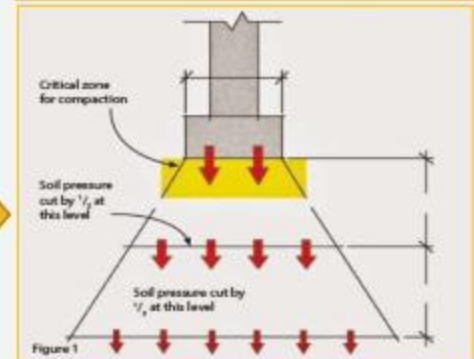
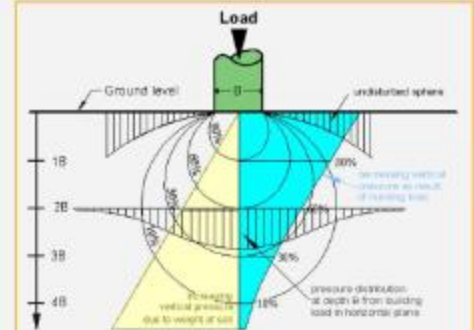
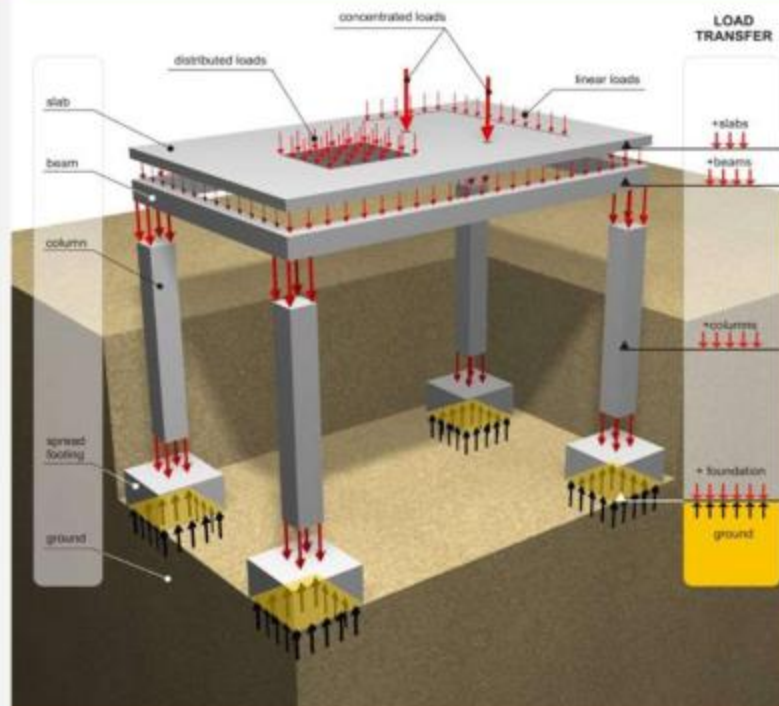


## MEKANIKA TANAH – TEORI & STUDI KASUS

# DISTRIBUSI TEGANGAN DALAM TANAH



MATERI DISAMPAIKAN OLEH :  
**HINAWAN T. SANTOSO, ST, MT**

## #PART - 1

- PENDAHULUAN, TEORI & KONSEP TEGANGAN
- TEORI BOUSSINESQ (B. TITIK, GARIS, LAJUR)

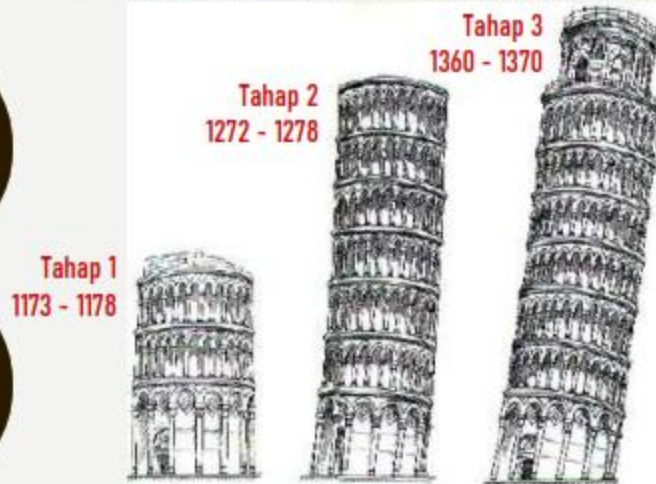
## ***Distribusi Tegangan Di Dalam Tanah***

- Pendahuluan
- Konsep Tegangan
- Cara Sederhana =  $2V : 1H$
- Cara Elastis =
  - ✓ Teori Boussinesq
  - ✓ Teori Newmark
  - ✓ Teori Wastergard
- Studi Kasus : Soal - Penyelesaian

# Pendahuluan



- Konstruksi Menara Pisa dimulai tahun 1173.
- Dihentikan tahun 1178.
- Studi menunjukkan bahwa tanah sebenarnya tidak dapat menahan beban yang lebih lanjut pada saat konstruksi.
- Konstruksi dimulai kembali pada tahun 1272 sd 1278.
- Konstruksi dilanjutkan tahun 1360 & selesai tahun 1370, dengan ketinggian 56.70 m.
- Kondisi menara miring ke arah Utara sebesar  $5,5^\circ$  sd tahun 1990. Tahun 1990 - 2001 dilakukan rekonstruksi, kemiringan saat ini  $3,99^\circ$ .

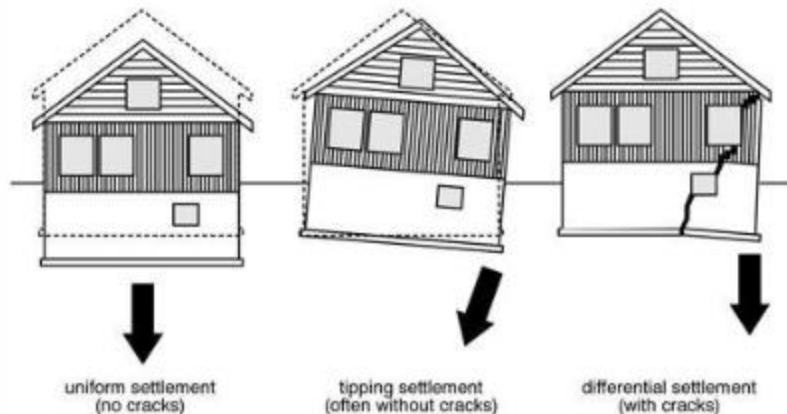




# Pendahuluan

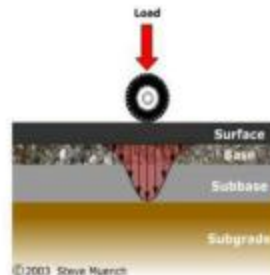
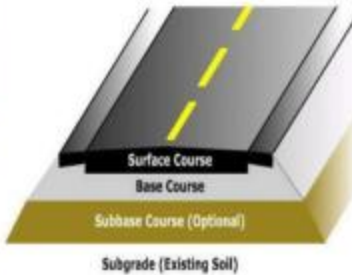


## Types of settlement

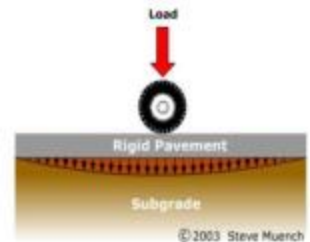
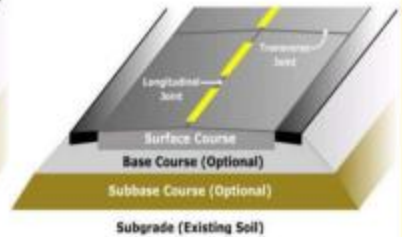


<http://www.ashireporter.org>

# Pendahuluan

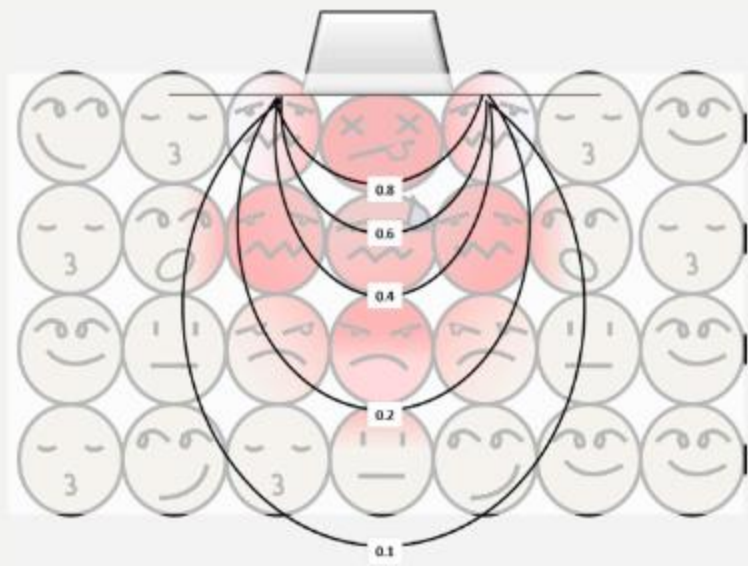
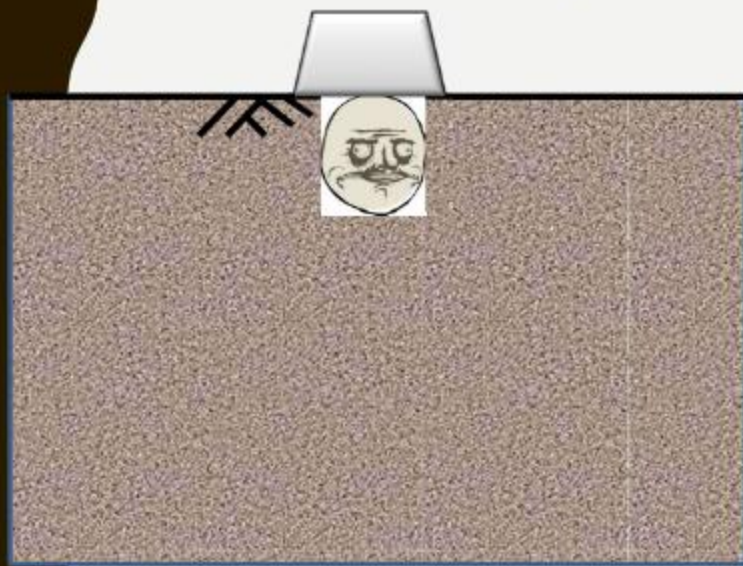


Flexible

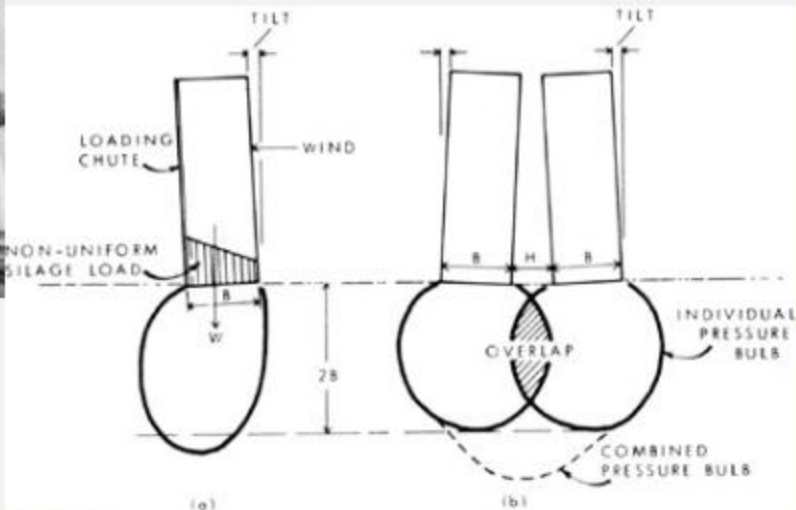
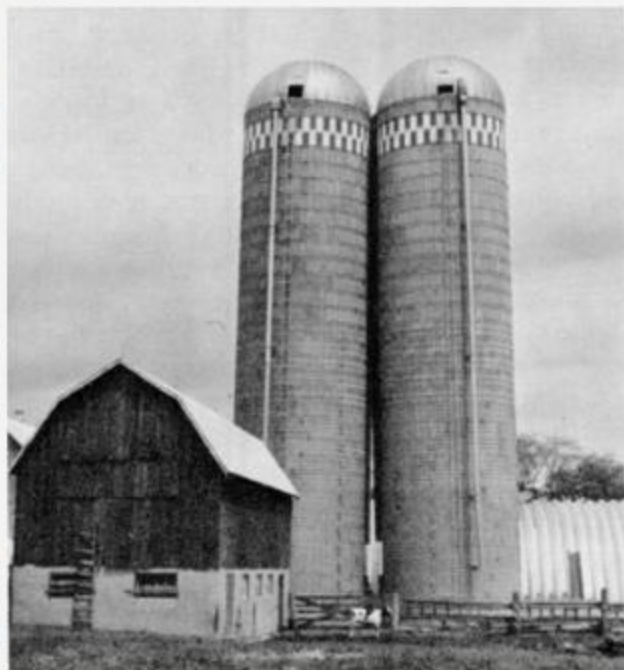


Rigid

- Pembebanan di atas tanah → bertambahnya tegangan dalam tanah
- Tegangan yang terjadi di dalam tanah perlu dianalisis untuk selanjutnya diketahui dampaknya terhadap deformasi tanah
- Penambahan tegangan dapat menyebabkan:
  - ✓ Proses konsolidasi pada lempung jenuh
  - ✓ Penurunan segera pada tanah pasir
  - ✓ Keruntuhan pada tanah



# Pendahuluan



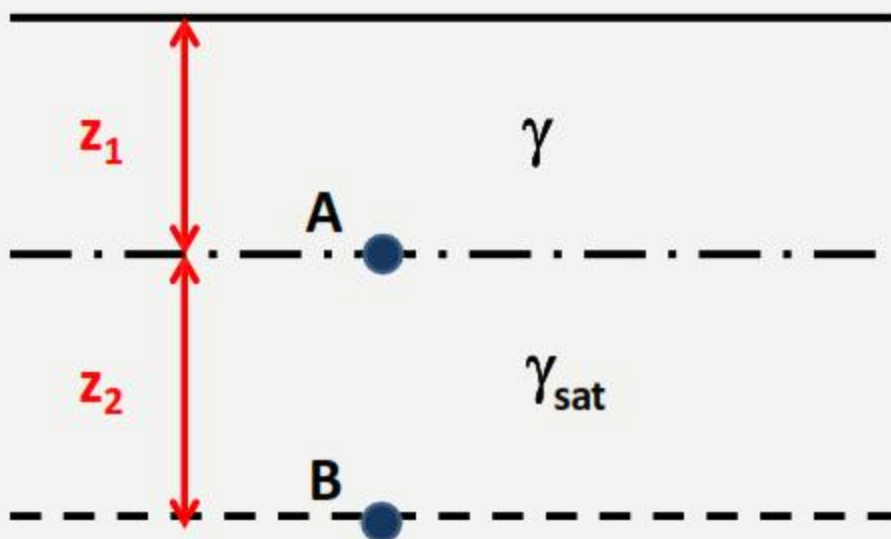


# Konsep Tegangan

- Tegangan (*stress*) merupakan besarnya suatu gaya yang bekerja pada suatu bidang yang memiliki luas tertentu, atau **gaya per satuan luas**.
- Distribusi tegangan merupakan **penyebaran tegangan** yang terjadi akibat **beban** (dalam tanah : **berat tanah di atasnya / beban luar**) terhadap kedalaman bidang titik yang ditinjau.
- **Semakin jauh** titik yang ditinjau akan menerima tegangan **semakin kecil**.



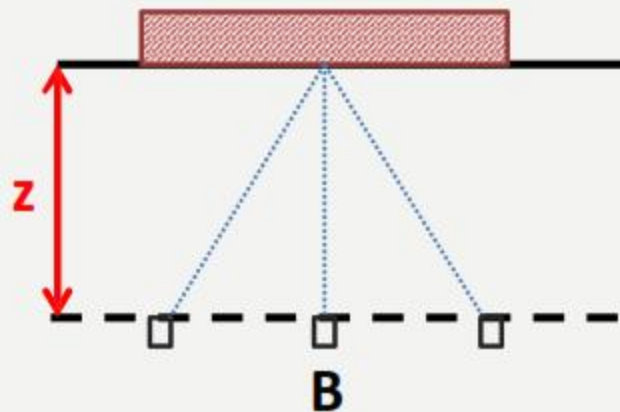
## A. Tegangan Tanah Akibat *BERAT SENDIRI*



$$\sigma_A = \gamma \times z_1$$

$$\sigma_B = (\gamma \times z_1) + (\gamma_{sat} \times z_2)$$

## B. Tegangan Tanah Akibat BEBAN LUAR



Besarnya tegangan pada sembarang titik di kedalaman tertentu akibat beban luar pada suatu media tertentu yang luas tak terhingga



**PENYEBARAN  
TEGANGAN**

Beban luar dapat berupa :

- Beban terpusat,
- Bentuk empat persegi
- Bentuk lingkaran
- Bentuk segitiga
- Bentuk trapesium dll

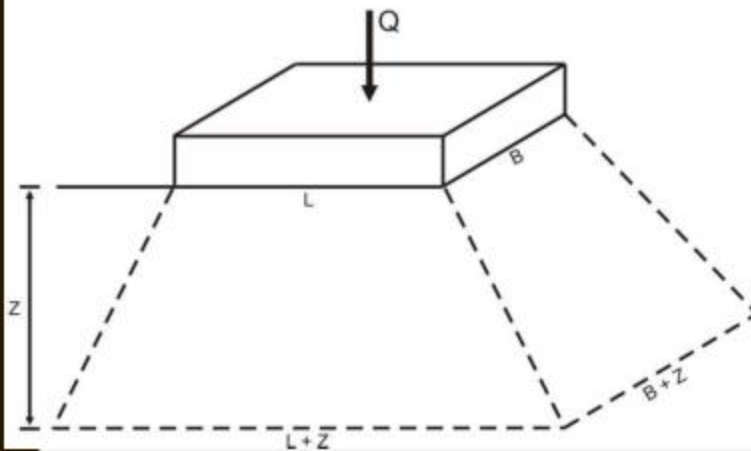
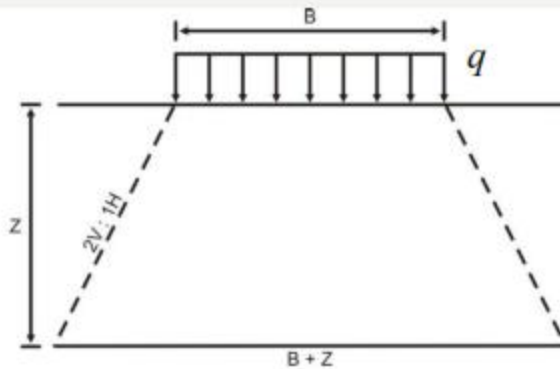
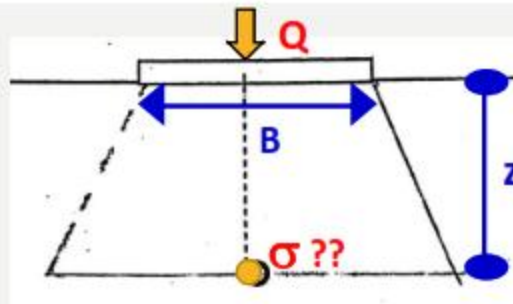
Analisis ditinjau arah vertikal –  
**tegangan vertikal :**

- Cara sederhana
- Cara elastis (Boussinesq, Wastergaard, Newmark)
- Finite element

## **CARA SEDERHANA : Metode Penyebaran Beban 2V : 1H**

- Merupakan cara yang paling sederhana untuk menghitung tegangan vertikal akibat suatu beban permukaan pada kedalaman tertentu.
- Makin ke bawah tegangan terdistribusi mengecil.
- Cara ini merupakan pendekatan empiris dengan anggapan bahwa bidang dimana beban bekerja bertambah luasnya secara sistematis terhadap kedalaman, terjadi tegangan makin kecil terhadap kedalaman.
- Secara sederhana, distribusi tegangan vertikal adalah 2 : 1





### Pondasi Lajur Memanjang

$$\Delta\sigma_z = \frac{qB}{B+z}$$

### Pondasi Empat Persegi Panjang

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{(L+z)(B+z)}$$

atau

$$\Delta\sigma_z = \frac{qLB}{(L+z)(B+z)}$$

Dengan:

- $\Delta\sigma_z$  = tambahan tegangan vertikal
- $Q$  = beban total pada dasar fondasi
- $q$  = beban terbagi rata pd dasar fondasi
- $L$  = panjang fondasi
- $B$  = lebar fondasi
- $z$  = kedalaman dari dasar fondasi

## TEORI ELASTIS

- Sifat tegangan – regangan dan penurunan pada tanah tergantung pada sifat tanah bila mengalami pembebanan.
- Tanah dianggap bersifat **elastis, homogen, isotropis** dan terdapat **hubungan linear antara tegangan – regangan**.

Regangan volumetrik pada material yang bersifat elastis dinyatakan oleh persamaan :

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1 - 2\mu}{E} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$$

- $\Delta V$  = perubahan volume
- $V$  = volume awal
- $\mu$  = rasio Poisson
- $E$  = modulus elastis
- $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  = tegangan-tegangan dalam arah x, y dan z

## TEORI BOUSSINESQ

- a) Tanah merupakan **elastis, isotropis dan homogen**.
- b) Perubahan volume tanah diabaikan.
- c) Tanah dianggap tak tertegang sebelum bekerjanya beban.
- d) Hubungan tegangan – regangan menurut **hukum Hooke**.
- e) Distribusi tegangan tanah akibat beban yang bekerja tidak tergantung jenis tanah.

Dalam perhitungan distribusi tegangan akibat beban struktur, tegangan yang terjadi biasanya dinyatakan dalam istilah **tambahan tegangan (*stress increment*)**, yaitu  $\Delta\sigma$ .

Karena sebenarnya tanah sudah mengalami tegangan sebelum beban struktur bekerja, yaitu tegangan akibat berat sendiri.



## Beban titik

Tambahan tegangan vertikal ( $\Delta\sigma_z$ ) pada suatu titik A di dalam tanah akibat beban titik Q di permukaan dinyatakan oleh persamaan :

$$\Delta\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi z^2} \left( \frac{1}{1 + (r/z)^2} \right)^{5/2} \quad \text{atau}$$

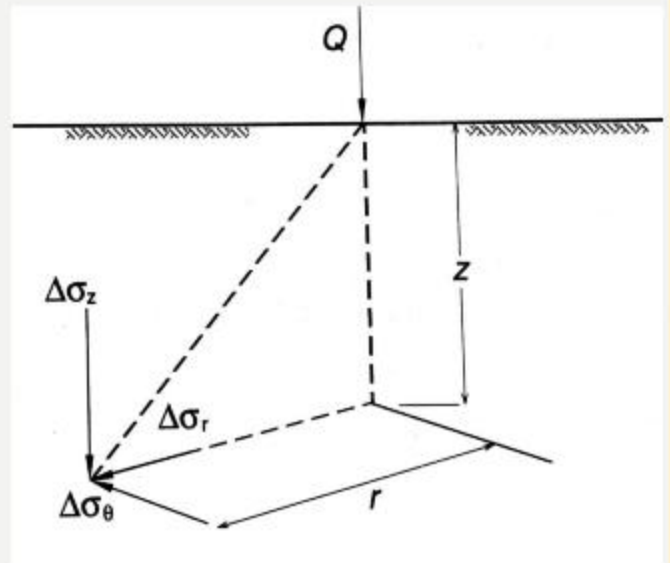
$$\Delta\sigma_z = \frac{Q(3z^3)}{2\pi(r^2 + z^2)^{5/2}}$$

Dimana :

Q = beban titik (tegak lurus permukaan)

z = kedalaman diukur dari permukaan tanah sampai titik yang ditinjau

r = jarak horizontal dari beban titik ke titik yang ditinjau tegangannya ( $\Delta\sigma_z$ )



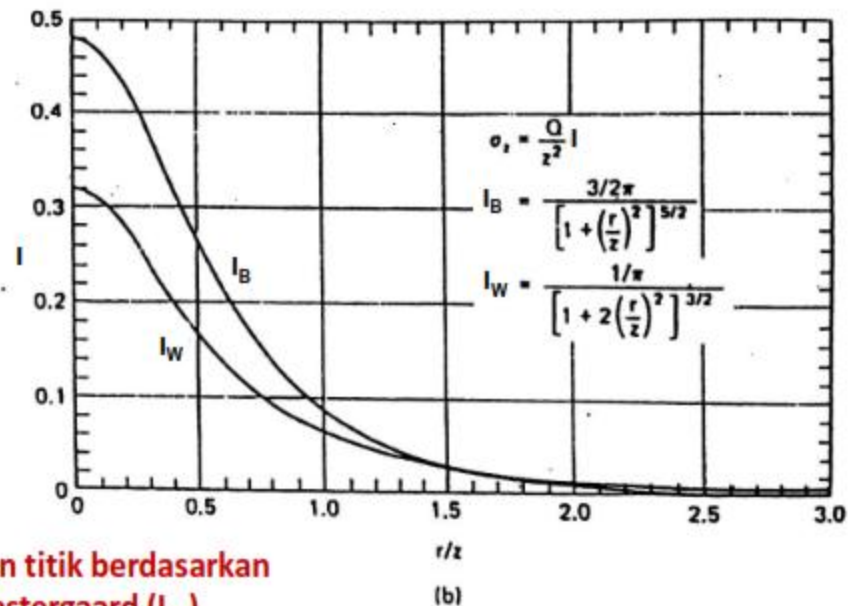
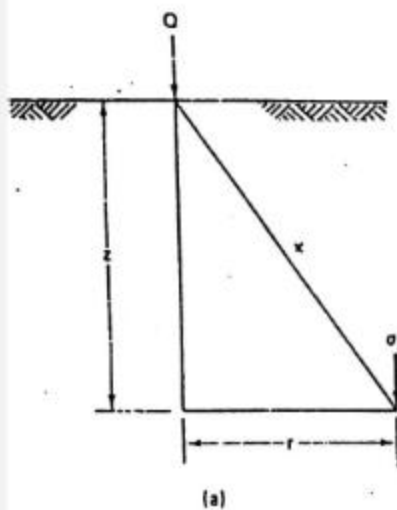
Jika faktor pengaruh untuk beban titik pada teori *Boussinesq* didefinisikan sebagai :

$$I_B = \frac{3}{2\pi} \left( \frac{1}{1 + (r/z)^2} \right)^{5/2}$$

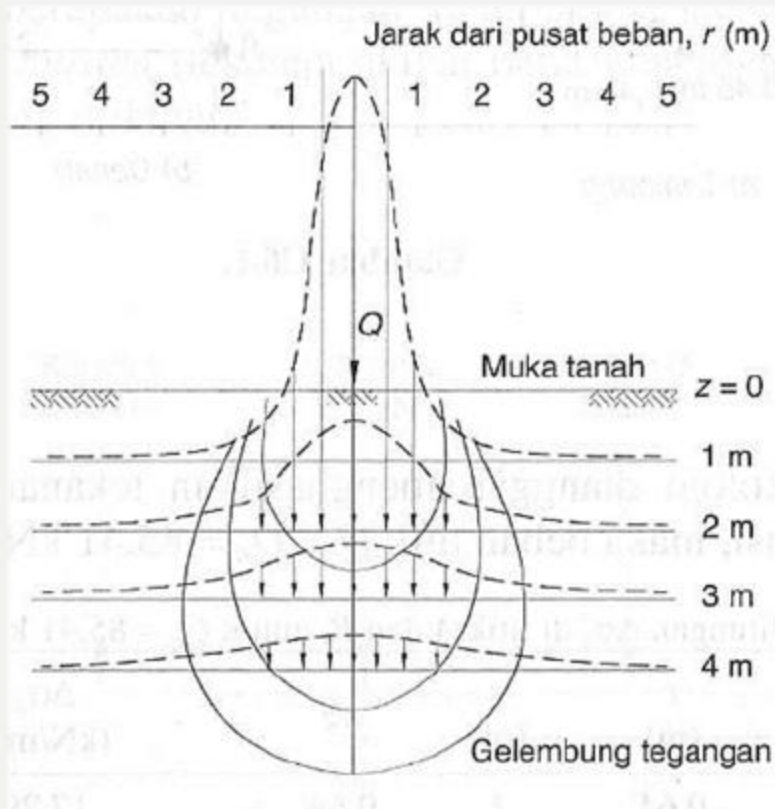
Maka dapat ditentukan bahwa :

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{z^2} I_B$$

Nilai  $I_b$  didapat dari grafik yang diperlihatkan pada gambar berikut :



Faktor pengaruh untuk beban titik berdasarkan teori Boussinesq ( $I_B$ ) dan Wastergaard ( $I_W$ )



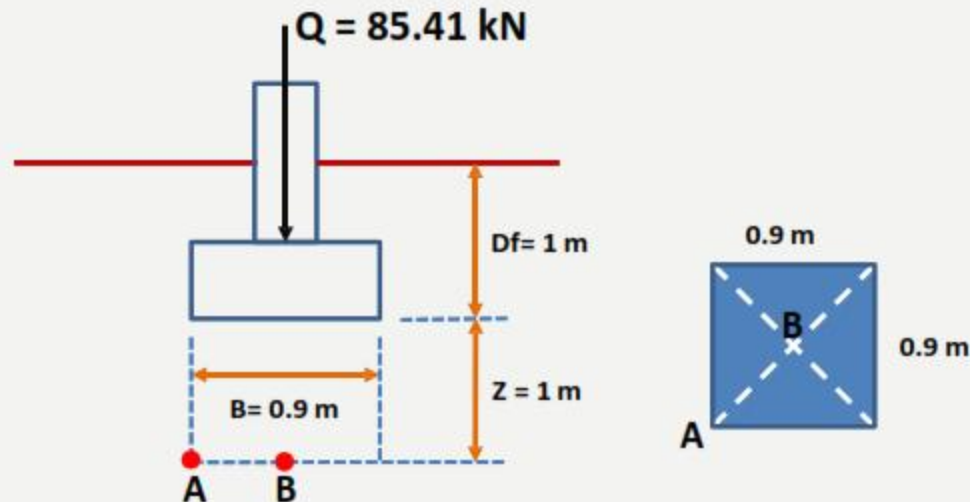
- Intensitas tambahan tegangan vertikal dapat diplot pada kedalaman tertentu.
- Penghubungan titik yang memiliki Tekanan sama akan menghasilkan gelembung tekanan (*pressure bulb*) atau isobar tegangan



**CONTOH SOAL 1:**

Pondasi tapak bujur sangkar lebar 0.9 m terletak pada kedalaman 1 m. Pondasi menahan beban titik dari kolom dengan  $Q = 85.41 \text{ kN}$ .

Hitung penambahan tegangan di bawah pusat pondasi (titik B) dan di sudut luasan (titik A) bila beban pondasi dianggap sebagai beban titik pada kedalaman 2 m dari permukaan tanah.



**PENYELESAIAN 1:**

$$\Delta\sigma_z = \frac{3Q}{2\pi z^2} \left( \frac{1}{1 + (r/z)^2} \right)^{5/2}$$

Karena beban kolom dianggap menghasilkan tekanan fondasi neto pada dasar fondasi, maka beban titik  $Q = Q_n = 85,41 \text{ kN}$

**Tabel C6.1** Hitungan  $\Delta\sigma_z$  di titik A dan B, untuk  $Q_n = 85,41 \text{ kN}$

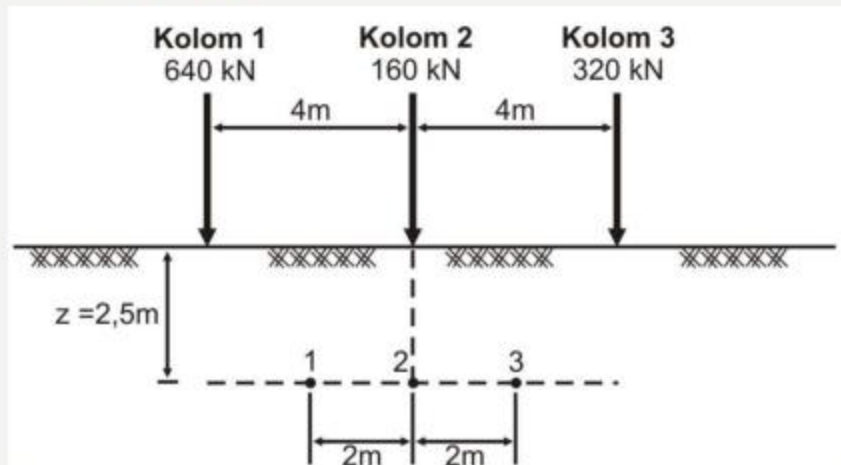
| Titik | $r$<br>(m) | $z$<br>(m) | $r/z$ | $\Delta\sigma_z$<br>(kN/m <sup>2</sup> ) |
|-------|------------|------------|-------|--|
| A     | 0,64       | 1          | 0,64  | 17,29                                    |
| B     | 0          | 1          | 0     | 40,78                                    |

Untuk titik A, jarak dari pusat beban :  $r = 0,45\sqrt{2} = 0,64 \text{ m}$   
 titik B, jarak dari pusat beban :  $r = 0 \text{ m}$

## CONTOH SOAL 2:

Tiga buah kolom terletak dalam satu baris, masing-masing mempunyai jarak 4 m. Beban pada kolom 1, 2 dan 3 berturut-turut adalah 640kN, 160kN, 320kN

- 1) Hitunglah tambahan tegangan vertikal yang terjadi pada kedalaman 2,5m di titik-titik yang diperlihatkan dalam gambar di bawah
- 2) Jika diketahui bahwa tanah homogen dengan berat volume basah  $18\text{kN/m}^3$ , berapakah tegangan total akibat beban kolom dan tekanan *overburden* (tekanan akibat berat tanah sendiri) pada masing-masing titiknya!



**PENYELESAIAN 2 :**

Untuk menentukan tegangan vertikal akibat tiap beban, perlu dihitung lebih dulu nilai  $r/z$  sebelum menentukan  $I$ . Tegangan vertikal dihitung dengan persamaan:

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{z^2} I_B$$

Tegangan yang ditinjau adalah pada kedalaman  $z = 2,5\text{m}$

Beban kolom 1:  $Q = 640\text{kN}$

| <u>Titik</u> | <u>r</u> | <u>r/z</u> | <u><math>I_B</math></u> | <u><math>\Delta\sigma_z</math> (kN/m<sup>2</sup>)</u> |
|--------------|----------|------------|-------------------------|---|
| 1            | 2        | 0,8        | 0,139                   | 14,2  |
| 2            | 4        | 1,6        | 0,020                   | 2,1   |
| 3            | 6        | 2,4        | 0,004                   | 0,4   |

Beban kolom 2:  $Q = 160\text{kN}$

| <u>Titik</u> | <u>r</u> | <u>r/z</u> | <u><math>I_B</math></u> | <u><math>\Delta\sigma_z</math> (kN/m<sup>2</sup>)</u> |
|--------------|----------|------------|-------------------------|---|
| 1            | 2        | 0,8        | 0,139                   | 3,60  |
| 2            | 0        | 0,0        | 0,478                   | 12,2  |
| 3            | 2        | 0,8        | 0,139                   | 3,60  |

Beban kolom 3:  $Q = 320\text{kN}$

| <u>Titik</u> | <u>r</u> | <u>r/z</u> | <u><math>I_B</math></u> | <u><math>\Delta\sigma_z</math> (kN/m<sup>2</sup>)</u> |
|--------------|----------|------------|-------------------------|---|
| 1            | 6        | 2,4        | 0,004                   | 0,2   |
| 2            | 4        | 1,6        | 0,020                   | 1,0   |
| 3            | 2        | 0,8        | 0,139                   | 7,1   |



**PENYELESAIAN 2 :**

1). Tegangan vertikal akibat beban kolom pada sembarang titik adalah:

$$\text{Titik 1: } \Delta\sigma_z = 14,2 + 3,6 + 0,2 = 18,0 \text{ kN/m}^2$$

$$2: \Delta\sigma_z = 2,1 + 12,2 + 1,0 = 15,3 \text{ kN/m}^2$$

$$3: \Delta\sigma_z = 0,4 + 3,6 + 7,1 = 11,1 \text{ kN/m}^2$$

2) Tekanan *overburden* pada kedalaman 2,5m:

$$\sigma_z = z\gamma_b = 2,5 \times 18 = 45 \text{ kN/m}^2$$

Tegangan total akibat kolom dan tekanan *overburden*, adalah jumlah dari  $\Delta\sigma_z$  masing-masing titik dengan tekanan *overburden* pada kedalaman  $z = 2,5\text{m}$ :

$$\text{Titik 1: } \sigma_z (\text{total}) = 45 + 18,0 = 63,0 \text{ kN/m}^2$$

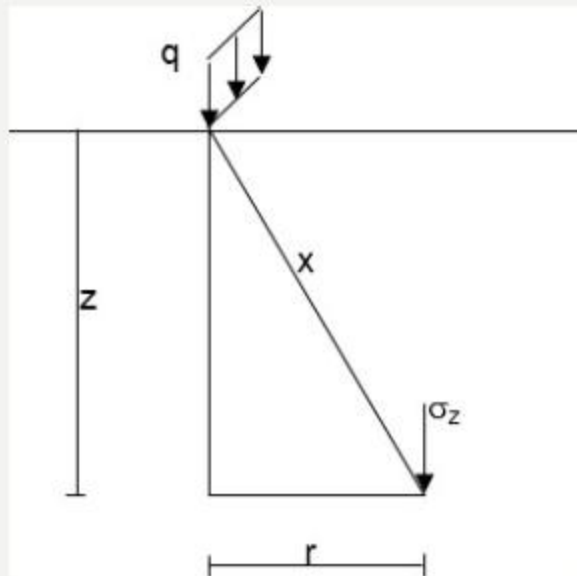
$$2: \sigma_z (\text{total}) = 45 + 15,3 = 60,3 \text{ kN/m}^2$$

$$3: \sigma_z (\text{total}) = 45 + 11,1 = 56,1 \text{ kN/m}^2$$

Karena hitungan tegangan dengan menggunakan teori Bussinesq mengabaikan berat tanahnya sendiri, maka untuk menghitung tegangan vertikal yang sebenarnya terjadi di dalam tanah, tegangan akibat beban fondasi harus ditambahkan dengan tegangan akibat berat tanahnya sendiri.

## Beban garis (line load)

Tambahan tegangan vertikal ( $\Delta\sigma_z$ ) di dalam tanah akibat beban garis  $q$  di permukaan dinyatakan oleh persamaan:



**Arah sumbu-z :**

$$\Delta\sigma_z = \frac{2q}{\pi} \frac{z^3}{x^4}$$

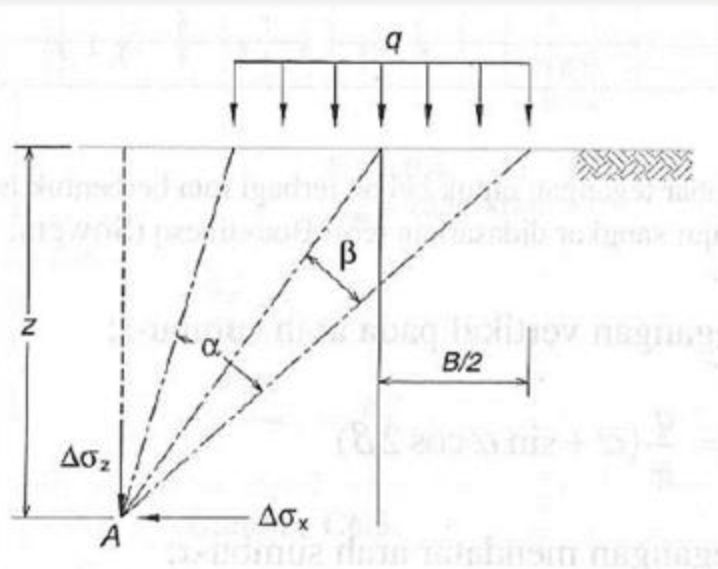
**Arah sumbu-x :**

$$\Delta\sigma_x = \frac{2q}{\pi} \frac{r^3 z}{x^4}$$

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

## Beban Terbagi Rata Memanjang

Tambahan tegangan vertikal ( $\Delta\sigma_z$ ) di dalam tanah akibat beban terbagi rata  $q$  di permukaan dinyatakan oleh persamaan:



**Arah sumbu-z :**

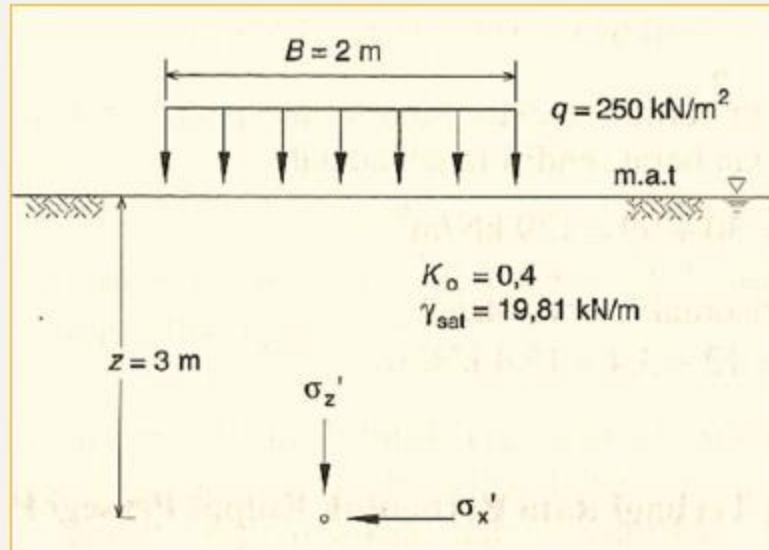
$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi} (\alpha + \sin \alpha \cos 2\beta)$$

**Arah sumbu-x :**

$$\Delta\sigma_x = \frac{q}{\pi} (\alpha - \sin \alpha \cos 2\beta)$$

**CONTOH SOAL 3:**

Sebuah pondasi lajur memanjang dengan lebar 2 meter seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



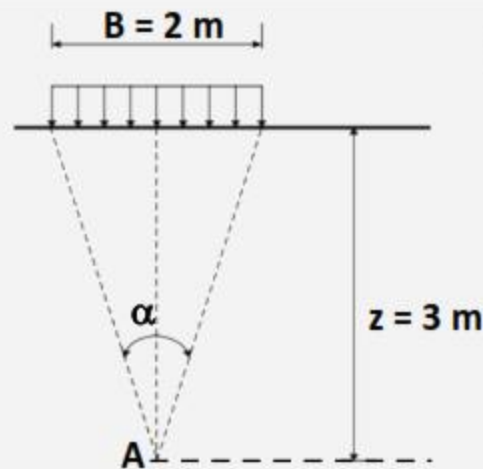
- Tentukan besarnya tegangan vertikal efektif dan lateral efektif pada titik di kedalaman 3 m di bawah pusat fondasi, sebelum dan sesudah pembebanan.

**PENYELESAIAN 3:**

Sebelum pembebanan ;

$$\begin{aligned}\sigma_z' &= (\partial_{\text{sat}} - \partial_w)z = (19,81 - 9,81) 3 = 30 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma_x' &= K_o \cdot \sigma_z' = 0,4 \times 30 = 12 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$



**PENYELESAIAN 3 :**

Sesudah pembebanan ;

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha = 1/3 = 0,33333 \quad \frac{1}{2} \alpha = 18,435^{\circ} \quad \alpha = 36,87^{\circ} = 0,205 \pi$$

Posisi titik A dibawah pusat fondasi maka sudut  $\beta = 0^{\circ}$ .

Tambahan tegangan vertikal pada titik A ;

$$\Delta \sigma_z = \frac{q}{\pi} (\alpha + \sin \alpha \cos 2\beta)$$

$$\Delta \sigma_z' = \frac{250}{3,14} (0,205 \times 3,14 + \sin 36,87^{\circ} \cos 0^{\circ}) = 79,618 (0,6437 + 0,6) = 99,021 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Tambahan tegangan arah lateral pada titik A ;

$$\Delta \sigma_x = \frac{q}{\pi} (\alpha - \sin \alpha \cos 2\beta)$$

$$\Delta \sigma_x' = \frac{250}{3,14} (0,205 \times 3,14 - \sin 36,87^{\circ} \cos 0^{\circ}) = 79,618 (0,6437 - 0,6) = 3,479 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Tegangan efektif pada titik A sedalam 3 meter dibawah pusat fondasi sesudah pembebanan,

$$\sigma_z' = \sigma_z + \Delta \sigma_z = 30 + 99,021 = 129,021 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_x' = \sigma_x + \Delta \sigma_x = 12 + 3,479 = 15,479 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Thank you!

**masdosen**



**STAY SMART, STAY SAFE & STAY HEALTH**