

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Umum

Pondasi tiang adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan cara menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat di bawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi (K.Nakazawa).

Pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Pondasi jenis ini dapat juga digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bangunan-bangunan tingkat yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin. Tiang-tiang juga digunakan untuk mendukung bangunan dermaga. Pada bangunan ini, tiang-tiang dipengaruhi oleh gaya-gaya benturan kapal dan gelombang air (H. C. hardiyatmo).

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 bangunan mampu memberikan dukungan yang cukup

untuk mendukung beban tersebut oleh gesekan dinding tiang dengan tanah disekitarnya.

3. Untuk mengangker bangunan yang dipengaruhi oleh gaya angkat ke atas akibat tekanan hidrostatis atau momen penggulingan.
4. Untuk menahan gaya-gaya horizontal dan gaya yang arahnya miring.
5. Untuk memadatkan tanah pasir, sehingga kapasitas dukung tanah tersebut bertambah.
6. Untuk mendukung pondasi bangunan yang permukaan tanahnya mudah tergerus air (H. C. Hardiyatmo).

B. Macam-macam Pondasi

Pondasi adalah bagian terendah bangunan yang meneruskan beban bangunan ketanah atau batuan yang berada dibawahnya. Klasifikasi pondasi dibagi 2 (dua) yaitu:

1. Pondasi dangkal

Pondasi dangkal adalah pondasi yang mendukung beban secara langsung seperti:

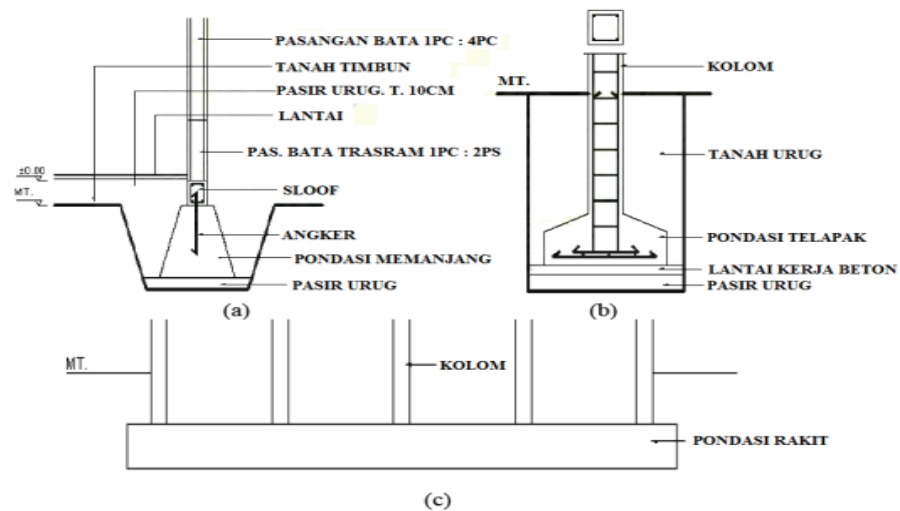
- a. Pondasi telapak yaitu pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom (Gambar 2.1b).
- b. Pondasi memanjang yaitu pondasi yang digunakan untuk mendukung sederetan kolom yang berjarak dekat sehingga bila dipakai pondasi telapak sisinya akan terhimpit satu sama lainnya (Gambar 2.1a).
- c. Pondasi rakit (*raft foundation*) yaitu pondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak atau digunakan

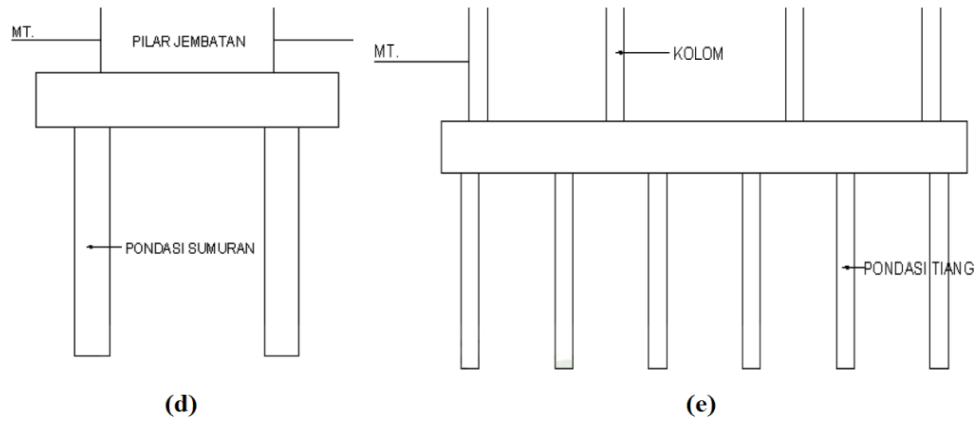
bila susunan kolom-kolom jaraknya sedemikian dekat disemua arahannya, sehingga bila dipakai pondasi telapak, sisi-sisinya berhimpit satu sama lainnya (Gambar 2.1c).

2. Pondasi Dalam

Pondasi dalam adalah pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak jauh dari permukaan, seperti:

- a. Pondasi sumuran (*pier foundation*) yaitu pondasi yang merupakan peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang (Gambar 2.1d), digunakan bila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang relative dalam, dimana pondasi sumuran nilai kedalaman (D_f) dibagi lebarnya (B) lebih besar 4, sedangkan pondasi dangkal $D_f/B \leq 1$.
- b. Pondasi tiang (*pile foundation*), digunakan bila tanah pondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya dan tanah kerasnya terletak pada kedalaman yang sangat dalam (Gambar 1e). Pondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang disbanding dengan pondasi sumuran (Bowles, 1991).





Gambar 2.1. Macam-macam tipe pondasi: (a) Pondasi memanjang, (b) Pondasi telapak, (c) Pondasi rakit, (d) Pondasi sumuran, (e) Pondasi tiang. (H. C. Hardiyatmo)

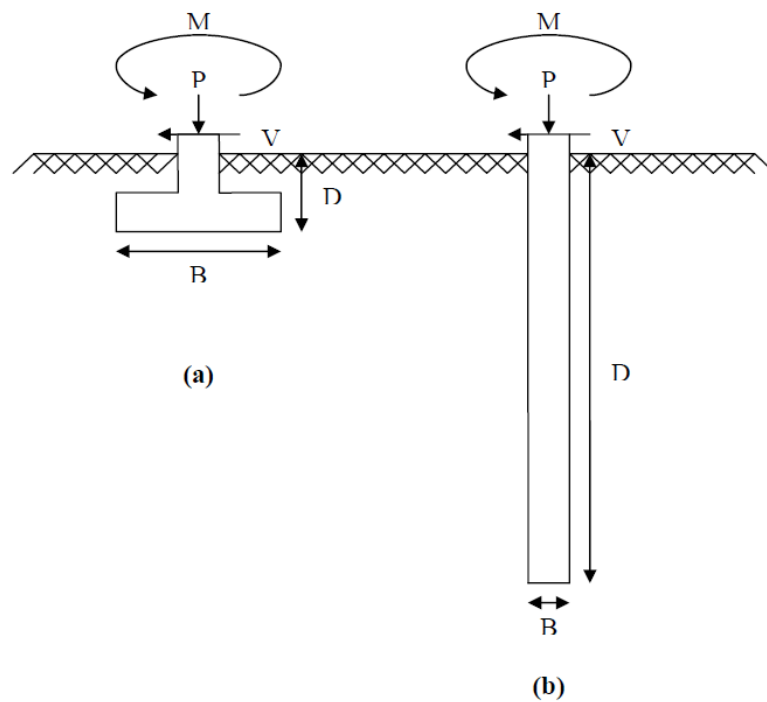
Untuk membantu memilih jenis pondasi, Peck memberikan rumus yaitu :

1. Untuk pondasi dangkal

$$\frac{D}{B} \leq 1$$

2. Untuk pondasi dalam

$$\frac{D}{B} > 4$$



Gambar 2.2. Peralihan gaya pada pondasi
 a. Pondasi dangkal
 b. Pondasi dalam

Pemilihan jenis pondasi yang tepat, perlu diperhatikan apakah pondasi tersebut sesuai dengan keadaan tanah :

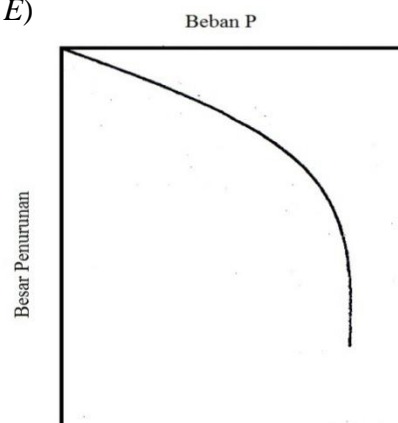
1. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada permukaan tanah atau 2-3 meter dibawah permukaan tanah, dalam kondisi ini menggunakan pondasi telapak.
2. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 10 meter dibawah permukaan tanah, dalam kondisi ini menggunakan pondasi tiang apung.
3. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman 20 meter dibawah permukaan tanah, maka pada kondisi ini apabila penurunannya diizinkan dapat menggunakan tiang geser dan apabila tidak boleh terjadi penurunannya, biasanya menggunakan tiang pancang. Tetapi bila

terdapat batu besar pada lapisan antara pemakaian kaison lebih menguntungkan.

4. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 30 meter dibawah permukaan tanah dapat menggunakan kaison terbuka, tiang baja atau tiang yang dicor di tempat. Tetapi apabila tekanan atmosfer yang bekerja ternyata kurang dari 3 kg/cm^2 maka digunakan kaison tekanan.
5. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 40 meter dibawah permukaan tanah, dalam kondisi ini maka menggunakan tiang baja dan tiang beton yang dicor ditempat. (*Bowles J.E, 1993*)

C. Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah didefinisikan sebagai kekuatan maksimum tanah menahan tekanan dengan baik tanpa menyebabkan terjadinya failure. Sedangkan failure pada tanah adalah penurunan (*sattlement*) yang berlebihan atau ketidakmampuan tanah melawan gaya geser dan untuk meneruskan beban pada tanah. (*Bowles J.E*)



Gambar 2.3. Daya Dukung Batas Dari Tanah Pondasi

Gambar diatas menunjukkan bahwa apabila beban bekerja pada tanah pondasi dinaikkan maka penurunan akan meningkat dengan cepat setelah gaya telah mencapai gaya tertentu dan kemudian penurunan akan terus berlanjut, meskipun beban tidak ditambah lagi.

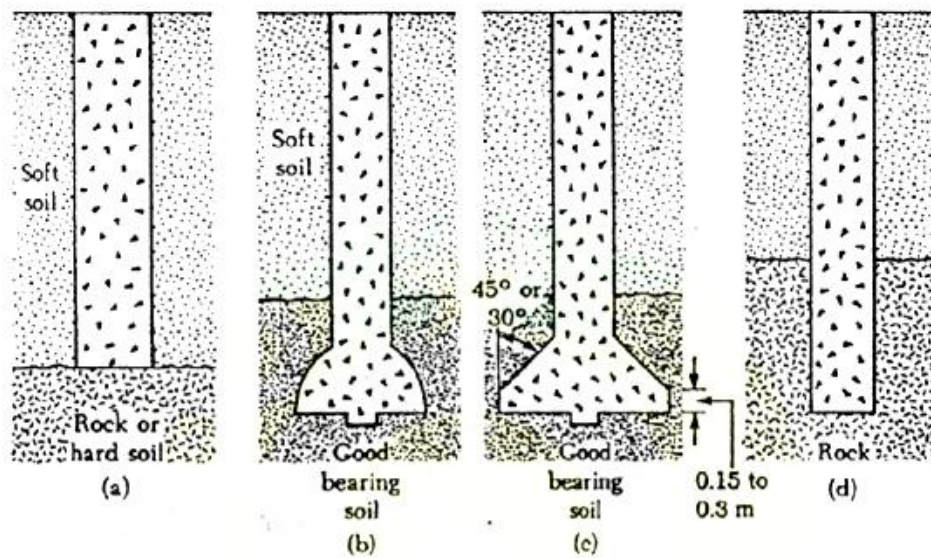
D. Pondasi *Bored Pile*

Pondasi *bored pile* adalah batang yang relative panjang dan langsing yang digunakan untuk menyalurkan beban pondasi melewati lapisan tanah dengan daya dukung rendah kelapisan tanah keras yang mempunyai kapasitas daya dukung tinggi yang relative cukup dalam dibanding pondasi dangkal. Daya dukung *bored pile* diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung geser atau selimut (*friction bearing capacity*) yang diperoleh dari daya dukung gesek atau gaya adhesi antara *bored pile* dan tanah disekelilingnya.

Bored pile berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas. Untuk menghasilkan daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang juga akurat.

Ada beberapa jenis pondasi *bored pile* yaitu :

- a. *Bored pile* lurus tanah keras.
- b. *Bored pile* yang ujungnya diperbesar berbentuk bel.
- c. *Bored pile* yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium.
- d. *Bored pile* lurus untuk tanah berbatu.



Gambar 2.4. Jenis-jenis Bored pile (*Braja M. Das*)

Ada beberapa alasan digunakannya pondasi *bored pile* dalam konstruksi :

1. *Bored pile* tunggal dapat digunakan pada tiang kelompok atau *pile cap*.
2. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
3. *Bored pile* dapat didirikan sebelum penyelesaian tahapan selanjutnya.
4. Ketika proses pemancangan dilakukan, getaran tanah akan mengakibatkan kerusakan pada bangunan yang ada di dekatnya, tetapi dengan penggunaan pondasi *bored pile* hal ini dapat dicegah.
5. Pada pondasi tiang pancang, proses pemancangan pada tanah lempung akan membuat tanah bergelombang dan menyebabkan tiang pancang sebelumnya bergerak ke samping. Hal ini tidak terjadi pada konstruksi pondasi *bored pile*.
6. Selama pelaksanaan pondasi *bored pile* tidak ada suara yang ditimbulkan oleh alat pancang seperti yang terjadi pada pelaksanaan pondasi tiang pancang.

7. Karena dasar dari pondasi *bored pile* dapat diperbesar, hal ini memberikan ketahanan yang besar untuk gaya keatas.
8. Permukaan diatas dimana dasar *bored pile* didirikan dapat diperiksa secara langsung.
9. Pondasi *bored pile* mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap beban lateral

Beberapa kelemahan dari pondasi *bored pile* :

1. Keadaan cuaca yang buruk dapat mempersulit pengeboran dan pengecoran, dapat diatasi dengan cara menunda pengeboran dan pengecoran sampai keadaan cuaca memungkinkan atau memasang tenda sebagai penutup.
2. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah berkerikil maka menggunakan bentonite sebagai penahan longsor.
3. Pengecoran beton sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik maka diatasi dengan cara ujung pipa tremie berjarak 25-50 cm dari dasar lubang pondasi.
4. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang, maka air yang mengalir langsung dihisap dan dibuang kembali kedalam kolam air.
5. Akan terjadi tanah runtuh (*ground loss*) jika tindakan pencegahan tidak dilakukan, maka dipasang *casing* untuk mencegah kelongsoran.

6. Karena diameter tiang cukup besar dan memerlukan banyak beton dan material, untuk pekerjaan kecil mengakibatkan biayanya sangat melonjak maka ukuran tiang *bored pile* disesuaikan dengan beban yang dibutuhkan.
7. Walaupun penetrasi sampai ke tanah pendukung pondasi dianggap telah terpenuhi, kadang-kadang terjadi bahwa tiang pendukung kurang sempurna karena adanya lumpur yang tertimbun di dasar, maka dipasang pipa paralon pada tulangan *bored pile* untuk pekerjaan *base grouting*.

E. Dinding Penahan (*retaining wall*)

Dinding-dinding penahan (*retaining wall*) adalah konstruksi yang digunakan untuk memberikan stabilitas tanah atau bahan lain yang kondisi-kondisi massa bahannya tidak memiliki kemiringan alami, dan juga digunakan untuk menahan atau menopang timbunan tanah (*soil bank*), ongkongan batu bara atau ongkongan biji-tambang, dan air.

Berdasarkan cara mencapai stabilitas, dinding penahan diklarifikasikan atas enam jenis utama (Gambar 2.5) :

- a. Dinding gravitasi, sesuai dengan namanya, stabilitasnya tergantung pada beratnya.
- b. Dinding konsol (*cantilever*) adalah dinding beton bertulang (*reinforced concrete*) yang menggunakan aksi konsol untuk menahan massa yang berada di belakang dinding dari kemiringan alami yang terjadi. Sebagian stabilitas dinding ini dicapai dari berat tanah yang ada di atas bagian tumit plat dasar.

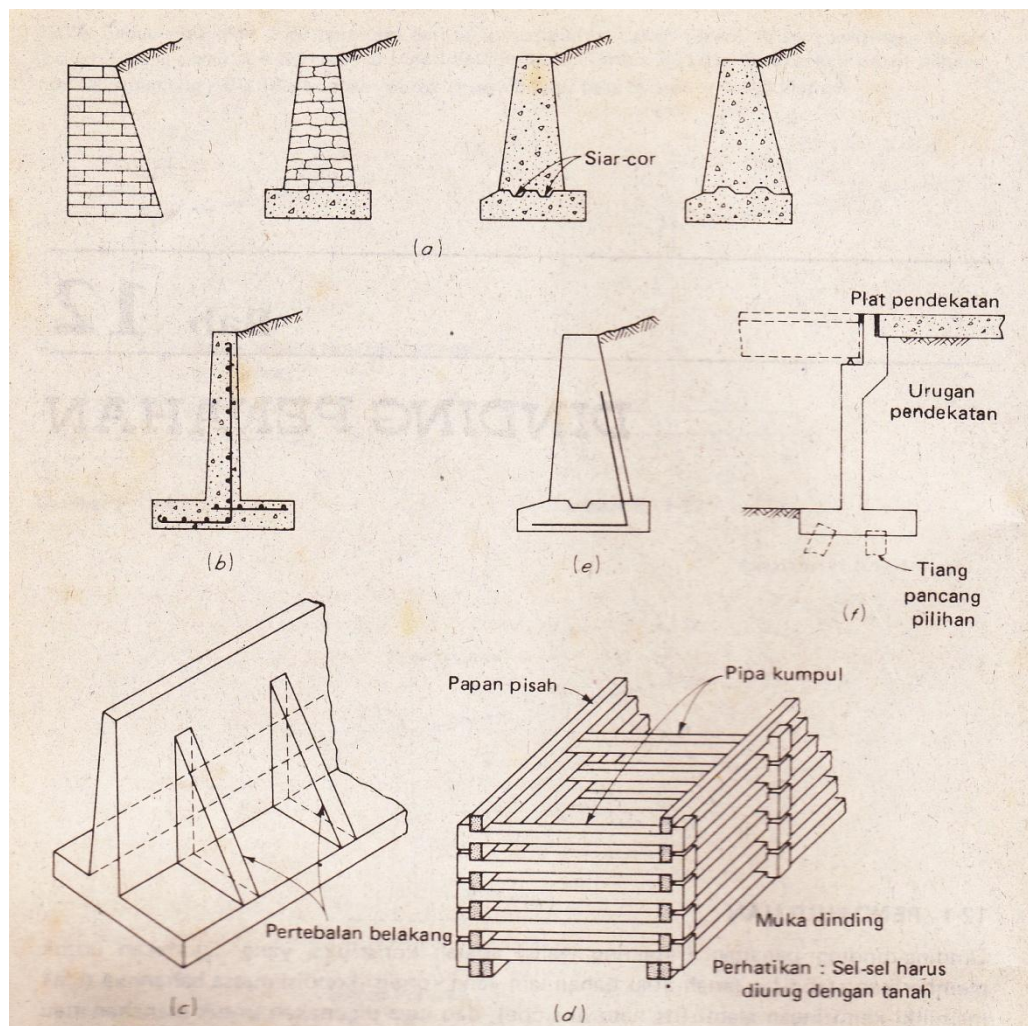
- c. Dinding penahan pertebalan belakang (*counterfort retaining wall*) serupa dengan dinding penahan konsol, kecuali dinding penahan tanah tersebut digunakan untuk konsol panjang atau untuk tekanan-tekanan yang sangat tinggi di belakang dinding dan mempunyai pertebalan belakang, yang mengikat dinding untuk mengurangi momen-momen lentur dan geser, maka pertebalan belakang berada di belakang dinding dan dipengaruhi gaya-gaya tarik (*tensile forces*).

Dinding penahan pertebalan depan (*buttressed retaining wall*) serupa dengan dinding pertebalan belakang, bedanya batang desaknya (*bracing*) berada di depan dinding dan batang desak tersebut mengalami kompresi sebagai ganti dari tarikan.

- d. Dinding penahan kisi (*cribs walls*), yang merupakan bagian-bagian yang dibangun dari potongan-potongan beton pracetak (*precast concrete*), logam, atau kayu dan didukung oleh potongan-potongan anker yang ditanam (*embedded*) di dalam tanah untuk mencapai stabilitas.
- e. Dinding semi gravitasi, yakni dinding-dinding yang sifatnya terletak antara sifat dinding gravitasi sebenarnya dan sifat dinding konsol.
- f. Tumpuan-tumpuan jembatan (*bridge abutments*) seringkali merupakan dinding-dinding penahan dengan perluasan dinding tumpuan (*wing wall*) untuk menahan urugan jalan masuk (*approach fill*) dan merupakan proteksi untuk melawan erosi.

Dengan mempunyai dua segi perbedaan utama dinding penahan tanah biasa dalam:

1. Tumpuan-tumpuan jembatan mengangkut reaksi-reaksi ujung dari bentangan jembatan (*bridge span*).
2. Tumpuan-tumpuan jembatan ditahan pada puncak sehingga tekanan tanah aktif kemungkinan tidak akan berkembang.



Gambar 2.5 jenis-jenis dinding penahan (Joseph E. Bowles, 1982)

F. Landasan Teori

1. Kapasitas Daya Dukung *Bored Pile* Dari Hasil Sondir

Diantara perbedaan tes dilapangan, sondir atau *cone penetration test* (CPT) seringkali sangat dipertimbangkan berperan dari geoteknik. CPT atau sondir ini tes yang sangat cepat, sederhana, ekonomis dan tes tersebut dapat dipercaya di lapangan dengan pengukuran terus-menerus dari permukaan tanah-tanah dasar. CPT atau sondir ini dapat juga mengklasifikasi lapisan tanah dan dapat memperkirakan kekuatan dan karakteristik dari tanah. Didalam perencanaan pondasi tiang, data tanah sangat diperlukan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari *bored pile* sebelum pembangunan dimulai, guna menentukan kapasitas daya dukung ultimit dari pondasi tiang.

Untuk menghitung daya dukung *bored pile* berdasarkan data hasil pengujian sondir dapat dilakukan dengan menggunakan metode Aoki dan De Alencar.

Daya dukung ultimate pondasi *bored pile* dinyatakan dengan rumus :

$$Q_{ult} = (q_b \times A_p) \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

Q_{ult} = Kapasitas daya dukung *bored pile*.

q_b = Tahanan ujung sondir.

A_p = Luas penampang tiang.

Aoki dan Alencar mengusulkan untuk memperkirakan kapasitas dukung ultimit dari data sondir. Kapasitas dukung ujung persatuan luas (q_b) diperbolehkan sebagai berikut :

$$q_b = \frac{q_{ca} (base)}{F_b} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana :

$q_{ca} (base)$ = Perlawanan konus rata-rata 1,5D diatas ujung tiang, 1,5D dibawah ujung tiang.

F_b = Faktor empirik yang tergantung pada tipe tanah.

Tabel 2.1 Faktor empirik F_b

Tipe Tiang Pancang	F_b
Bored Pile	3,5
Baja	1,75
Beton Pratekan	1,75

(Titi & Farsakh)

Pada perhitungan kapasitas pondasi *bored pile* dengan sondir tak diperhitungkan daya dukung selimut bored pile. Hali ini dikarenakan perlawanan geser tanah yang terjadi pada pondasi *bored pile* dianggap sangat kecil sehingga dianggap tidak ada.

2. Faktor Aman

- a. Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit dengan faktor aman tertentu.

- Untuk dasar tiang yang dibesarkan dengan $d < 2 \text{ m}$

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \dots\dots\dots(2.3)$$

- Untuk dasar tiang tanpa pembesaran dibagian bawah

$$Q_a = \frac{Q_u}{2} \dots\dots\dots(2.4)$$

3. Kapasitas Daya Dukung dari Data Sondir (Metode Mayerhoff)

Daya dukung ultimate pondasi tiang dinyatakan dengan rumus :

$$Q_{ult} = (q_c \times A_p) + (JHL \times K_{II}) \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

q_c = Tahanan ujung sondir.

A_p = Luas penampang tiang.

JHL = Jumlah hambatan lekat.

K_{II} = Keliling tiang.

Daya dukung ijin pondasi dinyatakan dengan rumus :

$$Q_{ijin} = \frac{(q_c \times A_p)}{FK1} + \frac{(JHL \times K_{II})}{FK2} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

q_c = Tahanan ujung sondir.

A_p = Luas penampang tiang.

JHL = Jumlah hambatan lekat.

K_{II} = Keliling tiang.

FK1, FK2 = faktor keamanan, 3 dan 5

4. Kapasitas daya dukung dari data SPT, (Resse & Wright, 1977)

Daya dukung ujung pondasi tiang pada tanah kohesif

a. Daya dukung ujung pondasi *bored pile* (*end bearing*)

$$Q_p = A_p \cdot q_p \dots\dots\dots(2.7)$$

$$q_p = 9 \cdot c_u$$

$$c_u = (N\text{-SPT} \times 2/3 \times 10)$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton).

A_p = Luas penampang *bored pile* (m^2).

q_p = Tahanan ujung per satuan luas (ton/m).

c_u = Kohesi tanah (ton/m^2).

b. Daya dukung selimut *bored pile* (*skin friction*)

$$Q_s = f \cdot L_i \cdot p \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

f = Tahanan satuan *skin friction*, ton/m^2 .

L_i = Panjang lapisan tanah, m.

P = Keliling tiang, m.

Q_s = Daya dukung selimut tiang, ton.

Pada tanah kohesif :

$$f = \alpha \cdot c_u \dots\dots\dots(2.9)$$

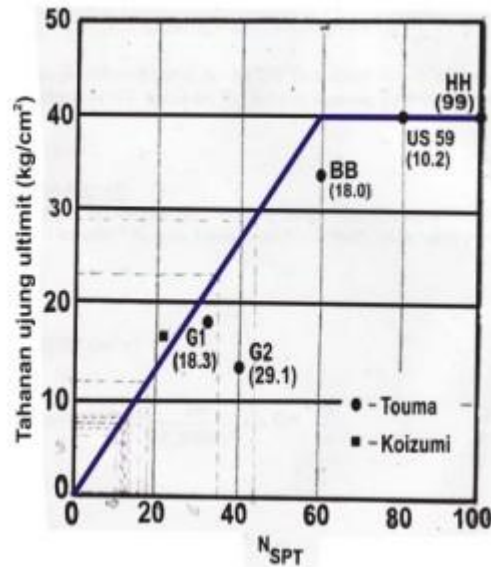
dimana :

α = Faktor adhesi.

- Berdasarkan penelitian Reese & Wright (1977) $\alpha = 0,55$.

- Metode Kulhaway (1984), berdasarkan Grafik Undrained Shearing Resistance vs. Adhesion Factor.

C_u = Kohesi tanah, ton/m^2 .



Gambar 2.5. Tahanan geser selimut *bored pile* pada tanah pasir (Resse & Wright, 1977)

5. Kapasitas daya dukung dari data SPT, (Meyerhof)

$$P_a = \frac{(q_c \times A_p)}{FK1} + \frac{(\sum l_i f_i \times A_{st})}{FK2}$$

Dimana :

P_a = daya dukung ijin tekan tiang

q_c = 20 N, untuk silt/clay. 40 N, untuk sand

N = nilai N_{SPT}

A_p = luas penampang tiang

A_{st} = keliling penampang tiang

l_i = panjang segmen tiang yang ditinjau

f_i = gaya geser pada selimut segmen tiang

= N maksimum 12 ton/m², untuk silt/clay

= N/5 maksimum 10 ton/m², untuk sand

FK1, FK2 = faktor keamanan, 3 dan 5

6. Analisis dinding penahan (teori rankine)

a. Tekanan tanah untuk kestabilan eksternal

Perhitungan stabilitas untuk dinding dengan permukaan facing vertikal diasumsikan bahwa massa dinding perkuatan tanah berperilaku sebagai struktur kaku dengan tekanan tanah berkerja pada bagian belakang sistem perkuatan tanah. Besarnya koefisien tekanan tanah aktif (K_a) dihitung untuk dinding vertikal (didefinisikan sebagai dinding jika kemiringan facingnya kurang dari 8 derajat) adalah :

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Dimana :

K_a = koefisien tekanan aktif

φ = sudut geser tanah

b. Tekanan tanah aktif total (P_a) untuk dinding penahan tanah setinggi H

sama dengan luas diagram tekanannya, yaitu :

$$P_a = \frac{1}{2} H^2 \gamma K_a$$

Dimana :

P_a = tekanan tanah aktif total

H = tinggi dinding

γ = berat volume tanah

K_a = koefisien tekanan aktif

c. Stabilitas terhadap bahaya guling

Faktor keamanan yang biasa digunakan untuk melawan guling terhadap tapak adalah 1,5, dengan nilai sebesar 2,0 disarankan untuk tanah kohesif :

$$F_{\text{guling}} = \frac{\text{jumlah momen yang melawan guling}}{\text{jumlah momen guling}}$$

d. Stabilitas terhadap bahaya geser

Faktor keamanan untuk melawan geseran paling sedikit harus 1,5 untuk urugan tak berkohesi dan kira-kira 2,0 untuk urugan kohesif, yang dihitung sebagai berikut :

$$F_{\text{geseran}} = \frac{\text{jumlah gaya - gaya penolak}}{\text{jumlah gaya - gaya pendorong}}$$