



Daya Dukung Pondasi Dalam

Axial Driven Pile Capacity

Kapasitas pile statis dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$\begin{aligned} P_u &= P_{pu} + \Sigma P_{si} && \text{(compression)} \\ T_u &= \Sigma P_{si} + W && \text{(tension)} \end{aligned}$$

dengan:

- P_u = ultimate (max) pile capacity in compression
- T_u = ultimate pullout capacity
- P_{pu} = ultimate point capacity
- ΣP_{si} = skin (or shaft friction) resistance contribution from several strata penetrated by the pile
- W = weight of pile

Axial Driven Pile Capacity

Daya dukung izin P_a atau T_a

$$P_a = P_{pu} / F_p + \Sigma P_{si} / F_s$$

atau

$$P_a = P_u / F$$

$$P_a = T_u / F$$

Axial Driven Pile Capacity

Penentuan daya dukung pondasi tiang pancang dengan cara statik dapat dilakukan sebagai berikut:

Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p) Cara Meyerhof (1976)

A. Tanah Pasir

Formula yang digunakan adalah:

$$Q_{pl} = A_p \cdot q_p = A_p \cdot q' \cdot N_q^*$$

dengan:

- Q_p = daya dukung ujung tiang
- Q_p = $q' N_q^*$ = daya dukung per satuan luas
- A_p = luas penampang ujung tiang
- q' = tegangan vertikal efektif
- N_q^* = faktor daya dukung ujung

Axial Driven Pile Capacity

Harga q_p tidak dapat melebihi daya dukung batas q_l , karena itu daya dukung ujung tiang perlu ditentukan:

$$Q_{p2} = A_p \cdot q_l = A_p \cdot 5 \cdot N_q^* \cdot \tan \phi$$

dengan:

- Q_{p2} = daya dukung ujung tiang (t/m²)
- A_p = luas penampang ujung tiang (m²)
- N_q^* = faktor daya dukung ujung
- ϕ = sudut geser dalam
- Q_l = daya dukung batas

Untuk kemudahan, harga Q_{p1} dan Q_{p2} dibandingkan dan diambil harga yang lebih kecil sebagai daya dukung ujung tiang.

Harga N_q^* ditentukan sebagai fungsi dari sudut geser dalam tanah (ϕ) seperti yang ditunjukkan pada Gbr.1.

Axial Driven Pile Capacity

Syarat untuk mencapai nilai ultimit dari tahanan ujung tiang adalah penetrasi tiang ke dalam lapisan pendukung mencapai kedalaman sekurang-kurangnya L_{bcr} . Nilai L_{bcr} adalah fungsi dari kepadatan tanah pasir dan sering dinyatakan $L_b = f(\phi)$, namun dari segi kepraktisan nilai L_{bcr} diambil sebesar $10D$. Bila penetrasi tiang tidak mencapai L_{bcr} maka tahanan ujung perlu dikoreksi dengan persamaan

$$q_p = q_{1(l)} + [q_{1(d)} - q_{1(l)}] \frac{L_b}{10.D}$$

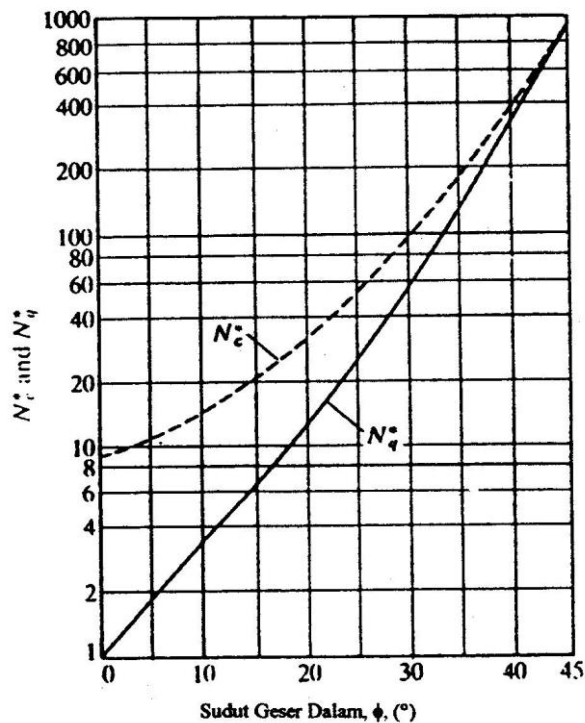
dengan:

- $q_1 (l)$ = harga q_1 pada lapisan loose sand
- $q_1 (d)$ = harga q_1 pada lapisan dense sand
- L_b = panjang penetrasi ke dalam lapisan bawah
- D = diameter tiang

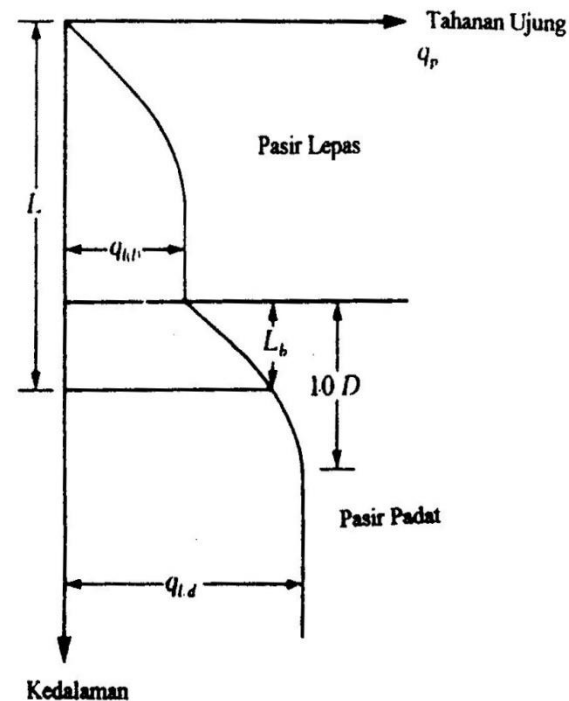
Nilai q_p di atas dibandingkan dengan harga $q_1(d)$ dan diambil harga yang lebih kecil. Kemudian dikalikan dengan luas penampang ujung tiang (A_p) sehingga diperoleh daya dukung ujung tiang (Q_p)

Axial Driven Pile Capacity

Nilai q_p di atas dibandingkan dengan harga $q_{1(d)}$ dan diambil harga yang lebih kecil. Kemudian dikalikan dengan luas penampang ujung tiang (A_p) sehingga diperoleh daya dukung ujung tiang (Q_p).



Gbr.1. Faktor Daya Dukung Ujung N_c^* dan N_q^*



Gbr.2. Variasi Satuan Perlawanan Ujung Penetrasi Tiang pada Pasir Berlapis

Axial Driven Pile Capacity

B. Tanah Lempung

Formula yang digunakan adalah:

$$Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot c_u \cdot N_c^* \cong 9 \cdot c_u \cdot A_p$$

dengan:

- Q_p = daya dukung ujung tiang
- A_p = luas penampang ujung tiang
- N_c^* = faktor daya dukung ujung
- c_u = kohesi

Harga N_c^* dapat ditentukan dengan menggunakan Gbr. 1

Axial Driven Pile Capacity

Daya Dukung Ujung Selimut (Q_s)

Daya dukung selimut tiang ditentukan berdasarkan rumus berikut ini:

$$Q_s = \sum A_s \cdot f$$

dengan:

- A_s = luas selimut tiang = $p \times \Delta L$
- P = keliling tiang
- ΔL = panjang segmen tiang
- F = gesekan selimut satuan

Q_s dibedakan berdasarkan:

- A. Tanah Pasir
- B. Tanah Lempung

Axial Driven Pile Capacity

A. Tanah Pasir

Formula yang digunakan adalah:

$$f = K \cdot \sigma_v' \cdot \tan \delta$$

dengan:

- K = konstanta = $1 - \sin \phi$
- σ_v' = tegangan vertikal efektif tanah, yang dianggap konstan setelah kedalaman $15 D$

Untuk tiang pancang harga K ditentukan sebagai berikut:

- K = K_0 (batas bawah)
- K = $1.8K_0$ (batas atas)

dengan :

- K_0 = koefisien tekanan tanah at rest
= $1 - \sin \phi$
- ϕ = sudut geser dalam ($^\circ$)

Harga K dan δ menurut Tomlinson (1986) ditentukan berdasarkan tabel 1

Tabel 1

Bahan Tiang	δ	Nilai K	
		Dr rendah	Dr tinggi
Baja	20°	0.5	1.0
Beton	$3/4 \phi$	1.0	2.0
Kayu	$2/3 \phi$	1.5	4.0

Axial Driven Pile Capacity

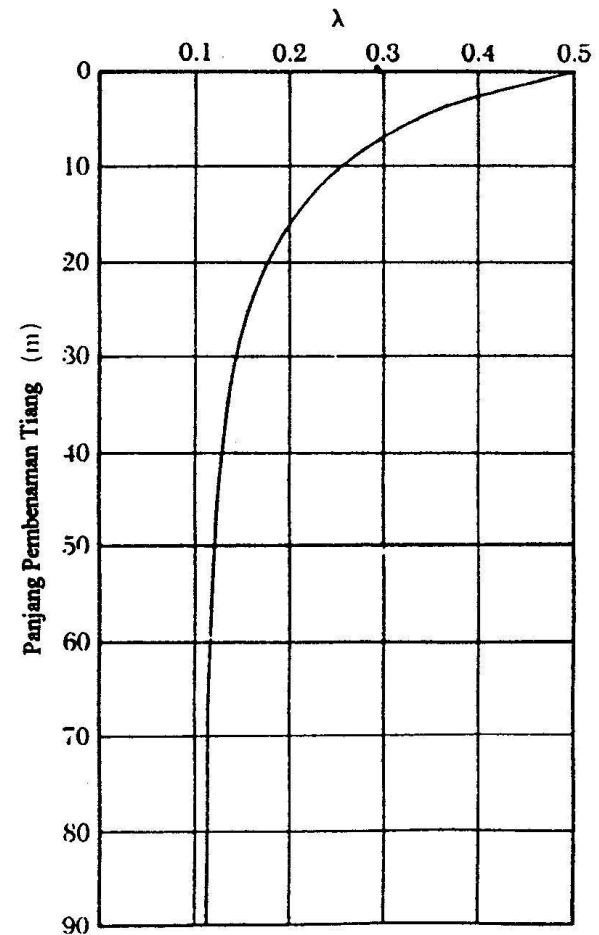
B. Tanah Lempung

Ada 3 metoda yang dapat digunakan untuk menghitung gesekan selimut pada tanah lempung, yaitu:

1. Metoda Lambda (Vijayvergiya & Focht)

dengan:

- λ = konstanta (Gbr. 3)
- σ_{ave} = tegangan vertikal efektif rata-rata
- $c_{u\ ave}$ = kohesi rata-rata
- f_{ave} = gesekan selimut rata-rata



Gbr.3. Koefisien λ

Axial Driven Pile Capacity

Nilai rata-rata tegangan vertikal efektif (σ'_{ave}) dapat dijelaskan dengan Gbr.4., berdasarkan persamaan berikut:

$$\sigma'_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{L}$$

dengan:

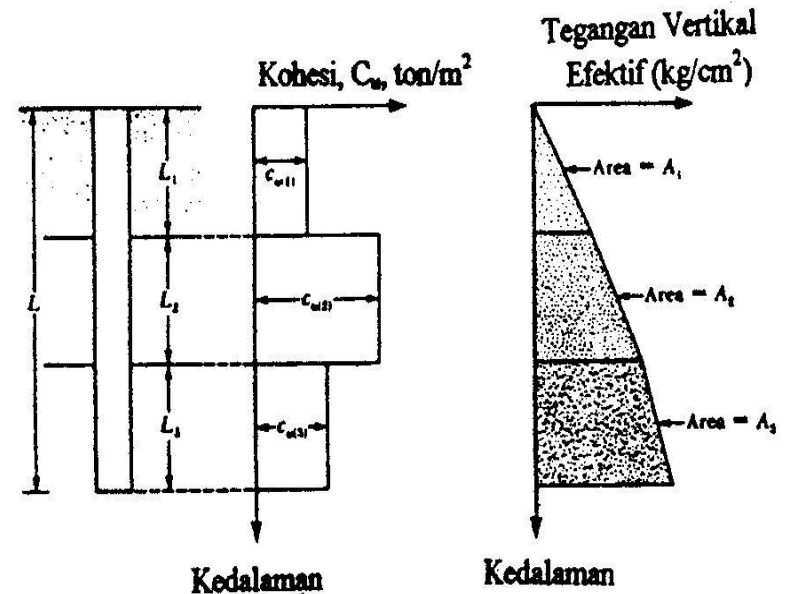
- A_i = luas diagram tegangan vertikal efektif
- L = panjang tiang

Sedangkan,

$$C_{Uave} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{L}$$

dengan:

- c_{ui} = kohesi (lapis i)
- L_i = panjang segmen tiang (lapis i)
- L = panjang tiang



Gbr.4. Aplikasi metoda λ pada tanah berlapis
(sumber Das,1990)

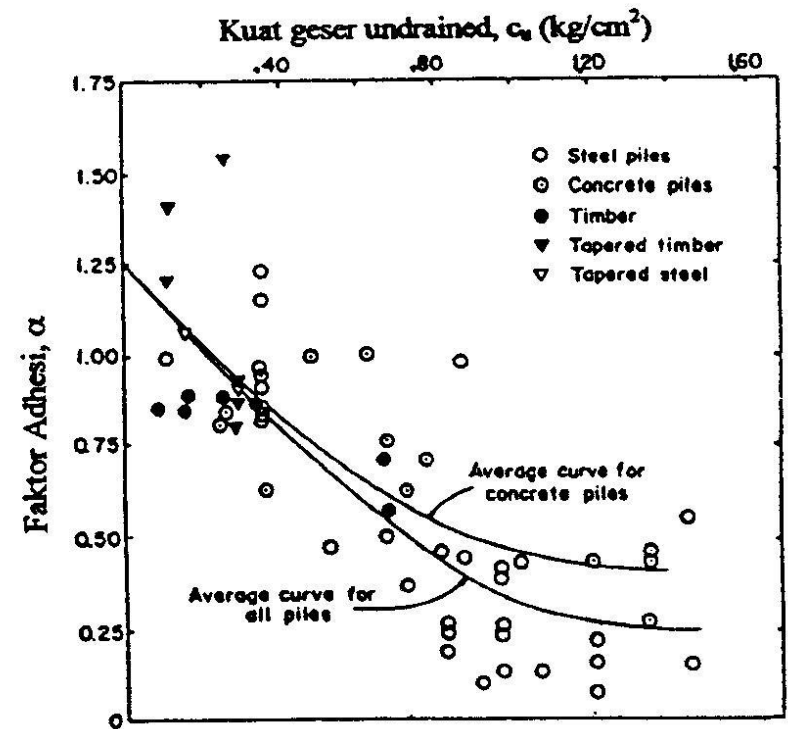
Axial Driven Pile Capacity

2. Metoda Alpha (Tomlinson)

$$f_s = \alpha \cdot C_u$$

dengan:

- f_s = gesekan selimut
- α = konstanta (Gbr. 5.)
- C_u = kohesi



Gbr. 5. Variasi Harga α terhadap Harga C_u

Axial Driven Pile Capacity

3. Metoda Beta (Metoda Tegangan Efektif)

$$f_{s \text{ ave}} = \beta \cdot \sigma'_v$$

dengan:

- $f_{s \text{ ave}}$ = gesekan selimut rata-rata
- β = $K \tan \phi_r$
- ϕ_r = sudut geser dalam pada kondisi terdrainase (dari uji triaksial CD)
- K = $1 - \sin \phi_r$ (untuk tanah terkonsolidasi normal)
- K = $(1 - \sin \phi_r) \cdot \sqrt{\text{OCR}}$ (untuk tanah over-consolidated)
- σ'_v = tegangan vertikal efektif
- OCR = Over Consolidation Ratio

Axial Driven Pile Capacity

Penentuan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang berdasarkan Uji CPT (Metode Schmertmann - Nottingham, 1975)

- Cara statik membutuhkan parameter tanah yang umumnya tidak tersedia secara kontinu sepanjang tiang
- Kecenderungan baru adalah menggunakan data uji lapangan yang lebih bersifat kontinu, yaitu data CPT (sondir) dan SPT
- Metoda yang diberikan oleh Schmertmann & Nottingham ini hanya berlaku untuk pondasi tiang pancang
- Schmertmann - Nottingham (1975) menganjurkan perhitungan daya dukung ujung pondasi tiang menurut cara Begemann, yaitu diambil dari nilai rata-rata perlawanan ujung sondir 8D diatas ujung tiang dan 0.7D-4D dibawah ujung tiang. D adalah diameter tiang atau sisi tiang

$$Q_p = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} \bullet A_p$$

dengan:

Q_p = daya dukung ujung tiang

q_{c1} = nilai q_c rata-rata pada 0.7D - 4D dibawah ujung tiang

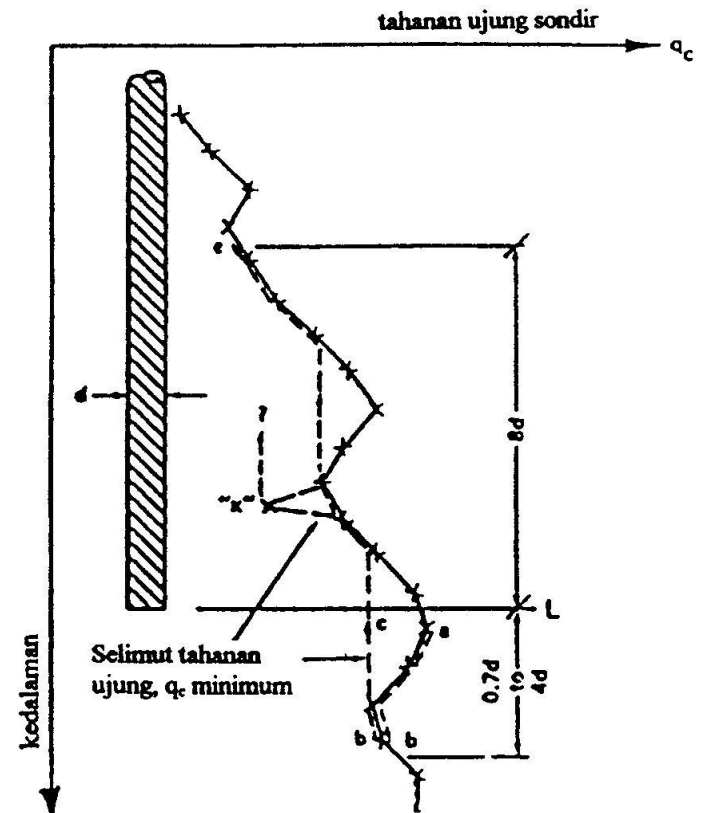
q_{c2} = nilai q_c rata-rata 8D diatas ujung tiang

A_p = luas proyeksi penampang tiang

Axial Driven Pile Capacity

- Bila zona tanah lembek dibawah tiang masih terjadi pada kedalaman 4D-10D, maka perlu dilakukan reduksi terhadap nilai rata-rata tersebut. Pada umumnya nilai perlawanan ujung diambil tidak lebih dari 100 kg/cm² untuk tanah pasir dan tidak melebihi 75 kg/cm² untuk tanah pasir kelanauan
- Untuk mendapatkan daya dukung selimut tiang maka digunakan formula sebagai berikut:

$$Q_s = K_{s.c} \left[\sum_{z=0}^{8D} \frac{z}{8D} f_s \cdot A_s + \sum_{z=8D}^L f_s \cdot A_s \right]$$



Gbr. 6. Perhitungan Data Dukung Ujung
(Sumber : Schmertmann. 1978)

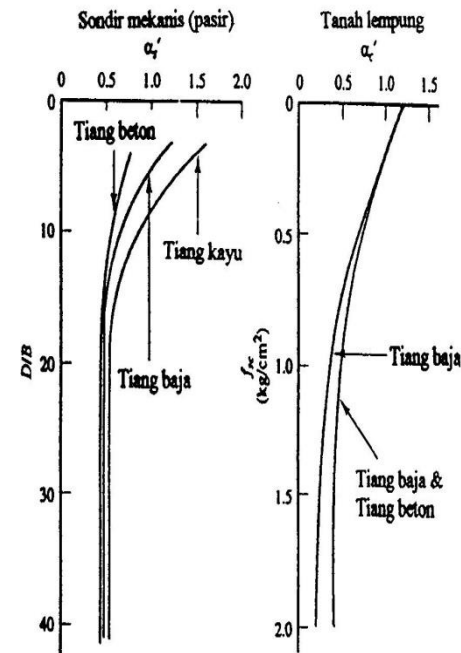
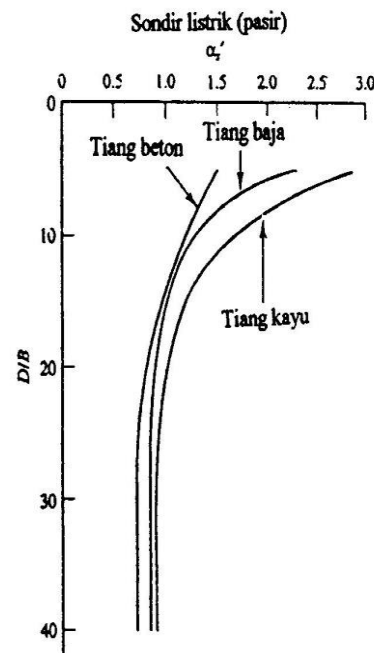
K_s dan K_c adalah faktor reduksi yang tergantung pada kedalaman dan nilai gesekan selimut, f

Apabila tanah terdiri dari berbagai lapisan pasir dan lempung, Schertmann menganjurkan untuk menghitung daya dukung setiap lapisan secara terpisah. Namun perlu diingat bahwa nilai K_s , c pada persamaan di atas dihitung berdasarkan total kedalaman tiang

Nilai f dibatasi hingga

- 1.2 kg/cm² untuk tanah pasir dan
- 1.0 kg/cm² untuk pasir kelanauan

Gbr. 7.
Faktor Koreksi
Gesekan pada
Selimut Tiang Pada
Sondir Listrik
(Sumber: Nottingham
1975)



Gbr. 8. Faktor Koreksi Gesekan pada
Selimut Tiang Pada Sondir Mekanis
(Sumber : Nottingham 1975)

Axial Driven Pile Capacity

Penentuan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Uji SPT

Penentuan daya dukung pondasi tiang menggunakan data SPT diberikan dalam dua metode yaitu:

- Metode Meyerhoff
- Metode Schmertmann

Axial Driven Pile Capacity

1. Metode Meyerhoff

Meyerhoff (1956) menganjurkan formula daya dukung untuk tiang pancang sebagai berikut

$$Q_u = 40 N_b \cdot A_p + 0.2 N \cdot A_s$$

dengan:

- Q_u = daya dukung ultimit pondasi tiang pancang (ton)
- N_b = harga N-SPT pada elevasi dasar tiang
- A_p = luas penampang dasar tiang (m^2)
- A_s = luas selimut tiang (m^2)
- N = harga N-SPT rata rata

Untuk tiang dengan desakan tanah yang kecil seperti tiang bor dan tiang baja H, maka daya dukung selimut hanya diambil separuh dari formula diatas, sehingga menjadi:

$$Q_{ult} = 40 N_b \cdot A_p + 0.1 N \cdot A_s$$

Harga batas untuk N_b adalah 40 dan harga batas untuk $0.2 N$ adalah 10 ton/ m^2

Axial Driven Pile Capacity

2. Metode Schmertmann

Schmertmann menggunakan korelasi N-SPT dengan tahanan ujung sondir q_c untuk menentukan daya dukung gesekan dan daya dukung ujung pondasi tiang. Tabel 2. memberikan ikhtisar usulan Schmertmann tersebut. Tabel ini berlaku untuk pondasi tiang pancang dengan penampang tetap

Tabel 2. Nilai Gesekan untuk Desain Pondasi Tiang Pancang (Sumber : Schmertmann, 1967)

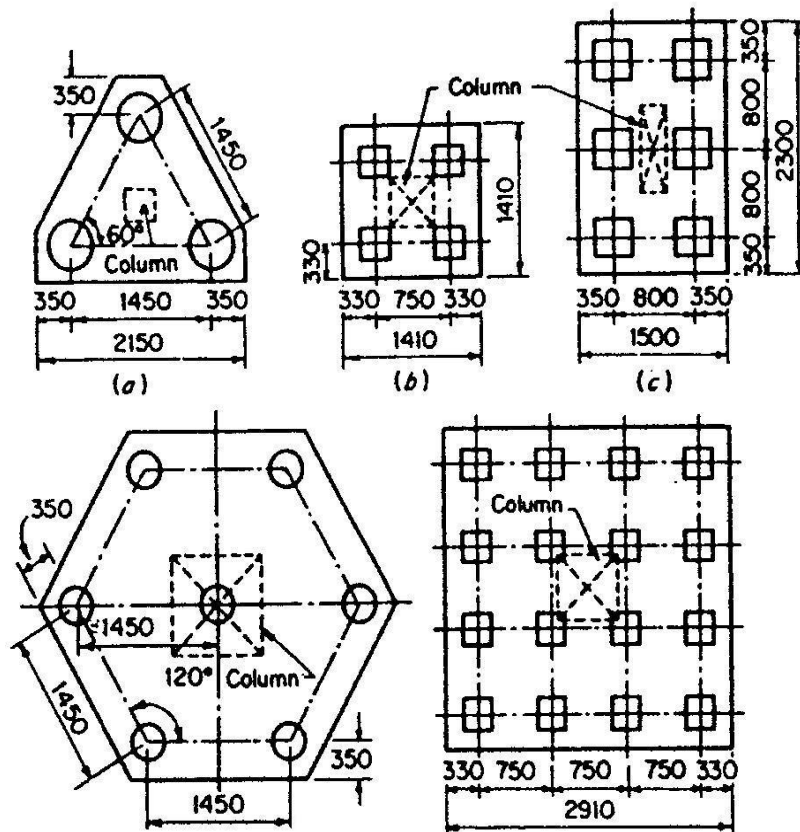
Jenis Tanah	Deskripsi	Gesekan Selimut (kg/cm ²)	Tahanan Ujung (kg/cm ²)
Pasir bersih (*)	GW,GP, GM,SW,SP, SM	0.019 N	3.2 N
Lempung lanau bercampur pasir, pasir kelanauan, lanau	GC,SC, ML, CL	0.04 N (**)	1.6 N
Lempung plastis	CH, OH	0.05 N (**)	0.7 N
Batu gamping rapuh, pasir berkarang		0.01 N	3.6 N

a) Berlaku untuk diatas maupun dibawah muka air

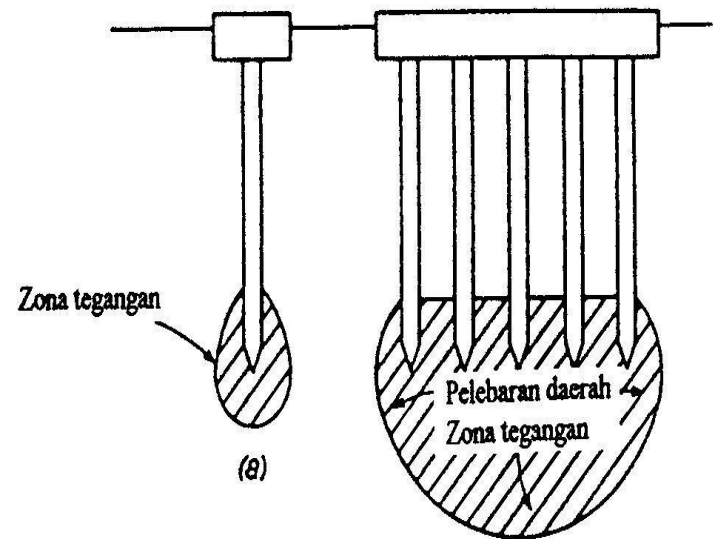
(*) Untuk $N > 60$, diambil $N = 60$

(**) Dianjurkan untuk memberikan reduksi untuk lempung teguh dan lempung pasiran

Tipikal kelompok tiang



Konfigurasi Kelompok Tiang Tipikal



Tegangan di Bawah Ujung Tiang Tunggal dan Kelompok Tiang

Efisiensi dan Daya Dukung Kelompok Tiang

- Efisiensi kelompok tiang didefinisikan sebagai:

$$E_g = \frac{\text{Daya dukung kelompok tiang}}{\text{Jumlah tiang} \times \text{daya dukung tiang tunggal}}$$

- Efisiensi kelompok tiang tergantung pada beberapa faktor diantaranya
 - Jumlah tiang, panjang, diameter, pengaturan, dan terutama jarak antara as ke as tiang.
 - Modus pengalihan beban (gesekan selimut atau tahanan ujung).
 - Prosedur pelaksanaan konstruksi (tiang pancang atau tiang bor).
 - Urutan instalasi tiang.
 - Jangka waktu setelah pemancangan.
 - Interaksi antara pile cap dan tanah di permukaan.

Efisiensi kelompok tiang pada tanah pasiran

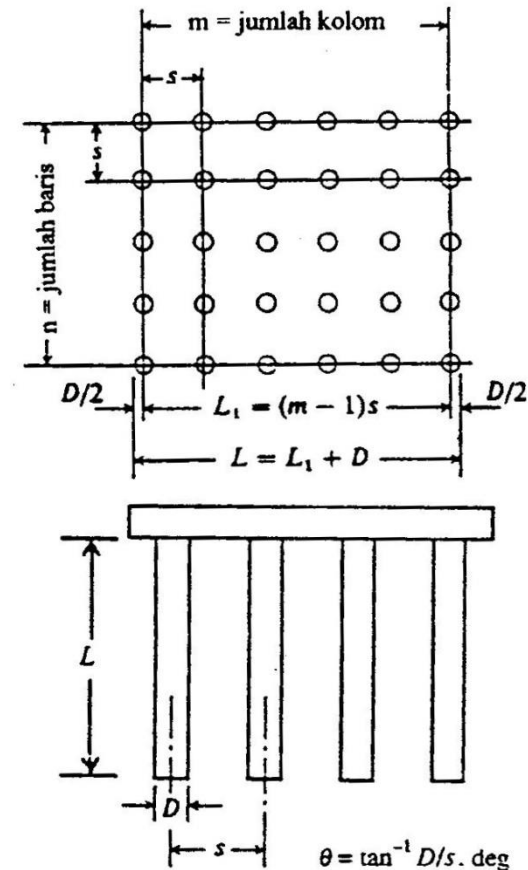
● Formula Sederhana

Formula ini didasarkan pada jumlah daya dukung gesekan dari kelompok tiang sebagai satu kesatuan (blok).

$$E_g = \frac{2(m + n - 2)s + 4D}{p \cdot m \cdot n}$$

dimana :

- m = Jumlah tiang pada deretan baris.
- n = jumlah tiang pada deretan kolom
- s = jarak antar tiang.
- D = diameter atau sisi tiang .
- p = keliling dari penampang tiang.



Efisiensi kelompok tiang pada tanah pasir

● **Formula Converse-Labarre**

$$E_g = 1 - \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n} \right] \theta$$

dimana :

$$\theta = \text{arc tan } (D/s)$$

● **Formula Los Angeles**

$$E_g = 1 - \frac{D}{\pi \cdot s \cdot m \cdot n} \left[m(n-1) + n(m-1) + (m-1)(n-1)\sqrt{2} \right]$$

● **Formula Seiler-Keeney**

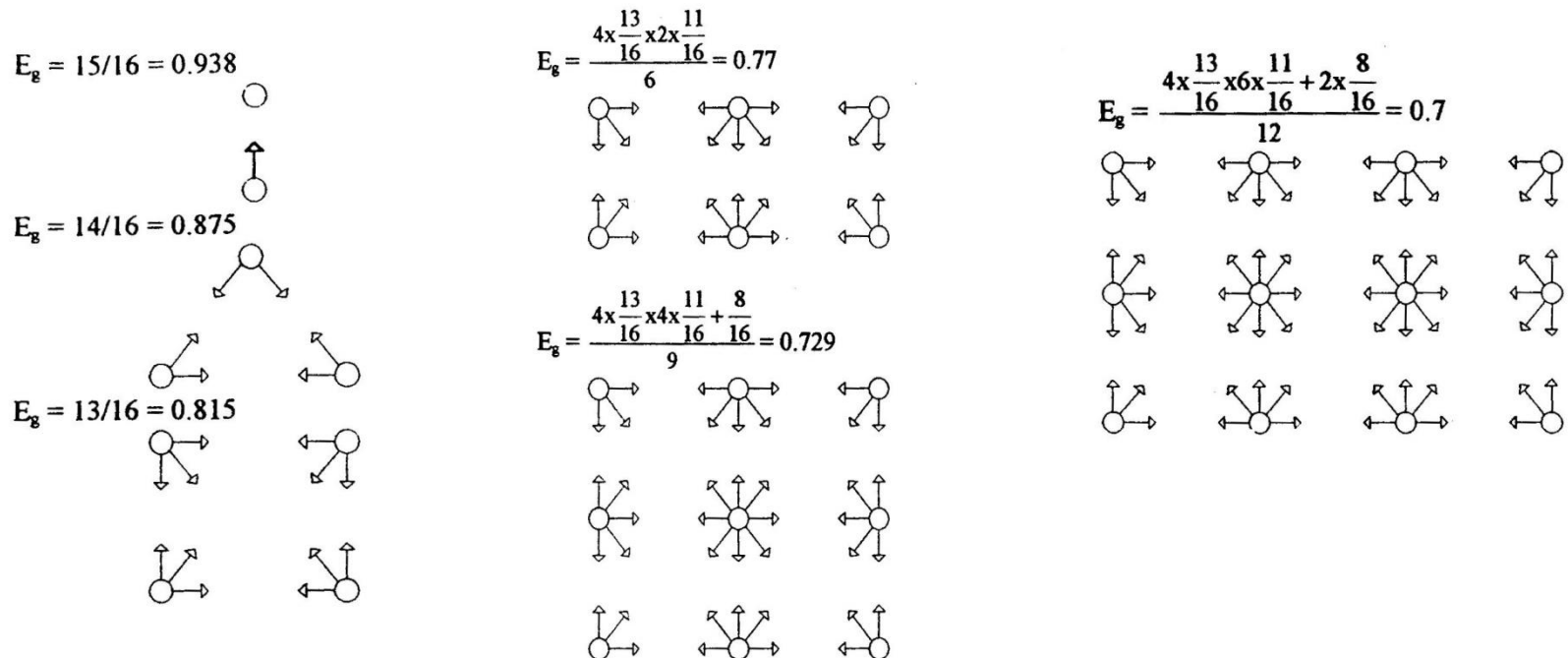
$$E_g = \left[1 - \frac{36s(m+n-2)}{(75s^2 - 7)(m+n-1)} \right] + \frac{0.3}{m+n}$$

s dalam satuan meter.

Efisiensi kelompok tiang pada tanah pasiran

Formula Fled

Dalam metoda ini kapasitas pondasi individual tiang berkurang sebesar 1/16 akibat adanya tiang yang berdampingan baik dalam arah lurus maupun dalam arah diagonal. Ilustrasi hasil perhitungan formula ini diberikan pada Gbr. 4.



Efisiensi Kelompok Tiang Berdasarkan Formula Fled

Daya dukung kelompok tiang pada tanah lempung

Daya dukung batas kelompok tiang pada tanah lempung didasarkan pada aksi blok yaitu bila kelompok tersebut berperan sebagai blok.

- Daya dukung kelompok tiang dihitung sebagai berikut :

1. Tentukan jumlah total kapasitas kelompok tiang

$$\begin{aligned}\Sigma Q_u &= m \cdot n (Q_p + Q_s) \\ &= m \cdot n \left[A_p \cdot 9 \cdot c_{u(p)} + \sum \alpha \cdot c_u \cdot p \cdot \Delta L \right]\end{aligned}$$

dimana :

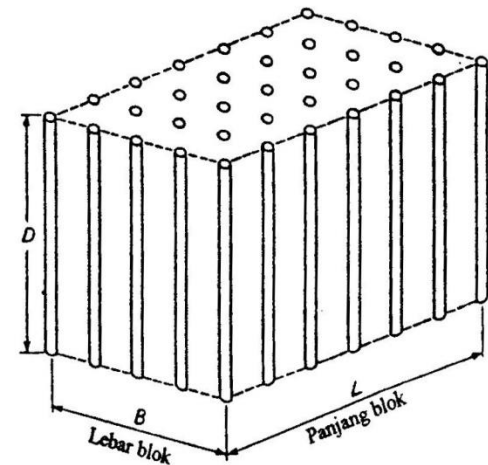
A_p = luas penampang tiang tunggal (m^2)

p = keliling tiang (m)

ΔL = panjang segmen tiang

q_p = daya dukung ujung tiang (ton/m^2)

f_s = tahanan sellimut (ton/m^2)



Kelompok Tiang sebagai Pondasi Blok

Daya dukung kelompok tiang pada tanah lempung

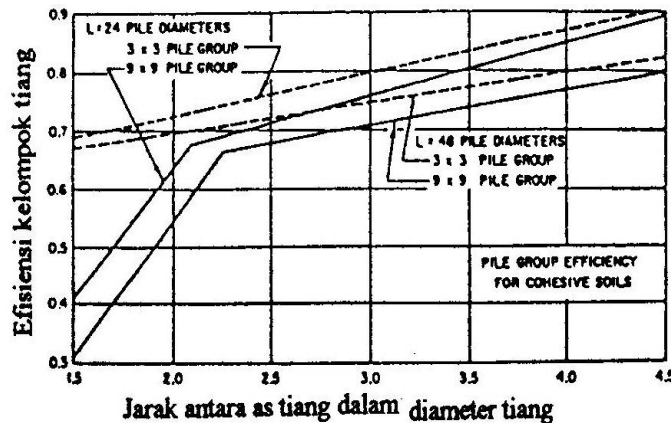
2. Tentukan daya dukung blok berukuran $L \times B \times D$

$$\sum Q_u = L_g B_g \cdot c_{u(p)} \cdot N_c^* + \sum 2(L_g + B_g) c_u \cdot \Delta L$$

dimana : L_g = panjang blok

B_g = lebar blok

3. Bandingkan kedua besaran $\sum Q_u$ di atas.
Harga daya dukung diambil nilai yang lebih kecil.



Efisiensi Kelompok Tiang pada Tanah Kohesif

Alternatif untuk menentukan efisiensi kelompok tiang pada tanah kohesif diberikan oleh NAVFAC DM 7.2 (1982) sebagaimana ditunjukkan oleh Gbr. 6.