

PONDASI TIANG

- Pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam, mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, dan bangunan dermaga.
- Pondasi tiang digunakan untuk beberapa maksud, antara lain:
 1. Untuk meneruskan beban bangunan yang terletak di atas air atau tanah lunak ke tanah pendukung yang kuat.
 2. Untuk meneruskan beban ke tanah yang relatif lunak sampai kedalaman tertentu sehingga pondasi bangunan mampu memberikan dukungan yang cukup untuk mendukung beban tersebut oleh gesekan dinding tiang dengan tanah sekitarnya.
 3. Untuk mengangkat bangunan yang dipengaruhi oleh gaya angkat ke atas akibat tekanan hidrostatik atau momen penggulingan.
 4. Untuk menahan gaya-gaya horizontal dan gaya-gaya yang arahnya miring.
 5. Untuk memadatkan tanah pasir sehingga kapasitas tanah tersebut bertambah.
 6. Untuk mendukung pondasi bangunan yang permukaan tanahnya mudah tergerus air dll.

Menurut standard Inggris pondasi tiang dapat dibagi menjadi 3 kategori:

1. Tiang perpindahan besar (*Large displacement pile*), yaitu tiang pejal atau berlubang dengan ujung tertutup yang dipancang ke dalam tanah sehingga terjadi perpindahan volume yang relatif besar. Seperti: tiang kayu, tiang beton pejal atau berlubang, tiang beton prategang, tiang baja bulat (tertutup pada ujungnya).
2. Tiang perpindahan kecil (*Small displacement pile*), sama seperti kategori pertama hanya volume tanah yang dipindahkan relative kecil. Seperti : tiang beton berlubang dengan ujung terbuka, tiang baja H, tiang baja bulat, tiang ulir.
3. Tiang tanpa perpindahan (*Non displacement pile*), yaitu tiang yang dipasang di dalam tanah dengan cara menggali atau mengebor tanah. Seperti: tiang beton yang dicor kedalam lubang hasil pengeboran tanah, tabung dipasang dalam lubang dan dicor beton, tabung baja dibor ke dalam tanah.

KAPASITAS DUKUNG TIANG

Hitungan kapasitas tiang dapat dilakukan dengan cara pendekatan statis dan dinamis.

Secara statis berarti dilakukan menurut teori Mekanika Tanah, yaitu dengan mempelajari sifat-sifat teknis tanah. Sedangkan secara dinamis dilakukan dengan menganalisis kapasitas ultimit dengan data yang diperoleh dari data pemancangan tiang.

KAPASITAS ULTIMIT CARA STATIS

Kapasitas Ultimit netto tiang tunggal (Q_u) :

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p$$

Dengan : Q_b = tahanan ujung tiang ultimit
 Q_s = tahanan gesek tiang ultimit
 W_p = berat sendiri tiang

Tahanan ujung ultimit, secara pendekatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kapasitas dukung ultimit pondasi dangkal,

$$q_u = \frac{Q_b}{A_b} = C_b N_c + p'_b N_q + 0.5 \times d N_x$$

dengan :

q_u = tahanan ujung persatuan luas tiang

A_b = luas penampang ujung tiang

C_b = kohesi tanah pada ujung tiang

p'_b = tekanan over burden pada ujung tiang

γ = berat volume tanah

d = diameter tiang

N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas dukung

Tahanan gesek dinding tiang dapat dianalisis dengan teori Coulomb,

$$\tau_d = \frac{Q_s}{A_s} = C_d + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi_d$$

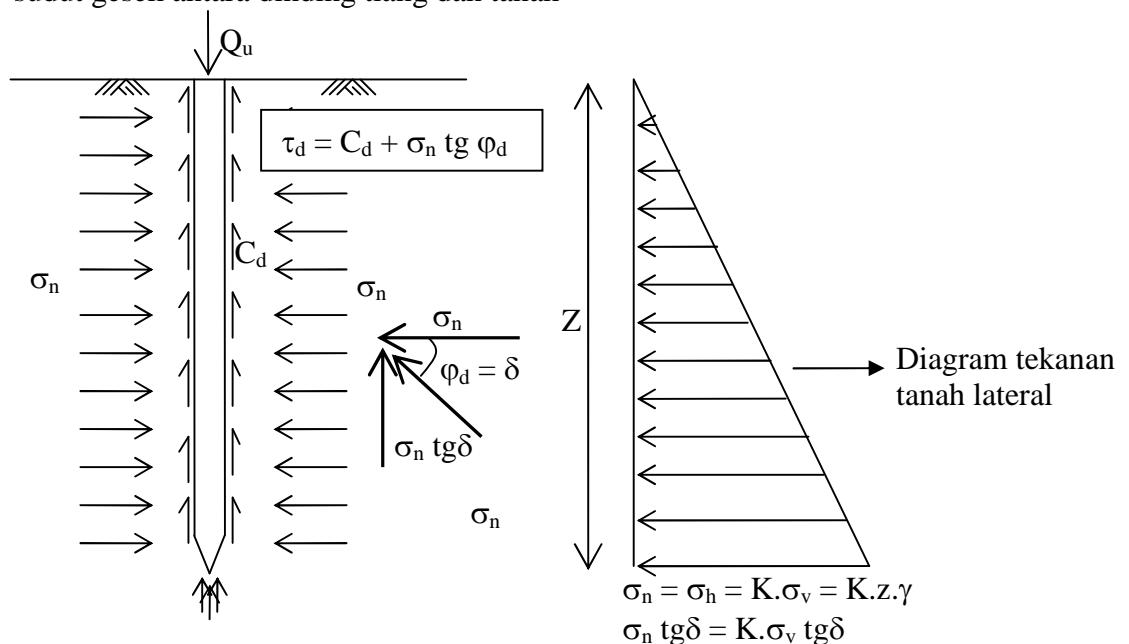
Dengan :

τ_d = tahanan geser dinding tiang

C_d = kohesi antara dinding - tanah

$\sigma_n = \sigma_h$ = tegangan normal pada dinding tiang

φ_d = sudut gesek antara dinding tiang dan tanah



Dengan memberikan notasi baru untuk koefisien tekanan tanah lateral K menjadi K_d (koefisien tekanan pada dinding tiang, maka

$$\sigma_n \operatorname{tg} \delta = K_d \cdot \sigma_v \operatorname{tg} \delta = K_d \cdot p_o \cdot \operatorname{tg} \delta_d$$

Jadi, **Kapasitas dukung ultimit Netto tiang**,

$$Q_u = A_b(C_b N_c + p'_b N_q + 0.5 \times d N_x) + d A_s(C_d + K_d \cdot \bar{p}_o \cdot \operatorname{tg} \delta_d) - W_p$$

Dengan;

$\bar{p}_o = \tau_v$ = tekanan overburden rata-rata di sepanjang tiang

$\delta = \varphi_d$ = sudut gesek antara dinding tiang dan tanah

A_b = luas penampang ujung tiang

A_s = luas selimut tiang

K_d = koefisien tekanan tanah lateral pada dinding tiang

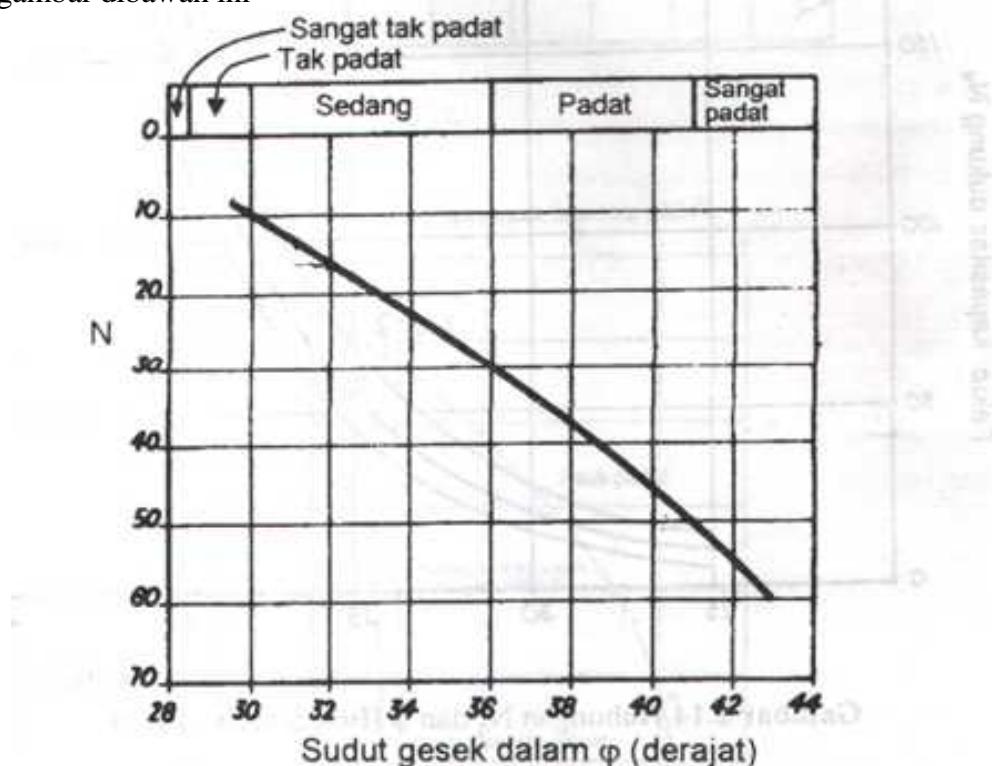
p'_b = tekanan overburden di dasar tiang

Tiang dalam Tanah Non Kohesif

(Tanah granuler : pasir, kerikil ; $C = 0$, $\phi \neq 0$)

Akibat sulitnya memperoleh contoh tanah tak terganggu pada tanah granuler, estimasi sudut gesek dalam (ϕ) dapat diambil dari pendekatan empiris yang diperoleh dari pengujian SPT

Hubungan antara ϕ dan N yang disarankan oleh Peck, dkk (1974) dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 1. Hubungan ϕ dan N – SPT (Peck dkk. 1974)

Karena pada tanah non kohesif besarnya kohesi (C) nol dan diameter tiang relatif sangat kecil dibanding panjangnya, maka :

$$C_b \cdot N_c = 0$$

$0.5 \gamma d N_q \approx 0$, sehingga **persamaan tahanan ujung tiang dalam tanah non kohesif :**

$$Q_b = A_b \cdot p'_b \cdot N_q$$

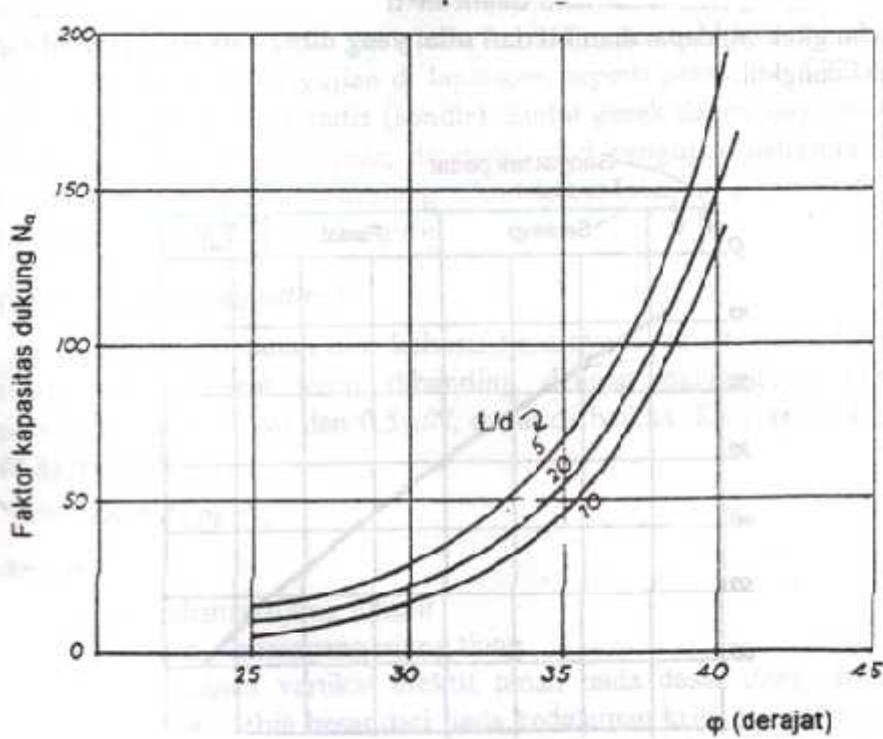
Dengan:

A_b = luas penampang ujung tiang

p'_b = tekanan overburden di dasar tiang = $\sum \gamma_i z_i$

N_q = faktor kapasitas dukung

Hubungan ϕ dan N_q dapat ditentukan dari grafik Berenzantsev, 1961. Nilai-nilainya merupakan fungsi dari L/d (L = kedalaman tiang dan d = diameter atau lebar tiang) dan sudut gesek dalam tanah.



Gambar 2. Hubungan N_q dan φ (Berezantsev, 1961)

Pada persamaan tahanan ujung di atas, Q_b bertambah bila kedalaman tiang bertambah.

Akan tetapi, penelitian Vesic dan Kerisel mengungkapkan bahwa tahanan gesek dinding dan tahanan ujung tiang tidak mesti bertambah bila kedalaman tiang bertambah dan nilainya konstan pada kedalaman tertentu. Hal ini disebabkan karena tekanan overburden konstan pada kedalaman **kritis (z_c) kira-kira 10d sampai 20d.**

Dengan demikian, terdapat nilai maksimum dari tahanan ujung dan tahanan gesek yang tergantung pada kerapatan relatif dan cara pemasangan tiang (Gambar 3).

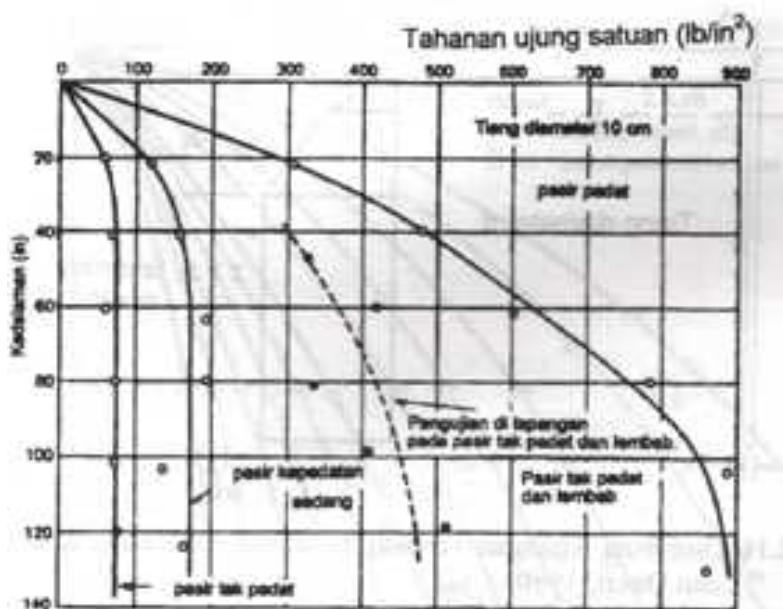
Dari pengalaman :

- Nilai tahanan ujung satuan dibatasi sampai :

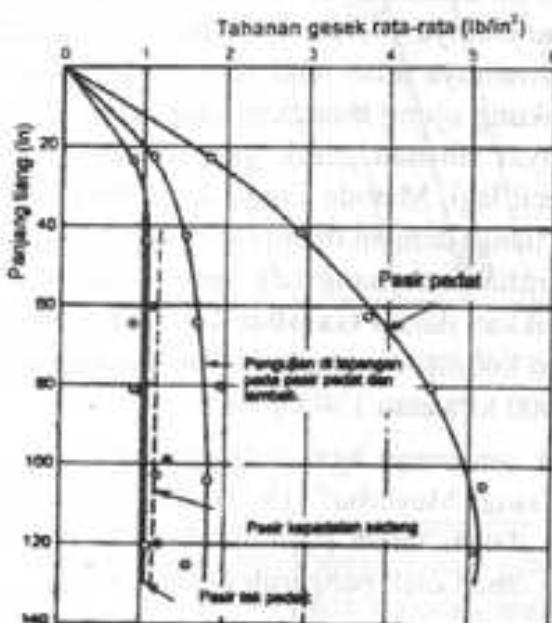
$$q = \frac{Q_b}{A_b} = 10.7 \text{ MN/m}^2 = 108 \text{ Kg/cm}^2$$

- Nilai tahanan gesek satuan dibatasi sampai :

$$f = \frac{Q_s}{A_s} = 107 \text{ kN/m}^2 = 1.08 \text{ Kg/cm}^2$$



(a)



(b)

(a) Variasi tahanan ujung tiang
 (b) Tahanan gesek dinding tiang (tiang dipancang pada tanah granuler)

Karena tanah granuler lolos air, maka hitungan kapasitas harus didasarkan pada tinjauan tegangan efektif dan kohesi tanah granuler ($C = 0$) maka persamaan **Tahanan Gesek dinding ultimit pada tanah non kohesif/granuler :**

$$Q_s = A_s \cdot K_d \cdot \bar{p}'_0 \cdot \tan \phi_d = A_s \cdot f_s$$

Dengan :

\bar{p}'_0 = tekanan overburden efektif rata-rata, dengan besarnya:

- sama dengan $\sum \gamma_i z_i$ untuk $z < z_c$
- sama dengan tekanan vertikal kritis untuk $z > z_c$

K_d = Koefisien tekanan tanah yang tergantung dari kondisi tanah.

Brom menyarankan hubungan K_d dengan tipe bahan tiang untuk tiang dalam tanah granuler, seperti yang diperlihatkan pada tabel di bawah ini,

Bahan tiang	K_d	
	Pasir Tak Padat	Pasir Padat
Baja	0.50	1.00
Beton	1.00	2.00
Kayu	1.50	4.00

Aas (1966) mengusulkan nilai-nilai δ yang dapat digunakan dalam menghitung tahanan gesek seperti yang ditunjukkan pada Tabel di bawah ini:

Bahan Tiang	$\delta = \phi'_d$
Baja	20°
Beton	0.75 ϕ'
Kayu	0.66 ϕ'

Contoh Soal:

Tiang pancang baja berdiameter 0.4 m dengan berat tiang 81.4 kN dan panjang tiang 22m dipancang kedalam tanah dengan kondisi lapisan sebagai berikut:

Lapisan pasir I (0 – 2 m) : nilai N-SPT = 10, $\gamma_b = 18 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_{sat} = 18.2 \text{ kN/m}^3$

Lapisan pasir II (2 – 10 m) : nilai N-SPT = 16, $\gamma_b = 18.8 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_{sat} = 19 \text{ kN/m}^3$

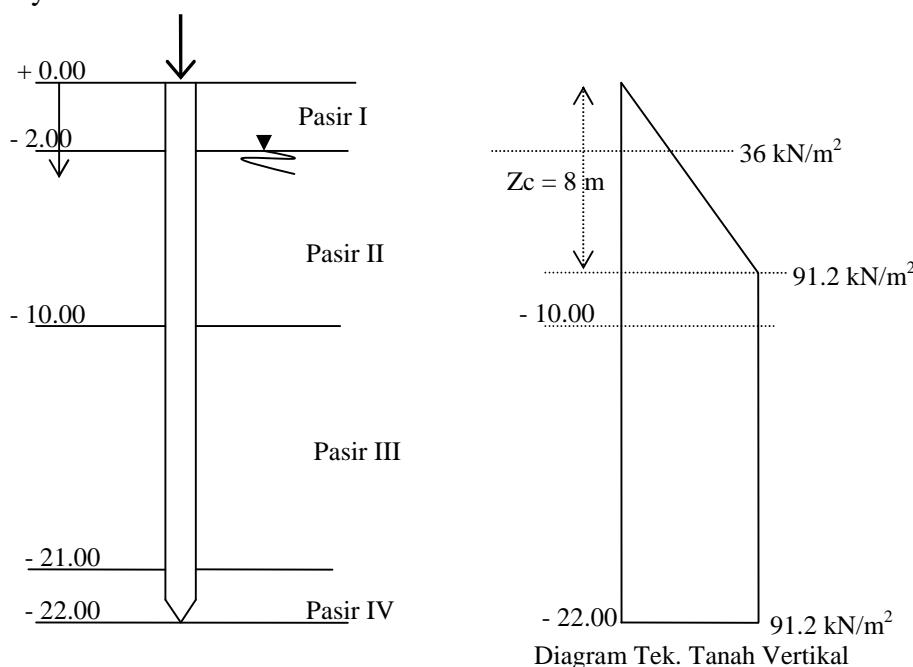
Lapisan pasir III (10 – 21 m) : nilai N-SPT = 10, $\gamma_b = 18.3 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_{sat} = 18.5 \text{ kN/m}^3$

Lapisan pasir IV (21m – ~) : nilai N-SPT = 16, $\gamma_b = 18.8 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_{sat} = 19 \text{ kN/m}^3$

Muka air tanah terletak 2 m dibawah permukaan tanah.

Hitung kapasitas dukung ultimit tiang.

Penyelesaian:



Dianggap $Z_c = 20d = 20 \times 0.4 = 8.00$ m

Pada $Z = 2$ m, $p'_0 = (2 \text{ m} \times \gamma_b) = (2\text{m} \times 18 \text{ kN/m}^3) = 36 \text{ kN/m}^2$

$Z_c = 8$ m, $p'_0 = (2 \text{ m} \times \gamma_b) + (6\text{m} \times \gamma') = (2\text{m} \times 18 \text{ kN/m}^3) + (6\text{m} \times (19 - 9.8))$

$$= 91.2 \text{ kN/m}^2$$

Keliling tiang $= \pi \times 0.4 = 1.256$ m

- **Tahanan Gesek**

Karena kondisi tanah berlapis dan untuk mempermudah perhitungan, maka perhitungan tahanan gesek tiang disajikan dalam tabel dibawah ini

Kedlman	φ	Kepadatan	Kd	$\varphi_d = \delta$	As	\bar{p}'_0	$As.K_d \cdot \bar{p}'_0 \cdot tg\delta_d$
0 – 2m	30^0	Tidak padat	0.5	20^0	$2 \times 1.256 = 2.512$	$\left(\frac{0+36}{2}\right) = 18$	8.255
2 – 8m	32^0	Sedang	0.7	20^0	$6 \times 1.256 = 7.536$	$\left(\frac{36+91.2}{2}\right) = 63.6$	122.113
8 – 10m	32^0	Sedang	0.7	20^0	$2 \times 1.256 = 2.512$	91.2	58.368
10 – 21m	30^0	Tidak padat	0.5	20^0	$11 \times 1.256 = 13.816$	91.2	229.305
21 – 22m	32^0	Sedang	0.7	20^0	$1 \times 1.256 = 1.256$	91.2	29.184
$Q_s = \Sigma (As.K_d \cdot \bar{p}'_0 \cdot tg\delta_d)$						447.225 kN	

Cek terhadap tahanan gesek satuan maks:

$$f = \frac{Q_s}{A_s} = \frac{447.225}{27.632} = 16.185 \text{ kN/m}^2 < 107 \text{ kN/m}^2 \dots\dots (\text{OK !})$$

- **Tahanan Ujung**

$$Q_b = A_b \cdot p'_b \cdot N_q$$

Dengan :

$$A_b = 0.25 \times \pi \times (0.4)^2 = 0.1256 \text{ m}^2$$

Untuk $\varphi = 32^0$; $L/d = 22/0.4 = 55$, maka $N_q = 22$ (Grafik Berezantsev)

$$p'_b = 91.2 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_b = 0.1256 \times 91.2 \times 22 = 252 \text{ kN}$$

Cek terhadap tahanan ujung satuan:

$$q = \frac{Q_b}{A_b} = \frac{252}{0.1256} = 2006.4 \text{ kN/m}^2 < 10.7 \text{ MN/m}^2 = 10700 \text{ kN/m}^2 \dots\dots (\text{OK !})$$

Kapasitas dukung tiang ultimit :

$$\begin{aligned} Qu &= Q_b + Q_s - W_p = 447.225 \text{ kN} + 252 \text{ kN} - 81.4 \text{ kN} \\ &= \mathbf{617.825 \text{ kN}} \end{aligned}$$

Tiang dalam tanah kohesif ($\phi = 0$, $C > 0$; lempung)

Karena $\phi = 0$, maka persamaan **tahanan ujung tiang dalam tanah kohesif** adalah:

$$Q_b = A_b(C_b N_c + p'_b)$$

Dengan;

A_b = luas penampang ujung tiang

p'_b = tekanan overburden di dasar tiang

N_c = faktor kapasitas dukung (diambil $N_c = 9$) (Skempton, 1956)

C_b = kohesi tanah yang terletak pada ujung tiang.

Sedangkan persamaan **tahanan gesek tiang dalam tanah kohesif**, adalah

$$Q_s = A_s C_d$$

Dengan;

A_s = luas selimut tiang

C_d = adhesi antara dinding tiang dan tanah disekitarnya

Dengan memberikan faktor koreksi(F_w) untuk tiang yang berdiameter tidak seragam disepanjang tiangnya, maka:

$$Q_s = F_w \cdot A_s C_d$$

$F_w = 1$ (tiang berdiameter seragam)

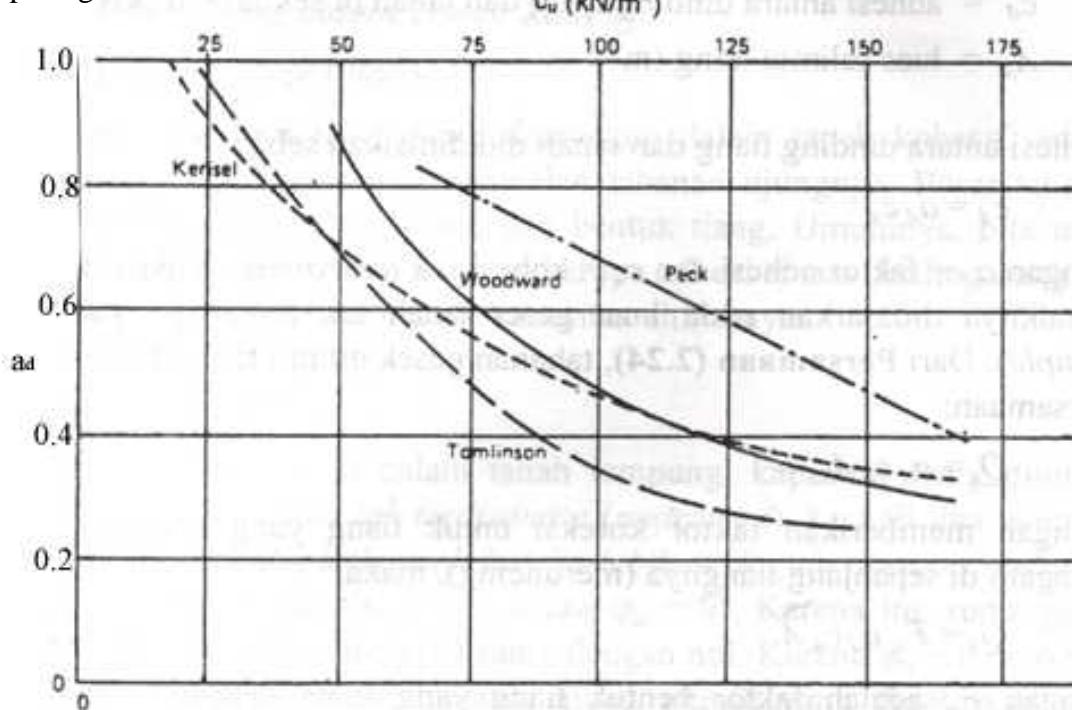
$F_w = 1.2$ (tiang yang meruncing)

Adhesi antara dinding tiang dan tanah didefinisikan sebagai:

$$C_d = a_d \cdot C_u$$

Dengan a_d = faktor adhesi dan C_u = kohesi tanah.

Faktor adhesi tiang pancang dalam tanah lempung didapat dengan menggunakan grafik pada gambar 4 dibawah ini



Gambar 4. Faktor adhesi untuk tiang pancang dalam tanah lempung (McClelland)

Kapasitas Dukung ultimit Tiang dalam tanah kohesif:

$$Qu = Q_b + Q_s - W_p$$

$$Qu = A_b(C_b N_c + p'_b) + F_w \cdot As \cdot a_d \cdot C_u - W_p$$

Karena berat tiang mendekati sama dengan berat tanah yang dipindahkan akibat adanya tiang, maka $A_b \cdot p'_b \approx W_p$

Sehingga persamaan kapasitas dukungnya menjadi:

$$Qu = A_b C_b N_c + F_w \cdot As \cdot a_d \cdot C_u$$

Contoh soal:

Tiang beton panjang 15 m dan berdiameter 0.45 m akan dipancang menembus tanah lempung, dengan kondisi lapisan tanah sebagai berikut:

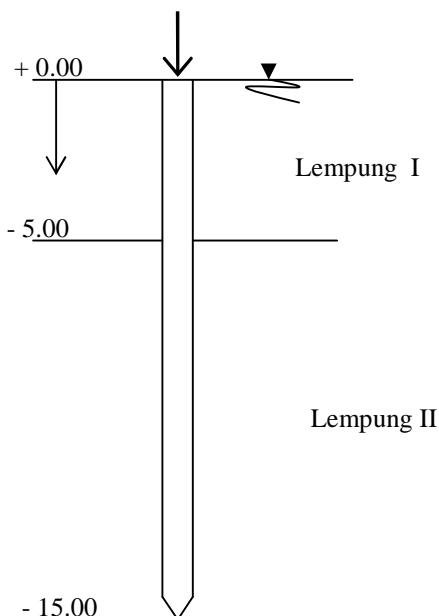
Lapisan lempung I (0 – 5 m) : $\gamma_{sat} = 19.8 \text{ kN/m}^3$, $C_u = 30 \text{ kPa}$, $\phi = 0^\circ$

Lapisan lempung II (5 – 25m) : $\gamma_{sat} = 22.8 \text{ kN/m}^3$, $C_u = 40 \text{ kPa}$, $\phi = 0^\circ$

Muka air tanah terletak pada permukaan tanah

Hitung kapasitas ultimit tiang tersebut

Penyelesaian:



- Tahanan gesek**

Keliling tiang = $\pi \times 0.45 = 1.414 \text{ m}$

$$Q_s = d F_w \cdot As \cdot C_d = d F_w \cdot As \cdot a_d \cdot C_u$$

$F_w = 1$ (tiang berdiameter seragam)

Dari grafik McClelland, 1974 (Kurva Tomlinson):

$C_u = 30 \text{ kPa}$, diperoleh $a_d = 0.92$

$C_u = 40 \text{ kPa}$, diperoleh $a_d = 0.80$

Karena kondisi tanah berlapis dan untuk mempermudah perhitungan, maka perhitungan tahanan gesek tiang disajikan dalam tabel dibawah ini

Kedelman	As	C_u	a_d	Q_s
0 – 5 m	$5 \times 1.414 = 7.07$	30	0.92	195.132
5 – 15 m	$10 \times 1.414 = 14.14$	40	0.80	452.480
Q_s total =			647.612 kN	

Cek terhadap tahanan gesek satuan maks:

$$f = \frac{Q_s}{A_s} = \frac{647.612}{21.21} = 30.53 \text{ kN/m}^2 < 107 \text{ kN/m}^2 \dots\dots (\text{OK !})$$

- **Tahanan Ujung**

$$Q_b = A_b \cdot C_u \cdot N_c$$

Dengan :

$$A_b = 0.25 \times \pi \times (0.45)^2 = 0.159 \text{ m}^2$$

$$N_c = 9$$

$$C_u = 40 \text{ kPa}$$

$$Q_b = 0.159 \times 40 \times 9 = 57.24 \text{ kN}$$

Cek terhadap tahanan ujung satuan:

$$q = \frac{Q_b}{A_b} = \frac{57.24}{0.159} = 360 \text{ kN/m}^2 < 10.7 \text{ MN/m}^2 = 10700 \text{ kN/m}^2 \dots\dots (\text{OK !})$$

Kapasitas dukung tiang ultimit :

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_b + Q_s = 647.612 \text{ kN} + 57.24 \text{ kN} \\ &= 704.852 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tiang pada tanah C - {

Kapasitas dukung ultimit tiang :

$$Q_u = Q_s (\text{komponen kohesi}) + Q_s (\text{komponen gesekan}) + Q_b - W_p$$

- **Tahanan Geselek**

$$Q_s (\text{komponen kohesi}) = a_d \cdot C_u \cdot A_s$$

Dengan : a_d = faktor adhesi

C_u = kohesi tanah undrained

A_s = Luas selimut tiang

$$Q_s (\text{komponen gesekan}) = A_s \cdot K_d \cdot \bar{p}'_0 \cdot \tan \delta$$

Dengan : \bar{p}'_0 = tekanan overburden efektif rata-rata disepanjang tiang

K_d = Koefisien tekanan tanah yang tergantung dari kondisi tanah.

δ = sudut gesek antara dinding tiang dan tanah

- **Tahanan Ujung**

$$Q_b = A_b (1.3 C_b N_c + p'_b N_q + 0.4 \times d N_x)$$

dengan : A_b = luas penampang ujung tiang

C_b = kohesi tanah pada ujung tiang

p'_b = tekanan over burden pada ujung tiang

γ = berat volume tanah

d = diameter tiang

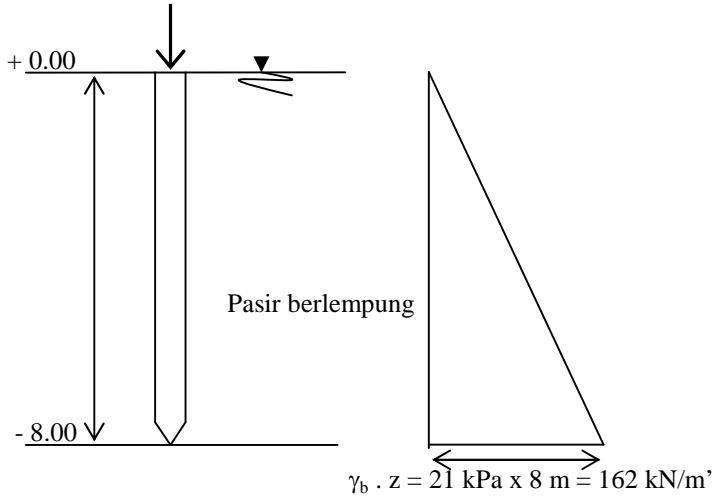
N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas dukung

Contoh Soal:

Tiang beton bujur sangkar dengan lebar 0.4 m dan panjang 8 m dipancang dalam tanah pasir berlempung, dengan $C = 40 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 28^\circ$ dan berat volume basah 21 kN/m^3 .

Jika dianggap muka air tanah sangat dalam, hitung kapasitas ultimit dan kapasitas izin bila $SF = 2.5$. Berat volume beton 24 kN/m^3 .

Penyelesaian:



- **Tahanan Gesek**

$$Q_s (\text{komponen kohesi}) = a_d \cdot C_u \cdot A_s$$

$$A_s = 4 \times 0.4 \times 8 = 12.8 \text{ m}^2$$

$$C_u = 40 \text{ kPa}, \text{ diperoleh } a_d = 0.80$$

$$Q_{s1} = 0.8 \times 40 \times 12.8 = \mathbf{409.6 \text{ kN}}$$

$$Q_s (\text{komponen gesekan}) = A_s \cdot K_d \cdot \bar{p}'_0 \cdot \text{tg} \varphi_d$$

$$\bar{p}'_0 = 162 / 2 = 84 \text{ kN/m}^2$$

$$\varphi = 28^\circ, \text{ diperoleh } \delta = 0.75\varphi = 0.75 \times 28 = 21^\circ \text{ (Tiang beton)} \\ \text{termasuk tidak padat, diperoleh } K_d = 1$$

$$Q_{s2} = 12.8 \times 1 \times 84 \times \text{tg} 21 = \mathbf{412.73 \text{ kN}}$$

$$Q_{\text{total}} = 409.6 + 412.73 = \mathbf{822.33 \text{ kN}}$$

Cek terhadap tahanan gesek satuan maks:

$$f = \frac{Q_s}{A_s} = \frac{822.33}{12.8} = 64.244 \text{ kN/m}^2 < 107 \text{ kN/m}^2 \dots\dots (\text{OK !})$$

- **Tahanan ujung**

$$Q_b = A_b (1.3 C_b N_c + p'_b N_q + 0.4 \times d N_\gamma)$$

$$A_b = (0.4)^2 = 0.16 \text{ m}^2, \quad C_b = 40 \text{ kPa}$$

$$p'_b = 162 \text{ kN/m}^2, \quad \gamma = 21 \text{ kN/m}^3$$

$$d = 0.4 \text{ m} \quad \varphi = 28^\circ, \text{ diperoleh } N_c = 30, N_q = 19, \text{ dan } N_\gamma = 17$$

(Terzaghi)

$$Q_b = 0.16 (1.3 \times 40 \times 30 + 162 \times 19 + 0.4 \times 0.4 \times 21 \times 17) \\ = \mathbf{769.96 \text{ kN}}$$

Cek terhadap tahanan ujung satuan:

$$q = \frac{Q_b}{A_b} = \frac{769.96}{0.16} = 4812.25 \text{ kN/m}^2 < 107 \text{ MN/m}^2 = 10700 \text{ kN/m}^2 \dots\dots (\text{OK !})$$

$$W_p = 8 \text{ m} \times 0.4 \text{ m} \times 0.4 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 30.72$$

Kapasitas dukung tiang ultimit :

$$Qu = Q_b + Q_s - W_p = 769.96 \text{ kN} + 822.33 \text{ kN} - 30.72 \text{ kN} \\ = \mathbf{1561.57 \text{ kN}}$$

Kapasitas dukung izin tiang :

$$Qa = \frac{Qu}{SF} = \frac{1561.57}{2.5} = \mathbf{624.628 \text{ kN}}$$

Kapasitas dukung Tiang dari Pengujian Sondir

Vesic (1967), menyarankan nilai kapasitas dukung tiang :

- Tahanan ujung ultimit tiang:

$$Q_b = A_b \cdot q_c$$

Dengan : q_c adalah tahanan kerucut / nilai konis

Meyerhof menyarankan q_c diambil dari rata-rata q_c dari 8d di atas dasar tiang sampai 3d di bawah dasar tiang

$$q_c = \frac{q_c(8d) + q_c(3d)}{z}$$

- Tahanan Gesek ultimit tiang :

$$Q_s = A_s \cdot f_s, \quad f_s \text{ adalah tahanan gesek satuan}$$

- Pada dinding tiang beton,

$$f_s = 2q_f$$

dengan : q_f = tahanan gesek dinding sondir

- Tiang baja profil H :

$$f_s = q_f$$

Tahanan gesek satuan antara dinding tiang dan tanah, secara empiris dapat pula ditentukan dari nilai tanahan ujung kerucut (Meyerhof, 1956),

- Tiang pancang beton dan kayu,

$$f_s \approx \frac{q_c}{200} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

- Tiang baja profil H :

$$f_s \approx \frac{q_c}{400} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

Kapasitas dukung Tiang dari Pengujian SPT

Meyerhof (1956), menyarankan nilai kapasitas dukung tiang :

- Tiang beton:

$$Q_u = 4 N_b A_b + 1/50 \cdot N A_s$$

Dengan : N_b adalah nilai N dari pengujian SPT pada tanah di bawah dasar tiang

N adalah nilai N rata-rata dari pengujian SPT di sepanjang tiang

- Tiang Baja profil

$$Q_u = 4 N_b A_b + 1/100 \cdot N A_s$$

Koreksi nilai N untuk tanah pasir halus terendam air

$$N = 15 + \frac{1}{2}(N' - 15), \quad N' \text{ adalah yang terukur di lapangan}$$

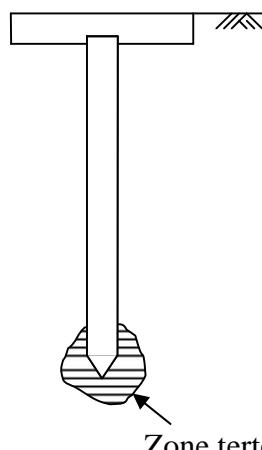
Kapasitas Kelompok Tiang

Kapasitas kelompok tiang tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang berada dalam kelompoknya. Hal ini disebabkan jika tiang dipancang dalam lapisan pendukung yang mudah mampat atau dipancang pada lapisan tanah yang tidak mudah mampat tapi dibawahnya terdapat lapisan lunak.

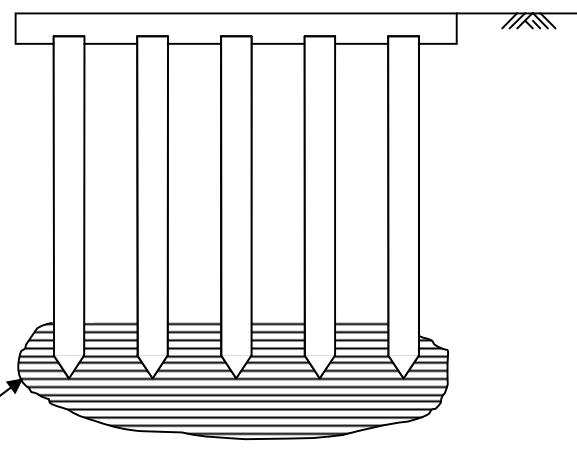
Stabilitas kelompok tiang bergantung pada:

1. Kemampuan tanah di sekitar tiang dan di bawahnya
2. Pengaruh konsolidasi tanah yang terletak di bawah kelompok tiang.

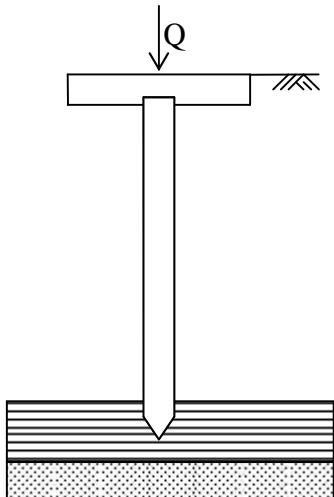
Tiang tunggal



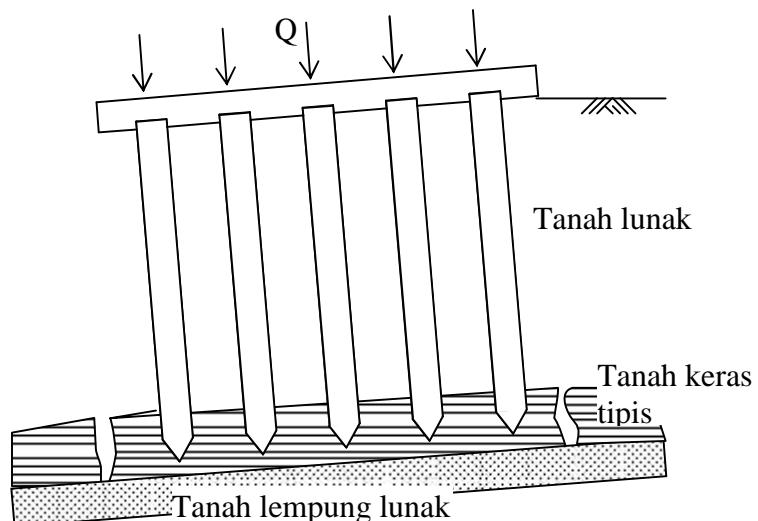
Kelompok tiang



Tiang uji



Beban tiang telah bekerja pada kelompok tiang



Kelompok Tiang dalam Tanah kohesif

- Jika jarak tiang pendek dan tiang-tiang bertumpu pada lapisan lempung lunak maka dapat terjadi "keruntuhan blok".
- Pada keruntahan blok, tanah yang terkurung tiang-tiang bergerak ke bawah bersama-sama tiang.
- Terjadi pada tiang pancang dan tiang bor

Pada keruntuhan blok tersebut, Terzaghi dan Peck (1948) menganggap:

- 1) Plat menutup tiang (poer) sangat kaku
- 2) Tanah yang berada dalam kelompok tiang berkelakuan sebagai blok padat.

Kapasitas ultimit kelompok tiang (Q_g) :

$$Q_g = 2D(B + L) \bar{C} + 1.3 C_b N_c BL$$

Dengan:

D = kedalaman tiang

B = lebar kelompok tiang

L = panjang kelompok tiang

\bar{C} = kohesi rata-rata di sepanjang tiang

C_b = kohesi bagian bawah tiang

Jika : $n \times Qu < Q_g$, dipakai nilai $n \times Qu$

$n \times Qu > Q_g$, dipakai nilai Q_g

n = jumlah tiang dalam kelompoknya

Efisiensi tiang

- Pengamatan menunjukkan bahwa kapasitas total dari kelompok tiang gesek, khususnya dalam tanah lempung, lebih kecil dari $n \times Qu$
- Pengurangan atau reduksi kapasitas adalah akibat dari pengarguh tumpang tindihnya zone tertekan disekeliling masing-masing tiang
- Reduksi kapasitas dinyatakan dalam istilah "Efisiensi Tiang (E_g)".

Menurut Converse – Labarre Formula :

$$E_g = 1 - \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90mn'}$$

Dengan :

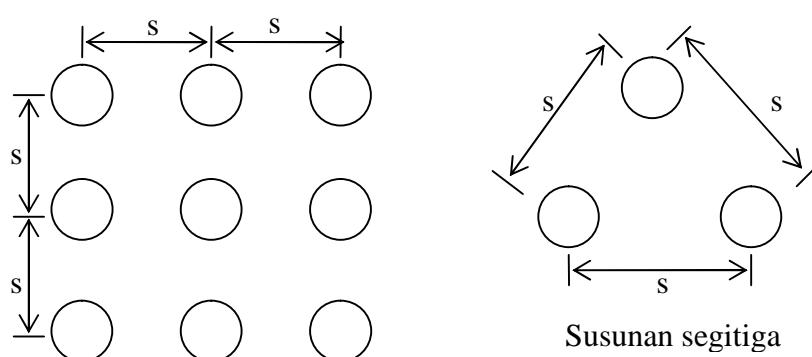
m = jumlah baris tiang

n' = jumlah tiang dalam satu baris

θ = acrtg(d/s), dalam derajat

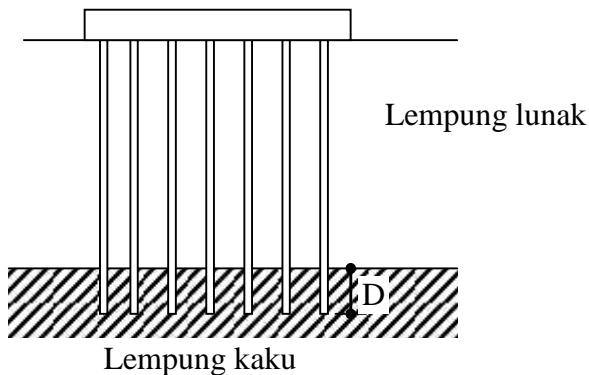
s = jarak pusat ke pusat tiang

d = diameter tiang



Susunan bujur sangkar

Kelompok tiang dalam tanah lempung yang terletak di atas lempung kaku



Karena jarak antara tiang-tiang dekat, selama pemancangan tanah lempung lunak yang terletak di dalam kelompok tiang akan terangkat ke atas. Dengan berjalananya waktu, karena terjadi rekonsolidasi atanah, berat tanah yang terangkat yang kemudian turun kembali menambah beban ujung bawah tiang yang terletak di lapisan lempung kaku.

Tambahan beban akan ditransfer oleh tiang ke tanah lempung kaku di bawahnya. Jadi, lapisan lempung lunak di bagian ini tidak menyokong tamabahan kapasitas dukung tiang.

Sehingga persamaan kapasitas dukungnya:

$$Qg = 2D' (B + L) C_r + C N_c BL$$

dengan

D' = kedalaman tiang yang berada dalam lapisan lempung kaku

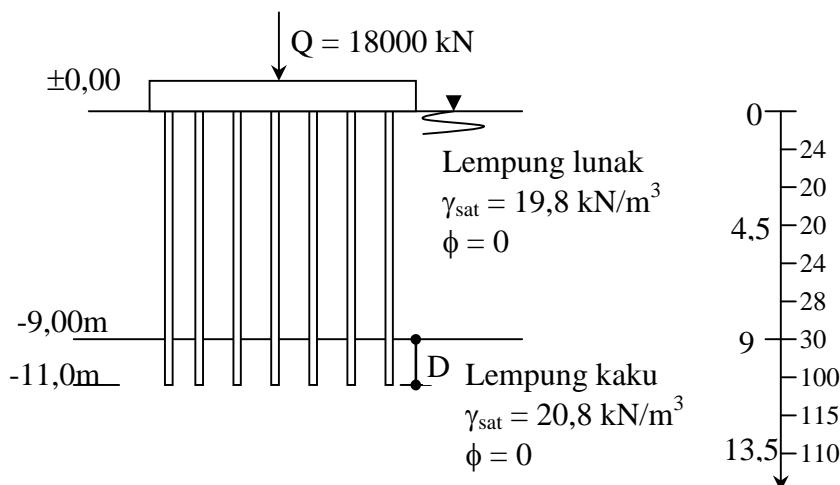
C_r = kohesi rata-rata tanah lempung lunak

C = kohesi tanah lempung kaku

Contoh:

Kelompok tiang (10 x 10) disusun pada jarak 1,2 m satu sama lain. Tiang berdiameter 0,4m. Tiang dipancang menembus lapisan lempung lunak setebal 9m pada bagian atas dan dasarnya terletak pada lempung kaku. Data nilai-nilai kohesi untuk setiap kedalaman setiap kedalaman ditunjukkan pada gambar. Muka air tanah terletak pada permukaan tanah.

Berat volume beton = 25 kN/m³



Hitung faktor aman kapasitas dukung bila dianggap tiang-tiang sebagai tiang tunggal dan kelompok tiang, bila beban akibat bangunan bagian atas $Q = 18000 \text{ kN}$

Penyelesaian :

Kohesi rata-rata pada masing-masing lapisan:

- Lempung lunak (C_r) = $1/6 (24 + 20 + 20 + 24 + 28 + 30) = 24,33 \text{ kN/m}^2$
- Lempung kaku (C) = $1/3 (100 + 115 + 110) = 108,33 \text{ kN/m}^2$

- Faktor aman kapasitas dukung bila dianggap kelompok tiang

Kapasitas dukung kelompok tiang:

$$D' = 2\text{m}$$

$$B = L = (9 \times 1,2 + 0,4) \text{ m} = 11,2$$

$$N_c = 9 \text{ (tanah lempung)}$$

$$\begin{aligned} Qg &= 2D' (B + L) C_r + C N_c BL \\ &= 2 \times 2 (11,2 + 11,2) \times 24,33 + 108,33 \times 9 \times 11,2 \times 11,2 \\ &= 124480,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Hitungan gaya-gaya ke bawah yang harus didukung tiang-tiang:

- Berat pile cap = $0,8\text{m} \times (12 \times 12)\text{m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^3$
= 2880 kN
- Berat netto kelompok tiang = $18000 + 2880 = 20880 \text{ kN}$
- Berat efektif tanah yang terkurung oleh kelompok tiang
 $= (11,2 \times 11,2)\text{m}^2 \times (9\text{m} \times (19,8 - 9,8)\text{kN/m}^3 + 2\text{m} \times (20,8 - 9,8))\text{kN/m}^3$
= $125,44 \times (90 + 22) = 14049,28 \text{ kN}$
- Berat efektif tanah yang dipindahkan tiang
 $= 100 \times (\pi \times 0,2^2)\text{m}^2 \times (9\text{m} \times 10\text{kN/m}^3 + 2\text{m} \times 11 \text{ kN/m}^3)$
= $1407,43 \text{ kN}$
- Beban tarikan ke bawah akibat konsolidasi
 $= 14049,28 - 1407,43 = 12641,85 \text{ kN}$
- Beban total pondasi tiang = $20880 + 12641,85 = 33521,85 \text{ kN}$
- Faktor Aman kelompok tiang = $\frac{\text{Kapasitas dukung kel. tiang}}{\text{Beban total pondasi tiang}}$
 $= \frac{124480,2}{33521,85} = 3,71 \text{ (Aman!)}$

- Faktor aman kapasitas dukung bila dianggap tiang tunggal

- Beban pertiang yang harus didukung bagian tiang yang terdapat dalam lapisan lempung kaku = $33521,85 / 100 = 335,2185 \text{ kN}$
- Kohesi rata-rata pada lempung kaku = $108,33 \longrightarrow$ faktor adhesi $a_d = 0,37$

- Tahanan gesek tiap tiang

$$Q_s = a_d \times C_u \times A_s = 0,37 \times 108,33 \times 2 (\pi \times 0,4) = 100,74 \text{ kN}$$

- Tahanan ujung tiap tiang

$$Q_b = C N_c A_b = 115 \times 9 \times (\pi \times 0,2^2) = 130,06 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor aman tiang tunggal} = \frac{110,74 + 130,06}{335,22} = 0,72 \text{ (Tidak Aman!)}$$

PENURUNAN PONDASI TIANG

Penurunan Pondasi Tiang Tunggal

Penurunan Elastic

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

dengan :

S_1 = Pemendekan tiang

S_2 = Penurunan tanah akibat gaya yang ditahan pada ujung tiang

S_3 = Penurunan tanah akibat gaya yang disalurkan melalui gesekan tiang dengan tanah

- ✓ Penurunan akibat pemendekan tiang :

$$S_1 = \frac{(Q_P + \alpha Q_S) L}{A_P E_P}$$

dengan :

Q_P = Gaya yang disalurkan melalui ujung tiang

Q_S = Gaya yang disalurkan melalui gesekan tiang

α = suatu variable yang tergantung dengan tanah, biasanya antara 0,5 – 0,67

L = Panjang tiang

A_P = Luas penampang tiang

E_P = Modulus kekakuan tiang

- ✓ Penurunan akibat gaya yang disalurkan melalui ujung tiang :

$$S_2 = \frac{Q_P d}{A_P E_S} (1 - \mu_s^2) I_P$$

dengan :

d = diameter tiang

E_S = modulus kekakuan tanah

μ_s = angka poisson tanah

I_P = Faktor pengaruh (untuk tiang bulat dan persegi = 0,88)

- ✓ Penurunan akibat gaya yang disalurkan melalui gesekan tiang :

$$S_3 = \frac{Q_S d}{A_S E_S} (1 - \mu_s^2) I_S$$

dengan :

$$I_S = 2 + 0,35 \sqrt[4]{L/d}$$

Contoh Soal :

Suatu pondasi tiang terbuat dari beton dipancang pada tanah pasir. Tiang tersebut berpenampang bulat dengan diameter 30,5 cm dan panjang 12 m. Tiang ini menahan beban sebesar 33,75 ton., 70 % beban tiang ditahan oleh gesekan dan 30% ditahan pada ujung tiang.

Berat jenis tanah pasir adalah $1,69 \text{ t/m}^3$ dan sudut gesek dalam tanah = 35° . Tentukan penurunan tiang tunggal bila diketahui $E_P = 2,1 \times 10^6 \text{ kPa}$, $E_S = 30000 \text{ kPa}$ dan $\mu_s = 0,3$.

Penyelesaian :

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

$$Q_{\text{tiang}} = 33,75 \text{ ton}$$

$$Q_S = 70\% \times 33,75 \text{ ton} = 23,625 \text{ ton}$$

$$Q_P = 30\% \times 33,75 \text{ ton} = 10,125 \text{ ton}$$

$$A_P = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi (0,305)^2 = 0,07306 \text{ m}^2$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$\alpha \text{ diambil } 0,6$$

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{(Q_P + \alpha Q_S) L}{A_P E_P} = \frac{(10,125 + 0,6 \times 23,625) 12}{0,07306 \times 2,1 \times 10^6} \\ &= 0,0019 \text{ m} \end{aligned}$$

$$I_P \text{ untuk tiang bulat} = 0,88$$

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{Q_P d}{A_P E_S} (1 - \mu_s^2) I_P = \frac{10,125 \times 0,305}{0,07306 \times 30000} (1 - 0,3^2) \times 0,88 \\ &= 0,011 \text{ m} \end{aligned}$$

$$A_S = \pi d L = \pi 0,305 12 = 0,958 \cdot 12 \text{ m}$$

$$I_S = 2 + 0,35 \sqrt{L/d} = 2 + 0,35 \sqrt{(12/0,305)} = 4,2$$

$$\begin{aligned} S_3 &= \frac{Q_S d}{A_S E_S} (1 - \mu_s^2) I_S = \frac{23,625 \times 0,305}{0,958 \times 12 \times 30000} \\ &= 0,0008 \text{ m} \end{aligned}$$

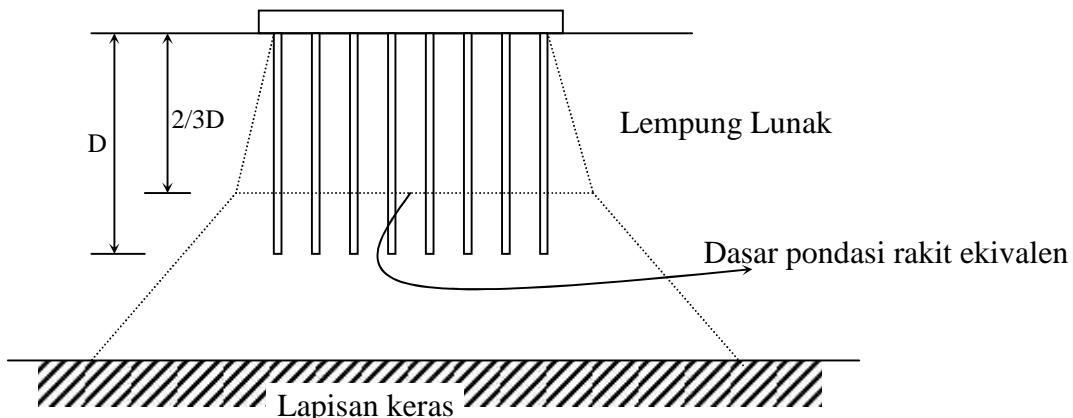
Sehingga Penuruan tiang tunggal,

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 0,0019 + 0,011 + 0,0008$$

$$= \mathbf{0,0137 \text{ m}}$$

Penurunan Kelompok Tiang

Kelompok tiang Terapung (Tiang Gesekan)



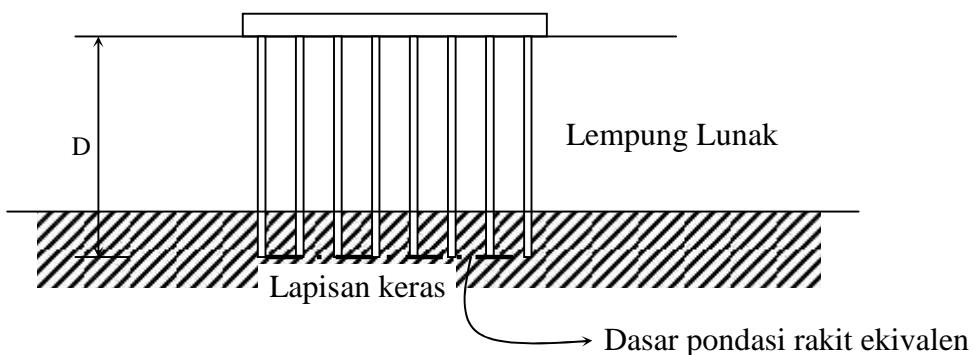
Dari pengamatan Terzaghi dan Peck,

2/3 bagian atas kadar air tanah lempung tidak berubah oleh tekanan bebannya. Di bagian bawah, kadar air berubah oleh adanya tekanan konsolidasi. Oleh karena itu, dapat dianggap tanah di bagian atas $2/3 D$ tersebut sebagai material yang tidak mudah mampat.

Sehingga penyebaran beban pondasi tiang berawal dari $2/3$ panjang tiang. Kelompok tiang berkelakuan seperti pondasi rakit dengan luas sama dengan ukuran kelompok tiang ditambah lebar yang diberikan oleh kemiringan penyebaran beban $1H : 4V$.

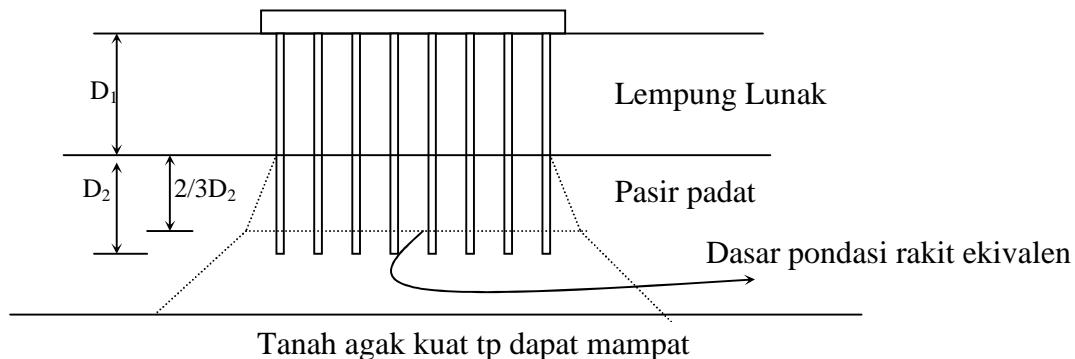
Penyebaran tekanan untuk hitungan penurunan adalah $1H : 2V$

Kelompok Tiang Dukung Ujung



Beban seluruhnya didukung oleh tahanan ujung.
Penurunan dihitung dengan menganggap dasar kelompok tiang sebagai pondasi rakit dengan luas sama dengan luas kelompok tiang.

Kelompok Tiang terletak pada Lapisan Lempung Lunak diatas Lapisan keras dengan tebal terbatas.



Kelompok tiang berkelakuan seperti pondasi rakit yang dasarnya terletak pada kedalaman $D_1 + 2/3D_2$ dan penyebaran beban ke lapisan di bawahnya digunakan cara 1H:2V.

Contoh Soal:

Kelompok tiang (10 x 7) disusun satu sama lain dengan jarak 1 m. Panjang tiang 14 m dan ujung atas tiang terletak di permukaan. Beban kelompok tiang $Q_g = 28000 \text{ kN}$. Tiang berdiameter 0,40m dipancang ke dalam tanah lempung yang didasari oleh lapisan tanah keras.

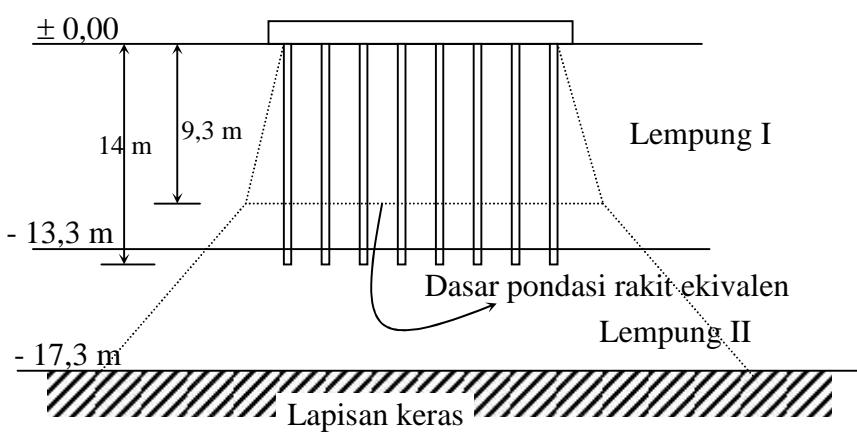
Kondisi lapisan tanah sebagai berikut :

Kedalaman : $0 - 13,3\text{m}$: Lempung I, $\gamma_{\text{sat}} = 19,8 \text{ kN/m}^3$, $m_v = 0,06 \text{ m}^2/\text{MN}$
 $E_u = 39 \text{ MN/m}^2$, $\mu = 0,5$
 $13,3 - 17,3\text{m}$: Lempung II, $\gamma_{\text{sat}} = 19,8 \text{ kN/m}^3$, $m_v = 0,03 \text{ m}^2/\text{MN}$
 $E_u = 52 \text{ MN/m}^2$, $\mu = 0,5$

Muka air tanah di permukaan.

Hitung penurunan segera dan penurunan konsolidasi kelompok tiang.

Penyelesaian :



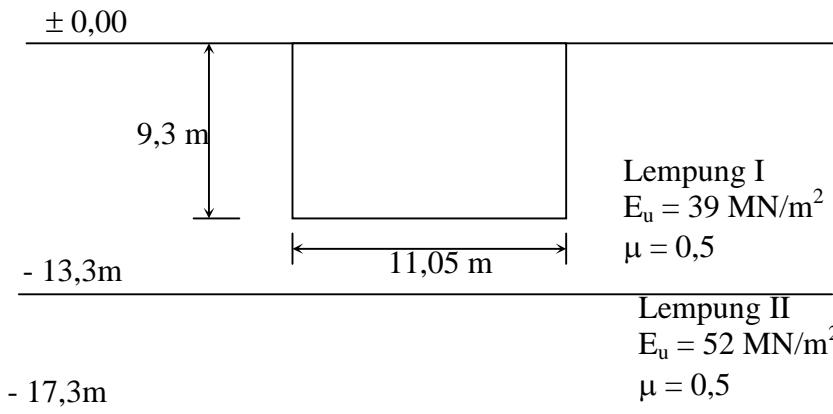
Kondisi kelompok tiang diatas ekivalen dengan pondasi rakit yang berdimensi,

$$B_R = B_{\text{kel. tiang}} + (2 \times \frac{1}{4} \times 9,33) = ((6 \times 1) + 0,4) + 4,65 = 11,05 \text{ m}$$

$$L_R = L_{\text{kel. tiang}} + (2 \times \frac{1}{4} \times 9,33) = ((9 \times 1) + 0,4) + 4,65 = 14,05 \text{ m}$$

$$\text{Tekanan netto pada dasar pondasi rakit : } q_n = \frac{28000}{11,05 \times 14,05} = 180,35 \text{ kN/m}^2$$

Hitungan Penurunan segera :



Karena Lempung pada kondisi $\mu = 0,5$, maka dalam hitungan penurunan segera dipakai cara Janbu,

$$S_i = \frac{\mu_0 \mu_1 q_n B}{E_u}$$

$$D_f / B_R = 9,3 / 11,05 = 0,84$$

$$L_R / B_R = 14,05 / 11,05 = 1,27 \quad \text{dari grafik didapat nilai } \mu_0 = 0,77$$

Lapisan Lempung I:

$$H/B_R = 4 / 11,05 = 0,36 \quad \text{diperoleh nilai } \mu_1 = 0,25$$

$$S_i = \frac{\mu_0 \mu_1 q_n B}{E_u} = \frac{0,77 \times 0,25 \times 180,35 \times 11,05}{39000} = 0,0098 \text{ m}$$

Lapisan Lempung II :

$$H/B_R = 8 / 11,05 = 0,72 \quad \text{diperoleh nilai } \mu_1 = 0,4$$

Penurunan segera lapisan lempung I dan II:

$$S_i = \frac{\mu_0 \mu_1 q_n B}{E_u} = \frac{0,77 \times 0,4 \times 180,35 \times 11,05}{52000} = 0,0112 \text{ m}$$

Penurunan segera lapisan Lempung I saja :

$$H/B_R = 4 / 11,05 = 0,36 \quad \text{diperoleh nilai } \mu_1 = 0,25$$

$$S_i = \frac{\mu_0 \mu_1 q_n B}{E_u} = \frac{0,77 \times 0,25 \times 180,35 \times 11,05}{52000} = 0,0074 \text{ m}$$

Penurunan segera Lapisan Lempung II :

$$S_i = 0,0112 - 0,0074 = 0,0038 \text{ m}$$

Jadi Penurunan segera total :

$$S_i = 0,0098 + 0,0038 = 0,0136 \text{ m} = 13,6 \text{ cm}$$

Hitungan penurunan konsolidasi :

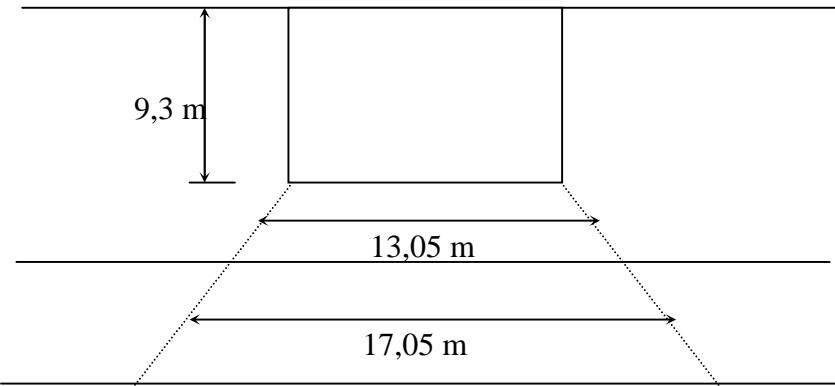
Karena yang diketahui nilai m_v , maka persamaan yang dipakai : $S_c = \Delta p m_v H$

Penyebaran tekanan digunakan cara 1H:2V sehingga,

Penyebaran tekanan pada lapisan lempung I (tengah lapisan):

$$\Delta \sigma_v = \Delta p = \frac{28000}{(11,05\text{m} + 2 \times \frac{1}{2} \times 2\text{m}) \times (14,05\text{m} + 2 \times \frac{1}{2} \times 2\text{m})}$$

$$= \frac{28000}{(13,05 \times 16,05)} = 133,68 \text{ kN/m}^2$$



Penyebaran tekanan pada lapisan lempung II (tengah lapisan):

$$\Delta\sigma_v = \Delta p = \frac{28000}{(11,05m + 2 \times \frac{1}{2} \times 6m) \times (14,05m + 2 \times \frac{1}{2} \times 6m)}$$

$$= \frac{28000}{(17,05 \times 20,05)} = 81,91 \text{ kN/m}^2$$

Penurunan konsolidasi pada lapisan Lempung I :

$$m_v = 0,06 \text{ m}^2/\text{MN} = 0,06 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{kN}$$

$$S_c = \Delta p m_v H = 133,68 \text{ kN/m}^2 \times 0,06 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{kN} \times 4\text{m}$$

$$= 0,032 \text{ m}$$

Penurunan konsolidasi pada lapisan Lempung II :

$$m_v = 0,03 \text{ m}^2/\text{MN} = 0,03 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{kN}$$

$$S_c = \Delta p m_v H = 81,91 \text{ kN/m}^2 \times 0,03 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{kN} \times 4\text{m}$$

$$= 0,0098 \text{ m}$$

Penurunan konsolidasi total : $S_c = 0,032 + 0,0098 = 0,0418 \text{ m} = 41,8 \text{ cm}$

Jadi Penurunan total dari kelompok tiang : $S_{\text{total}} = S_i + S_c = 13,6 + 41,8 = 55,4 \text{ cm}$