

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

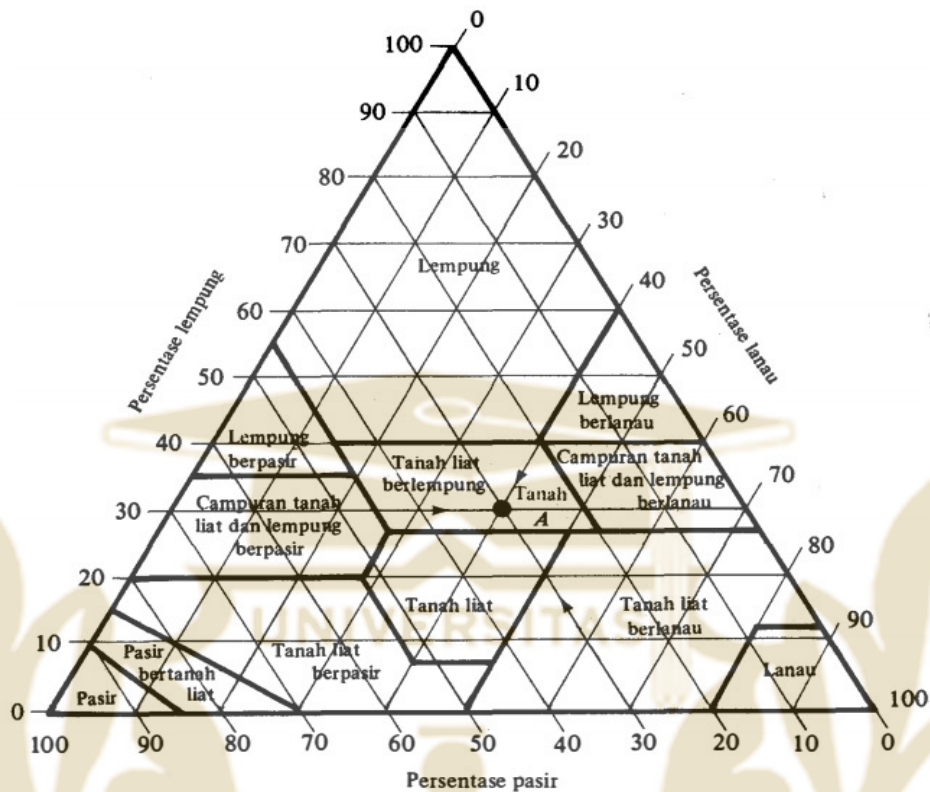
#### **2.1 Tanah**

Tanah menurut Braja M. Das (1995) didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Maka diperlukan tanah dengan kondisi kuat menahan beban di atasnya dan menyebarkannya merata. Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut Braja M.Das (1995)

Dalam bukunya Braja M.Das (1995) menjelaskan ukuran dari partikel tanah adalah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar, tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (gravel), pasir (sand), lanau (silt), atau lempung (clay), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran partikelnya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah (soil-separate-size limit)

Beberapa system klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tanah telah di kembangkan sejak dulu oleh berbagai organisasi guna untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri, beberapa dari sistem sistem tersebut masih di pakai hingga saat ini. Gambar 2.1 menunjukkan sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tanah yang di kembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas butiran tanah seperti:

- a. Pasir : Butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0.05mm
- b. Lanau : Butiran dengan diameter 0.05 sampai dengan 0.002mm
- c. Lempung : Butiran dengan diameter lebih kecil dari pada 0.002mm



Gambar 2.1:

Gambar 2.1.1 Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur.

## 2.2 Penyelidikan Tanah (*Soil Investigation*)

Dalam merencanakan sebuah pondasi sangatlah penting untuk mengetahui jenis, sifat terlebih karakteristik tanah tersebut. Juga apakah tanah tersebut dapat menahan beban yang ada di atasnya maupun dari pengaruh gaya vertical ataupun horizontal. Untuk mengetahui tentang jenis tanah tersebut dilakukan test laboratorium dan tanahnya diambil dari berbagai lapisan maupun juga pengamatan langsung dilapangan.

Penyelidikan tanah (*soil investigation*) ada dua jenis yaitu:

### 1) Penyelidikan di lapangan

Jenis penyelidikan di lapangan seperti pengeboran (*hand boring* ataupun *machine boring*), *Cone Penetrometer Test* (Sondir), *Standard Penetration Test* (SPT), *Sand Cone Test* dan *Dynamic Cone Penetrometer*.

### 2) Penyelidikan di laboratorium

Sifat fisik tanah dapat dipelajari dari hasil uji Laboratorium pada sampel tanah

yang diambil dari pengeboran. Hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung ultimit dan penurunan. Jenis penyelidikan di laboratorium terdiri dari uji *index properties* tanah (*Atterberg Limit, Water Content, Specific Gravity, Sieve Analysis*) dan *engineering properties* tanah (*Direct Shear Test, Triaxial Test, Consolidation Test, Permeability Test, Compaction Test*, dan CBR).

Dari hasil penyelidikan tanah diperoleh contoh tanah (*soil sampling*) yang dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

1) Contoh tanah tidak terganggu (*undisturbed soil*)

Suatu contoh tanah dikatakan tidak terganggu apabila contoh tanah itu dianggap masih menunjukkan sifat-sifat asli tanah tersebut. Sifat asli yang dimaksud adalah contoh tanah tersebut tidak mengalami perubahan pada strukturnya, kadar air, atau susunan kimianya. Contoh tanah seperti ini tidaklah mungkin bisa didapatkan, akan tetapi dengan menggunakan teknik-teknik pelaksanaan yang baik, maka kerusakan-kerusakan pada contoh tanah tersebut dapat diminimalisir. *Undisturbed soil* digunakan untuk percobaan *engineering properties*.

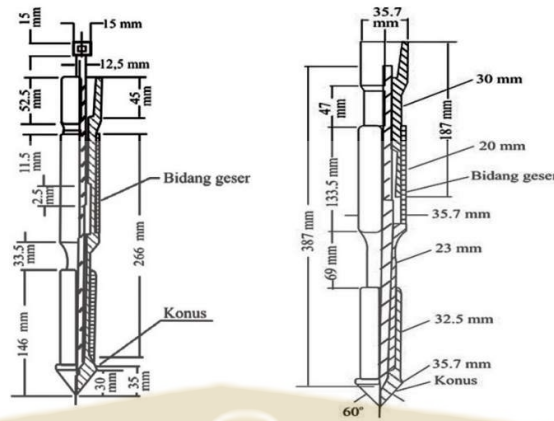
2) Contoh tanah terganggu (*disturbed soil*)

Contoh tanah terganggu adalah contoh tanah yang diambil tanpa adanya usaha-usaha tertentu untuk melindungi struktur asli tanah tersebut. *Disturbed soil* digunakan untuk percobaan uji *index properties* tanah.

### 2.2.1 Pengujian Penetrasi Kerucut Statis (Sondir)

Uji Penetrasi Kerucut Statis atau Uji Sondir banyak digunakan di Indonesia. Pengujian ini berguna untuk menentukan lapisan-lapisan tanah berdasarkan tahanan ujung konus dan daya lekat tanah setiap kedalaman pada alat sondir.

Konus yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut (Gambar 2.2):



a) Keadaan tertekan. b) Keadaan terbentang.

Gambar 2.2.1 Rincian Konus Ganda.

Dimana:

- 1) Ujung konus bersudut  $60^\circ \pm 5^\circ$ .
- 2) Ukuran diameter konus adalah  $35,7 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$  atau luas proyeksi konus =  $10 \text{ cm}^2$ ; bagian runcing ujung konus berjari-jari kurang dari 3 mm.
- 3) Konus ganda harus terbuat dari baja dengan tipe dan kekerasan yang cocok untuk menahan abrasi dari tanah.

Hasil penyelidikan dengan Sondir ini digambarkan dalam bentuk grafik yang menyatakan hubungan antara kedalaman setiap lapisan tanah dengan perlawanan penetrasi konus.

## 2.2.2 Standard Penetration Test (SPT)

Tujuan Pengujian Penetrasi Standar yaitu untuk menentukan kepadatan relatif dan sudut geser lapisan tanah tersebut dari pengambilan contoh tanah dengan tabung, dapat diketahui jenis tanah dan ketebalan dari setiap lapisan tanah tersebut, untuk memperoleh data yang kumulatif pada perlawanan penetrasi tanah dan menetapkan kepadatan dari tanah yang tidak berkoheesi yang biasanya sulit diambil sampelnya.

*Standard Penetration Test* adalah suatu metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. *Standard Penetration Test* terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah

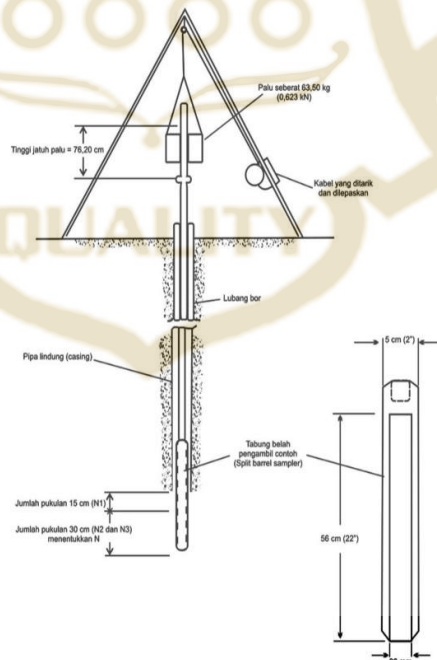


sedalam 300 mm vertikal. Dalam sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap (SNI 4153, 2008)

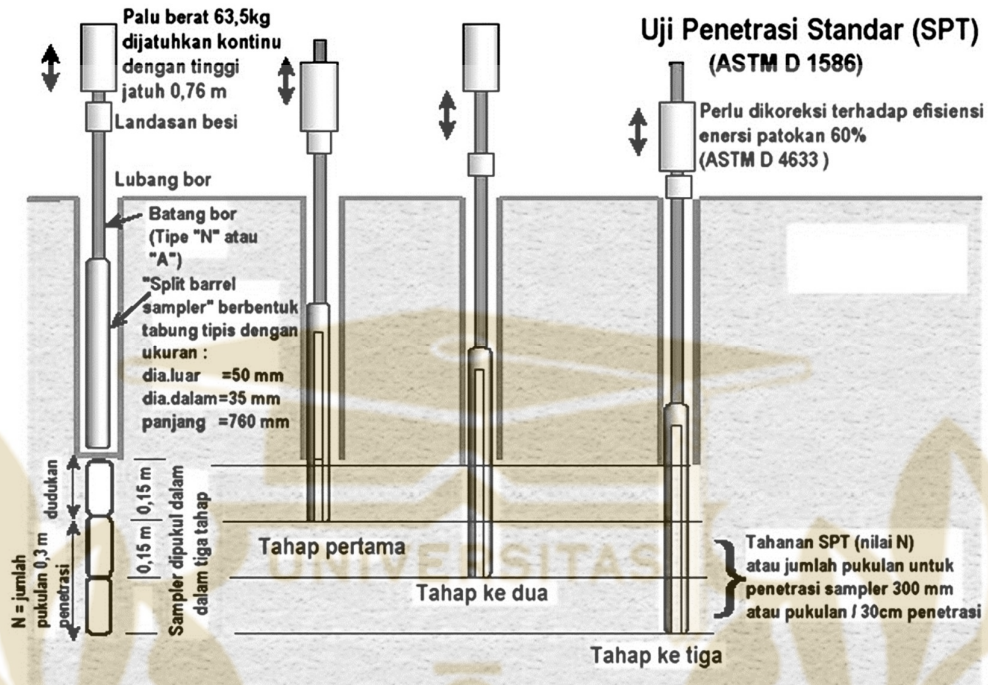
a. Persiapan Pengujian

Lakukan persiapan pengujian *Standard Penetration Test* di lapangan dengan tahapan sebagai berikut (Gambar 2.3):

- 1) Pasang blok penahan (knocking block) pada pipa bor;
- 2) Beri tanda pada ketinggian sekitar 75 cm pada pipa bor yang berada di atas penahan;
- 3) Bersihkan lubang bor pada kedalaman yang akan dilakukan pengujian dari bekas-bekas pengeboran;
- 4) Pasang split barrel sampler pada pipa bor, dan pada ujung lainnya disambungkan dengan pipa bor yang telah dipasang blok penahan;
- 5) Masukkan peralatan *Standard Penetration Test* ke dalam dasar lubang bor atau sampai kedalaman pengujian yang diinginkan;
- 6) Beri tanda pada batang bor mulai dari muka tanah sampai ketinggian 15 cm, 30 cm dan 45 cm.



Gambar 2.2.2 *Standard Penetration Test* (SPT) (SNI 4153,2008)



Gambar 2.2.3 Skema urutan *Standard Penetration Test* (SPT) (SNI 4153,2008)

#### b. Prosedur Pengujian

Lakukan pengujian dengan tahapan sebagai berikut

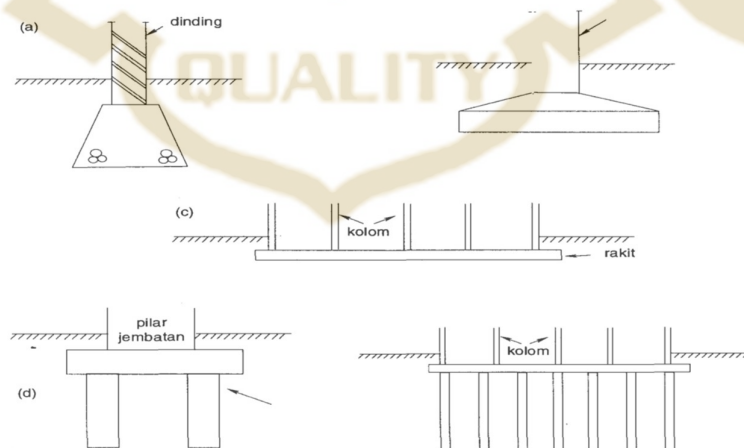
- 1) Lakukan pengujian pada setiap perubahan lapisan tanah atau pada interval sekitar 1,50 m s.d 2,00 m atau sesuai keperluan;
- 2) Tarik tali pengikat palu (hammer) sampai pada tanda yang telah dibuat sebelumnya (kira-kira 75 cm);
- 3) Lepaskan tali sehingga palu jatuh bebas menimpa penahan Ulangi 2) dan 3) berkali-kali sampai mencapai penetrasi 15 cm;
- 4) Hitung jumlah pukulan atau tumbukan N pada penetrasi 15 cm yang pertama;
- 5) Ulangi 2), 3), 4) dan 5) sampai pada penetrasi 15 cm yang ke-dua dan ke-tiga;
- 6) Catat jumlah pukulan N pada setiap penetrasi 15 cm:
  - 15 cm pertama dicatat N1;
  - 15 cm ke-dua dicatat N2;

- 15 cm ke-tiga dicatat N3;
  - Jumlah pukulan yang dihitung adalah  $N_2 + N_3$ . Nilai  $N_1$  tidak diperhitungkan karena masih kotor bekas pengeboran;
- 7) Bila nilai  $N$  lebih besar daripada 50 pukulan, hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter;
  - 8) Catat jumlah pukulan pada setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah batuan.

### 2.3 Pondasi

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

Pondasi adalah suatu konstruksi pada bagian dasar struktur/bangunan (*sub-structure*) yang berfungsi meneruskan beban dari bagian atas struktur/bangunan (*upper-structure*) ke lapisan tanah yang berada dibagian bawahnya tanpa mengakibatkan keruntuhan geser tanah dan penurunan (*settlement*) tanah/pondasi yang berlebihan (Hardihardaja, 1997).



Gambar 2.3.1 Macam-macam type pondasi.

- (a) Pondasi memanjang (b) Pondasi telapak (c) Pondasi rakit (d) Pondasi sumuran  
(e) Pondasi tiang.

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 bidangantara (*interfacing*) terhadap tanah.

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

- 1) Tentukan lokasi tapak dan posisi dari muatan. Perkiraan kasar dari beban-bebanpondasi 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 masalahmasalah 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 penyusun 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,ilmiall, dan pertimbangan rekayasa. Hal ini mungkin melibaiakan analisiskomputer yang bersifat sederhana atau rumit. Untuk masalah-masalah yang kompleks, bandingkanlah data yang dianjurkan deagan 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. Pondasi tersebut seharusnya bersifat ekonomis dan mampu untuk dibangun oleh karyawan konstruksi yang tersedia.

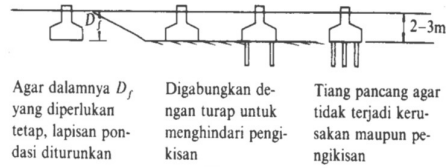


Perhitungkanlah toleransi-toleransi konstruksi yang praktis dan praktek-praktek konstruksi yang bersifat lokal. Laksanakan interaksi yang erat dengan semua pihak yang berkepentingan (nasabah, para perekayasa, arsitek, kontraktor) sehingga sistem struktur-bawah itu tidak dirancang secara berlebihan dan risiko dijaga agar berada pada tingkat-tingkat yang dapat diterima. Pada langkah ini dapat dipakai perangkat komputer secara sangat luas (atau semua sama sekali tidak).

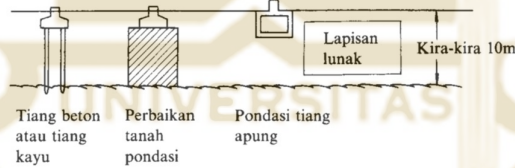
Dari hal-hal diatas, jelas bahwa keadaan tanah pondasi pada urutan no 1 yang merupakan keadaan paling penting dan perinciannya. Berikut ini adalah jenis-jenis pondasi yang sesuai dengan keadaan tanah pondasi yang bersangkutan (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1980):

- 1) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada permukaan tanah atau 2-3 meter dibawah permukaan tanah (Gambar 2.6), 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 2.7). 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 2.8. 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 2.9. Tetapi apabila tekanan atmosfer yang bekerja ternyata kurang dari 3 kg/cm<sup>2</sup> digunakan juga kaison tekanan.

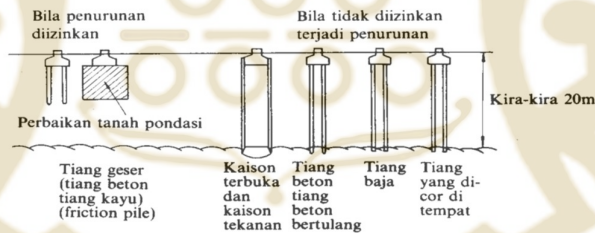
- 5) Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman lebih dari 40 meter di bawah permukaan tanah, dalam hal ini yang paling baik adalah tiang baja dan tiang beton yang dicor di tempat.



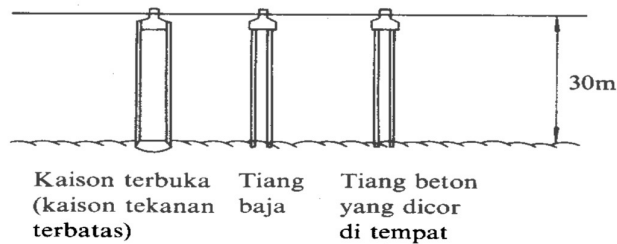
Gambar 2.3.2 Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi cukup dangkal (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1980)



Gambar 2.3.3 Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 10 meter dibawah permukaan tanah (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1980)



Gambar 2.3.4 Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 20 meter dibawah permukaan tanah (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1980)



Gambar 2.3.5 Contoh pondasi bila lapisan pendukung pondasi berada sekitar 30 meter dibawah permukaan tanah (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1980)

### 2.3.1 Pengertian Pondasi Tiang

Pondasi tiang adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal kesumbu tiang dengan jalan menyerap lenturan (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1980). Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan dengan monolit menyatukan pangkal tiang pancang yang terdapat dibawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi.

Dalam Tugas Akhir Harianti (2007) menjeaskan perbedaan antara pondasi tiang bor dengan pondasi tiang pancang terletak pada metode konstruksinya. Secara umum, pondasi tiang bor (*bored 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. Pondasi tiang bor merupakan *nondisplacementpile* karena pelaksanaannya tidak menyebabkan perpindahan tanah.

Keuntungan-keuntungan pondasi tiang bor:

- a) Peralatan pengeboran mudah dipindahkan sehingga waktu pelaksanaan relatif sangat cepat.
- b) Berdasar 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 1,50m, 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 pencatatannya 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 *loading test*, biayanya menjadi lebih mahal.
- f) Kondisi tanah di kaki tiang sering kali 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.

### 2.3.2 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 penggalian lubang bor, pembersihan dasar lubang bor, pemasangan tulangan, dan pengecoran beton kedalam lubang.

### **2.3.3 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:

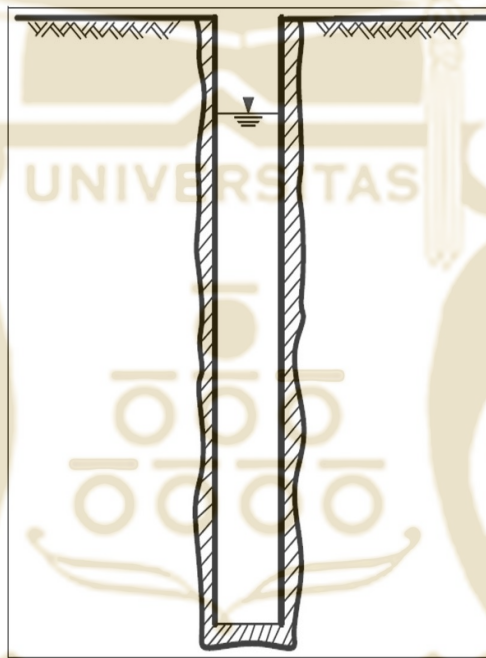
- 1) Dimensi alat bor dan pemasangan alat pengeboran serta ketelitian letak dan tegak lurusnya tiang.
- 2) Persediaan alat-alat bantu yang kiranya diperlukan seperti casing, alat-alat untuk membersihkan lubang, alat-alat pengaman dan sebagainya.
- 3) Batas dalamnya pengeboran lubang. Batas ini tergantung dari keadaan tanah. Meskipun umumnya telah ditentukan dalam spesifikasi, namun sebaiknya penentuan di lapangan ditentukan oleh *site soil engineer* yang cukup ahli dan berpengalaman. Jika memungkinkan, sebaiknya kondisi dasar lubang juga diperiksa. Di luar negeri, dimana lubang bor itu kering, biasanya *soil engineer* harus turun ke dalam lubang untuk memeriksa kelayakan dasar galian.

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 2.11.

Akibat dari penggalian lubang, maka:

- 1) Tanah sekeliling dan di bawah lubang terganggu, serta terjadi perubahan tegangan pada bagian yang diarsir pada Gambar 2.10 karena pengambilan tanah,
- 2) Jika muka air tanah tinggi, maka akan terjadi aliran air pori tanah ke dalam lubang.



Gambar 2.3.6 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 longsornya 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.

#### **2.3.4 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 *cleaningbucket* 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.

#### **2.3.5 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 (sengkang). 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.

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.

### 2.3.6 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 di dasar 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.



## 2.4 Parameter Tanah

Parameter tanah adalah ukuran atau acuan untuk mengetahui atau menilai hasil suatu proses perubahan yang terjadi dalam tanah baik dari sifat fisik dan jenis tanah. Karena sifat-sifat tersebut maka penting dilakukan penyelidikan tanah (*soil investigation*).

### 1. Modulus Young (E)

Nilai perkiraan modulus elastisitas dapat diperoleh dari pengujian (*Standart Penetration Test*), Selain itu modulus elastisitas tanah dapat juga di cari dengan pendekatan terhadap jenis dan konsistensi tanah dengan N-SPT , seperti pada Tabel

Table 2.4-1 Korelasi N-SPT dengan Modulus Elastisitas pada tanah lempung (*Randolph, 1978*)

<i>Subsurface condition</i>	<i>Penetration resistance range N(bpf)</i>	<i>E50 (%)</i>	<i>Poisson's Ratio (v)</i>	<i>Shear strength Su (psf)</i>	<i>Young's Modulus Range Es (psi)</i>	<i>Shear Modulus Range G (psi)</i>
Very soft	2	0,020	0,5	250	170-340	60-110
Soft	2-4	0,020	0,5	375	260-520	80-170
Medium	4-8	0,020	0,5	750	520-1040	170-340
Stiff	8-15	0,010	0,45	1500	1040-2080	340-690
Very stiff	15-30	0,005	0,40	3000	2080-4160	690-1390
Hard	30	0,004	0,35	4000	2890-5780	960-1930
	40	0,004	0,35	5000	3470-6940	1150-2310
	60	0,0035	0,30	7000	4860-9720	1620-3420
	80	0,0035	0,30	9000	6250-12500	2080-4160
	100	0,003	0,25	11000	7640-15270	2540-5090
	120	0,003	0,25	13000	9020-18050	3010-6020

### 2. Poisson's Ratio (v')

Rasio poisson sering dianggap sebesar 0,2 – 0,4 dalam pekerjaan – pekerjaan mekanika tanah. Nilai sebesar 0,5 biasanya dipakai untuk tanah jenuh dan nilai 0

sering dipakai untuk tanah kering dan tanah lainnya untuk kemudahan dalam perhitungan. dalam Tabel 2.2 ditunjukkan hubungan antara jenis tanah, konsistensi dengan poisson ratio.

Table 2.4-2 Hubungan Jenis Tanah, konsistensi dan poisson ratio ( $\nu$ ), (Hardiyatmo, 1994)

<i>Soil Type</i>	<i>Description</i>	<i>(<math>\nu'</math>)</i>
Clay	Soft	0.35-0.40
	Medium	0.30-0.35
	Stiff	0.20-0.30
Sand	Loose	0.15-0.25
	Medium	0.25-0.30
	Dense	0.25-0.35

### 3. Berat Jenis Tanah Kering ( $\gamma_{dry}$ )

Berat jenis tanah kering adalah perbandingan antara berat tanah kering dengan satuan volume tanah. Berat jenis tanah kering diperoleh dari data *Soil Test* dan *Direct Shear* dan di korelasikan dengan data N-SPT pada Tabel.

Table 2.4-3 Korelasi nilai berat isi dengan N-SPT pada tanah lempung (panduan All pile manual versi 7)

<i>Consistency</i>	<i>Symbol (Pcf)</i>	<i>Very soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Very stiff</i>	<i>Hard</i>
SPT	N <sub>spt</sub>	0-2	2-4	4-8	8-16	16-32	>32
UCS	q <sub>u</sub>	0-500	500-1000	1000-2000	2000-4000	4000-8000	>8000
Shear	c <sub>u</sub>	0-250	250-500	500-1000	1000-2000	2000-4000	>4000
Saturated	$\gamma$	<100	100-120	100-130	120-130	120-140	>130

Table 2.4-4 Korelasi nilai berat isi dengan N-SPT pada tanah pasir (Panduan Allpile manual versi 7)

<i>Consistency</i>	<i>Symbol (Pcf)</i>	<i>Very Loose</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>
SPT	Nspt	0-4	4-10	10-30	30-50	>50
Moist	$\gamma$	<100	95-125	110-130	110-140	>130
Submerged	$\gamma$	<60	55-65	60-70	65-85	>75

#### 4. Berat Jenis Tanah Jenuh ( $\gamma_{sat}$ )

Berat jenis tanah jenuh adalah perbandingan antara berat tanah jenuh air dengan satuan volume tanah jenuh. Di mana ruang porinya terisi penuh oleh air.

#### 5. Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )

Sudut geser dalam bersama dengan kohesi merupakan faktor dari kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Deformasi dapat terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Nilai dari sudut geser dalam didapat dari *engineering properties* tanah, yaitu dengan *triaxial test* dan *direct shear test*.

#### 6. Kohesi (c)

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser tanah, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Selain itu nilai berat jenis tanah kering ( $\gamma_{dry}$ ), berat jenis tanah jenuh ( $\gamma_{sat}$ ), sudut geser ( $\phi$ ) dan kohesi (C) dapat juga di peroleh dari program *Allpile* dengan memasukkan nilai N-SPT.

Table 2.4-5 Parameter rencana tiang tanah kohesif (Bridge Design Manual,1992)

<i>Kondisi tanah kohesif</i>			<i>Kuat geser</i>	<i>Koefisien</i>
Consistency		Nilai 'N'	<i>"undrained" rata-rata nominal, <math>c_u</math></i> kpa	<i>terganggu</i> $F_c$
Sangat Lembek	Hilang antara jari tangan	0-2	0-10	1,0
Lembek	Mudah di bentuk dengan jari	2-4	10-25	1,0
Teguh	Dapat di bentuk dengan jari dan tekanan kuat	4-8	25-45	1.0
Kenyal	Tidak dapat dibentuk dengan jari	8-15	45-50	1,0-0,95
			50-60	0,95-0,8
			60-80	0,8-0,65
			80-100	0,65-0,55
Sangat Kenyal	Getas atau tahan	15-30	100-120	0,55-0,45
			120-140	0,45-0,4
			140-160	0,4-0,35
			160-180	0,36-0,35
Keras	Keras	>30	180-200	0,35-0,34
			>200	0,34

Table 2.4-6 Parameter rencana tiang untuk tanah non kohesif (Bridge Design Manual,1992)

<i>Kondisi tanah</i>		<i>Batas kedalaman/dia meter tiang</i> $Z_L/d$	$F_1$		$N_q$	
Konsistensi	Nilai S.P.T "N"		Tiang pancang	Tiang bora tau tiang cor di tempat	Tiang pancang	Tiang bor
Lepas	0-10	6	0.8	0.3	60	25
Sedang	10-30	8	1.0	0.5	100	60
Padat	30-50	15	1.5	0.8	180	100

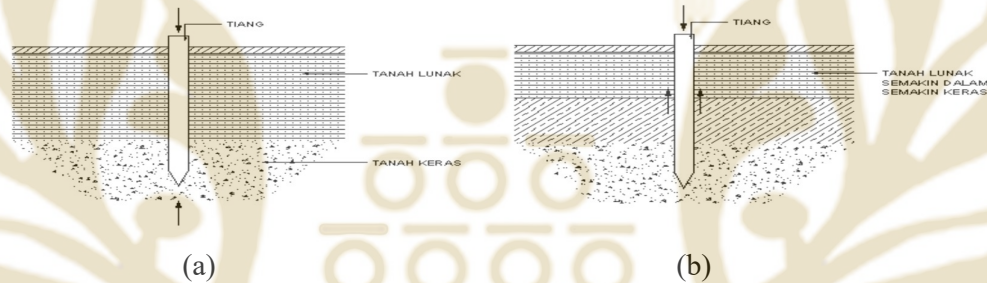


## 2.5 Kapasitas Daya Dukung

### 2.5.1 Daya Dukung Ujung Tiang Dan Tiang Gesek

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

- 1) Daya dukung ujung tiang (*end bearing pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. 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 2.11a).
- 2) Tiang gesek (*friction pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah disekitarnya



Gambar 2.5.1 Tiang ditinjau dari cara mendukung bebannya (Hardiyatmo, H. C., 2002)

### 2.5.2 Kapasitas Daya Dukung Dari Data N-SPT

*Standard Penetration Test* (SPT) adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan *split spoon* kedalam tanah. Dengan percobaan ini akan diperoleh kepadatan relatif (*relative density*), sudut geser tanah ( $\Phi$ ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N). Hubungan kepadatan relatif, sudut geser tanah dan nilai N dari pasir dapat dilihat pada Tabel

Table 2.5-1 Hubungan dari,  $\Phi$  dan N dari pasir (Mekanika Tanah & Teknik Pondasi, Sosrodarsono Suyono Ir, 1983)

Nilai N	Kepadatan Relative (Dr)		Sudut Geser Dalam	
			Menurut Peck	Menurut Meyerhof
0-4	0,0-0,2	Sangat lepas	< 28,5	< 30
4-10	0,2-0,4	Lepas	28,5-30	30-35
10-30	0,4-0,6	Sedang	30-36	35-40
30-50	0,6-0,8	Padat	36-41	40-45
> 50	0,8-1,0	Sangat Padat	< 41	> 45

Adapun perkiraan kapasitas daya dukung pondasi tiang pada tanah kohesi dan non kohesi didasarkan pada data uji laboratorium, *Reese and O'neil* (1999) mengusulkan persamaan untuk menghitung tahanan ujung tiang ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

1. Kekuatan ujung tiang (*end bearing*) dan kekuatan lekatan (*skin friction*) pada tanah kohesif (*Reese and O'neil, 1999*) ditunjukkan dalam Pers. 2.1 dan 2.2:

Kekuatan ujung tiang

$$Q_b = A_p \cdot N_c \cdot C_u \quad (2.1)$$

Tahanan geser selimut tiang:

$$Q_s = \alpha \cdot C_u \cdot p \cdot \Delta L \quad (2.2)$$

Dimana:

$p$  = Keliling

$C_u$  = Kohesif lapisan tanah yang tidak teratur

$\alpha$  = Faktor adhesi

$\Delta L$  = Kedalaman

Adapun Pers. Untuk mencari nilai  $\alpha$  sesuai Pers. 2.3:

$$\alpha = 0,55 \rightarrow \text{for } \frac{C_u}{P_a} \leq 1,5$$

$$0,55 - 0,1 \cdot \left( \frac{C_u}{P_a} - 1,5 \right) \rightarrow \text{for } 1,5 < \frac{C_u}{P_a} \leq 2,5 \quad (2.3)$$

Luas selimut tiang sesuai Pers. 2.4

$$p = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t \quad (2.4)$$

Luas penampang tiang sesuai Pers. 2.5

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \quad (2.5)$$

2. Kekuatan ujung tiang (*end bearing*) dan kekuatan lekatan (*skin friction*) pada tanah non kohesif (*Resse and O'neil*) ditunjukkan dalam Pers.2.6 dan 2.7:

Kekuatan ujung tiang sesuai pers. 2.6

$$Q_b = Q_p \cdot a_p \quad (2.6)$$

Adapun Pers. Untuk mencari nilai  $q_p$  sesuai Pers. 2.7

$$Q_p = 57,5 \cdot N_{spt} \quad (2.7)$$

Tahanan geser selimut tiang Pers. 2.8

$$Q_s = \sum f \cdot p \cdot \Delta L \quad (2.8)$$

Adapun Pers. Untuk mencari nilai  $f$  Pers. 2.9

$$f = \beta \cdot \sigma \quad (2.9)$$

## 2.6 Faktor Keamanan

Daya dukung ijin pondasi tiang untuk beban aksial,  $Q_a$  atau  $Q_{ult}$ , dengan suatu faktor keamanan (FK) baik secara keseluruhan maupun secara terpisah dengan menerapkan faktor keamanan pada daya dukung selimut tiang dan pada tahanan ujungnya. Karena itu daya dukung ijin tiang dapat dinyatakan dalam Pers.2.10 dan 2.11 :

$$Q_a = \frac{Q_u}{FK} \quad (2.10)$$

$$Q_a = \frac{Q_p}{FK \text{ ujung}} + \frac{Q_s}{FK \text{ selimut}} \quad (2.11)$$

Untuk menentukan faktor keamanan dapat digunakan klasifikasi struktur bangunan menurut *Pugsley (1966)* sebagai berikut:

1. Bangunan monumental, umumnya memiliki umur rencana melebihi 100 tahun, seperti Tugu Monas, Monumen Garuda Wisnu Kencana, jembatan-jembatan besar, dan lain-lain.
2. Bangunan permanen, umumnya adalah bangunan gedung, jembatan, jalan raya dan jalan kereta api, dan memiliki umur rencana 50 tahun.
3. Bangunan sementara, umur rencana bangunan kurang dari 25 tahun.

Faktor-faktor lain kemudian ditentukan berdasarkan tingkat pengendaliannya pada saat konstruksi.

1. Pengendalian baik : kondisi tanah cukup homogen dan konstruksi didasarkan pada program penyelidikan geoteknik yang tepat dan profesional, terdapat informasi uji pembebanan di dekat lokasi proyek dan pengawasan konstruksi dilaksanakan secara ketat
2. Pengendalian normal : Situasi yang paling umum, hampir serupa dengan kondisi diatas, tetapi kondisi tanah bervariasi dan tidak tersedia data pengujian tanah
3. Pengendalian kurang : Tidak ada uji pembebanan, kondisi tanah sulit dan bervariasi, tetapi pengujian geoteknik dilakukan dengan baik
4. Pengendalian buruk : Kondisi tanah amat buruk dan sukar ditentukan, penyelidikan geoteknik tidak memadai

Table 2.6-1 Faktor keamanan untuk pondasi tiang (*Reese & O'Neil, 1999; Pugsley, 1966*)

Klasifikasi struktur bangunan	Bangunan monumental	Bangunan permanen	Bangunan sementara
Probabilitas kegagalan yang dapat diterima	10-3	10-4	10-3
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	2.3
FK (Pengendalian buruk)	4.0	3.4	2.8

## 2.7 Penurunan Tiang Elastis

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. 2.12.

Penurunan tiang tunggal akibat beban yang bekerja vertical

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (2.12)$$

Dimana :

$S$  = Penurunan total

$S_1$  = Penurunan batang tiang

$S_2$  = Penurunan tiang akibat beban di ujung tiang

$S_3$  = Penurunan tiang akibat beban yang tersalurkan sepanjang tiang

Menentukan  $S_1$  sesuai Pers. 2.13

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws}) \cdot L}{A_p \cdot E_p} \quad (2.13)$$

Dimana :

$S$  = Penurunan elastis dari tiang (mm)

$Q_{wp}$  = Daya dukung pada ujung tiang dikurangi daya dukung *friction* (kN)

$Q_{ws}$  = Daya dukung *friction* (kN)

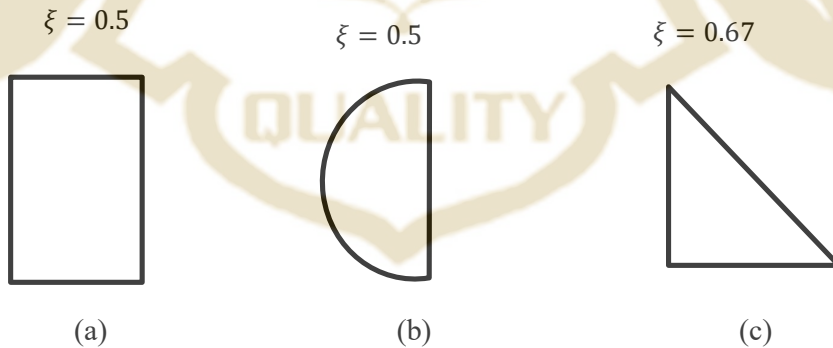
$A_p$  = Luas penampang tiang pancang ( $m^2$ )

$L$  = Panjang tiang pancang (m)

$E_p$  = Modulus elastisitas dari bahan tiang ( $kN/m^2$ )

$\xi$  = Koefisien dari *skin friction*, (Gambar 2.12 b)

$D$  = Diameter tiang (m)



Gambar 2.7.1 Variasi jenis bentuk unit tahanan friksi (kulit) alami terdistribusi sepanjang tiang tertanam ke dalam tanah (Braja M.Das. 2007)

Menentukan  $S_2$  sesuai Pers. 2.14 dan 2.15

$$S_2 = \frac{(q_{wp} D)}{E_b} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (2.14)$$



$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p} \quad (2.15)$$

Dimana:

$q_{wp}$  : Beban titik per satuan luas ujung tiang

$Q_{ws}$  : Beban yang dipikul selimut tiang akibat beban kerja

$D$  : Lebar atau diameter tiang

$I_{wp}$  : Faktor pengaruh

$E_b$  : Modulus elastisitas tanah sesuai Pers. 2.18

Menentukan  $S_3$  sesuai Pers. 2.16

$$S_3 = \left( \frac{Q_{ws}}{PL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \quad (2.16)$$

Dimana:

$p$  : Keliling tiang

$L$  : Panjang tiang yang tertanam

$I_{ws}$  : Faktor pengaruh sesuai Pers.2.17

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

$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (2.17)$$

Table 2.7-1 Nilai umum modulus elastisitas tanah (Braja M.Das edisi 2)

<i>TYPE</i>	<i>E<sub>s</sub> (kN/m<sup>2</sup>)</i>
Coarse and medium-coarse sand	
Louse	25.000 - 35000
Medium dense	30000 - 40000
dense	40000 - 45000
Sandy silt	
loose	8000 - 12000
Medium dense	10000 - 12000
Dense	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.

$$E_s = 2,5 \cdot q_c \text{ kN/m}^2 \quad (2.18)$$

## **2.8 Pile Driving Analyzer (PDA)**

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

Analisa data *Pile Driving Analyzer Test* 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 *Pile Driving Analyzer Test* dengan menggunakan metode kasus akan dapat mengetahui :

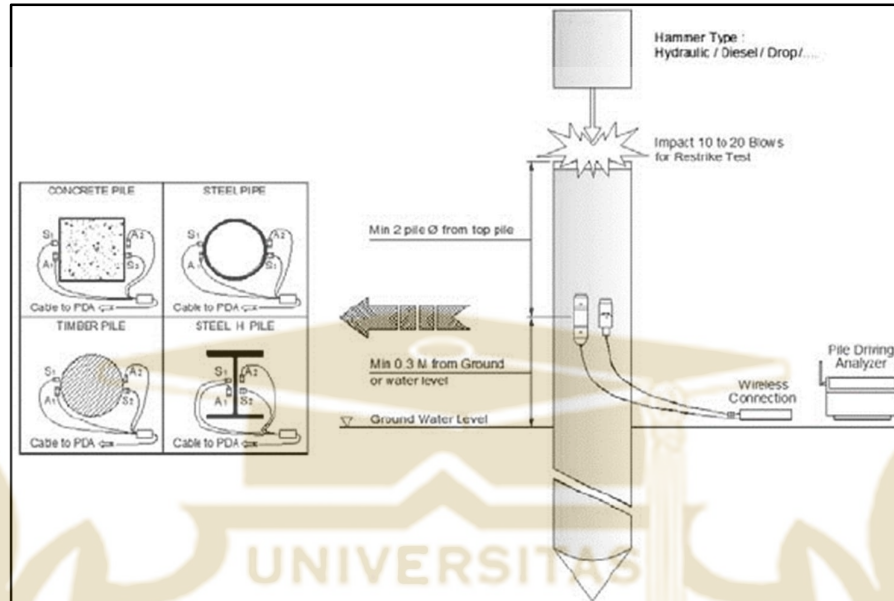
1. Daya dukung pondasi tiang tunggal
2. Integritas atau keutuhan tiang dan sambungan
3. Efisiensi dari transfer energi pukulan hammer/alat pancang

### **2.8.1 CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program)**

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

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

## 2.8.2 Bagan Pemasangan Alat *Pile Driving Analyzer Test*



Gambar 2.8.1 Pemasangan alat *Pile Driving Analyzer Test*

Pada gambar diatas 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.



(a)

(b)

Gambar 2.8.2 Proses pemasangan alat *Pile Driving Analyzer Test*

### 2.8.3 Parameter Pengujian *Pile Driving Analyzer Test*

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

Table 2.8-1 Keterangan kode pembacaan alat CAPWAP

<i>KODE</i>	<i>KETERANGAN</i>
BN	Pukulan
RMX	Daya dukung tiang [ton]
FMX	Gaya tekan maksimum [ton]
CTN	Gaya tarik maksimum [ton]
EMX	Energi maksimum yang ditransfer [tonm]
DMX	Penurunan maksimum [mm]
DFN	Penurunan permanen [mm]
STK	Tinggi jatuh palu [m]
BPM	pukulan permenit
BTA	Nilai keutuhan tiang[%]
LE	Panjang tiang dibawah instrumen [m]
LP	Panjang tiang tertanam [m]
AR	Luas penampang tiang [cm <sup>2</sup> ]

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.

### 2.8.4 Refusal dan Ultimate

Pada pengujian dengan *Pile Driving Analyzer 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 *Pile Driving Analyzer Test* 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 bergerak 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

Kedua kondisi tersebut (refusal atau ultimate) dapat diterima selama daya dukung yang diperoleh masih memenuhi syarat faktor keamanan yang dituntut dari desain yang ditetapkan.