

Bab 8 Daya Dukung Tanah

1. KONDISI TANAH

Pada dasarnya daya dukung tanah adalah kemampuan tanah tanah memikul tekanan atau tekanan maksimum yang diijinkan bekerja pada tanah pondasi = $\bar{\sigma}$ kN/m². Daya dukung ultimit (*Ultimit Bearing Capacity*) (σ_{ult}) = daya kemampuan pada batas runtuh.

Daya dukung tanah yang diijinkan = $\bar{\sigma}$ ada faktor aman dimana :

$$\sigma = \frac{\sigma_{ult}}{SF}$$

SF = 3 untuk beban normal.

SF = 2 untuk beban darurat

Misalnya:

Sebuah kolom memikul beban sebesar P kN, menggunakan pondasi langsung (pondasi telapak) dengan ukuran B x L m²

Luas pondasi A = B x L m². Tekanan yang timbul pada tanah sebesar :

$\sigma = P/A = P/(B.L)$ kN/ m² $\sigma \leq \bar{\sigma}$ Jika diketahui P= 90 kN dan daya dukung tanah $\bar{\sigma} = 15$ kN/ m²

Berapakah ukuran pondasi yang diijinkan.

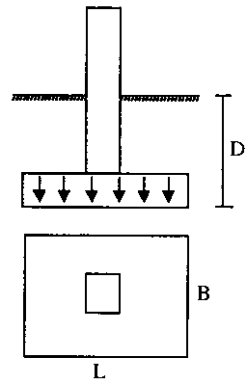
Luas pondasi yang diperlukan:

$$A = P/\bar{\sigma} = 90/15 = 6 \text{ m}^2$$

Dapat digunakan pondasi bujur sangkar

$$B = \sqrt{6} = 2.449.$$

Maka bisa digunakan B = 2.45 m atau bentuk segi empat dengan B= 2 m, dan L = 3 m



Gambar 8.1 Tekanan pada tanah dan pengaruhnya.

Terdapat beberapa bentuk pondasi langsung :

Persegi (*square footing*)

Bulat (*round*)

Lajur (*continuous*), sangat panjang misal pondasi dinding.

Besarnya $\bar{\sigma}$ ditentukan dan dibatasi oleh :

- Aman terhadap runtuhnya tanah (s_{ult} dibagi faktor aman)
- Aman terhadap penurunan akibat konsolidasi tanah
 1. penurunan total tidak terlalu besar
 2. penurunan / defleksi sangat tidak merata

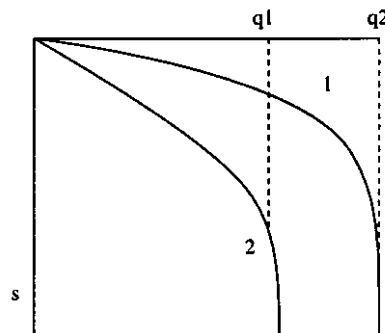
Yang mempunyai pengaruh terhadap daya dukung tanah ultimit suatu tanah adalah

- Nilai parameter tanah (ϕ , c , γ).
- Kedalaman pondasi D_f
- Ukuran dan bentuk pondasi.
- Sifat tanah terhadap penurunan.
- Kedalaman muka air tanah

Berdasarkan lunak kerasnya tanah atau padat kurang padatnya tanah terdapat dua kondisi sifat penurunan jika diberi beban berangsur naik.

Mula mula dengan beban kecil penurunan kecil, setelah mencapai ultimit, terus cepat turun (kondisi General Shear). Hal ini terjadi pada tanah yang cukup keras (padat)

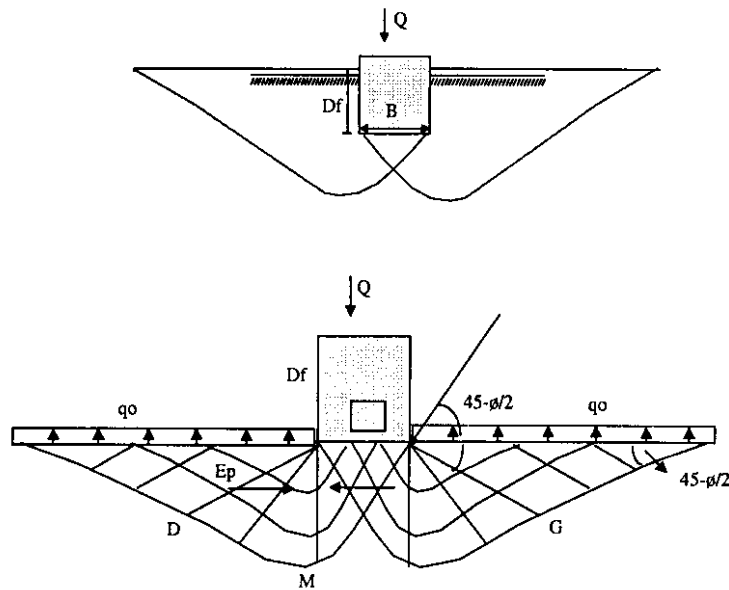
Tidak jelas batas ultimit, dan penurunan relatif besar (Kondisi Local Shear). Ini terjadi pada tanah lunak atau kurang padat.



Gambar 8. 2 : Pengaruh penurunan tanah terhadap tekanan.

2. TEORI TERZAGHI (MENGENAI DAYA DUKUNG TANAH)

Dimisalkan pondasi lajur dengan lebar B, yang dalamnya D_f dan memikul beban Q kN/m' (lihat gambar). Pada tanah dasar bekerja tekanan $s = Q/B$ kN/m². Jika Q atau σ terlalu besar, pondasi akan turun, jika tercapai ultimit tanah akan runtuh dan menggeser kesamping.



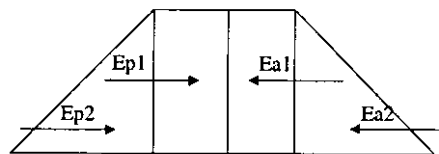
Gambar 8. 3 : Tekanan pada tanah akan menyebabkan keruntuhan dan menimbulkan tekanan aktif dan pasif sehingga tanah menggeser ke samping.

Pada gambar diatas disederhanakan dan dianggap sebagai berikut:

- Bidang longsor dianggap garis lurus.
- Yang mendorong tekanan aktif, yang melawan tekanan pasif.
- Muka tanah dianggap satu bidang dengan dasar pondasi, berat tanah setebal D_f dianggap beban terbagi rata $q = D_f \gamma$ kN/m²

Dianggap tekanan aktif dan tekanan pasif pada bidang vertikal fiktif KM sebagai berikut.

$$KM = H = B \operatorname{tg} (45 - \phi/2) = B$$



Gambar 8. 4 : Tekanan aktif dan pasif yang disebabkan tekanan normal.

Pada keadaan ultimit sama dengan kondisi seimbang yang terakhir sebelum runtuh ($\sigma = \sigma_{ult}$).

Untuk lebar ameter

$$Ea = 1/2 H^2 g Ka + g H Ka - 2H c \sqrt{Ka}$$

$$Ep = 1/2 H^2 g Kp + q H Kp - 2H c \sqrt{Kp}$$

Pada keadaan ini :

$Ea = Ep$ $\sigma = \sigma_{ult}$ maka didapat:

$$\sigma_{ult} = \frac{1}{H} Ka 2 H c (\sqrt{Ka} + \sqrt{Kp}) + H q Kp + \frac{1}{2} H^2 g (Kp - Ka)$$

dengan $H = B$

$$\sigma_{ult} = 2 c \frac{\sqrt{Ka} + \sqrt{Kp}}{Ka} + q \frac{Kp}{Ka} + 0.5 B \gamma \frac{Ka Kp}{\sqrt{Ka}} \quad /a/$$

Dan dapat ditulis sebagai berikut

$$\sigma_{ult} = c. Nc + q.Nq + 0.5 B.\gamma N\gamma \quad (\text{Rumus Terzaghi}) \quad /b/$$

Oleh Terzaghi digunakan rumus dengan bentuk persamaan /b/ tetapi nilainya tidak sama persis seperti persamaan /a/, diadakan koreksi mengingat

- Bidang longsor buang garis lurus
- Diperhitungkan terhadap 3 macam bentuk pondasi
 - persegi (*square*),
 - bulat (*round*),
 - lajur (*continuous*)
- Dibedakan keadaan
 - kondisi general shear
 - kondisi lokal shear.

Ditulis sebagai 6 buah rumus:

I. *General Shear*

1. *Continuous footing*

$$\sigma_{ult} = c. Nc + q.Nq + 0.5 B.\gamma N\gamma$$

2. *Square footing:*

$$\sigma_{ult} = 1.3 c. Nc + q.Nq + 0.4 B.\gamma N\gamma$$

3. *Round footing*

$$\sigma_{ult} = 1.3 c. Nc + q.Nq + 0.3 B.\gamma N\gamma$$

II. *Local Shear*

1. *Continuous footing*

$$\sigma_{ult} = c'. Nc' + q'.Nq' + 0.5 B.\gamma N\gamma'$$

2. *Square footing:*

$$\sigma_{ult} = 1.3 c'. Nc' + q'.Nq' + 0.4 B.\gamma N\gamma'$$

3. *Round footing*

$$\sigma_{ult} = 1.3 c'. Nc' + q'.Nq' + 0.3 B.\gamma N\gamma'$$

Rumus-rumus diatas agak disederhanakan menjadi 2 rumus:

General Shear :

$$\sigma_{ult} = \alpha c \cdot N_c + q \cdot N_q + \beta B \cdot \gamma N_\gamma$$

Lokal shear :

$$\sigma_{ult} = \alpha c' \cdot N_{c'} + q' \cdot N_{q'} + \beta B \cdot \gamma N_{\gamma'}$$

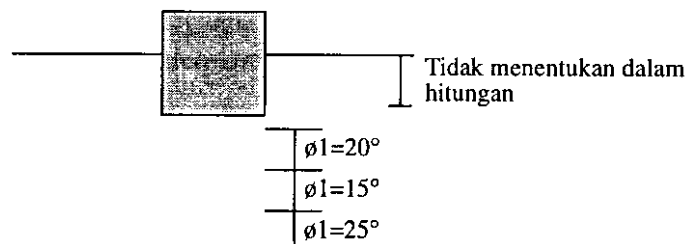
Dalam rumus tersebut :

1. α dan β adalah faktor bentuk pondasi dimana :

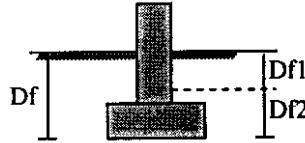
	α	β
Lajur (c)	1.0	0.5
Persegi (s)	1.3	0.4
Bulat (r)	1.3	0.3

2. N_c, N_q, N_γ serta $N_{c'}, N_{q'}, N_{\gamma'}$ adalah:
 - Koefisien daya dukung tanah, untuk *General Shear* dan *Lokal Shear*
 - Besarnya ditentukan oleh dari tanah dibawah dasar pondasi.
 - disajikan dalam tabel dan grafik (atau rumus tapi bukan seperti persamaan /a/)
3. Lebar Pondasi (B)
 - Untuk pondasi lajur adalah lebarnya.
 - Untuk lingkaran dimana B adalah diameter
 - Untuk segi empat diambil sisi yang kecil.
4. Nilai parameter f, c, g yang dipakai pada rumus, adalah parameter dari tanah yang ada dibawah dasar pondasi.
 - Jika tanah ada dibawah muka air terendam maka digunakan berat volume terendam. (γ').
 - Jika kondisi tanah dibawah dasar pondasi itu tidak homogen atau berlapis-lapis, digunakan nilai ϕ, c dan γ rata-rata.

Untuk tanah setebal B



5. Nilai q = berat tanah per meter yang ada diatas bidang dasar pondasi per meter = beban terbagi rata
- Jika tanah homogen $q = Df \gamma$
 - Jika tanah berlapis lapis $q = Df_1 \gamma_1 + Df_2 \gamma_2 + \dots$
 - Untuk bagian tanah dibawah muka air tanah digunakan γ'



6. Untuk hitungan berdasar kondisi Lokal Shear
- a. Nilai kohesi tanah direduksi dipakai $C' = 2/3 C$
 - b. Digunakan Nc' , Nq' , dan $N\gamma'$, yang tabelnya diperoleh dari tabel khusus untuk lokal shear (nilai Nc' , Nq' , dan $N\gamma'$) seperti nilai Nc , Nq , dan $N\gamma$ dengan nilai yang direduksi menjadi ϕ' dimana $\text{tg } \phi' = 2/3 \cdot \text{tg } \phi$.

Daftar nilai koefisien Daya Dukung Tanah Terzaghi

Nc	Nq	$N\gamma$		Nc'	Nq'	$N\gamma'$
5.7	1.0	0.0	0°	5.7	1.0	0.0 ***
7.3	1.6	0.5	5°	6.7	1.4	0.2
9.6	2.7	1.2	10°	8.0	1.9	0.5
12.9	4.4	2.5	15°	9.7	2.7	0.9
17.7	7.4	5.0	20°	11.8	3.9	1.7
25.1	12.7	9.7	25°	14.8	5.6	3.2
37.2	22.5	19.7	30°	19.0	8.3	5.7
57.8	41.4	42.4	35°	25.2	12.6	10.1
95.7	81.3	100.4	40°	34.9	20.5	18.8

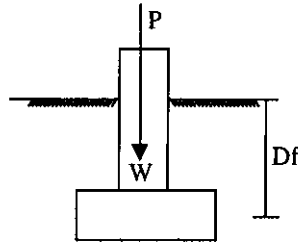
Catatan:

Untuk nilai-nili f diantara nilai-nili tersebut dapat di interpolasi

*** : lempung murni kenyang air

3. DAYA DUKUNG BRUTO DAN NETO

σ_{ult} dari rumus Tersaghi memperhatikan seluruh beban yang ada diatas dasar pondasi, yaitu beban kolom (P) + berat fondasi dan tanah (w). Dengan dianggap berat unit beton berat unit tanah, maka (w) memberikan tekanan terbagi merata q dan besar $q = Df \gamma$



Rumus Tersaghi :

$$\sigma_{ult} = \alpha c. Nc + q.Nq + \beta B.\gamma N_{\gamma}$$

diubah menjadi:

$$\sigma_{ult} = \alpha c. Nc + q.(Nq - 1) + \beta B.\gamma N_{\gamma} + q$$

Pada tanah dasar pondasi, tekanan q sudah ada sebelum ada pondasi. Sehingga daya dukung netto memperhitungkan tambahannya saja, sehingga :

1). Daya dukung netto

$$\sigma_{ult\ netto} = \alpha c. Nc + q.(Nq - 1) + \beta B.\gamma N_{\gamma} + q$$

dimana:

$$\begin{aligned} \sigma_{netto} &= \sigma_{ult\ netto} / SF \\ &= \sigma_{ult\ netto} / 3 \end{aligned}$$

2). Daya Dukung Bruto

$$\begin{aligned} \sigma_{ult\ Bruto} &= \sigma_{ult\ netto} + q \\ \sigma_{netto} &= (\sigma_{ult\ netto} / SF) + q \\ &= \sigma_{netto} + q \end{aligned}$$

Harga q tidak perlu dibagi faktor aman, karena sudah ada sebelum ada fondasi.

** Dalam perhitungan atau perencanaan, σ_{netto} digunakan untuk menentukan luas fondasi berdasarkan beban kolom saja tanpa memperhitungkan / memperhatikan berat pondasi dan tanah, sedang σ_{Bruto} memperhitungkannya.

Contoh:

1). Fondasi pada tanah homogen, fondasi berbentuk segi empat dengan ukuran tergambar, tanah mempunyai $\phi = 18^\circ$, $c = 2 \text{ kN/m}^2$, $G = 2.7$, $e = 0.8$, $w = 15\%$

Berapakah daya dukung netto dan bruto ?

Berapakah gaya P yang dapat dipikul kolom?

Jika tidak dijelaskan anggap kondisi general shear.

Pondasi segi empat.

$$\begin{aligned} \sigma_{ult\ netto} &= 1.3 c. Nc + q.(Nq - 1) + 0.4 B \\ \phi &= 18^\circ \text{ (tabel interpolasi antara } 15^\circ - 20^\circ) \\ Nc &= 12.9 + 3/5 (17.7 - 12.9) = 15.78 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_q &= 6.2 \\ N &= 4 \end{aligned}$$

$$\text{Berat unit tanah} = \gamma = \frac{G \gamma_w}{1 + e} (1 + w) = \frac{2.7 \times 9.8}{1 + 0.8} (1 + 0.15)$$

$$\text{Beban } q = D_r \gamma = 1.6 \cdot 16.9 = 29.07 \text{ kN/m}^2$$

Lebar fondasi diambil yang kecil $B = 1.5 \text{ m}$

Kohesi $c = 20 \text{ kN/m}^2$

masuk rumus:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{ult}} &= 1.3 c \cdot N_c + q \cdot (N_q - 1) + 0.4 B \cdot \gamma N_g \quad (\text{netto}) \\ &= 1.3 \times 2 \times 15.78 + 27.07 (6.2 - 1) + 0.4 \times 1.5 \times 16.9 \times 4 \\ &= 580.94 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Daya dukung netto:

$$\sigma_{\text{netto}} = \frac{\sigma_{\text{ult netto}}}{SF} = \frac{580.94}{3} = 194.4 \text{ kN/m}^2$$

dalam hal ini $SF = 3$ (untuk beban normal)

Daya dukung bruto:

$$\sigma_{\text{bruto}} = \sigma_{\text{netto}} + q = 194.4 + 27.07 = 221.5 \text{ kN/m}^2$$

Gaya P yang dapat dipikul oleh kolom :

$$P = A \sigma_{\text{netto}} = 1.5 \times 1.8 \times 194.4 = 524.8 \text{ kN}$$

2). Pondasi Dinding tanah homogen, Kondisi lokal Shear.

Berapakah lebar dinding B yang diperlukan untuk memikul dinding dengan beban 60 kN/m (tidak termasuk berat pondasi dan tanah). Jika parameter tanah: $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$, $\phi = 15^\circ$, $c = 15 \text{ kN/m}^2$. Diperhitungkan kondisi lokal shear.

Kondisi continuous footing, lokal shear, maka didapatkan :

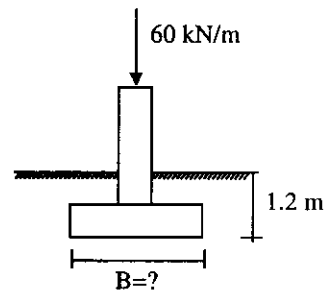
$$\sigma_{\text{ult netto}} = c' \cdot N_{c'} + q \cdot (N_{q'} - 1) + 0.5 B \cdot \gamma N_{\gamma}$$

B dicari, padahal B ada dalam rumus., maka dapat dihitung secara coba-coba (*trial and error*) $c' = 2/3 \cdot c = 2/3 \cdot 15 = 10 \text{ kN/m}^2$

$\phi = 15^\circ$, $N_c = 9.7$, $N_q = 2.7$, $N_g = 0.9$

maka diperoleh :

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{ult netto}} &= 1 \times 9.7 + (1.2 \times 16) \times (2.7 - 1) + 0.5 \times B \times 16 \times 0.9 \\ &= 129.64 + 7.2 (B) \end{aligned}$$



dicoba harga $B = 1$

$$\sigma_{ult\ netto} = 129.64 + 7.2 (1) = 136.84 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{netto} = 136.84 / 3 = 45.6 \text{ kN/m}^2$$

Untuk dinding sepanjang 1 m bebannya 60 kN, Q yang dipikul fondasi (1 m) sebesar :

$$Q = B \sigma_{netto} \\ = 1 \times 45.6 = 45.6 \text{ kN} < 60 \text{ kN}$$

dicoba harga $B = 1.3$

$$s_{ult\ netto} = 129.64 + 7.2 (1.3) = 139 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{netto} = 139 / 3 = 46.3 \text{ kN/m}^2$$

$$Q = B \sigma_{netto} \\ = 1.3 \times 46.3 = 60.2 \text{ kN} < 60 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{OK} \text{ !!!}$$

Maka digunakan fondasi dengan lebar 1.3 m (diusahakan dipilih B minimum yang masih memenuhi).

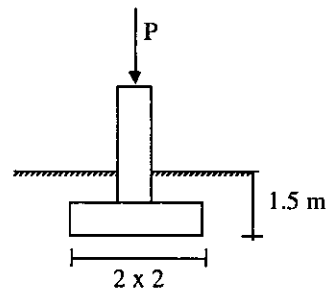
3). Fondasi pada tanah kohesif murni (tanah lempung kenyang air)

catatan penting untuk kondisi ini adalah :

1. Untuk tanah kohesif murni hanya mempunyai c dan tidak mempunyai ϕ ($\phi = 0$)
2. Untuk nilai $\phi = 0$ diperoleh $N_c 5.7, N_q = 1, N_g = 0$
3. $\sigma_{ult\ netto} = \alpha c 5.7 + q (1 - 1) + 0$
 Daya dukung netto tidak dapat dipengaruhi oleh lebar dan kedalaman fondasi.
4. Jika parameter tanah yang diketahui q_u , berarti kohesi $c = 1/2 q_u$ ($q_u =$ kuat tekan bebas tanah).

Misalnya :

kolom memikul P dengan fondasi pada tanah lempung kenyang air ($\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$)
 Kuat tekan bebas tanah $q_u = 60 \text{ kN/m}^2$.
 Berapakah σ_{netto} dan P yang diperbolehkan?



Kondisi tanah = $1/2$ kuat tekan bebas tanah

$$C = 1/2 q_u = 1/2 \times 60 = 30 \text{ kN/m}^2$$

untuk $\phi = 0$, bentuk fondasi persegi kondisi general shear maka didapatkan :

$$\sigma_{ult\ netto} = 1.3 c N_c = 1.3 \times 30 \times 5.7 = 222.3 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{netto} = 1/3 \sigma_{ult\ netto} = 1/3 \times 222.3 = 74.1 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{bruto} = \sigma_{netto} + q = 74.1 + 1.5 \times 18 = 101.1 \text{ kN/m}^2$$

beban kolom yang dapat dipikul fondasi :

$$P = A \sigma_{netto} = 2 \times 2 \times 74.1 = 296.4 \text{ kN}$$

Catatan :

Untuk lempung bentuk lajur : $\alpha = 1$, bentuk persegi dan bulat $\alpha = 1.3$

Maka daya dukung lempung berkisar antara

$$\sigma_{ult\ netto} = 1\ c\ 5.7\ \text{sampai dengan}\ 1.3\ c\ 5.7 \longrightarrow = 5.7\ c\ \text{sampai}\ 7.41\ c$$

$$\sigma_{netto} = 2.9\ c\ \text{sampai dengan}\ 2.47\ c\ (= 2\ c)$$

$$= 1/3\ \sigma_{ult\ netto}$$

σ_{netto} hampir sama dengan nilai q_u (nilai taksiran tanah)

- 4). Pondasi pada tanah non kohesif murni

berarti tanah tidak mempunyai kohesi ($c = 0$), maka daya dukung tanah :

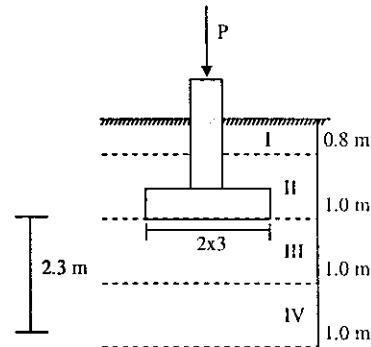
$$\sigma_{ult\ netto} = q\ (Nq - 1) + b\ B\ \gamma\ N_g$$

(α dan N_c tidak berpengaruh pada $\sigma_{ult\ netto}$)

- 5). Pondasi pada tanah berlapis lapis

(termasuk jika ada air anah, karena air tanah dianggap bisa menjadikan tanah berubah volumenya, sehingga seakan akan menjadi berlapis-lapis).

Lap.	γ	ϕ	c
I	14.70 kN/m ²	-	-
II	15.68 kN/m ²	-	-
III	17.64 kN/m ²	25°	14.70 kN/m ²
IV	16.66 kN/m ²	30°	4.90 kN/m ²



Berapa daya dukung netto tanah ?

- a). Data ϕ dan c untuk lapis I dan II tidak diperlukan karena tanah berada diatas bidang fondasi. Lapis I dan II menentukan beban q dimana :

$$q = Df_1\ \gamma_1 + Df_2\ \gamma_2$$

$$= 0.8 \times 14.7 + 1.0 \times 15.68 = 27.44\ \text{kN/m}^2$$

- b). Parameter ϕ , c dan γ yang dipakai atau yang dimasukkan dalam rumus Terzaghi diambil nilai rata-rata tanah setebal B yang ada di bawah dasar fondasi ($B = \text{lebar terkecil}$). Untuk kasus di atas di peroleh $B = 1.2 + 1.1 = 2.3\ \text{m}$. maka :

$$\phi = \frac{\sum h_i\ \phi_i}{h_i}$$

$$\phi = \frac{1.2\ 25^\circ + 1.1\ 30^\circ}{1.2 + 1.1} = 27.39^\circ$$

$$c = \frac{\sum h_i c_i}{h_i}$$

$$= \frac{1.2 \cdot 14.7 + 1.1 \cdot 4.9}{1.2 + 1.1} = 9.99 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma = \frac{\sum h_i \gamma_i}{h_i}$$

$$= \frac{1.2 \cdot 17.64 + 1.1 \cdot 16.66}{1.2 + 1.1} = 17.17 \text{ kN/m}^2$$

untuk $\phi = 27.390$ dari tabel interpolasi maka didapatkan

$$N_c = 30.88, \quad N_q = 17.38, \quad N_g = 14.4$$

Sehingga

$$\sigma_{\text{ult netto}} = (1.3 \times 9.99 \times 30.88) + (27.44 (17.38 - 1)) + (0.4 \times 2.3 \times 17.17 \times 14.4) = 1078.2 \text{ kN/m}^2$$

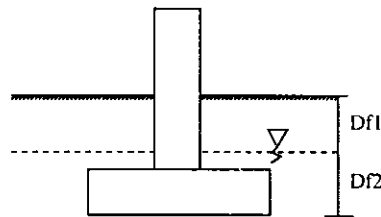
$$\sigma_{\text{ult netto}} = 1/3 \times 1078.2 = 359.4 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\text{bruto}} = \sigma_{\text{ult netto}} + q = 359.4 + 27.44 = 386.84 \text{ kN/m}^2$$

- 6). Kondisi ada air dibagian atas bidang pondasi

$$q = Df_1 \cdot \gamma_1 + Df_2 \cdot \gamma'$$

maka $\sigma_{\text{ul netto}} = 1.3 c N_c + q (N_q - 1) + 0.4 B \gamma' N_\gamma$



- 7). Pondasi bulat dengan kondisi ada air dibawah pondasi. Nilai ϕ , c , dan γ diambil rata-ratanya pada daerah setebal 4 m.

$$\gamma = \frac{1.5 \gamma_1 + 2.5 \gamma_2}{4.5 + 2.5}$$

Jika kedalaman air lebih dari B (lebar pondasi) maka pengaruh air dapatlah diabaikan.

