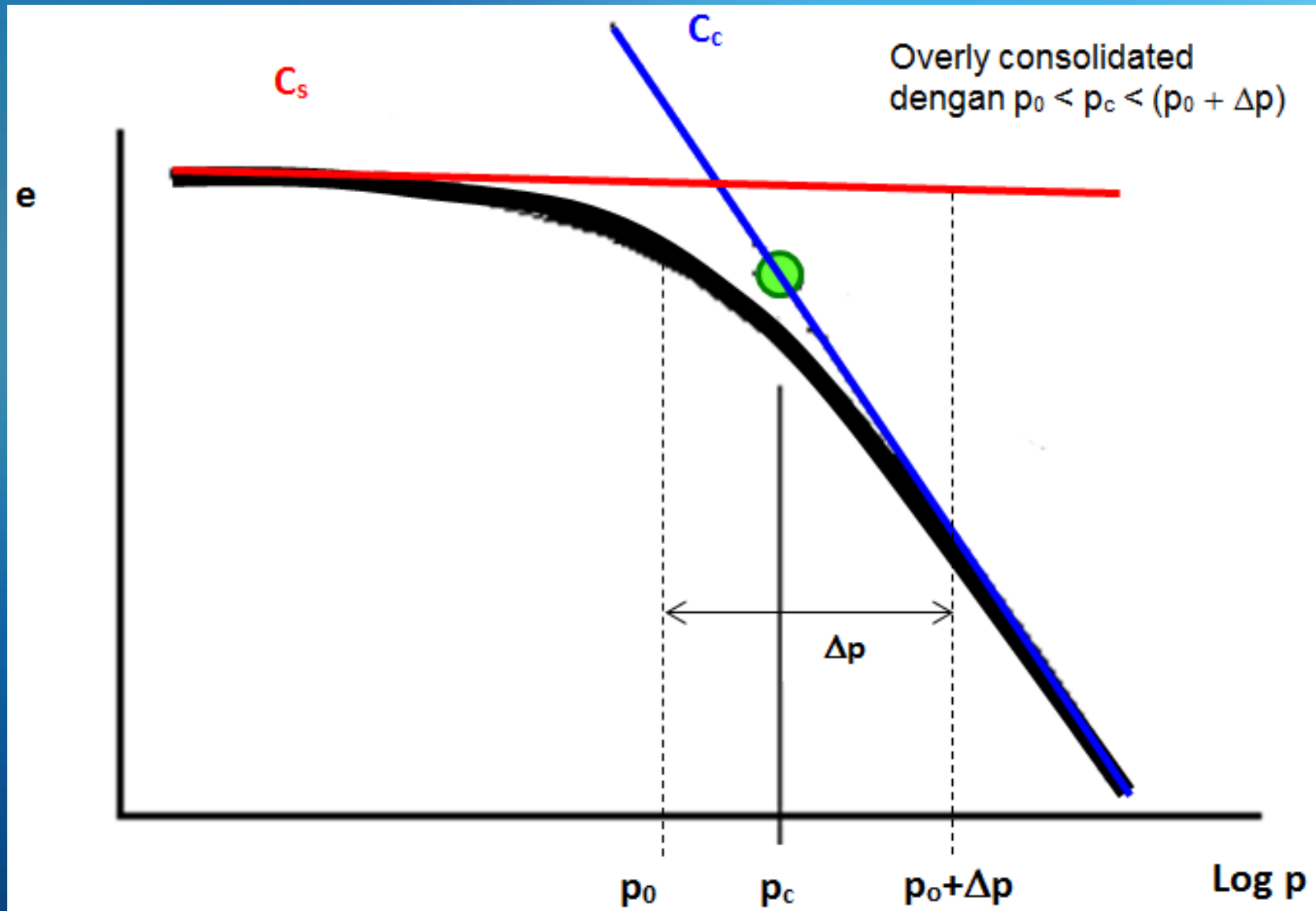
e_0 = angka pori awal sebelum pembebanan (*initial void ratio*)

p_c = Tekanan prakonsolidasi (kg/cm², kPa, ton/m²)

p_0 = Teg. ver. efektif tanah pd lapisan yg ditinjau sebelum pembebanan

Δp = Tambahan tekanan akibat beban luar

Penurunan Konsolidasi



Distribusi Tegangan

Akibat Beban Terpusat

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

Boussinesq (1885)

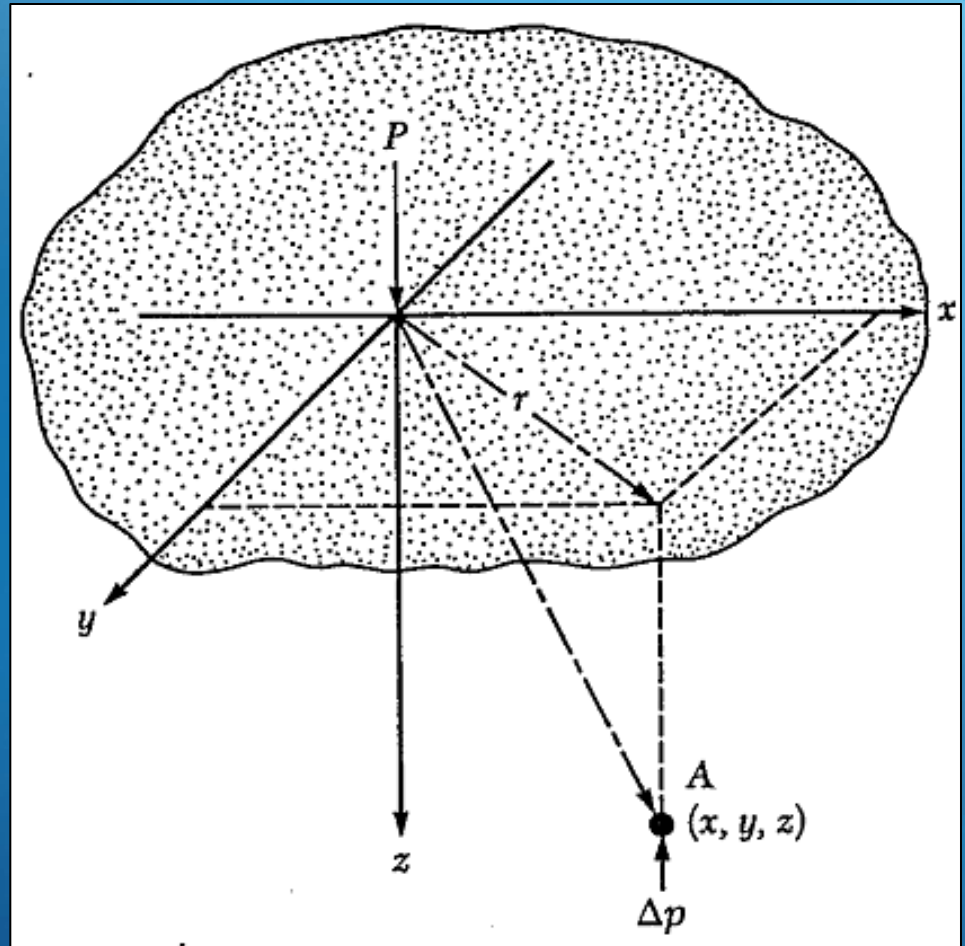
Dengan:

P = beban luar (gaya)

z = kedalaman (m)

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

x, y, z = koordinat titik



Contoh Kasus

Sebuah fondasi berukuran 1m x 1m ditempatkan pada suatu tanah lempung pada kedalaman 1 meter dari muka tanah. Adapun muka air tanah ditemukan pada elevasi dasar fondasi, sehingga diasumsikan tanah lempung di bawah fondasi merupakan tanah lempung jenuh yang kompresibel. Lapisan tanah keras ditemukan tepat di bawah tanah lempung.

Parameter tanah lempung di lokasi ini disebutkan sebagai berikut:

Tebal lapisan lempung	=	5 m
Berat volume, γ	=	15.4 kN/m ³
Kohesi, c	=	40 kPa
Indeks kompresi, C_c	=	0.20
Angka pori, e_0	=	1.50
OCR	=	1

Melalui data ini akan ditentukan besarnya penurunan konsolidasi yang terjadi pada tanah lempung tersebut, bila fondasi akan dibebani sebesar 30 ton.

Contoh Kasus

Hasil perhitungan ditampilkan pada tabel di bawah berikut ini:

Elevasi Lapisan			z (m)	x (m)	y (m)	r (m)	Δp (kPa)	S_c (m)
-1.0	s/d	-2.0	-1.5	0	0	0	63.66	0.076
-2.0	s/d	-3.0	-2.5	0	0	0	22.92	0.047
-3.0	s/d	-4.0	-3.5	0	0	0	11.69	0.031
-4.0	s/d	-5.0	-4.5	0	0	0	7.07	0.022
							Σ	0.175

Melalui tinjauan konsolidasi, diperoleh bahwa penurunan konsolidasi total pada tanah lunak kompresibel setebal 4 meter tersebut adalah sebesar 175 mm.

Distribusi Tegangan

Akibat Beban Luar Terbagi Rata berbentuk lingkaran

$$\Delta p = q_0 \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{B}{2z} \right)^2 \right]^{3/2}} \right\}$$

Boussinesq (1885)

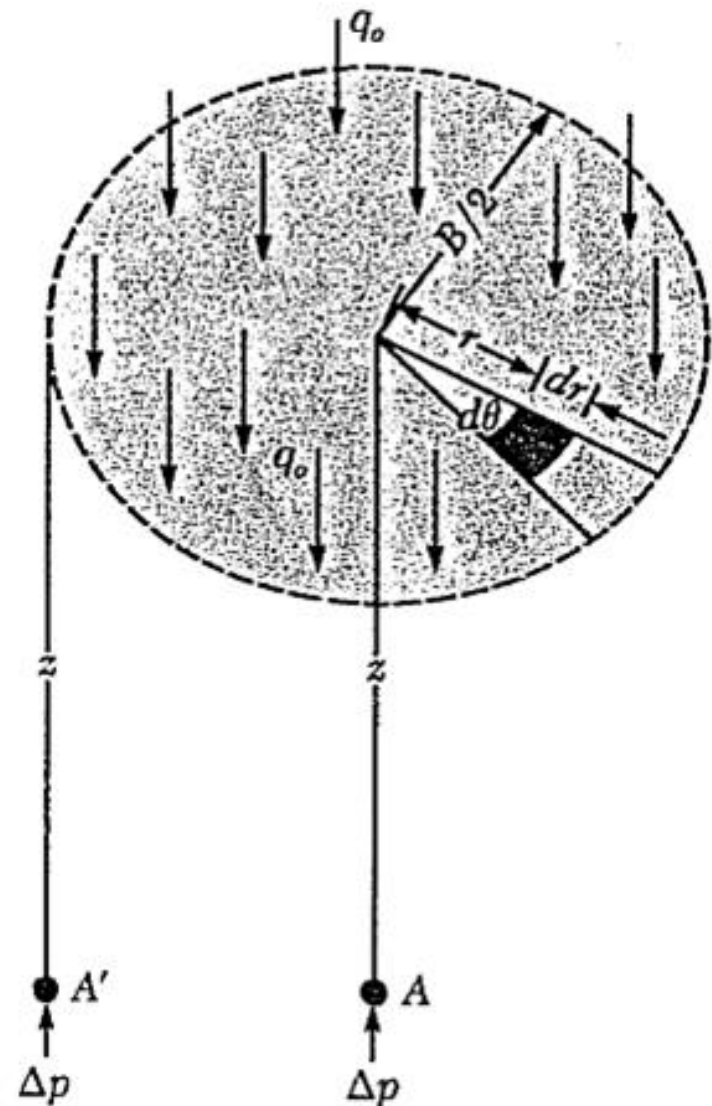
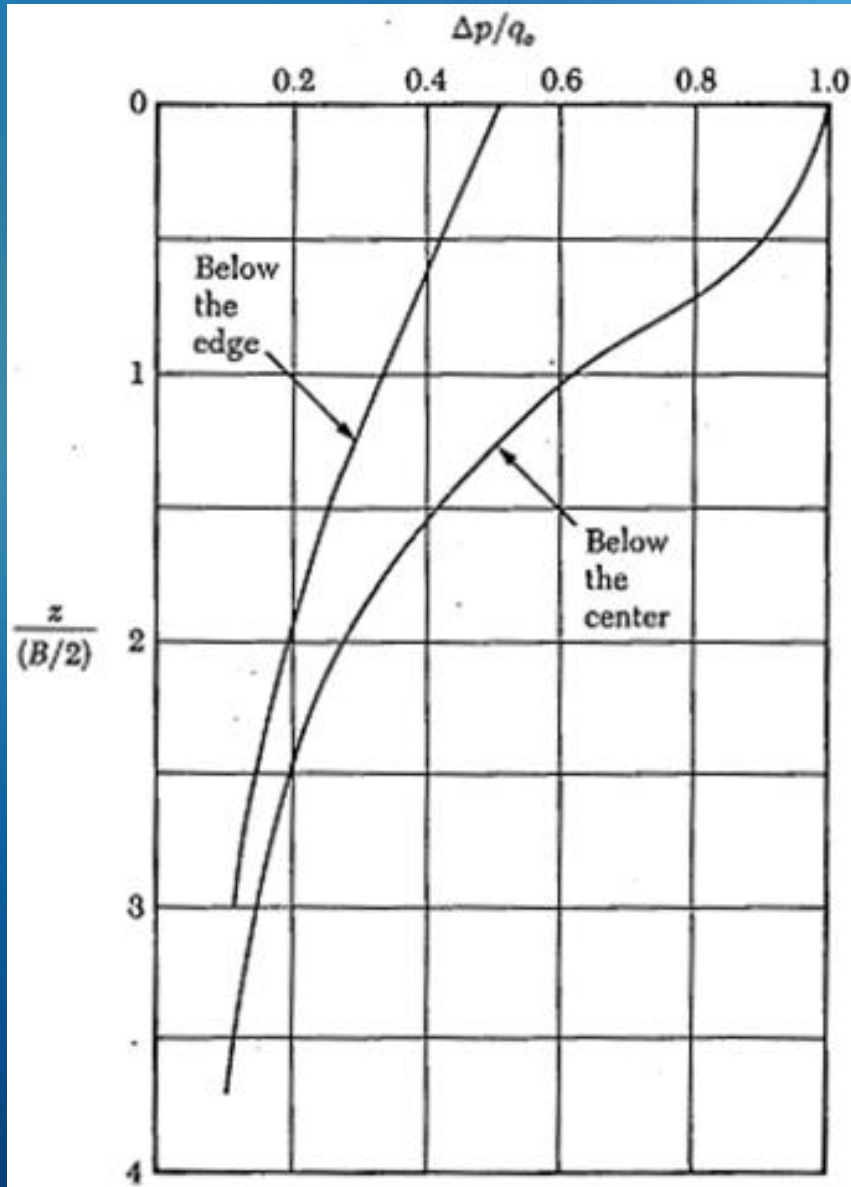
Dengan:

q_0 = beban luar (dalam bentuk tegangan)

z = kedalaman (m)

B = diameter fondasi

Distribusi Tegangan



Distribusi Tegangan

Akibat Beban Luar Terbagi Rata berbentuk segi empat

$$\Delta p = q_0 l \quad \text{Boussinesq (1885)}$$

Dengan:

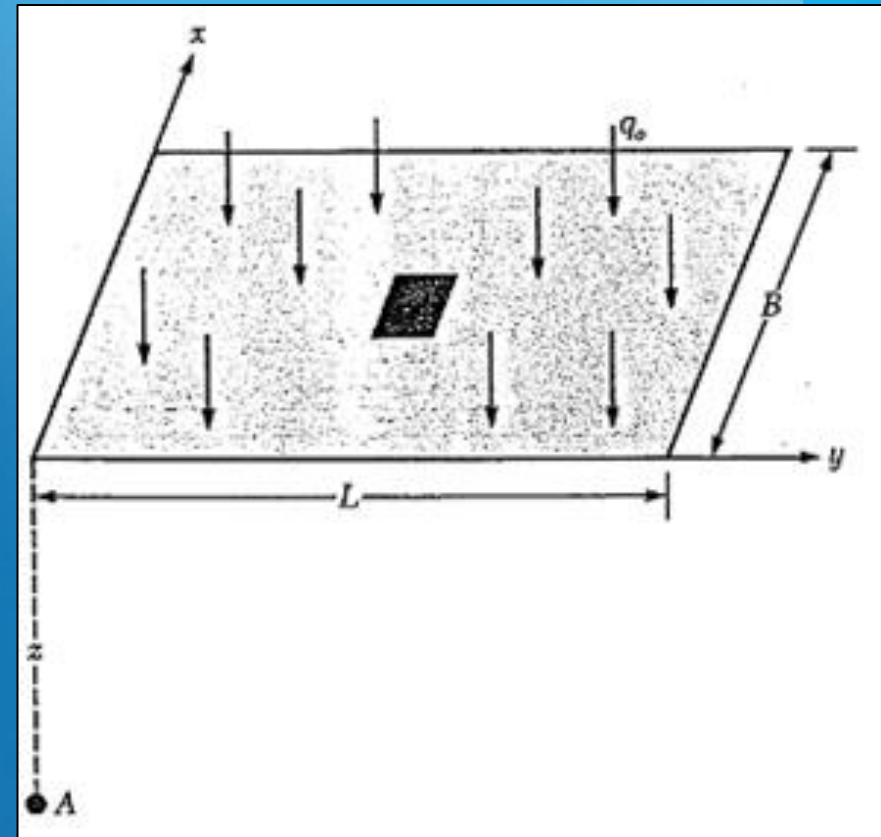
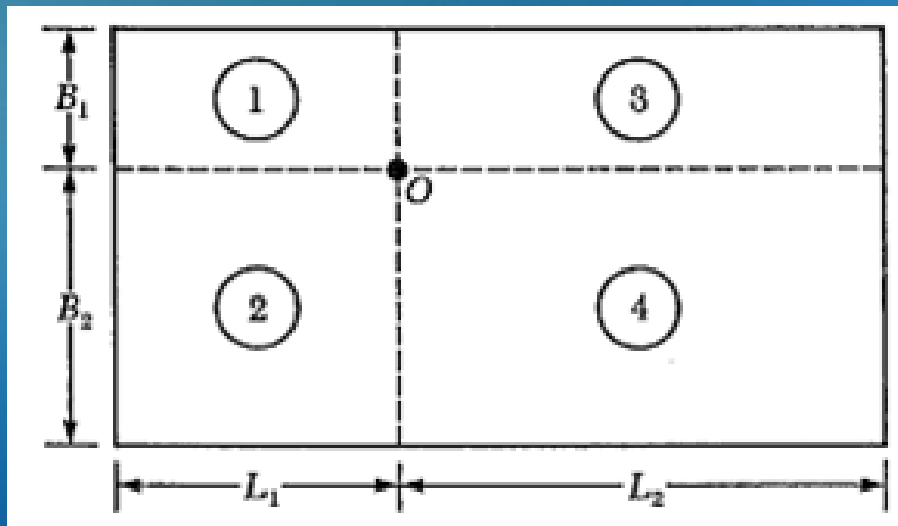
q_0 = beban luar (dalam bentuk tegangan)

l = faktor pengaruh

Distribusi Tegangan

$$\Delta p = q_0 \times l$$

$$l = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$$



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

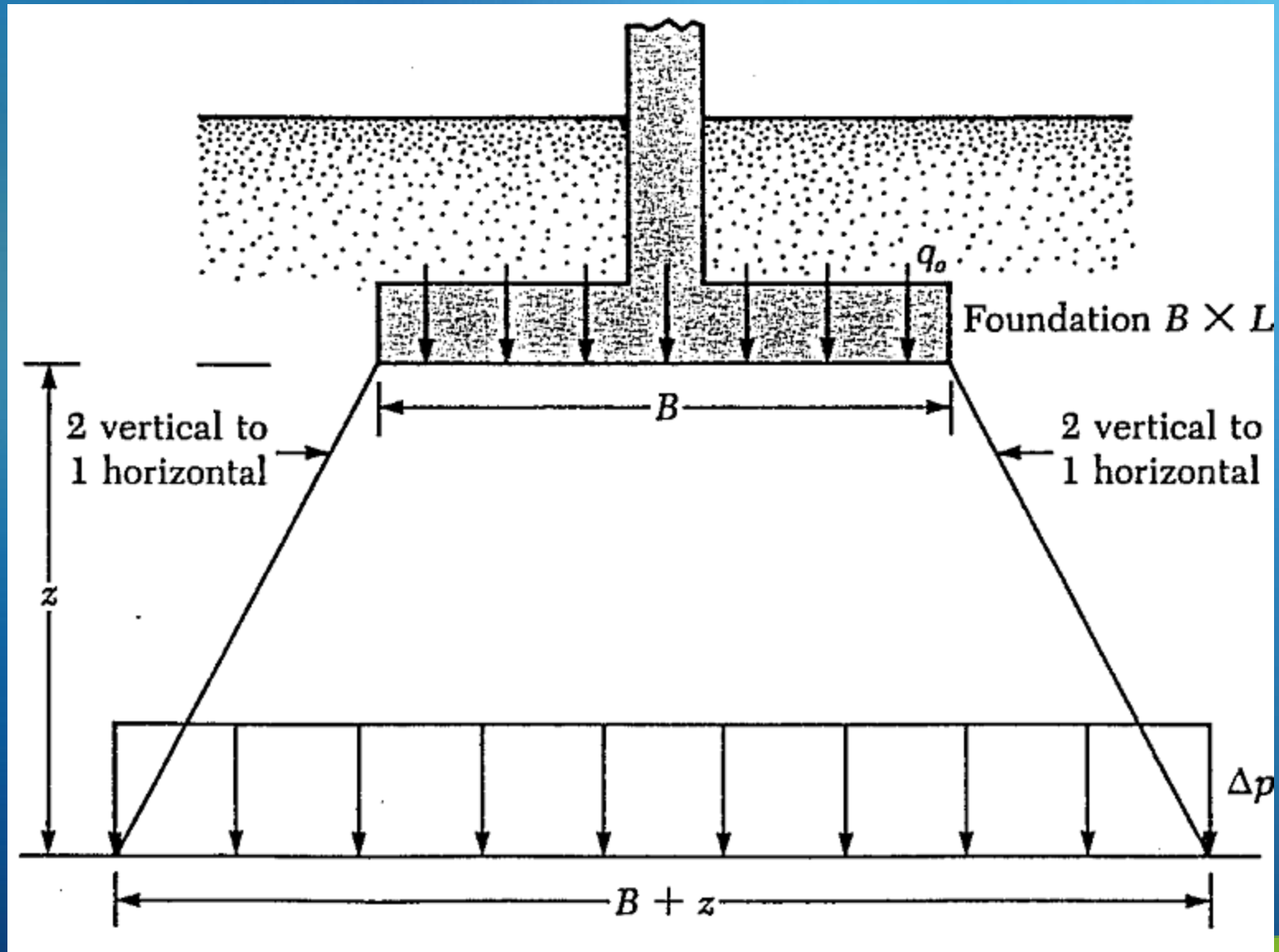
$$m = B/z$$

$$n = L/z$$

Distribusi Tegangan

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

Penurunan Konsolidasi



Contoh Kasus

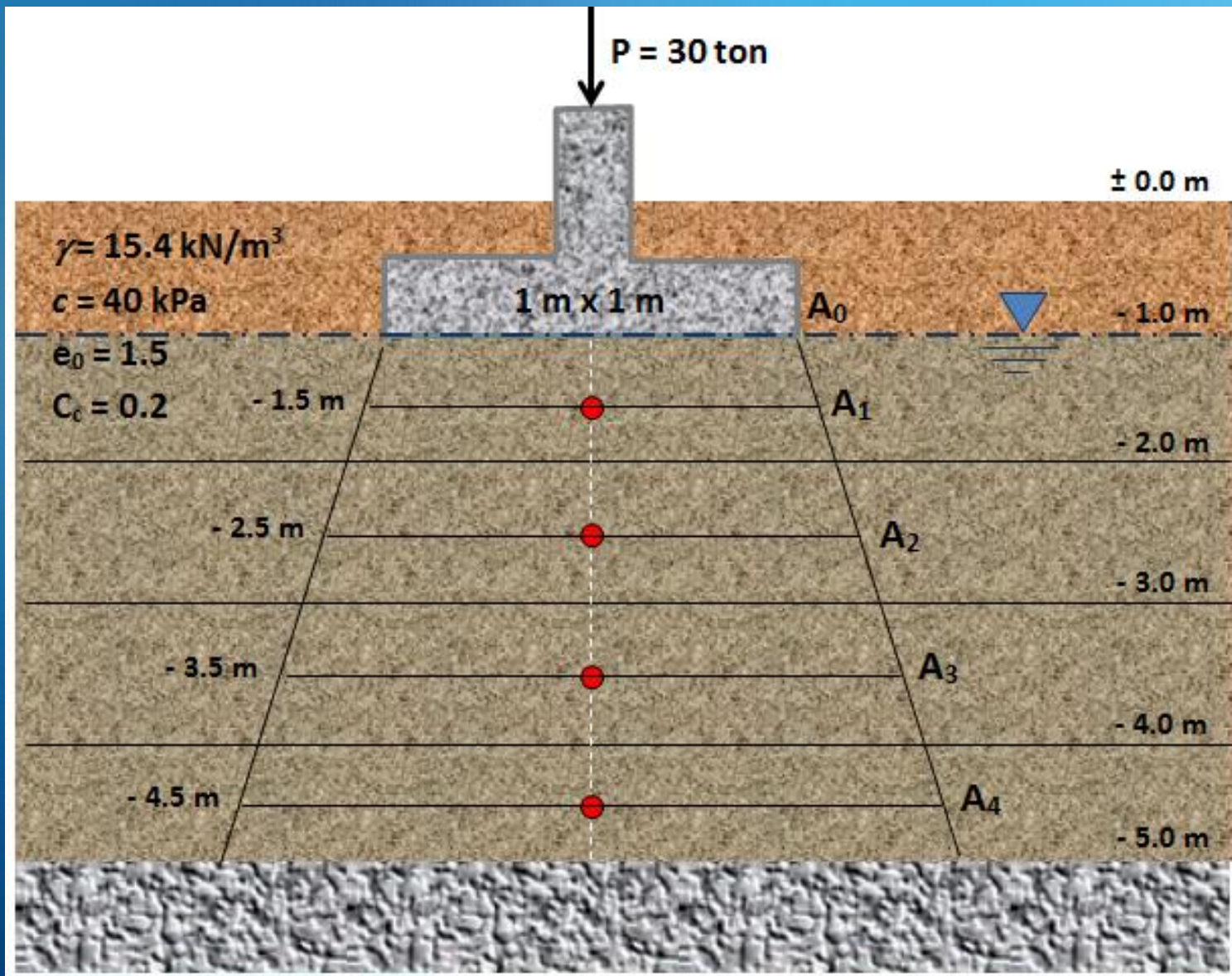
Sebuah fondasi berukuran 1m x 1m ditempatkan pada suatu tanah lempung pada kedalaman 1 meter dari muka tanah. Adapun muka air tanah ditemukan pada elevasi dasar fondasi, sehingga diasumsikan tanah lempung di bawah fondasi merupakan tanah lempung jenuh yang kompresibel. Lapisan tanah keras ditemukan tepat di bawah tanah lempung.

Parameter tanah lempung di lokasi ini disebutkan sebagai berikut:

Tebal lapisan lempung	=	5 m
Berat volume, γ	=	15.4 kN/m ³
Kohesi, c	=	40 kPa
Indeks kompresi, C_c	=	0.20
Angka pori, e_0	=	1.50
OCR	=	1

Melalui data ini akan ditentukan besarnya penurunan konsolidasi yang terjadi pada tanah lempung tersebut, bila fondasi akan dibebani sebesar 30 ton.

Contoh Kasus



Contoh Kasus

Untuk menentukan penurunan tanah, lapisan tanah lempung jenuh yang ditinjau dibagi menjadi beberapa sub-lapisan.

Dalam kasus ini, karena tanah yang mengalami konsolidasi adalah setebal 4 meter, maka tanah dibagi menjadi 4 sub-lapisan dengan ketebalan masing-masing sub-lapisan 1 meter.

Luas penampang awal tapak fondasi (sebelum dikoreksi):

$$\begin{aligned} A_0 &= B_0 \times L_0 \\ &= 1 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Contoh Kasus

Tinjau sub-lapisan 1: elevasi -1.0 m s/d -2.0 m

Bagian tengah sub-lapisan: elevasi -1.5 m, sehingga kedalaman ditinjau pada elevasi ini

$$z_1 = 1.5 \text{ m}$$

$$H_1 = 1 \text{ m}$$

Tegangan vertikal efektif pada elevasi ini sebelum pembebanan:

$$p_{01} = 1.5 \times (15.4 - 10)$$

$$= 8.1 \text{ kPa}$$

Contoh Kasus

Tekanan luar akibat beban luar yang bekerja pada elevasi ini:

$$\begin{aligned}\Delta p_1 &= P/A_1 \\ &= 300/6.25 \\ &= 48 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Estimasi penurunan konsolidasi yang terjadi pada sub-lapisan ini dengan asumsi tanah lempung terkonsolidasi normal:

$$\begin{aligned}S_c &= \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log \left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0} \right) \\ &= \frac{(0.2)(1)}{1 + 1.5} \log \left(\frac{8.1 + 48}{8.1} \right) \\ &= 0.112 \text{ m} \\ &= 112 \text{ mm}\end{aligned}$$

Contoh Kasus

Dengan langkah yang sama, dilakukan juga perhitungan untuk sub-lapisan berikutnya. Hasil perhitungan ditampilkan pada tabel di bawah berikut ini:

Elevasi Lapisan			Z (m)	p (kPa)	B' (m)	L' (m)	A' (m ²)	Δp (kPa)	S _c (m)
-1.0	s/d	-2.0	-1.5	8.1	2.5	2.5	6.25	48.00	0.112
-2.0	s/d	-3.0	-2.5	13.5	3.5	3.5	12.25	24.49	0.060
-3.0	s/d	-4.0	-3.5	18.9	4.5	4.5	20.25	14.81	0.034
-4.0	s/d	-5.0	-4.5	24.3	5.5	5.5	30.25	9.92	0.020
								Σ	0.226

Melalui tinjauan konsolidasi, diperoleh bahwa penurunan konsolidasi total pada tanah lunak kompresibel setebal 4 meter tersebut adalah sebesar 226 mm.

Terima Kasih
