

Pertemuan IV , V, VI

III. Distribusi Tegangan Dalam Tanah.

III.1 Umum

Hitungan tegangann-tegangan yang terjadi didalam tanah berguna untuk analisis ;

- tegangan – regangan (*stress – strain*) pada tanah
- penurunan (*settlement*) yang terjadi pada tanah

Dalam hitungan tegangan dalam tanah, tanah dianggap bersifat elastis, homogen, isotropis, terdapat hubungan linier antara tegangan dan regangan, tegangan ini disebabkan ;

- beban yang bekerja dipermukaan tanah, ini berkurang jika kedalam bertambah.
- berat sendiri tanah, ini bertambah jika kedalaman bertambah.

Regangan volume pada material yang bersifat elastis dinyatakan oleh persamaan ;

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

dengan ;

ΔV	= perubahan volume	V	= volume
μ	= angka poisson	E	= modulus elastisitas
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	= tegangan-tegangan dalam ara x, y, z.		

Bila penurunan akibat beban terjadi pada kondisi tanpa drainase (*undrained*) atau volume tetap, maka $\Delta V/V = 0$, maka kondisi ini $\mu = 0,5$ dan jika pembebanan menyebabkan terjadi perubahan volume atau $\Delta V/V > 0$, maka $\mu < 0,5$.

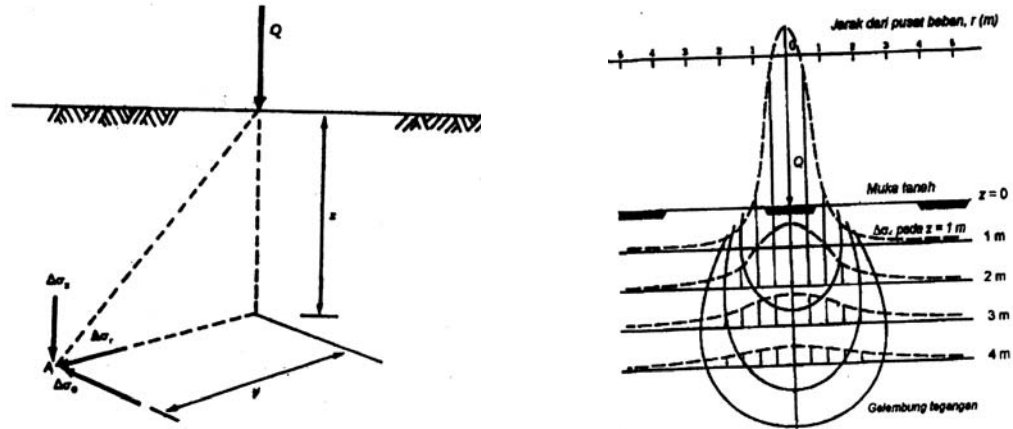
III.2 Teori Boussinesq.

1. Beban titik

Anggapan-anggapan ;

- Tanah merupakan bahan bersifat elastis, homogen, isotropis, dan semi tak berhingga.
- Tanah tidak mempunyai berat
- Hubungan tegangan dan regangan mengikuti hukum Hooke.
- Distribusi tegangan akibat beban tidak tergantung jenis tanah.
- Distribusi tegangan simetri terhadap sumbu vertikal (z)
- Perubahan volume tanah diabaikan
- Tanah tidak mengalami tegangan sebelum beban Q diterapkan.

Berdasarkan pengamatan, tegangan vertikal tidak tergantung pada E dan μ , sedangkan tekanan lateral bergantung pada μ dan tidak bergantung pada E . Sebelum beban struktur bekerja tanah sudah mengalami tegangan akibat tekanan *overburden* (σ), sedangkan tegangan yang diakibatkan oleh beban struktur dinyatakan dengan tambahan tegangan (*stress increment*) yaitu $\Delta\sigma$.



Gambar III.1 Tambahan tegangan dan distribusi tegangan dalam tanah akibat baban titik

Tambahan tegangan vertikal ($\Delta\sigma_z$) akibat beban titik dianalisis dengan meninjau sistem tegangan pada koordinat silinder. Tambahan tegangan vertikal ($\Delta\sigma_z$) pada titik A dalam tanah akibat bebab titik Q dipermukaan dinyatakan ;

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

Faktor pengaruh

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

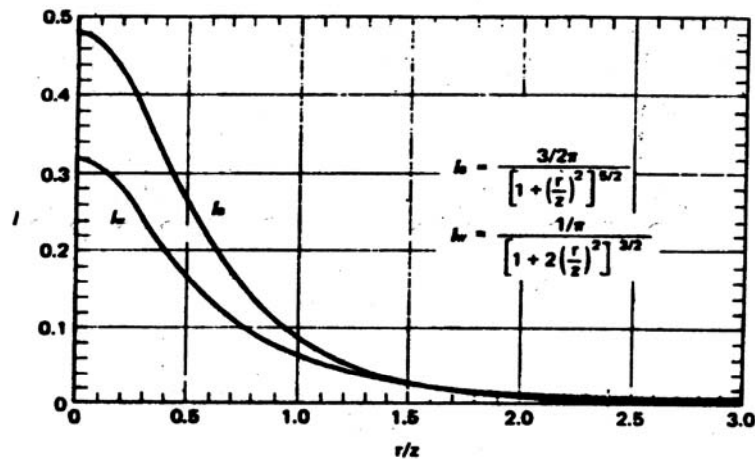
Sehingga tambahan tegangan vertikal dalam tanah menjadi ,

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

Nilai I_B disajikan juga dalam bentuk grafik (**Gambar III.2**), nilai faktor pengaruh beban titik I_B untuk Boussinesq, dan faktor pengaruh beban titik I_W untuk Wastergaard.

Tegangan geser yang terjadi akibat beban titik adalah ;

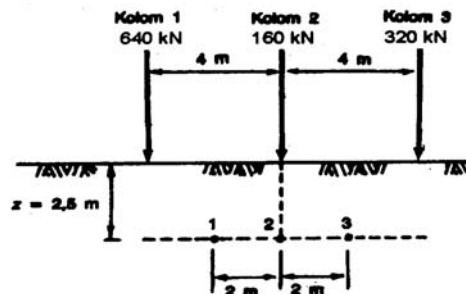
$$\tau_{rz} = \frac{3Q}{2\pi} \left(\frac{rz^2}{(r^2 + z^2)^{5/2}} \right)$$



Gambar III.2 Nilai faktor pengaruh teori Boussineq dan Westergaard (Taylor, 1948)

Contoh soal

Beban titik seperti (Gambar CIII-1) ;



Gambar CIII-1 Beban titik

- Hitung tambahan tegangan vertikal pada titik 1 2 dan 3
- Jika diketahui ρ_b tanah 18 kN/m³, hitung tegangan total pada titik 1 2 dan 3

Penyelesaian ;

- tegangan yang terjadi pada masing-masing titik akibat setiap beban adalah ;

Akibat beban kolom 1 (640 kN)

Titik	r (m)	r/z	I_B	$\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)
1	2	0,8	0,14	14,336
2	4	1,6	0,02	2,048
3	6	2,4	0,004	0,410

Akibat beban kolom 2 (160 kN)

Titik	r (m)	r/z	I_B	$\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)
1	2	0,8	0,14	3,584
2	0	0	0,48	12,288
3	2	0,8	0,14	3,584

Akibat beban kolom 3 (320 kN)

Titik	r (m)	r/z	I _B	$\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)
1	6	2,4	0,004	0,205
2	4	1,6	0,02	1,024
3	2	0,8	0,14	7,168

b. overburden adalah ;

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

tegangan total yang terjadi pada ;

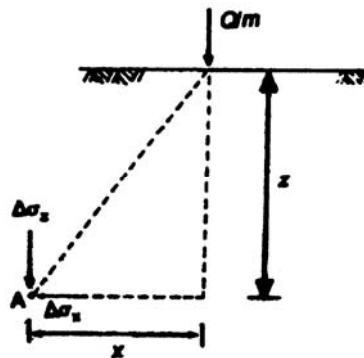
$$\text{Titik 1} = 45 + 14,336 + 3,584 + 0,205 = 63,125 \text{ kN/m}^2.$$

$$\text{Titik 2} = 45 + 2,048 + 12,288 + 1,024 = 60,392 \text{ kN/m}^2.$$

$$\text{Titik 3} = 45 + 0,410 + 3,584 + 7,168 = 56,162 \text{ kN/m}^2.$$

2. Beban garis

Tambahan tegangan akibat beban garis Q per satuan panjang pada sembarang titik dalam tanah dinyatakan oleh (**Gambar III.3**);



Gambar III.3 Tambahan tegangan akibat beban garis.

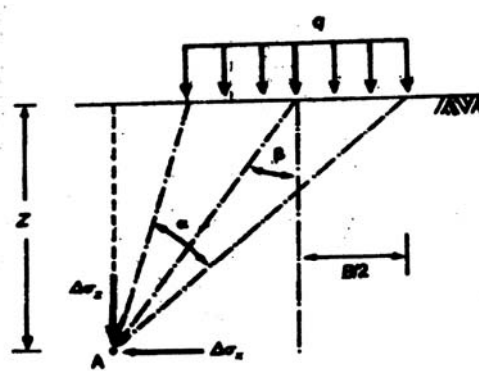
$$\Delta\sigma_z = \frac{2Q}{\pi} \frac{z^3}{(x^2 + z^2)^2} \quad (\text{arah sumbu } z)$$

$$\Delta\sigma_x = \frac{2Q}{\pi} \frac{x^2 z}{(x^2 + z^2)^2} \quad (\text{arah sumbu } x)$$

$$\tau_{xz} = \frac{2Q}{\pi} \frac{xz^2}{(x^2 + z^2)^2} \quad (\text{tegangan geser})$$

3. Beban terbagi rata berbentuk lajur memanjang

Tambahan tegangan pada titik A dalam tanah akibat beban terbagi rata q yang berbentuk lajur memanjang dipermukaan tanah dinyatakan oleh ;



Gambar III.4 Tambahan tegangan beban terbagi rata lajur memanjang.

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi}(\alpha + \sin\alpha \cos 2\beta) \text{ (tambahan tegangan vertikal pada arah sumbu z)}$$

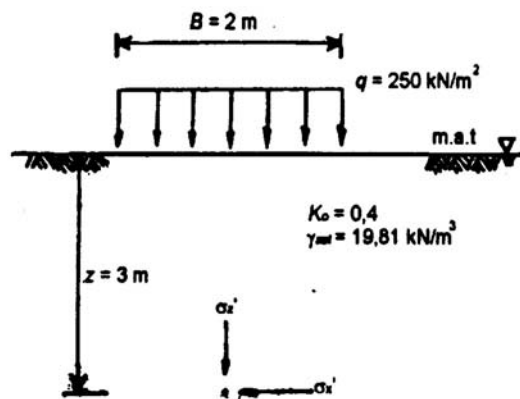
$$\Delta\sigma_x = \frac{q}{\pi}(\alpha - \sin\alpha \cos 2\beta) \text{ (tambahan tegangan mendatar pada arah sumbu x)}$$

$$\tau_{xz} = \frac{q}{\pi}(\sin\alpha \sin 2\beta) \text{ (tegangan geser)}$$

dengan, α dan β (dalam radian) yaitu sudut seperti ditunjukkan (**Gambar III.4**).

Contoh soal

Sebuah fondasi lajur memanjang dengan lebar 2 meter seperti (**Gambar CIII-2**).



Gambar CIII-2 Beban terbagi rata memanjang

Tentukan tegangan vertikal efektif dan tegangan lateral efektif pada titik kedalaman 3 m dibawah pusat fondasi **sebelum** dan **sesudah pembebanan**

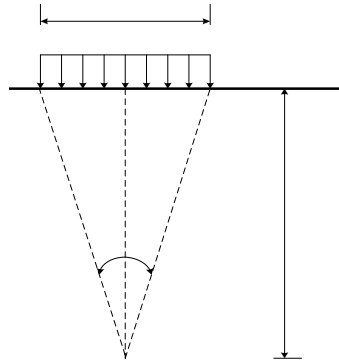
Penjelasan ;

Sebelum pembebanan ;

$$\sigma'_z = (\partial_{\text{sat}} - \partial_w)z = (19,81 - 9,81) 3 = 30 \text{ kN/m}^2.$$

$$\sigma_x' = K_0 \cdot \sigma_z' = 0,4 \times 30 = 12 \text{ kN/m}^2.$$

Sesudah pembebanan ;



Gambar CIII-3 Pengaruh beban terhadap titik A

Berdasarkan **Gambar CIII-3** dapat dihitung ;

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

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

Tambahan tegangan vertikal pada titik A ;

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

Tambahan tegangan arah lateral pada titik A ;

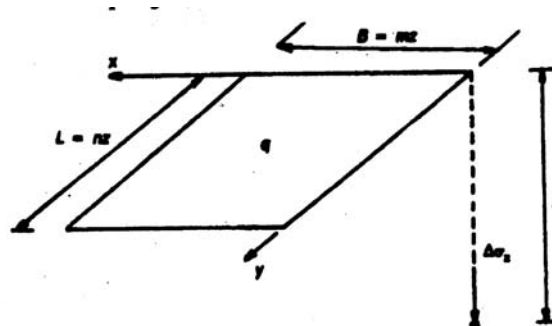
$$\Delta \sigma_x' = \frac{250}{3,14} (0,205 \times 3,14 - \sin 36,87^\circ \cos 0^\circ) = 79,618 (0,6437 - 0,6) = 3,479 \text{ kN/m}^2$$

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

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

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

4. Beban terbagi rata berbentuk empat persegi panjang.

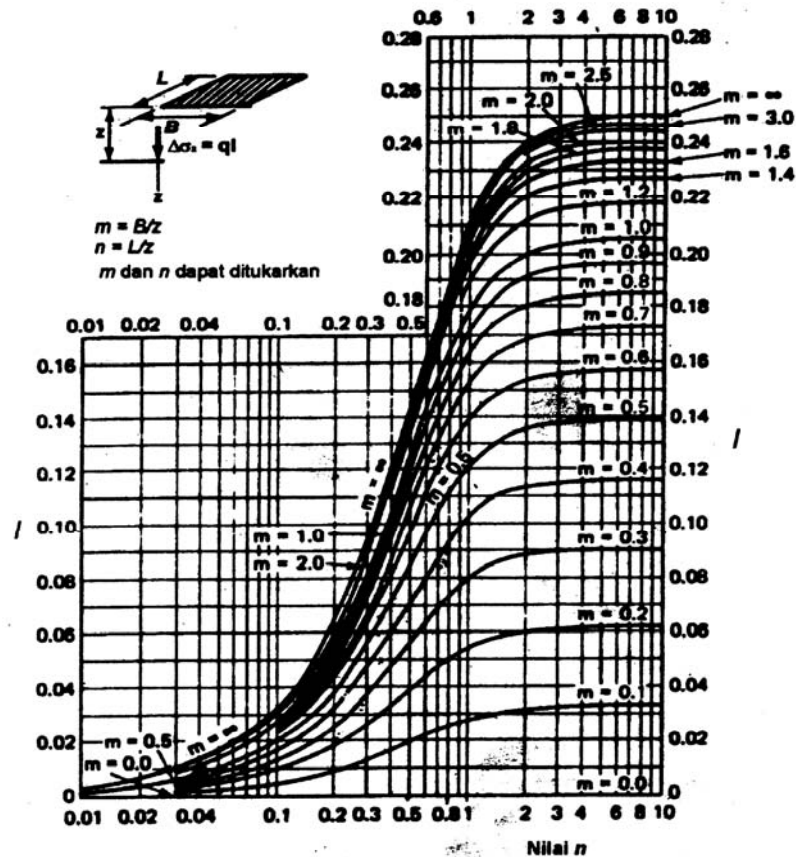


Gambar III.5 Beban terbagi rata berbentuk empat persegi panjang

Dari (Gambar III.5) diperoleh $B = mz$ dan $L = nz$, sedangkan $\Delta\sigma_z = qI$

$$I = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{2mn(m^2 + n^2 + 1)^{0.5}}{m^2 + n^2 + 1 + m^2n^2} \times \frac{(m^2 + n^2 + 2)}{(m^2 + n^2 + 1)} + \arctg \frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + 1 - m^2n^2} \right)$$

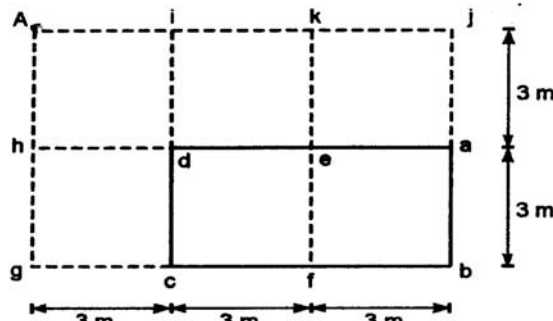
Nilai faktor pengaruh I untuk tegangan dibawah sudut luasan empat persegi panjang akibat beban terbagi rata q dapat dilihat pada (Gambar III.6) ;



Gambar III.6 Faktor pengaruh untuk beban luasan empat persegi dibawah sudut luasan

Contoh Soal

Fondasi empat persegi (3 x 6) m mengalami pembebanan terbagi rata 100 kN/m² seperti (Gambar CIII-4),



Gambar CIII-4 Beban dengan fondasi empat persegi panjang

Hitunglah ;

- Tambahan tegangan vertikal dibawah titik A, i dan titik k pada kedalaman 3 m
- Jika luasan decf ditambah beban 100 kN/m² lagi, hitung tambahan tegangan pada titik A, i dan k pada kedalaman 3 meter.

Penyelesaian ;

- perhatikan **Gambar CIII-4**,

$$\Delta\sigma_{z(A)} = \Delta\sigma_{z(Agjb)} - \Delta\sigma_{z(Ahja)} - \Delta\sigma_{z(Aigc)} + \Delta\sigma_{z(Aidh)}$$

$$\Delta\sigma_{z(i)} = \Delta\sigma_{z(ijcb)} - \Delta\sigma_{z(ijda)}$$

$$\Delta\sigma_{z(k)} = \Delta\sigma_{z(kjfb)} + \Delta\sigma_{z(kifc)} - \Delta\sigma_{z(kjea)} - \Delta\sigma_{z(keid)}$$

Luasan	Agjb	Ahja	Aigc	Aidh	ijcb	ijda	kjfb	kifc	kjea	keid
q (kN/m ²)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
L (m)	9	9	6	3	6	6	6	6	3	3
B (m)	6	3	3	3	6	3	3	3	3	3
z (m)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
m = B/z	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1
n = L/z	3	3	2	1	2	2	2	2	1	1
I	0,238	0,203	0,200	0,180	0,233	0,200	0,200	0,200	0,180	0,180
$\Delta\sigma_z = qI$ (kN/m ²)	23,800	20,300	20,000	18,000	23,300	20,000	20,000	20,000	18,000	18,000

$$\Delta\sigma_{z(A)} = 23,800 - 20,300 - 20,000 + 18,000 = 1,500 \text{ kN/m}^2.$$

$$\Delta\sigma_{z(i)} = 23,300 - 20,000 = 3,300 \text{ kN/m}^2.$$

$$\Delta\sigma_{z(k)} = 20,000 + 20,000 - 18,000 - 18,000 = 4,000 \text{ kN/m}^2.$$

- beban luasan dcef ditambah 100 kN/m² maka, penambahan beban pada A, i dan k adalah

$$\Delta\sigma_{z(A)} = \Delta\sigma_{z(Akfg)} - \Delta\sigma_{z(Akeh)} - \Delta\sigma_{z(Aicg)} + \Delta\sigma_{z(Aidh)}$$

$$\Delta\sigma_{z(i)} = \Delta\sigma_{z(ikfc)} - \Delta\sigma_{z(iked)}$$

$$\Delta\sigma_{z(k)} = \Delta\sigma_{z(kfci)} - \Delta\sigma_{z(kedi)}$$

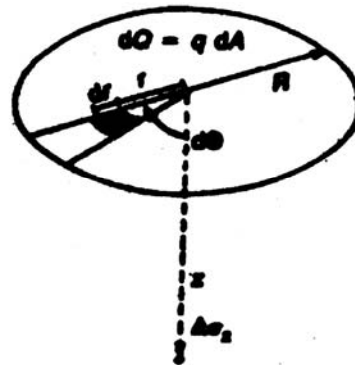
Luasan	Akfg	Akeh	Aicg	Aidh	ikfc	iked	kfci	kedi
q (kN/m ²)	100	100	100	100	100	100	100	100
L (m)	6	6	6	3	6	3	6	3
B (m)	6	3	3	3	3	3	3	3
z (m)	3	3	3	3	3	3	3	3
m = B/z	2	1	1	1	1	1	1	1
n = L/z	2	2	2	1	2	1	2	1
I	0,233	0,200	0,200	0,180	0,200	0,180	0,200	0,180
$\Delta\sigma_z = qI$ (kN/m ²)	23,300	20,000	20,000	18,000	20,000	18,000	20,000	18,000

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{z(A)} &= 23,300 & - 20,000 & - 20,000 & + 18,000 & = 1,300 \text{ kN/m}^2. \\ \Delta\sigma_{z(i)} &= 20,000 & - 18,000 & & & = 2,000 \text{ kN/m}^2. \\ \Delta\sigma_{z(k)} &= 20,000 & - 18,000 & & & = 2,000 \text{ kN/m}^2.\end{aligned}$$

Jadi beban pada titik A, i dan k pada kedalaman 3 meter menjadi ;

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{z(A)} &= 1,500 & + 1,300 & & = 2,800 \text{ kN/m}^2. \\ \Delta\sigma_{z(i)} &= 3,300 & + 2,000 & & = 5,300 \text{ kN/m}^2. \\ \Delta\sigma_{z(k)} &= 4,000 & + 2,000 & & = 6,000 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

5. Beban terbagi rata berbentuk lingkaran



Gambar III.7 Tegangan dibawah beban terbagi rata lingkaran.

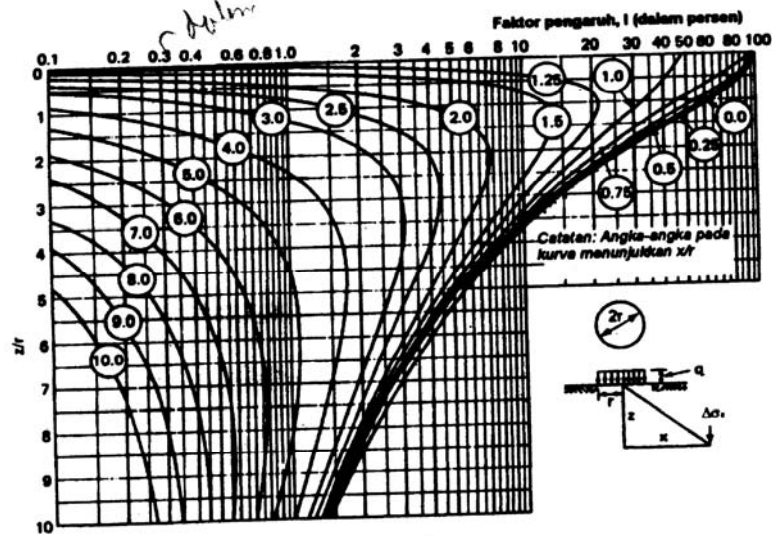
Karena $dA = r \, d\theta \, dr$, maka integrasi dari persamaan ini akan diperoleh tambahan tegangan dibawah pusat beban terbagi rata berbentuk lingkaran ;

$$\Delta\sigma_z = q \left(1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r}{z} \right)^2 \right]^{3/2}} \right) = qI$$

dengan ,

$$I = \left(1 - \frac{1}{\left[1 + (r/z)^2 \right]^{3/2}} \right)$$

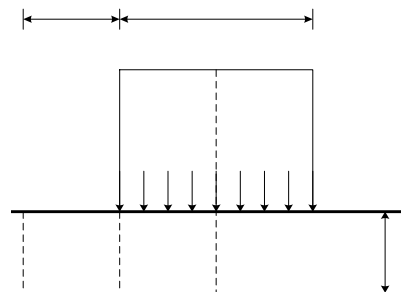
Nilai faktor pengaruh I untuk tambahan tegangan vertikal dibawah beban terbagi rata berbentuk lingkaran dapat menggunakan (**Gambar III.8**) dibawah ini ,



Gambar III.8 Faktor pengaruh I untuk beban lingkaran.

Contoh soal

Sebuah tangki dengan diameter 4 m mendukung beban terbagi rata $q = 120 \text{ kN/m}^2$ lihat (Gambar CIII-5),



Gambar CIII-5 Beban tangki

Hitunglah ;

- Tambahan tegangan dibawah pusat tangki kedalaman 2 m (titik A)
- Tambahan tegangan dibawah tepi tangki kedalaman 2 m (titik B)
- Tambahan tegangan sejarak 4 m dari pusat tangki kedalaman 2 m (titik C)

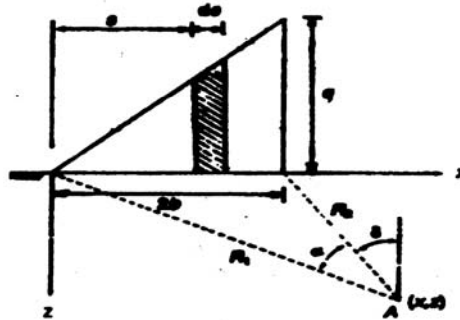
Penyelesaian ;

Penyelesaian dapat dilakukan dengan cara tabelaris ;

Titik	z (m)	r (m)	x (m)	z/r	x/r	I	q (kN/m ²)	$\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)
A	2	2	0	1	0	0,64	120	76,80
B	2	2	2	1	1	0,33	120	39,60
C	2	2	4	1	2	0,04	120	4,80

6. Beban terbagi rata berbentuk segi tiga memanjang tak berhingga

Beban terbagi rata segitiga memanjang tak berhingga fleksibel diperlihatkan sebuah penampang segitiga dengan alas $2b$ dan tinggi q (**Gambar III. 9**),



Gambar III.9 Tegangan akibat beban terbagi rata segi tiga memanjang.

Tambahan tegangan vertikal yang terjadi pada titik A adalah ;

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{2\pi} \left(\frac{x}{b} \alpha - \sin 2\delta \right) \text{ (tambahan tegangan arah vertikal)}$$

$$\Delta\sigma_x = \frac{q}{2\pi} \left(\frac{x}{b} \alpha - 2,303 \frac{z}{b} \log \frac{R_1^2}{R_2^2} + \sin 2\delta \right) \text{ (tambahan tegangan arah sumbu x)}$$

$$\tau_{xz} = \frac{q}{2\pi} \left(1 + \cos 2\delta - \frac{z}{b} \alpha \right) \text{ (tegangan geser)}$$

dengan ;

b = $\frac{1}{2}$ lebar alas penampang segitiga

q = (tinggi timbunan) x (berat volume tanah timbunan)

α, δ = sudut yang ditunjukkan dalam **Gambar III.9**

Contoh soal

Sebuah timbunan memanjang dengan penampang segitiga dimana alas segitiga 4 m, dan $q = 150 \text{ kN/m}^2$, hitunglah

- Tegangan pada titik A sedalam 3 m berjarak 2 m dari sisi tegak segitiga arah keluar.
- Tegangan pada titik B sedalam 3 m berjarak 2 m dari sisi tegak segitiga arah kedalam.

Penyelesaian ;

a. Dari **Gambar CIII-6** diperoleh,

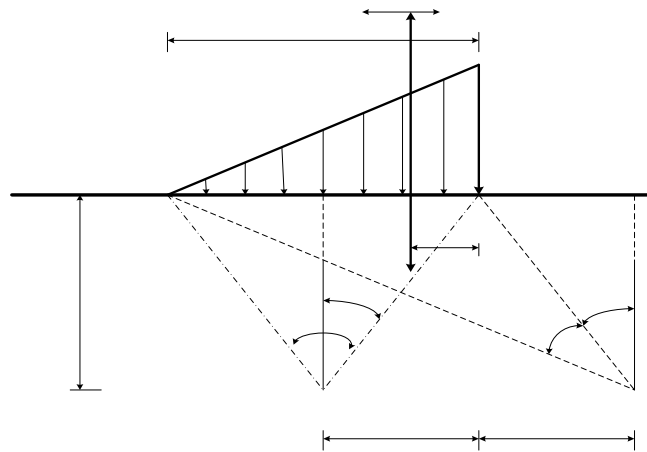
$$\text{tg } \delta_A = 2/3 = 0,66666$$

$$\delta_A = \text{arc tg } 0,66666 = 33,69^\circ$$

$$\text{tg } (\alpha_A + \delta_A) = 6/3 = 2$$

$$\alpha_A + \delta_A = \text{arc tg } 2 = 63,44^\circ$$

$$\alpha_A = 63,44^\circ - 33,69^\circ = 29,75^\circ = 29,75^\circ / 180^\circ (\pi) = 0,165 \pi$$



Gambar CIII-6 Pembebanan segitiga memanjang

$$\Delta\sigma_z(A) = \frac{150}{2 \times 3,14} \left(\frac{\left(\frac{1}{3} \times 4 + 2 \right)}{2} 0,165 \times 3,14 - \sin(2 \times 33,69^\circ) \right) = 23,885(0,8635 - 0,9231) = -1,42 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{b. } \text{tg}(-\delta_B) = 2/3 = 0,66666 \quad -\delta_B = 33,69^\circ \quad \delta_B = -33,69^\circ$$

$$\text{tg } \alpha_B(1) = 2/3 = 0,66666 \quad \alpha_B(1) = 33,69^\circ$$

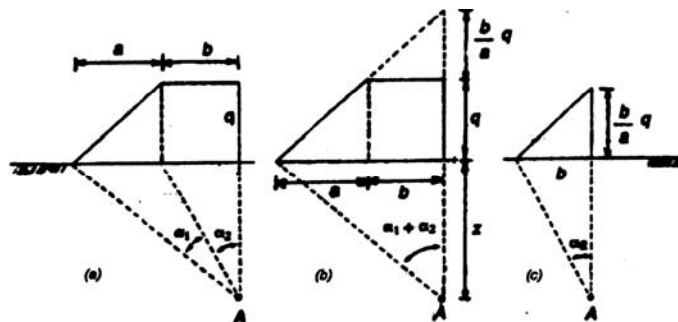
$$\text{tg } \alpha_B(2) = 2/3 = 0,66666 \quad \alpha_B(2) = 33,69^\circ$$

$$z = 3 \text{ m}$$

$$\text{maka } \alpha_B = \text{tg } \alpha_B(1) + \text{tg } \alpha_B(2) = 67,38^\circ = 0,374 \pi$$

$$\Delta\sigma_z(B) = \frac{150}{2 \times 3,14} \left(\frac{(-2 + 1,33)}{2} 0,374 \times 3,14 - \sin 2 \times (-33,69^\circ) \right) = 23,885(-0,3934 + 0,9231) = 12,65 \text{ kN/m}^2$$

7. Beban terbagi rata berbentuk trapesium memanjang tak berhingga



Gambar III.10 Tambahan tegangan vertikal beban trapesium

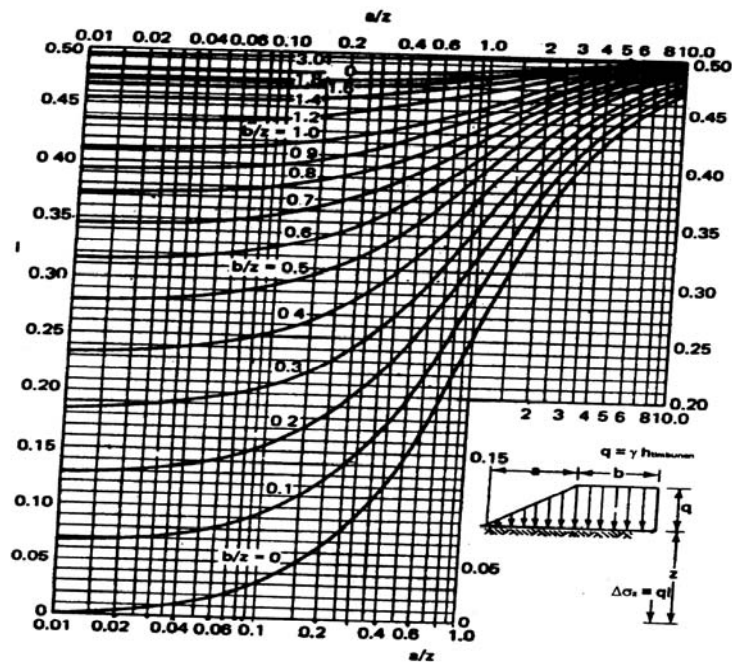
Tegangan pada titik A (**Gambar III.10a**) = tegangan pada titik A (**Gambar III.10b**) –
tegangan pada titik A (**Gambar III.10c**)

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi} \left(\left\{ \frac{a+b}{a} \right\} (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{b}{a} \alpha_2 \right) = qI$$

Dimana

$$I = \frac{1}{\pi} \left(\left\{ \frac{a+b}{a} \right\} (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{b}{a} \alpha_2 \right)$$

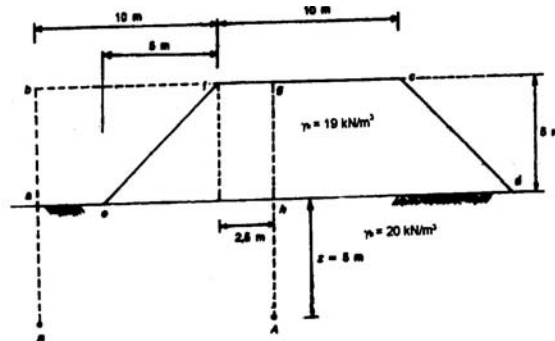
Nilai faktor pengaruh untuk berbagai a/z dan b/z dapat dilihat pada gambar dibawah ini ;



Gambar III.11 Grafik faktor pengaruh beban trapesium.

Contoh soal,

Suatu timbunan berbentuk trapesium memanjang seperti **Gambar CIII-7**,



Gambar CIII-7 Pembebanan trapesium memanjang

- Hitunglah tambahan tegangan dititik A dan titik B pada kedalaman 5 meter.
- Jika tanah dasar memiliki $\partial_b = 19 \text{ kN/m}^3$, hitung tegangan total pada titik A dan titik B

Penyelesaian ;

Dari **gambar CIII-7** tanah timbunan $q = \partial_b \cdot 5 = 19 \times 5 = 95 \text{ kN/m}^2$.

$$\Delta\sigma_z(A) = \Delta\sigma_z(efgh) + \Delta\sigma_z(cdgh)$$

$$\Delta\sigma_z(B) = \Delta\sigma_z(abcd) - \Delta\sigma_z(abef)$$

Luasan	efgh	cdgh	abfe	abcd
q (kN/m ²)	95	95	95	95
b (m)	2,5	7,5	5	20
a (m)	5	5	5	5
z (m)	5	5	5	5
a/z	1	1	1	1
b/z	0,5	1,5	1	4
I	0,397	0,478	0,455	0,500
$\Delta\sigma_z = qI$ (kN/m ²)	37,715	45,410	43,225	47,500

$$\Delta\sigma_z(A) = 37,715 + 45,410 = 83,125 \text{ kN/m}^2$$

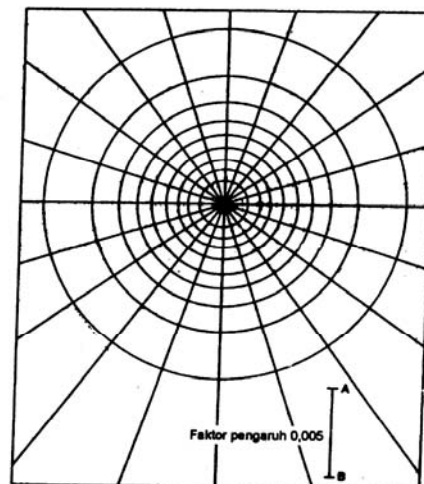
$$\Delta\sigma_z(B) = 47,500 - 43,225 = 4,275 \text{ kN/m}^2$$

III.3 Teori Newmark.

Dari rumus tambahan beban vertikal dari beban terbagi rata berbentuk lingkaran dapat juga ditulis sebagai berikut ;

$$\frac{r}{z} = \sqrt{\left(1 - \frac{\Delta\sigma_z}{q}\right)^{-2/3} - 1}$$

Dimana nilai r/z dan $\Delta\sigma_z/q$ merupakan besaran tak berdimensi. Berdasarkan rumus diatas Newmark membuat diagram pengaruh untuk menentukan besarnya tambahan tegangan vertikal dibawah luasan beban terbagi rata.



Gambar III.12 Diagram pengaruh tambahan tegangan vertikal (Newmark)

Jari-jari lingkaran adalah nilai r/z , yaitu untuk $\Delta\sigma_z/q = 0, 0,1, 0,2, \dots, 1$. seluruhnya 9 lingkaran. Panjang AB = panjang satuan untuk menggambarkan lingkaran. Lingkaran dibagi oleh garis-garis dengan titik pusat yang sama. Nilai pengaruh = $1/n$, dengan n adalah jumlah elemen yang terpotong oleh garis lewat pusat lingkaran dengan lingkarannya. Terdapat 200 elemen, maka nilai faktor pengaruh adalah $1/200$ atau 0,005. Untuk menentukan besarnya tegangan vertikal pada kedalaman tertentu dibawah pondasi dilakukan cara sebagai berikut ;

1. Tentukan kedalaman z yang akan dihitung tambahan tegangannya. Buat $z = AB$. Jika $z = 5$ m, maka panjang AB dalam grafik adalah 5 m.
2. Gambarkan denah pondasi dengan skala panjang sesuai dengan panjang satuan garis AB. Artinya jika panjang pondasi = $L = 10$ m dan lebar = $B = 5$ m, maka gambarkan $L = 10/5$ m = 2 m, dan lebar = $5/5 = 1$ m kali AB.
3. Denah pondasi diletakan sedemikian rupa sehingga proyeksi titik tegangan pada denah pondasi yang akan ditentukan tegangannya, berimpit dengan pusat lingkarn Newmark.
4. Hitung jumlah elemen yang tertutup oleh denah pondasi , misalnya n elemen.
5. Tambahkan tegangan pada kedalaman z , dihitung dengan menggunakan persamaan ;

$$\Delta\sigma_z = n \cdot q \cdot I$$

dengan ;

- q = beban terbagi rata pada pondasi
- n = jumlah elemen yang tertutup denah pondasi
- I = faktor pengaruh.

Cara newmark cocok untuk pondasi dengan bentuk dan ukuran sembarang, sejauh denah pondasi masih dapat digambarkan pada diagram dengan skala yang sama.

Contoh soal,

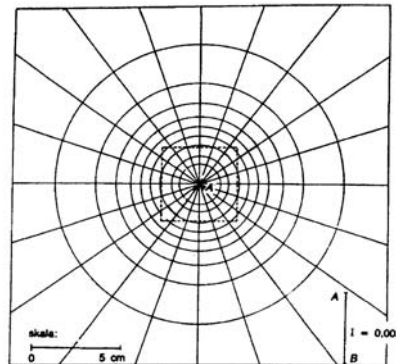
Hitung besarnya tambahan tegangan vertikal dipusat berat (titik A) akibat beban fondasi (3×3) m^2 yang mendukung beban terbagi rata 100 kN/m^2 kedalaman 3 m, gambarkan garis pengaruh lingkaran Newmark.

Penyelesaian ;

Untuk menggambarkan lingkaran Newmark, diambil panjang skala AB tertentu, misalnya AB = 4 cm, Jari-jari tiap lingkaran diperoleh dengan mengalikan jari-jari relatif (r/z) dengan 4 cm,

Nomor Lingkaran	$\frac{\Delta\sigma_z}{q}$	Jari-jari relatif r/z	Jari-jari lingkaran (untuk AB = 4 cm)
0	0,00	0,00	0,00
1	0,10	0,27	1,08
2	0,20	0,40	1,60
3	0,30	0,52	2,07
4	0,40	0,64	2,55
5	0,50	0,77	3,07
6	0,60	0,92	3,67
7	0,70	1,11	4,44
8	0,80	1,39	5,55
9	0,90	1,91	7,63
	1,00	#DIV/0!	#DIV/0!

Gambarkan lingkaran Newmark dengan ukuran jari-jari lingkaran pada tabel diatas. Hitungan tambahan tegangan dibawah titik A pada kedalaman 3 m (300 cm), dilakukan dengan memasang titik A pada pusat lingkaran Newmark (**Gambar CIII-8**).



Gambar CIII-8 Lingkaran Newmark

Karena AB = 4 cm, kedalaman 3 m, maka ukuran fondasi pada lingkaran Newmark adalah ;

$$B = 3 \text{ m} \quad \text{menjadi } (AB/z)B = (4/300) 300 = 4 \text{ cm}$$

$$L = 3 \text{ m} \quad \text{menjadi } (AB/z)L = (4/300) 300 = 4 \text{ cm}$$

Dari gambar elemen yang tertutup fondasi $n = 66,4$; maka tambahan tegangan vertikal dipusat fondasi sedalam 3 m adalah ;

$$\Delta\sigma_z = nql = 66,4 \times 100 \times 0,005 = 33,2 \text{ kN/m}^2$$

III.4 Teori Westergaard.

Teori westergaard lebih cocok untuk tanah berlapis, hasil tegangan yang dihitung lebih kecil dari Boussinesq. Dalam praktek Boussinesq lebih banyak digunakan.

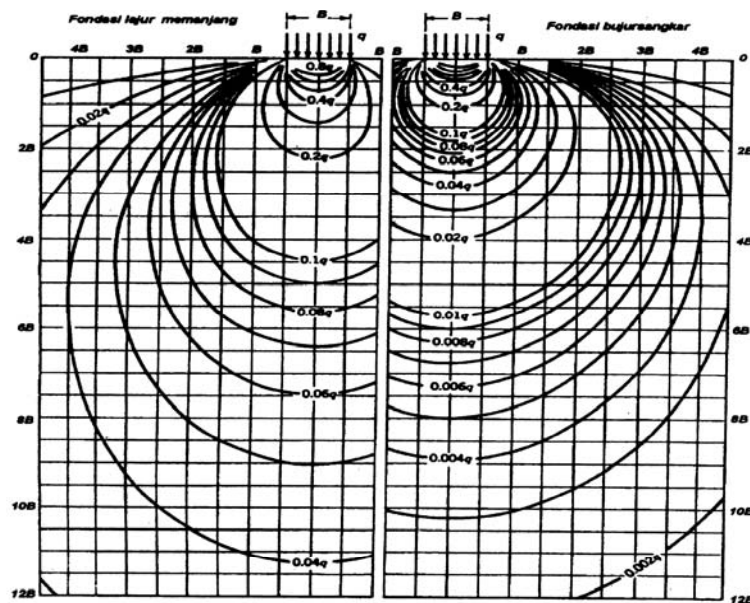
Tambahan tegangan sebuah titik dalam tanah akibat beban titik dipermukaan dinyatakan ;

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{2\pi z^2} \frac{\sqrt{(1-2\mu)(2-2\mu)}}{[(1-2\mu)/(2-2\mu) + (r/z)^2]^{3/2}}$$

Untuk angka $\mu = 0$, maka
$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{\pi z^2} \frac{1}{[1 + 2(r/z)^2]^{3/2}}$$

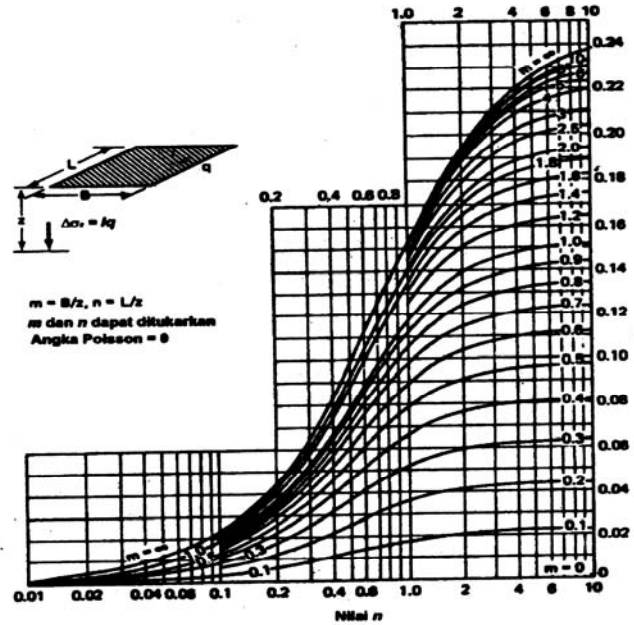
Persamaan dapat ditulis dalam bentuk
$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{z^2} I_W$$

Dengan I_W adalah faktor pengaruh fungsi dari r/z . Nilai faktor pengaruh sesuai dengan pembebanan dapat dilihat pada **Gambar III-2**. Beban-beban terbagi rata berbentuk luasan bujur sangkar dan berbentuk lajur memanjang tidak berhingga ditunjukkan **Gambar III-13**.



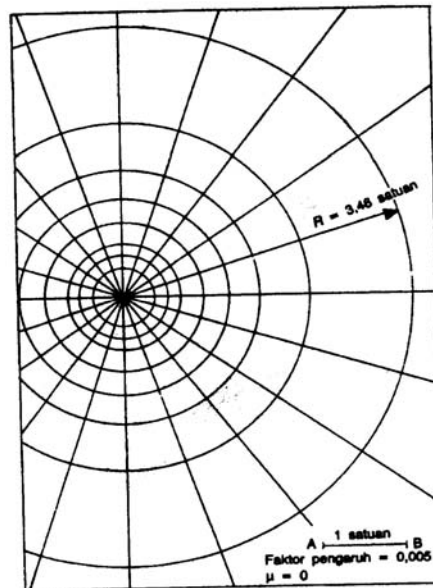
Gambar III.13 Isobar tegangan vertikal untuk beban terbagi rata bentuk lajur memanjang dan bujur sangkar.

Isobar faktor pengaruh Boussinesq untuk fondasi empat persegi panjang juga dapat digambarkan dengan teori Westergaard untuk angka Poisson $\mu = 0$ (**Gambar III-14**)



Gambar III.14 Faktor pengaruh dibawah sudut luasan segi empat

Diagram pengaruh Newmark pada penyelesaian Westergaard untuk $\mu = 0$ ditunjukan **Gambar III-15**.



Gambar III.15 Faktor pengaruh Newmark (Westergaard)

III.5 Faktor Koreksi untuk mengubah tegangan pada pusat fondasi menjadi nilai tegangan rata-rata

Dalam analisa Boussinesq dan Westergaard, untuk mengubah tegangan pada pusat berat fondasi menjadi nilai rata-rata tegangan dibawah fondasi, dapat dilakukan dengan cara

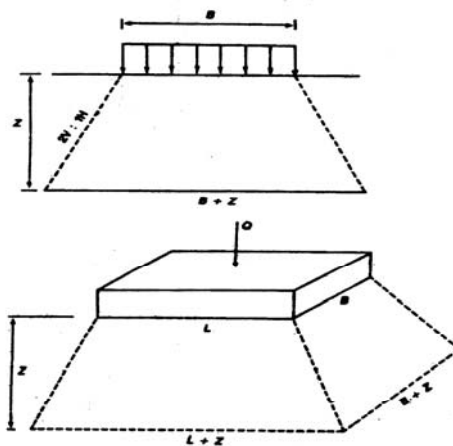
mengalikan hasil hitungan tegangan vertikal dibawah pusat fondasi dengan faktor koreksi yang diberikan Shower (1962) dimana B pada tabel adalah lebar fondasi

Tabel III.1 Koreksi untuk mengubah tegangan dibawah pusat fondasi kaku menjadi tegangan rata-rata

Kedalaman	Faktor Koreksi
0 – 0,5 B	0,85
B	0,90
1,5 B	0,95
2 B	1,0

III.6 Metode Penyebaran Beban 2V : 1H.

Salah satu cara untuk menghitung penambahan tegangan akibat beban pondasi adalah dengan membuat garis penyebaran beban 2V : 1H. Cara ini beban pondasi Q didukung oleh piramid yang mempunyai kemiringan sisi 2V : 1H.



Gambar I.15 Penyebaran beban 2V : 1H

Dengan pendekatan ini , nilai tambahan tegangan vertikal dinyatakan dengan ;

- a. Fondasi empat persegi panjang

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

- b. Fondsi lajur memanjang.

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

Jika letak fondasi saling berdekatan, kemungkinan piramid penyebaran tegangan berpotongan, untuk mrnghitung tambahan tegangan vertikal diperoleh dengan menjumlahkan tambahan tegangan secara aljabar pada lokasi yang dimaksud.

Contoh ;

Timbunan setinggi 2 m dipadatkan pada area yang sangat luas, γ_b timbunan 21 kN/m³, diatas timbunan ada fondasi telapak (300 x 300) cm yang mendukung beban 1000 kN, γ_b tanah asli 16 kN/m³, muka air tanah sangat dalam ;

- Hitung dan gambarkan hubungan antara tegangan efektif dan kedalaman sebelum ada timbunan
- Hitung dan gambarkan hubungan antara tambahan tegangan akibat beban timbunan dan fondasi

Penyelesaian ;

- Karena muka air tanah sangat dalam, maka tegangan efektif adalah ;

$$\sigma'_z = \gamma_b z$$

Terlihat tegangan akan bertambah secara linier seiring dengan bertambahnya kedalaman.

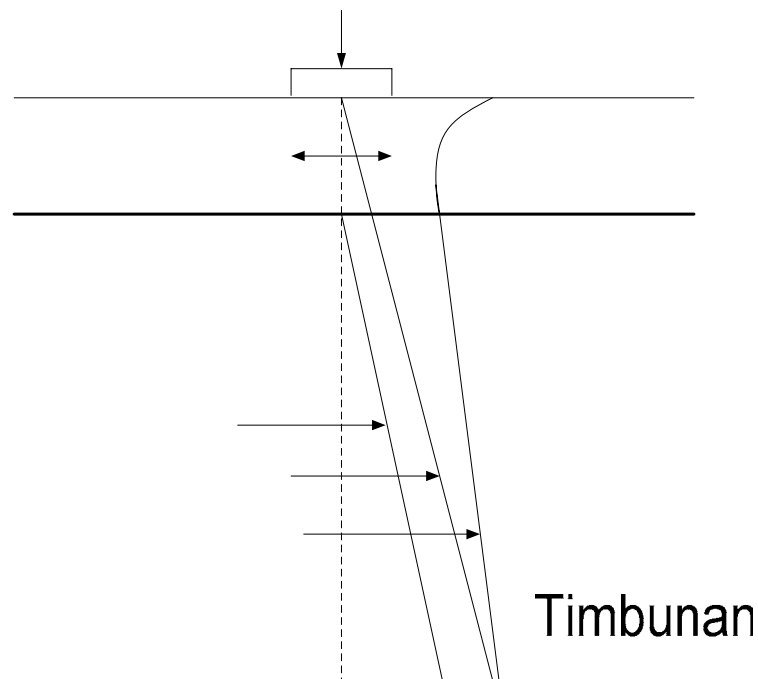
- Timbunan yang sangat luas maka faktor pengaruh tambahan tegangan $I = 1$ sehingga ;

$$\Delta\sigma_z = qI = \gamma_b h (1) = 21 \times 2 \times 1 = 42 \text{ kN/m}^2.$$

Akibat beban fondasi dipakai rumus ;

$$\Delta\sigma_z = \frac{Q}{(L+z)(B+z)} = \frac{1000}{(3+z)(3+z)} \text{ dan selanjutnya diselesaikan dengan tabelaris,}$$

z (m)	(3 + z)	(3 + z)(3 + z)	$\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)
0	3	9	111,11
1	4	16	62,50
2	5	25	40,00
3	6	36	27,78
4	7	49	20,41
5	8	64	15,63
6	9	81	12,35
7	10	100	10,00
8	11	121	8,26
9	12	144	6,94
10	13	169	5,92



Fondasi

3,0

Tanah asli

Akibat tanah asli

Akibat tanah timbunan

Akibat beban fondasi