

## **BAB II**

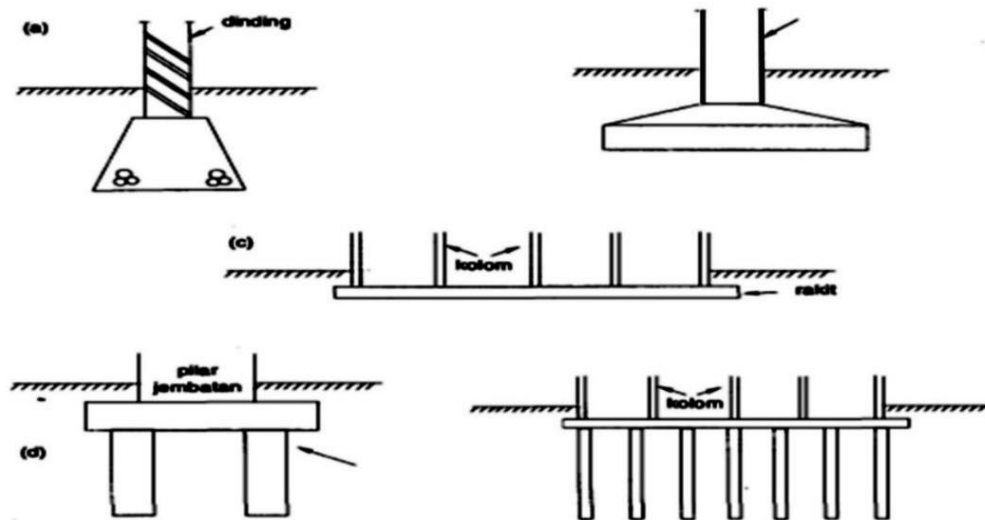
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pondasi**

Pondasi sebagai struktur bawah secara umum dapat dibagi dalam 2 (dua) jenis, yaitu pondasi dalam dan pondasi dangkal. Pemilihan jenis pondasi tergantung kepada jenis struktur atas apakah termasuk konstruksi beban ringan atau beban berat dan juga tergantung pada jenis tanahnya.

Pondasi adalah bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada di bawahnya (Hardiyatmo, 1996). Terdapat dua klasifikasi pondasi, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal didefinisikan sebagai pondasi yang mendukung bebannya secara langsung, seperti: pondasi telapak, pondasi memanjang dan pondasi rakit. Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak relatif jauh dari permukaan, contohnya pondasi sumuran dan pondasi tiang. Macam-macam contoh tipe pondasi diberikan dalam Gambar 2.1

Semua konstruksi yang direkayasa untuk bertumpu pada tanah harus didukung oleh suatu pondasi. Pondasi ialah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh suatu pondasi dan beratnya sendiri kepada dan kedalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya (Bowles, 1997).



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

Istilah struktur-atas umumnya dipakai untuk menjelaskan bagian sistem yang direkayasa yang membawa beban kepada pondasi atau struktur-bawah. Istilah struktur-atas mempunyai arti khusus untuk bangunan-bangunan dan jembatan-jembatan, akan tetapi, pondasi tersebut dapat juga hanya menopang mesin-mesin, mendukung peralatan industrial, bertindak sebagai alas untuk papan iklan, dan sejenisnya. Karena sebab-sebab inilah maka lebih baik melukiskan suatu pondasi itu sebagai bagian tertentu dari sistem rekayasa komponen-komponen pendukung beban yang mempunyai bidang antara (*interfacing*) terhadap tanah.

Menurut Joseph E. Bowles (1997) langkah-langkah berikut ialah persyaratan minimum untuk merancang suatu pondasi:

- 1) Tentukan lokasi tapak dan posisi dari muatan. Perkiraan kasar dari beban-beban pondasi biasanya disediakan oleh nasabah atau dihitung-sendirinya (in-house). Tergantung dari kepelikan sistem beban atau tapak, maka dapat dimulai membuat tinjauan kepustakaan untuk mengetahui bagaimana orang lain berhasil mengadakan pendekatan atas masalah yang sejenis.
- 2) Pemeriksaan fisik atas tapak tentang adanya setiap masalah geologis atau masalah masalah lain, bukti-bukti dari kemungkinan adanya permasalahan. Lengkapilah hal-hal ini dengan segala data pertanahan yang telah diperoleh sebelumnya.

- 3) Menetapkan program eksplorasi lapangan dan menyusun pengujian pelengkap lapangan yang perlu atas dasar temuan, serta menyusun program uji laboratorium.
- 4) Tentukan parameter rancangan tanah yang perlu berdasarkan pengintegrasian data uji, asas-asas, ilmiah, dan pertimbangan rekayasa. Hal ini mungkin melibatkan analisis komputer yang bersifat sederhana atau rumit. Untuk masalah-masalah yang kompleks, bandingkanlah data yang dianjurkan dengan kepustakaan yang pernah diterbitkan atau gunakanlah konsultan geoteknis yang lain agar hasil-hasilnya memberikan perspektif menurut sumber luar.
- 5) Buatlah rancangan pondasi dengan menggunakan parameter-parameter tanah menurut langkah nomor 4. Laksanakan interaksi yang erat dengan semua pihak yang berkepentingan (nasabah, para perekayasa, arsitek, kontraktor) sehingga sistem struktur-bawah itu tidak dirancang secara berlebihan dan risiko dijaga agar berada pada tingkat-tingkat yang dapat diterima.

Sedangkan menurut Sosrodarsono dan Nakazawa (1981) untuk memilih pondasi yang memadai, perlu diperhatikan apakah pondasi itu cocok untuk berbagai keadaan dilapangan dan apakah pondasi itu memungkinkan untuk diselesaikan secara ekonomis sesuai dengan jadwal kerjanya. Bila keadaan tersebut ikut dipertimbangkan dalam menentukan macam pondasi, hal-hal berikut ini perlu dipertimbangkan:

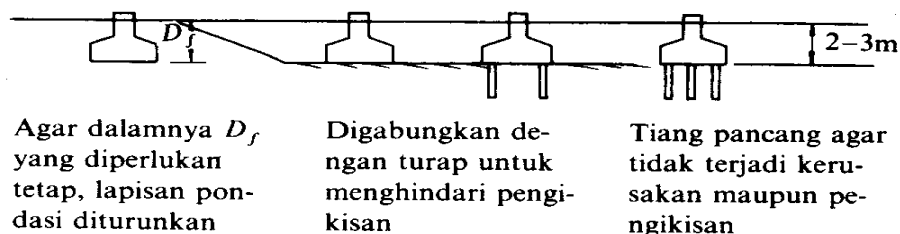
- 1) Keadaan tanah pondasi.
- 2) Batasan-batasan akibat konstruksi diatasnya.
- 3) Batasan-batasan dari sekelilingnya.
- 4) Waktu dan biaya pekerjaan.

Dari hal-hal diatas, jelas bahwa keadaan tanah pondasi pada urutan no 1 yang merupakan keadaan paling penting dan perinciannya. Berikut ini adalah jenis-jenis pondasi yang sesuai dengan keadaan tanah pondasi yang bersangkutan (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1981) :

- 1) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada permukaan tanah atau 2-3 meter

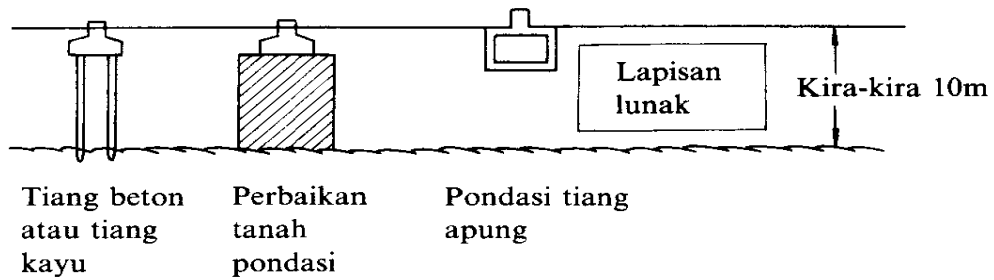
dibawah permukaan tanah (Gambar 2.2), dalam hal ini pondasinya adalah pondasi telapak (*spread foundation*).

- 2) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman 10 meter dibawah permukaan tanah, dalam hal ini dipakai pondasi tiang atau pondasi tiang apung (*floating pile foundation*) untuk memperbaiki tanah pondasi (Gambar 2.3). Jika memakai tiang, maka tiang baja atau tiang beton yang dicor ditempat (*cast in place*) kurang ekonomis, karena tiang tersebut kurang panjang.
- 3) Bila tanah pondasi terletak pada kedalaman 20 meter dibawah permukaan tanah, dalam hal ini tergantung dari penurunan (*settlement*) yang diizinkan, dapat dipakai pondasi seperti Gambar 2.4. Apabila tidak boleh terjadi penurunan, biasanya digunakan pondasi tiang pancang (*pile driven foundation*). Tetapi bila terdapat batu besar (*cobble stones*) pada lapisan antara, pemakaian kaison lebih menguntungkan.
- 4) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman sekitar 30 meter di bawah permukaan tanah, biasanya dipakai kaison terbuka, tiang baja atau tiang yang dicor di tempat, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.5. Tetapi apabila tekanan atmosfer yang bekerja ternyata kurang dari  $3 \text{ kg/cm}^2$  digunakan juga kaison tekanan.
- 5) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman lebih dari 40 meter di bawah permukaan tanah, dalam hal ini yang paling baik adalah tiang baja dan tiang beton yang dicor di tempat.

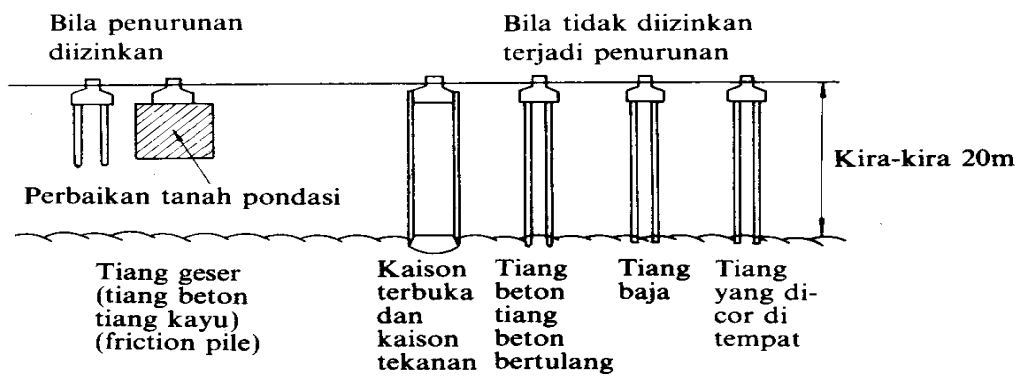


Gambar 2.2: Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi cukup dangkal (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1981)

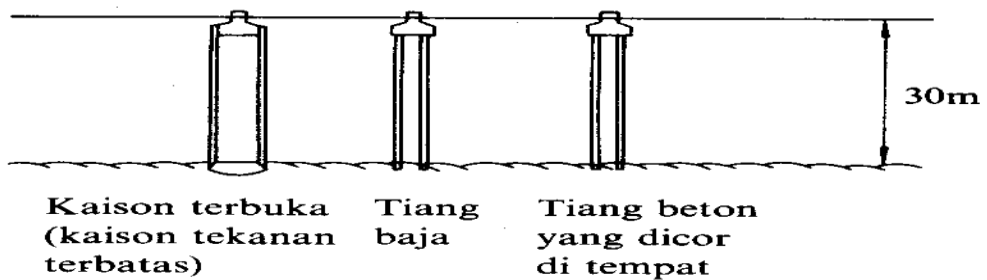




Gambar 2.3: Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 10 meter dibawah permukaan tanah (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1981)



Gambar 2.4 Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 20 meter dibawah permukaan tanah (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1980)



Gambar 2.5: Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 30 meter dibawah permukaan tanah (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1981)

## 2.2 Pengertian Pondasi Tiang

Pondasi tiang adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal kesumbu tiang dengan jalan menyerap lenturan (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1981). Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan dengan monolit menyatukan pangkal tiang pancang yang terdapat dibawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi.

Dalam Tugas Akhir Harianti (2007) menjelaskan perbedaan antara pondasi tiang bor dengan pondasi tiang pancang terletak pada metode konstruksinya. Secara umum, pondasi tiang bor (*bore pile*) merupakan pondasi yang dikonstruksi dengan cara mengecor beton segar kedalam lubang yang telah dibor sebelumnya. Tulangan baja dimasukkan ke dalam lubang bor sebelum pengecoran beton.

Keuntungan-keuntungan pondasi tiang bor :

- a) peralatan pengeboran mudah dipindahkan sehingga waktu pelaksanaan relatif sangat cepat,
- b) berdasarkan contoh tanah selama pengeboran dapat dipelajari kesesuaian kondisi tanah yang dijumpai dengan keadaan tanah dari *boring log* yang dilakukan pada waktu penyelidikan tanah,
- c) diameter dan kedalaman lubang bor mudah divariasikan sehingga jika terjadi perubahan-perubahan dari rencana semula misalnya beban kolom berubah, kondisi tanah berbeda dengan penyelidikan tanah dapat segera dilakukan penyesuaian-penyesuaian,
- d) suara dan getaran yang ditimbulkan dari alat *boring* relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan alat-alat pancang lain,
- e) dapat dipergunakan untuk segala macam kondisi tanah misalnya harus menembus lapisan keras, kerakal, lensa-lensa batuan yang tidak dapat ditembus oleh tiang pancang,
- f) tiang bor merupakan "*high bearing capacity piles*" karena diameter dapat divariasikan sampai 1,50 m, sehingga lebih ekonomis untuk beban-beban kolom yang besar terutama untuk pondasi bangunan tinggi. Dalam arti, 1 tiang bor dapat menggantikan suatu kelompok tiang pancang sehingga *pile cap* yang diperlukan praktis lebih kecil dan ekonomis,

g) tidak diperlukan sambungan tiang terutama untuk tiang-tiang yang dalam dimana pada tiang pancang mempunyai panjang yang terbatas sehingga harus disambung dan titik sambungan biasanya merupakan titik-titik kelemahan selama pemancangan.

Kerugian-kerugian pondasi tiang bor :

- a) prosedur pelaksanaan terutama pengecoran adalah kritis terhadap kualitas tiang secara keseluruhan sehingga memerlukan pengawasan dan pencatatan yang lebih ketat dan teliti selama pelaksanaan,
- b) teknis-teknis pelaksanaan kadang sangat sensitif terhadap keadaan tanah yang dijumpai sehingga diperlukan personel-personel yang betul-betul berpengalaman,
- c) kekurangan pengalaman, pengetahuan dari masalah-masalah pelaksanaan dan metode perencanaan dapat menimbulkan masalah-masalah seperti: keterlambatan pelaksanaan, daya dukung yang tidak dipenuhi dan sebagainya,
- d) kondisi lapangan pekerjaan lebih kotor/berlumpur dibandingkan dengan pondasi tiang pancang sehingga dapat menghambat pekerjaan,
- e) karena makin besar diameter tiang bor yang direncanakan makin besar pula daya dukungnya sehingga apabila diperlukan *Pile Driving Analyzer Test*, biayanya menjadi lebih mahal,
- f) kondisi tanah di kaki tiang seringkali rusak akibat proses pengeboran. Adanya endapan tanah dari runtuhnya dinding lubang bor atau sedimentasi lumpur menjadikan daya dukung ujung dari tiang bor tidak dapat diandalkan,
- g) pelaksanaan pondasi tiang bor memerlukan waktu yang cukup lama.

### **2.3 Pelaksanaan Pondasi Tiang Bor**

Kualitas dari pondasi tiang sangat tergantung dari cara pelaksanaannya. Pemilihan cara pelaksanaan dan alat yang sesuai, cara pelaksanaan (*workmanship*) yang baik dan pengawasan yang ketat terhadap pelaksanaan pondasi tiang bor sangat penting.

Salah satu faktor utama yang menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan jenis pondasi adalah keandalannya. Arti dari keandalan disini adalah keyakinan

bahwa pondasi telah dirancang dapat memikul beban yang diberikan dengan suatu faktor keamanan yang memadai. Konsekuensi dari keandalan yang ditawarkan oleh pondasi tiang bor, perhatian yang lebih besar harus dicurahkan pada detail pelaksanaan. Pada dasarnya, semua cara pelaksanaan pondasi tiang akan merubah keadaan tanah asli setempat. Pelaksanaan konstruksi yang dilakukan tanpa pengawasan kontraktor ahli dapat berakibat pada kegagalan konstruksi dan juga terhadap desain pondasi tiang bor yang telah dilakukan.

Pelaksanaan pondasi tiang bor secara garis besar meliputi tahapan sebagai berikut:

#### 1. Penggalian lubang

Penggalian lubang dilakukan dengan cara pengeboran tanah. Pengeboran diawali dengan menentukan posisi peralatan pengeboran dan melakukan pengeboran awal dengan metode kering hingga kedalaman tertentu.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan pengeboran adalah :

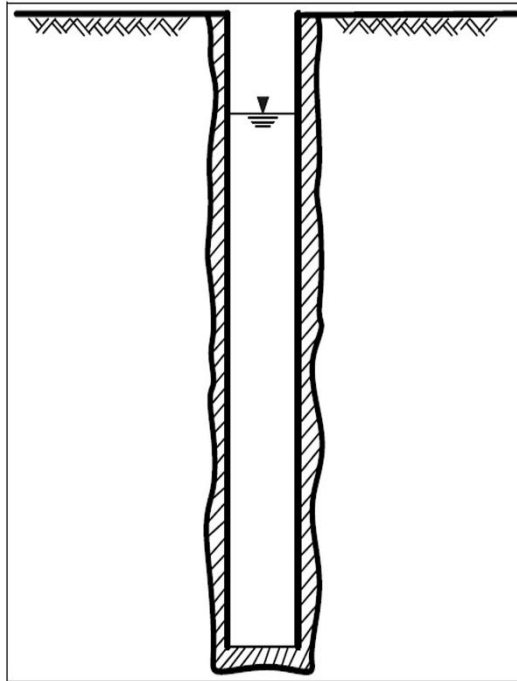
- a. dimensi alat bor dan pemasangan alat pengeboran serta ketelitian letak dan tegak lurusnya tiang,
- b. persediaan alat-alat bantu yang kiranya diperlukan seperti casing, alat-alat untuk membersihkan lubang, alat-alat pengaman dan sebagainya,
- c. batas dalamnya pengeboran lubang. Batas ini tergantung dari keadaan tanah. Meskipun umumnya telah ditentukan dalam spesifikasi, namun sebaiknya penentuan di lapangan ditentukan oleh *site soil engineer* yang cukup ahli dan berpengalaman.

Pada tanah lempung cukup keras, umumnya lubang tiang dapat langsung dibuat tanpa harus menggunakan *casing*. Dalam hal ini, mungkin ada bagian-bagian dinding yang runtuh, namun secara umum akan terlihat potongan lubang seperti pada Gambar 2.6

Akibat dari penggalian lubang, maka :

- a. tanah sekeliling dan di bawah lubang terganggu, serta terjadi perubahan tegangan pada bagian yang diarsir pada Gambar 2.6 karena pengambilan tanah,

- b. jika muka air tanah tinggi, maka akan terjadi aliran air pori tanah ke dalam lubang.



Gambar 2.6 : *Overbreak* diameter lubang bor akibat longsoran tanah (Harianto, 2007).

Para ahli umumnya sependapat bahwa kedua peristiwa tersebut di atas akan mengakibatkan berkurangnya kekuatan geser tanah lempung. Untuk mengurangi pengaruh tersebut maka penting agar pengecoran beton dilaksanakan secepat mungkin setelah lubang dibuat. Sebagian ahli berpendapat bahwa penggunaan *bentonite* juga dapat mengurangi pengaruh tersebut. Hal lain yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan yaitu bahwa dasar lubang bor harus dibersihkan dahulu dari lumpur dan kotoran yang disebabkan oleh longornya sebagian dinding lubang sebelum beton dicor.

Masalah utama dalam instalasi tiang bor pada tanah pasir adalah masalah pelaksanaan. Pada keadaan tanah khusus, seperti tanah pasir lepas sering memerlukan dipakainya *casing* atau penggunaan *bentonite*. Pengaruh pengeboran tanah pasir pada dasar lubang umumnya sama dengan pada tanah lempung yaitu berkurangnya daya dukung tanah. Berdasar penelitian beberapa ahli, disimpulkan

bahwa penggunaan *bentonite* secara praktis tidak mengurangi tahanan selimut tanah pada tiang bor, jika cara pelaksanaan tiang bor cukup baik.

## 2. Pembersihan dasar lubang

Pembersihan dasar lubang dianggap hal yang paling penting dalam pelaksanaan pengeboran, terlebih jika lubang penuh dengan air. Terdapat banyak cara yang dapat dilakukan, tetapi jika lubang penuh air, pemakaian *cleaning bucket* khusus mungkin yang paling dapat diandalkan. Hal penting juga agar lubang tidak terlalu lama dibiarkan, sebaiknya pemasangan tulangan dan pengecoran dilakukan dalam waktu tidak lebih dari 24 jam setelah lubang dibor.

## 3. Pemasangan tulangan

Perencanaan besi tulangan untuk tiang bor merupakan bagian dari proses desain dan bentuk geometri besi tulangan memiliki pengaruh yang signifikan pada tahapan konstruksi. Penulangan untuk tiang bor biasanya diperlukan untuk menahan gaya lateral, gaya tarik dan momen yang timbul akibat gaya gempa, angin dan sebagainya.

Besi tulangan yang dipakai harus memenuhi spesifikasi ASTM A 615 yakni mempunyai tegangan leleh minimum 3900 kg/cm<sup>2</sup>. Semua besi tulangan harus dipabrikasi secara akurat dan ukuran-ukurannya harus sesuai dengan gambar kerja (*shop drawing*). Tulangan tiang bor terdiri dari tulangan longitudinal (tulangan utama) dan tulangan transversal (sempang). Prinsip utama penulangan longitudinal adalah untuk menahan tegangan akibat lentur dan tarik. Apabila tegangan lentur dan tegangan tarik diabaikan, maka tidak diperlukan tulangan utama kecuali diperlukan dalam spesifikasi. Umumnya, penulangan tiang bor akan maksimum pada daerah atas dan akan berkurang seiring dengan bertambahnya panjang. Tulangan longitudinal yang digunakan adalah tulangan ulir.

Jarak antar tulangan longitudinal harus cukup sehingga tidak menimbulkan masalah aliran beton segar selama proses pengecoran berlangsung. Rekomendasi praktis jarak minimum antar tulangan adalah berkisar dari 3–5 kali ukuran terbesar agregat.

Tulangan transversal berfungsi untuk menahan gaya geser yang bekerja pada tiang bor. Tulangan transversal bisa dipasang dengan dua macam konfigurasi yakni *hoop* dan *spiral*. Rangkaian tulangan harus cukup kuat untuk menahan gaya akibat beton segar yang mengalir selama proses pengecoran dan tidak boleh terjadi deformasi yang berlebihan pada tulangan. Pemasangan tulangan transversal harus cukup kuat sehingga mampu mengekang tulangan longitudinal dengan baik.

Kedalaman lubang bor umumnya cukup dalam dibandingkan dengan panjang tulangan besi yang tersedia sehingga tidak mungkin membuat satu rangkaian tulangan yang utuh untuk sepanjang kedalaman lubang bor. Sambungan diperlukan jika tiang bor cukup panjang. Sambungan pada tulangan longitudinal umumnya dilakukan dengan membuat *overlap* tulangan longitudinal yang akan disambung sehingga lekatan (*bond*) tulangan cukup kuat. Penyambungan tulangan dilakukan dengan mengelas bagian yang *overlap*.

Untuk membantu dalam proses pabrikasi besi tulangan tiang bor dan untuk memastikan bahwa diameternya tepat, maka tulangan transversal yang berbentuk spiral harus dipabrikasi dengan diameter yang benar. Spiral umumnya memberikan bantuan agar pemasangan tulangan menjadi mudah dan diameternya tepat.

#### 4. Pengecoran beton

Seperti dikemukakan sebelumnya, untuk menghindari terganggunya stabilitas lubang bor sehingga terjadi keruntuhan dinding lubang dan sebagainya, maka pelaksanaan pengecoran beton pada tiang bor sebaiknya dilaksanakan segera setelah lubang dibor.

Apabila lubang bor dalam keadaan kering dan tidak terlalu dalam, pengecoran beton biasanya tidak memerlukan teknik tertentu. Lain halnya jika lubang penuh dengan air dan cukup dalam, maka pengecoran beton biasanya dilakukan dengan *tremie*. Pelaksanaan pengecoran dengan *tremie* memerlukan teknik khusus.

Hal penting pertama yang perlu diperhatikan adalah *workability* dari beton. *Workability* beton diperlukan agar beton dapat mendesak kotoran tanah yang berada didasar lubang ke atas serta dapat mendesak ke samping lubang. Biasanya

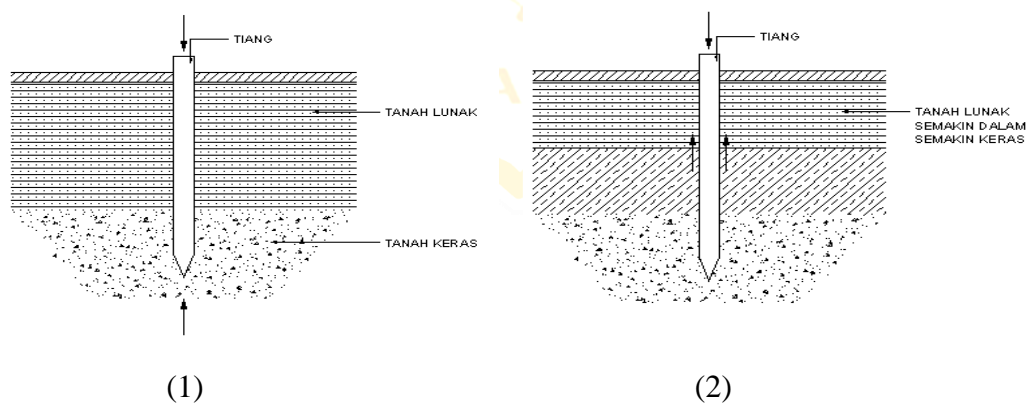


diperlukan beton dengan slump >15cm. Hal kedua adalah agar beton tidak cepat mengering/mengeras. Hal ini perlu disesuaikan dengan perkiraan waktu yang dibutuhkan untuk penyelesaian pengecoran. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah teknik menggerakkan *tremie* dan ketinggian mengangkat pada saat tahap pengecoran.

## 2.4 Kapasitas Daya Dukung

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi 2 (dua) macam (Hardiyatmo, 2002), yaitu :

- 1) Tiang dukung ujung (*end bearing pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tiang dukung ujung berada dalam zone tanah yang lunak yang berada diatas tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada dibawah ujung tiang (Gambar 2.7).
- 2) Tiang gesek (*friction pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah disekitarnya



Gambar 2.7 : Tiang ditinjau dari cara mendukung bebannya Ujung (1), Selimut (2) (Hardiyatmo, 2002)

Perkiraan kapasitas daya dukung pondasi tiang pada tanah pasir dan lempung didasarkan pada data uji lapangan SPT, Meyerhof (1976) mengusulkan persamaan sebagai berikut :

1. Kekuatan ujung tiang (*end bearing*) dan kekuatan lekatan (*skin friction*) pada tanah non kohesif (Meyerhof, 1976) ditunjukkan dalam Pers. 2.1 dan 2.2.

Kekuatan ujung tiang:

$$Q_p = 14 \cdot \bar{N} \cdot \frac{L}{D} \cdot A_p \quad (2.1)$$

Untuk tahanan selimut tiang:

$$Q_s = 0.67 \cdot \bar{N} \cdot p \cdot L \quad (2.2)$$

Dimana:

$\bar{N}$  = Jumlah nilai SPT rata-rata (10D diatas dan 4D dibawah tiang).

$A_p$  = Luas penampang tiang (Pers. 2.3)

$p$  = keliling tiang untuk bagian yang di tinjau

$L$  = Panjang lapisan tanah yang di tinjau

$D$  = Diameter tiang

Luas penampang tiang:

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \quad (2.3)$$

2. Kekuatan ujung tiang (*end bearing*) dan kekuatan selimut (*skin friction*) pada tanah kohesif ditunjukkan dalam Pers. 2.4 dan 2.5 :

Untuk tahanan ujung tiang:

$$Q_s = N_c \cdot C_u \cdot A_p \quad (2.4)$$

Untuk tahanan selimut tiang:

$$Q_s = \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot L \quad (2.5)$$

Dimana:

$\alpha$  = Koefisien adhesi antara tanah dan tiang

$C_u$  = Kohesi Undrained (Tabel 2.1)

$N_c$  = Faktor kapasitas daya dukung

$p$  = keliling tiang (Pers.2.6)

$L$  = panjang lapisan tanah yang di tinjau

Dengan:

$$p = \pi \cdot D \quad (2.6)$$

Tabel 2.1: Parameter rencana tiang untuk tanah lempung (BMS, 1993)

Cohesive soil condition			Nominal average	Remolding
Consistency		"N" Value	undrained shear strength, $C_u$ (kPa)	coefficients $F_e$
<b>Very soft</b>	Exudes between fingers	0-2	0-10	1.0
<b>Soft</b>	Easily moulded with fingers	2-4	10-25	1.0
<b>Firm</b>	Can be moulded with a finger by strong pressure	4-8	25-45	1.0
			45-50	1.0-0.95
<b>Stiff</b>	Cannot be moulded with fingers	8-15	50-60	0.95-0.8
			60-80	0.8-0.65
			80-100	0.65-0.55
<b>Verry stiff</b>	Brittle or tough	15-30	100-120	0.55-0.45
			120-140	0.45-0.4
			140-160	0.4-0.36
			160-180	0.36-0.35
			180-200	0.35-0.34
<b>Hard</b>	hard	>30	>200	0.34

## 2.5 Faktor Keamanan

Reese dan O'Neill (1989) menyarankan pemilihan faktor aman untuk perancangan pondasi tiang (Tabel 2.2), yang dipertimbangkan tergantung pada beberapa faktor yaitu (Hardiyatmo, 2008):

1. Jenis dan kepentingan struktur dan Variasi kondisi tanah.
2. Tingkat kehandalan penyelidikan geoteknik.
3. Ketersediaan data uji pembebanan didekat lokasi.
4. Tingkat pengawasan dan pengendalian mutu pekerjaan pondasi.
5. Probabilitas beban rencana yang akan terjadi sepanjang masa bangunan.

Tabel 2.2: Faktor keamanan untuk pondasi tiang (Hardiyatmo, 2008)

Klasifikasi struktur bangunan	Bangunan monumental	Bangunan permanen	Bangunan sementara
FK (Pengendalian baik)	2.3	2.0	1.4
FK (Pengendalian normal)	3.0	2.5	2.0
FK (Pengendalian kurang)	3.5	2.8	2.4
FK (Pengendalian buruk)	4.0	3.4	2.8

## 2.6 Penurunan Tiang Elastis (Settlement)

Untuk tiang dengan penurunan segera/ Elastis (*Immediate/Elastic Settlement*) penurunan yang dihasilkan oleh distorsi massa tanah yang tertekan, dan terjadi pada volume konstan. Termasuk penurunan pada tanah-tanah berbutir kasar dan tanah-tanah berbutir halus yang tidak jenuh, karena penurunan terjadi segera setelah terjadi penerapan beban.

Persamaan penurunan segera atau penurunan elastis dari pondasi yang diasumsikan terletak pada tanah yang homogen, elastis dan isotropis pada media semi tak terhingga, dinyatakan dengan Pers. 2.7.

Penurunan tiang tunggal akibat beban yang bekerja vertical

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (2.7)$$

Dimana :

S = Penurunan total

S<sub>1</sub> = Penurunan batang tiang

S<sub>2</sub> = Penurunan tiang akibat beban di ujung tiang

S<sub>3</sub> = Penurunan tiang akibat beban yang tersalurkan sepanjang tiang

Menentukan S<sub>1</sub> sesuai Pers. 2.8

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws}) \cdot L}{A_p \cdot E_p} \quad (2.8)$$

Dimana :

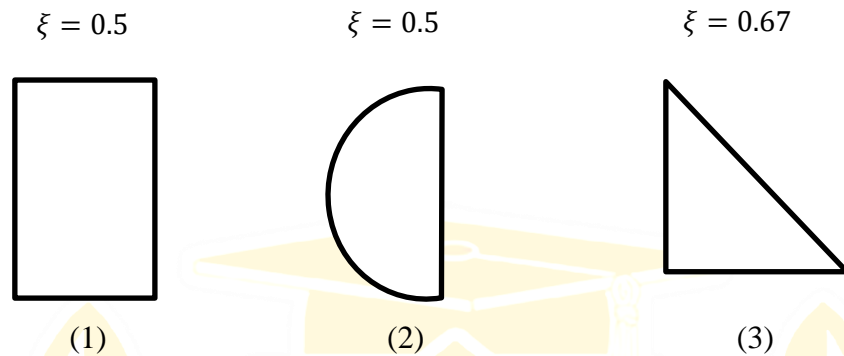
S = Penurunan elastis dari tiang (mm)

Q<sub>wp</sub> = Daya dukung pada ujung tiang dikurangi daya dukung *friction* (kN)

Q<sub>ws</sub> = Daya dukung *friction* (kN)

A<sub>p</sub> = Luas penampang tiang pancang (m<sup>2</sup>)

- L = Panjang tiang pancang (m)  
 E<sub>p</sub> = Modulus elastisitas dari bahan tiang (kN/ m<sup>2</sup>)  
 ξ = Koefisien dari *skin friction*, (Gambar 1.8)  
 D = Diameter tiang (m)



Gambar 2.8 : Variasi jenis bentuk unit tahanan friksi (kulit) alami terdistribusi sepanjang tiang tertanam ke dalam tanah (Braja M.Das. 2007)

Menentukan S<sub>2</sub> sesuai Pers. 2.9 dan 2.10

$$S_2 = \frac{(q_{wp}D)}{E_b} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (2.9)$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p} \quad (2.10)$$

Dimana:

q<sub>wp</sub> : Beban titik per satuan luas ujung tiang

Q<sub>ws</sub> : Beban yang dipikul selimut tiang akibat beban kerja

D : Lebar atau diameter tiang

I<sub>wp</sub> : Faktor pengaruh

E<sub>b</sub> : Modulus elastisitas tanah sesuai Pers. 2.13

Menentukan S<sub>3</sub> sesuai Pers. 2.11

$$S_3 = \left( \frac{Q_{ws}}{PL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \quad (2.11)$$

Dimana:

p : Keliling tiang

L : Panjang tiang yang tertanam

$I_{ws}$  : Faktor pengaruh sesuai Pers.2.12

$\frac{Q_{ws}}{PL}$  : nilai rata-rata friksi sepanjang tiang

$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (2.12)$$

Tabel 2.3 : Nilai umum modulus elastisitas tanah (Braja M.Das edisi 2)

TYPE	$E_s$ (kN/m <sup>2</sup> )
<b>Coarse and medium coarse sand</b>	
<b>Louse</b>	25.000 - 35000
<b>Medium dense</b>	30000 - 40000
<b>dense</b>	40000 - 45000
<b>Sandy silt</b>	
<b>loose</b>	8000 - 12000
<b>Medium dense</b>	10000 - 12000
<b>Dense</b>	12000 – 15000

Karena sifat tanah yang berbeda beda untuk mendapatkan nilai  $E_s$ (nilai modulus elastisitas pada tanah) berdasarkan kedalaman atau dengan menggunakan data SPT, maka dapat di rumuskan sesuai pers. 2.18.

$$E_s = 2,5 \cdot q_c \text{ kN/m}^2 \quad (2.13)$$

## 2.7 Pile Driving Analyzer (PDA)

*PDA Test* adalah salah satu jenis pengujian dinamik dengan menggunakan metode analisis gelombang sesuai dengan sifat pengujiannya yang melakukan pemukulan ulang pondasi tiang yang diuji. *PDA Test* pelaksanaannya mengacu pada ASTM D-4945 (*Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations*).

Analisa data *PDA* dilakukan dengan prosedur metode kasus, yang meliputi pengukuran data kecepatan dan gaya selama pelaksanaan pengujian dan

perhitungan variabel dinamik secara tepat waktu untuk mendapatkan gambaran tentang daya dukung pondasi tiang tunggal.

Dari *PDA Test* dengan menggunakan metode kasus akan dapat mengetahui :

1. Daya dukung pondasi tiang tunggal
2. Integritas atau keutuhan tiang dan sambungan
3. Efisiensi dari transfer energi pukulan hammer/alat pancang

### 2.7.1 CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program)

Analisa lanjutan yang dilakukan bersama dengan pengujian PDA adalah analisa CAPWAP yang merupakan salah satu metode analisis pencocokan sinyal. Analisa ini menggunakan data yang diperoleh dari pengujian PDA untuk memberikan hasil analisa yang lebih detail. Dari analisa CAPWAP kita akan mengetahui lebih rinci data yang diperoleh dari pengujian PDA Test, dengan tambahan informasi :

1. tahanan ujung pondasi tiang tunggal
2. tahanan friksi pondasi tiang tunggal

### 2.7.2 Bagan pemasangan alat PDA Test

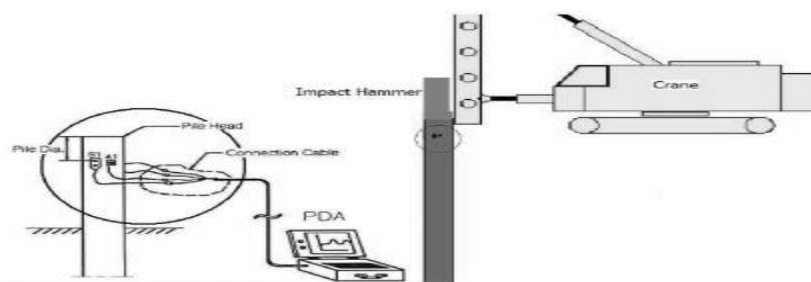


Figure 2. PDA Test Typical Set-Up

Gambar 2.9 : Pemasangan alat *PDA Test*

Pada gambar 2.9 yang diperhatikan pada waktu pemasangan alat strain transducer dan accelerometer (minimal masing-masing 2 buah) adalah posisinya harus sedemikian rupa sehingga pengaruh lentur (kelentingan) tiang dapat



diminimalkan. Karena jika terjadi lenturan (bending) selama pelaksanaan pukulan, maka data yang diperoleh akan mengalami perubahan bentuk sehingga analisa yang dilakukan tidak akan akurat.



Gambar 2.10 Proses pemasangan alat *PDA Test* pada titik *bore pile* JAS-2

### 2.7.3 Data dan Parameter Pengujian PDA Test

Dari beberapa data yang diambil pada waktu pelaksanaan pengujian PDA, pada umumnya akan diambil satu grafik dan data yang paling baik dalam mewakili dan menggambarkan kekuatan atau daya dukung pondasi tiang yang diuji.

Tabel 2.4 : Keterangan kode pembacaan alat CAPWAP

KODE	KETERANGAN
<b>BN</b>	Pukulan
<b>RMX</b>	Daya dukung tiang [ton]
<b>FMX</b>	Gaya tekan maksimum [ton]
<b>CTN</b>	Gaya tarik maksimum [ton]
<b>EMX</b>	Energi maksimum yang ditransfer [tonm]
<b>DMX</b>	Penurunan maksimum [mm]
<b>DFN</b>	Penurunan permanen [mm]
<b>STK</b>	Tinggi jatuh palu [m]
<b>BPM</b>	pukulan permenit
<b>BTA</b>	Nilai keutuhan tiang[%]
<b>LE</b>	Panjang tiang dibawah instrumen [m]

Penentuan data tersebut pada umumnya diambil data dari transfer energi atau energi tersalurkan (EMX) yang paling besar/maksimum selama pelaksanaan pukulan dan terdata dalam program yang digunakan.

#### **2.7.4 Refusal dan Ultimate**

Pada pengujian dengan PDA Test akan diperoleh hasil daya dukung yang bersifat salah satu dari dua kondisi berikut :

1. refusal
2. ultimate

Pengertian daya dukung yang bersifat refusal adalah daya dukung yang terdeteksi/terdata dan dianalisa merupakan daya dukung yang diperoleh dari kondisi pondasi tiang yang belum sepenuhnya termobilisasi. Kondisi belum sepenuhnya termobilisasi adalah kondisi di mana pondasi tiang belum mencapai kapasitas tertinggi atau ultimate-nya. Kondisi ini dapat disebabkan karena pada saat pengujian pukulan dilakukan, energi yang ditransfer tidak cukup besar untuk memobilisasi seluruh kemampuan tahanan atau daya dukung pondasi tiang yang diuji. Pengertian daya dukung yang bersifat ultimate adalah daya dukung yang diperoleh dari kondisi pondasi tiang yang sudah termobilisasi sepenuhnya.

Dengan demikian angka daya dukung yang dihasilkan dari analisa PDA dan CAPWAP pada kondisi ini adalah benar-benar daya dukung ultimate atau batas yang dimiliki oleh pondasi tiang yang diuji.

Kondisi ultimate ditentukan oleh salah satu dari :

1. Telah Bergeraknya tiang pancang akibat beban tertentu (beban ultimate) yang berarti terlampauinya tahanan friksi dan ujung dari pondasi tiang
2. Telah terlampauinya kemampuan material tiang pancang itu sendiri yang jika diteruskan dengan beban yang lebih berat akan mengakibatkan kegagalan pada bahan/material tiang pancang.