

BAB I PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Pondasi merupakan komponen struktur bangunan yang berfungsi untuk meneruskan beban struktur diatas kelapisan tanah di bawahnya. Oleh karena itu pondasi harus dapat menahan semua beban diatasnya baik berupa beban hidup maupun beban mati. Jenis pondasi yang sesuai dengan tanah pendukung yang terletak pada kedalaman 10 meter di bawah permukaan tanah adalah pondasi tiang. (Dr. Ir.Suyono Sosrodarsono dan Kazuto Nakazawa, 1990).

Pondasi tiang diharapkan dapat berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu mendukung bangunan yang ada diatasnya. Konstruksi pondasi tersebut bisa terbuat dari kayu, baja, atau beton yang berfungsi untuk meneruskan beban - beban dari struktur bangunan atas ke lapisan tanah pendukung (*bearing layers*) di bawahnya pada kedalaman tertentu.

Dikarenakan pentingnya peranan dari pondasi tiang pancang tersebut, maka jika pembuatannya dibandingkan dengan pembuatan pondasi lain, pondasi tiang pancang ini mempunyai beberapa keuntungan sebagai berikut :

1. Biaya pembuatan kemungkinan besar (dengan melihat letak lokasi dan lainnya), lebih murah bila dikonversikan dengan kekuatan yang dapat dihasilkan.
2. Pelaksanaan lebih mudah dan relatif cepat.
3. Di Indonesia, peralatan yang digunakan tidak sulit didapatkan.

Pemakaian pondasi tiang pancang dipergunakan apabila tanah dasar di bawah tanah tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban diatasnya, dan juga bila letak tanah keras yang memiliki daya dukung yang cukup untuk memikul berat dari beban bangunan diatasnya terletak pada posisi yang sangat dalam. Dari alasan itulah maka dalam mendesain pondasi tiang pancang mutlak diperlukan informasi mengenai data tanah dimana bangunan akan didirikan dan daya dukung tiang pancang tersebut (baik *single pile* ataupun *group pile*).

Adapun jenis pondasi yang digunakan pada Proyek Pembangunan Gedung Fortunate Citra Grand City Palembang yaitu pondasi tiang pancang. Daya dukung tiang pancang dapat dihitung dari daya dukung tiang (*friction pile*) yang merupakan daya dukung gesek antara tanah dan tiang, dan daya dukung ujung tiang (*end-bearing pile*) yang merupakan daya dukung ujung tiang. Pada *friction pile*, beban konstruksi bagian atas ditahan oleh gaya geser sepanjang selimut tiang. Pada *end-bearing pile*, beban yang diterima oleh tiang diteruskan oleh tiang ke lapisan tanah keras.

1.2. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah yang akan dibahas dalam Skripsi ini adalah :

1. Berapakah besarnya daya dukung ultimit aksial tiang pancang berdasarkan Metode Langsung dan Metode Aoki De Alencar dengan menggunakan data *Cone Penetration Test* (CPT).
2. Bagaimana gaya yang bekerja pada tiang pancang kelompok.
3. Berapa besarnya efisiensi daya dukung tiang kelompok berdasarkan Metode Converse-Labarre, Metode Los Angeles, Metode Seiler-Keeney.
4. Berapakah besar penurunan tiang pancang tunggal dengan menggunakan Metode Poulos dan Davis serta penurunan elastis pada tiang tunggal tersebut dan tiang pancang kelompok berdasarkan Metode Vesic dan Metode Meyerhoff.

1.3. Batasan Masalah

Batasan - batasan masalah pada skripsi ini antara lain :

1. Hanya meninjau besar daya dukung ultimit aksial tiang tunggal.
2. Perhitungan gaya yang akan bekerja pada tiang kelompok.
3. Efisiensi dan penurunan pada tiang pancang.
4. Perhitungan ditinjau pada arah vertikal.
5. Hanya menghitung daya dukung dari data *Cone Penetration Test* (CPT).
6. Hanya meninjau tanah tanah lempung berpasir berdasarkan data proyek

1.4. Tujuan

Adapun tujuan penulisan Skripsi ini adalah :

1. Menghitung dan membandingkan besarnya daya dukung tiang pancang berdasarkan Metode Langsung dan Metode Aoki de Alencar dengan menggunakan data *Cone Penetration Test (CPT)*.
2. Menghitung besarnya gaya yang bekerja pada tiang pancang kelompok.
3. Menghitung efisiensi dan daya dukung ultimit kelompok tiang berdasarkan Metode Converse-Labarre, Metode Los Angeles, Metode Seiler-Keeney.
4. Menghitung penurunan tiang pancang tunggal dengan menggunakan metode Poulos dan Davis serta penurunan elastis pada tiang tunggal tersebut dan tiang pancang kelompok berdasarkan Metode Vesic dan Metode Meyerhoff.

1.5. Manfaat

Skripsi ini diharapkan bermanfaat untuk :

1. Memperoleh daya dukung ultimit pondasi dengan menggunakan data *Cone Penetration Test (CPT)*, serta dapat membandingkan hasil yang diperoleh dengan metode - metode yang dipakai dalam perhitungan.
2. Menambah ilmu pengetahuan, wawasan, dan pengalaman penulis agar mampu melakukan pekerjaan yang sama pada saat terjun ke lapangan.
3. Menjadi referensi khususnya mahasiswa lainnya apabila akan mengambil topik bahasan yang sama.

1.6. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam Skripsi ini dengan menggunakan data yang tersedia pada Proyek Pembangunan Gedung Fortunate Citra Grand City Palembang antara lain :

1. Besarnya daya dukung ultimit aksial tiang pancang dengan data *Cone Penetration Test (CPT)*.
2. Besarnya gaya yang bekerja pada tiang.
3. Besarnya efisiensi daya dukung tiang kelompok.

4. Besarnya penurunan tiang tunggal dan tiang kelompok.

1.7. Metode Pengumpulan Data

Dalam penulisan Skripsi ini dilakukan beberapa hal untuk mengumpulkan data yang mendukung agar Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Beberapa cara yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Metode Literatur

Mengumpulkan tulisan - tulisan dalam bentuk buku maupun tulisan ilmiah yang berhubungan dengan Skripsi ini.

2. Pengumpulan Data

Pengambilan data yang diperlukan dalam perencanaan diperoleh dari pihak PT. CIPTA ARSI GRIYA selaku pemilik Proyek Pembangunan Gedung Fortunate Citra Grand City Palembang. Adapun data yang dibutuhkan adalah data *Cone Penetration Test (CPT)*.

3. Studi Bimbingan

Studi bimbingan yaitu melakukan bimbingan dan konsultasi dengan dosen pembimbing yang turut berperan penting dalam penyelesaian Skripsi.

4. Analisis Masalah

Melakukan analisa terhadap kasus dengan teori-teori yang telah dikumpulkan pada studi literatur.

1.8. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini akan dibuat dalam 5 (lima) bab uraian sebagai berikut :

Bab I : Pendahuluan

Bab Pendahuluan berisi Latar Belakang Penelitian, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Batasan Masalah, Metode Pengumpulan Data dan Sistem Penulisan.

Bab II : Tinjauan Pustaka

Berisi dasar teori, rumus, dan segala sesuatu yang digunakan untuk menyelesaikan Skripsi ini, yang diperoleh dari buku literatur, tulisan ilmiah *website/search engine*, dan hasil penulisan sebelumnya.

Bab III : Metodologi

Berisi metodologi penulisan Skripsi berupa pengumpulan data dan metode analisis.

Bab IV : Analisis dan Perhitungan

Berisi perhitungan kapasitas daya dukung aksial tiang pancang tunggal dengan mengolah data-data yang diperoleh.

Bab V : Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dan hasil analisa dan saran berdasarkan kajian yang telah dikumpulkan pada Skripsi ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah

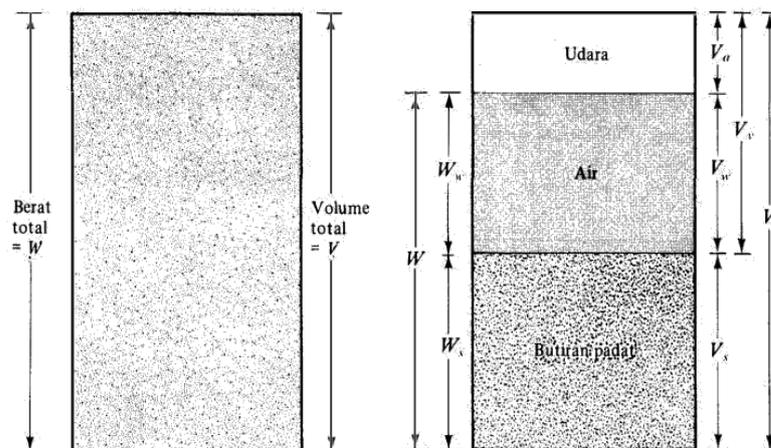
2.1.1. Definisi Tanah

Tanah selalu mempunyai peranan yang penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan, atau beban konstruksi dari bangunan itu sendiri seperti tanggul atau bendungan, seperti tembok/dinding penahan tanah (*sosrodarsono, S. dan Nakazawa, K., 1983*)

Secara umum, tanah adalah benda alami yang terdapat di permukaan bumi yang tersusun dari bahan-bahan mineral sebagai hasil pelapukan batuan dan bahan organik (pelapukan sisa tumbuhan dan hewan), yang merupakan medium pertumbuhan tanaman dengan sifat-sifat tertentu yang terjadi akibat gabungan dari faktor-faktor alami, iklim, bahan induk, jasad hidup, bentuk wilayah dan lamanya waktu pembentukan.

2.1.2. Karakteristik Tanah

Tanah kering pada umumnya terdiri dari 2 bagian yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Sedangkan pada tanah jenuh terdiri dari 3 bagian yaitu, pori - pori udara, air pori, dan bagian padat. Apabila rongga terisi air secara menyeluruh, maka tanah dikatakan dalam kondisi jenuh air. Bila rongga terdiri dari air dan udara maka tanah pada kondisi jenuh sebagian (*partially saturated*).



Gambar 2.1 Elemen-elemen tanah : (a) Elemen tanah dalam keadaan asli (b) Tiga fase elemen tanah.

(Sumber : Das, 1995)

Adapun pengertian tanah menurut Bowles (1991), tanah merupakan campuran partikel - partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis unsur unsur yaitu :

1. Berangkal (*boulder*) adalah potongan batuan batu besar, biasanya lebih besar dari 200 mm - 300 mm dan untuk kisaran ukuran-ukuran 150 mm 50 mm, batuan ini disebut kerakal.
2. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,074 mm – 5 mm, yang berkisar dari kasar 3 mm – 5 mm sampai halus (< 1 mm).
3. Lanau (*silt*) adalah partikel batuan yang berukuran dari 0,002 mm – 0,074 mm.
4. Lempung (*clay*) adalah partikel yang berukuran lebih dari 0,002 mm, partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi dari tanah yang kohesif.
5. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam, berukuran lebih dari 0,01 mm.

2.2. Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah merupakan proses pengambilan contoh (*sample*) tanah yang bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat dan kondisi tanah yang sebenarnya di lapangan. Oleh sebab itu penyelidikan tanah adalah pekerjaan awal yang harus dilakukan agar dapat diketahui parameter-parameter tanah yang akan digunakan dalam perhitungan daya dukung tanah pondasi sehingga dapat ditentukan jenis dan kedalaman pondasi yang akan digunakan. Adapun tujuan dari *soil investigation* adalah :

1. Mendapatkan sampel tanah asli (*undisturbed*) dan tidak asli (*disturbed*) untuk mengidentifikasi tanah tersebut secara visual dan untuk keperluan pengujian dilaboratorium.
2. Mengetahui kondisi alamiah tanah yang terkait dengan perencanaan struktur yang akan dibangun di atasnya.
3. Menentukan kedalaman tanah keras.
4. Menentukan kapasitas daya dukung tanah menurut tipe pondasi yang dipilih.
5. Menentukan tipe dan kedalaman pondasi.

6. Untuk mengetahui posisi muka air tanah.
7. Untuk memprediksi besarnya penurunan.
8. Menentukan besarnya tekanan tanah.

Penyelidikan tanah terbagi atas dua bagian yaitu :

1. Penyelidikan di lapangan

Bertujuan untuk mengetahui karakteristik tanah dalam mendukung pondasi. Jenis penyelidikan tanah di lapangan seperti pengeboran (*hand boring* ataupun *machine boring*), *Cone Penetrometer Test* (Sondir), SPT, *Sand Cone Test* dan *Dynamic Cone Penetrometer*.

2. Penyelidikan di laboratorium

Sifat-sifat fisik tanah dapat diketahui dari hasil uji laboratorium pada sampel tanah yang diambil dari proses 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 di lapangan 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. *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. *Cone Penetration Test* (CPT)

Pengujian CPT atau sondir adalah pengujian dengan menggunakan alat sondir yang ujungnya berbentuk kerucut dengan sudut 60° dan dengan luasan

ujung 1,54 inch (10 cm^2). Alat ini digunakan dengan cara ditekan ke dalam tanah terus-menerus dengan kecepatan tetap 20 mm/det. Sementara itu besarnya perlawanan tanah terhadap kerucut penetrasi (q_c) jika terus diukur.

Dilihat dari kapasitasnya, alat sondir dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sondir ringan (2 ton) dan sondir berat (10 ton) :

1. Sondir ringan digunakan untuk mengukur tekanan konus sampai 150 kg/cm^2 atau kedalaman maksimal 30 m, dipakai untuk penyelidikan tanah yang terdiri dari lapisan lempung, lanau, dan pasir halus.
2. Sondir berat dapat mengukur tekanan konus 500 kg/cm^2 atau kedalaman maksimal 50 m, dipakai untuk penyelidikan tanah di daerah yang terdiri dari lempung padat, lanau padat, dan pasir kasar.

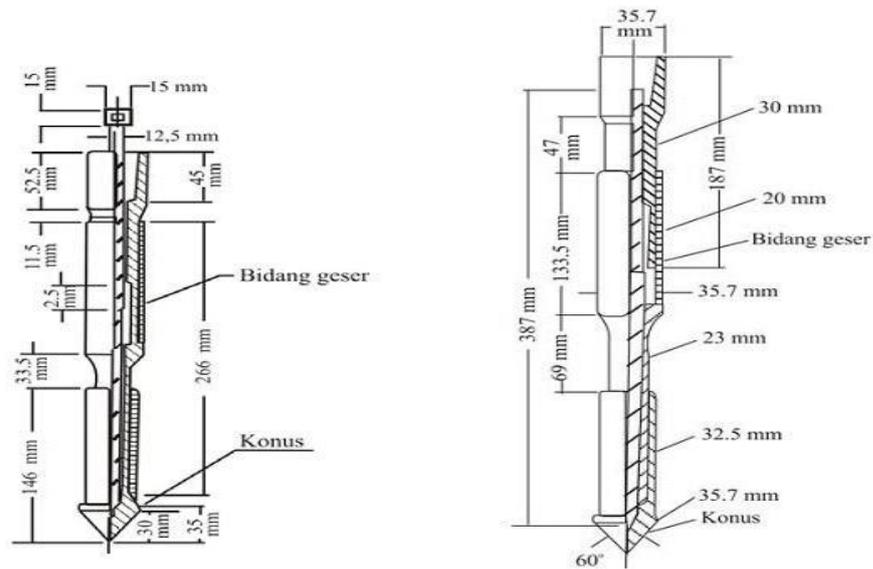
Keuntungan utama dari alat ini adalah tidak perlu diadakan pemboran tanah untuk penyelidikan. Tetapi tidak seperti pada pengujian SPT, dengan alat sondir sampel tanah tidak dapat diperoleh untuk penyelidikan langsung ataupun untuk uji laboratorium. Tujuan dari pengujian sondir ini adalah untuk mengetahui perlawanan penetrasi konus dan hambatan lekat tanah yang merupakan indikator dari kekuatan tanahnya dan juga dapat menentukan dalamnya berbagai lapisan tanah yang berbeda.

Dari alat penetrometer yang lazim dipakai, sebagian besar mempunyai selubung geser (bikonus) yang dapat bergerak mengikuti kerucut penetrasi tersebut. Jadi pembacaan harga perlawanan ujung konus dan harga hambatan geser dari tanah dapat dibaca secara terpisah. Ada dua tipe ujung konus pada sondir mekanis, yaitu :

1. Konus bisa, yang diukur adalah perlawanan ujung konus dan biasanya digunakan pada tanah berbutir kasar dimana besar perlawanan lekatnya kecil.
2. Bikonus, yang diukur adalah perlawanan ujung konus dan hambatan lekatnya dan biasanya digunakan pada tanah berbutir halus.

Hasil penyelidikan dengan alat sondir ini pada umumnya digambarkan dalam bentuk grafik yang menyatakan hubungan antar kedalaman setiap lapisan tanah dengan besarnya nilai sondir yaitu perlawanan penetrasi konus atau perlawanan tanah terhadap ujung konus yang dinyatakan dalam gaya per satuan

luas. Hambatan lekat adalah perlawanan geser tanah terhadap selubung bikonus yang dinyatakan dalam gaya per satuan panjang.

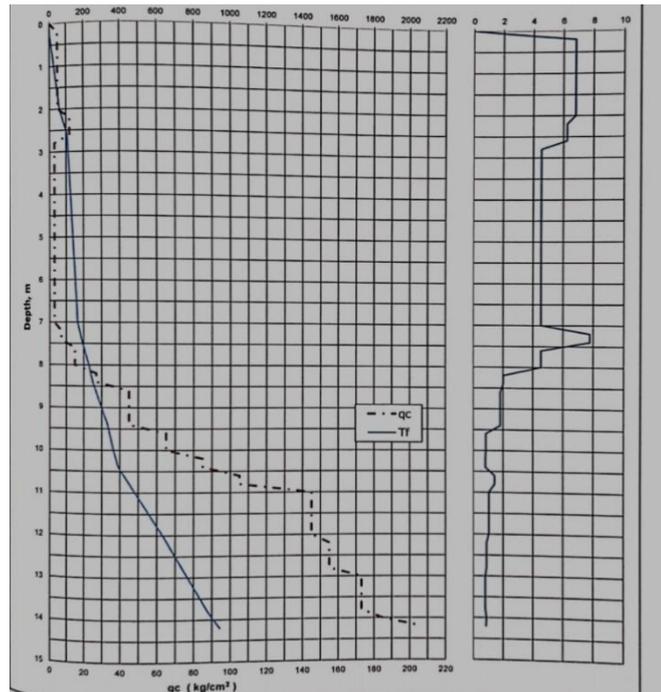


Gambar 2.2 Dimensi Alat Sondir Mekanis

(Sumber : SNI 2827-2008)

Data sondir tersebut digunakan untuk mengidentifikasi dari profil tanah terhadap kedalaman. Hasil akhir dari pengujian sondir ini dibuat dengan menggambarkan variasi tahanan ujung (q_c) dengan gesekan selimut (f_s) terhadap kedalamannya. Bila hasil sondir diperlukan untuk mendapatkan daya dukung tiang, maka diperlukan harga kumulatif gesekan (jumlah hambatan lekat), yaitu dengan menjumlahkan harga gesekan selimut terhadap kedalaman yang ditinjau dapat diperoleh gesekan total yang dapat digunakan untuk menghitung gesekan pada kulit tiang.

Besaran gesekan kumulatif (total friction) diadaptasikan dengan sebutan jumlah hambatan lekat (JHL). Bila hasil sondir dipergunakan untuk klasifikasi tanah, maka cara pelaporan hasil sondir yang diperlukan adalah menggambarkan tahanan ujung (q_c), gesekan selimut (f_s) dan ratio gesekan (FR) terhadap kedalaman tanah.



Gambar 2.3 Grafik Hasil Uji Sondir

(Sumber : Proyek Pembangunan Fortunate Citra Grand City)

Keuntungan dan kerugian *Cone Penetration Test* (CPT) yaitu :

1. Keuntungan

- Dapat digunakan menentukan daya dukung tanah dengan baik.
- Dapat menentukan lekat lapisan tanah keras dengan waktu yang cepat.
- Baik digunakan untuk menentukan letak muka air tanah.
- Membantu menentukan posisi atau kedalaman pada pemboran.

2. Kerugian

- Jika terdapat batuan lepas biasanya memberikan indikasi lapisan keras yang salah.
- Alat tidak lurus dan tidak berkerja dengan baik maka hasil yang diperoleh bisa merugikan.
- Tidak dapat mengetahui tanah secara langsung.

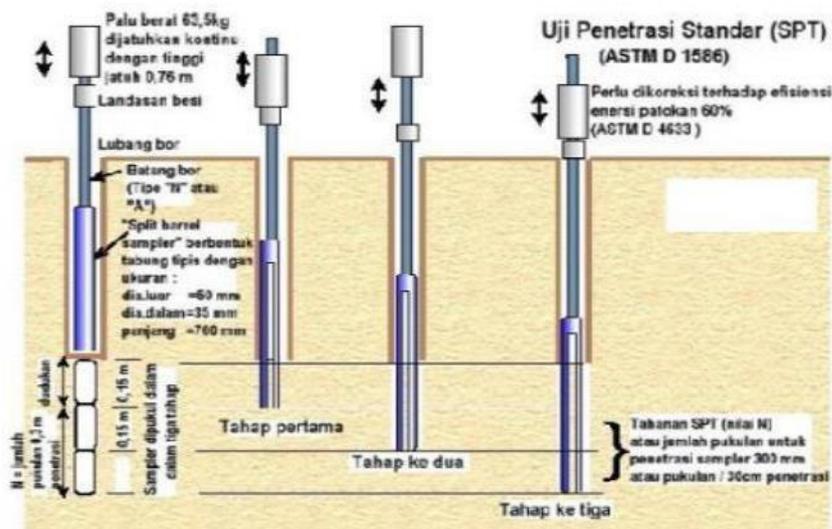
2.2.2. *Standart Penetration Test* (SPT)

SPT merupakan uji penetrasi standar yang digunakan untuk menentukan kepadatan relatif dan sudut geser lapisan tanah tersebut dari pengambilan contoh tanah dengan tabung, sehingga dapat diketahui jenis tanah dan ketebalan dari

tiap-tiap lapisan tanah tersebut , dan juga untuk memperoleh data yang kumulatif pada perlawanan penetrasi tanah serta menetapkan kepadatan dari tanah yang tidak berkohesi. SPT sering digunakan untuk mendapatkan daya dukung tanah secara langsung dilokasi. Pengujian ini dilakukan setiap interval kedalaman pemboran 12 meter atau sesuai keperluan, langsung dilobang bor.

Prosedur penggunaan SPT dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Lakukan pengujian pada setiap perubahan lapisan tanah atau pada interval sekitar 1,50 m sampai dengan 2,00 m atau sesuai keperluan.
2. Tarik hammer dengan tinggi jatuh bebas hammer yaitu 30 inci (75 cm).
3. Lepaskan tali sehingga palu jatuh bebas menimpa penahan.
4. Ulangi langkah 2 dan 3 berkali-kali sampai mencapai penetrasi 15 cm.
5. Pada penetrasi 15 cm yang pertama, hitung jumlah pukulan atau tumbukan N.
6. Ulangi langkah 2, 3, 4, dan 5 sampai pada penetrasi 15 cm yang kedua dan ketiga.
7. Catat jumlah pukulan N pada setiap penetrasi 15 cm. Jumlah pukulan yang dihitung adalah $N_2 + N_3$. Nilai N_1 tidak diperhitungkan karena masih kotor bekas pengeboran.
8. Bila nilai N lebih besar dari pada 50 pukulan, hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter.



Gambar 2.4 Proses Uji Penetrasi Standart

(Sumber : SNI 4153-2008)

Keuntungan dan kerugian *Standard Penetration Test* (SPT) yaitu :

3. Keuntungan

- Dapat diperoleh nilai N dan contoh tanah terganggu.
- Dapat digunakan pada sembarang jenis tanah dan batuan lunak.
- Prosedur pengujian sederhana karena dapat dilakukan secara manual.
- Biaya yang digunakan relatif murah.

4. Kerugian

- Sampel dalam tabung SPT diperoleh dalam kondisi terganggu
- Profil kekuatan tanah tidak menerus.
- Dalam tanah yang mengandung banyak kerikil, hasil tidak dapat dipercaya.
- Derajat ketidakpastian hasil uji SPT yang diperoleh bergantung pada kondisi alat dan operator.

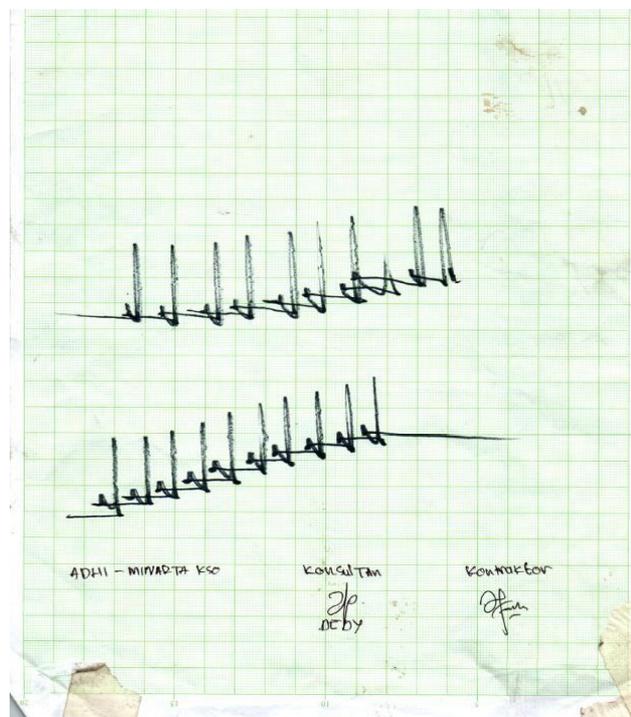
2.2.3. Kalendering

Kalendering digunakan pada pekerjaan pemancangan tiang pancang (beton maupun pipa baja) untuk mengetahui daya dukung tanah secara empiris melalui perhitungan yang dihasilkan oleh proses pemukulan alat pancang. Alat pancang tersebut bisa berupa diesel hammer maupun *hydraulic hammer*. Biasanya kalendering dalam proses pemancangan tiang pancang merupakan item wajib yang harus dilaksanakan dan menjadikan laporan untuk proyek. Perhitungan kalendering menghasilkan output yang berupa daya dukung tanah dalam ton.

Pembacaan kalendering dilakukan pada alat pancang sewaktu memancang. Jika dari bacaan tinggi bacaan sudah bernilai ≤ 1 cm , maka pemancangan sudah siap dihentikan. Itu artinya tiang sudah mencapai titik tanah keras, tanah keras itulah yang menyebabkan bacaan kalenderingnya kecil yaitu 1 cm atau kurang. Jika diteruskan dikhawatirkan akan terjadi kerusakan pada tiang pancang itu sendiri seperti pada topi tiang pancang atau badantiang pancang itu sendiri. Pembacaan 1 kalendering dilakukan dengan 10 pukulan. Sebelum dilaksanakan kalendering biasanya dilakukan *monitoring* pemukulan saat pemancangan yaitu untuk mengetahui jumlah pukulan tiap meter dan total sebagai salah satu bentuk data yang dilampirkan beserta hitungan kalendering. Oleh karena itu sebelumnya tiang pancang yang akan dipancang diberikan skala terlebih dahulu tiap meternya

menggunakan penanda misalnya semprot/philox. Untuk menghitungnya disediakan terlebih dahulu *counter* agar mudah dalam menghitung jumlah pukulan tiap meter dan totalnya. Tahap pelaksanaan kalendering sebagai berikut:

1. Hentikan pemukulan oleh hammer saat kalendering sudah ditentukan.
2. Memasang kertas milimeter blok pada tiang pancang menggunakan selotip.
3. Menyiapkan spidol dan waterpass tukang, kemudian menempelkan ujung spidol pada kertas millimeter.
4. Menjalankan pemukulan.
5. Satu orang melakukan kalendering dan satu orang mengawasi serta menghitung jumlah pukulan.
6. Setelah 10 pukulan selesai kertas millimeter diambil.
7. Tahap ini dapat dilakukan 2-3 kali agar memperoleh grafik yang bagus.
8. Kertas millimeter harus bersih supaya data grafik yang didapat valid.
9. Setelah tahapannya selesai, maka hasil kalendering ditanda tangani kontraktor, pengawas, dan direksi lapangan untuk selanjutnya dihitung daya dukungnya.



Gambar 2.5 Pembacaan Kalendering

(Sumber : Proyek Bendung D.I Serdang 2020)

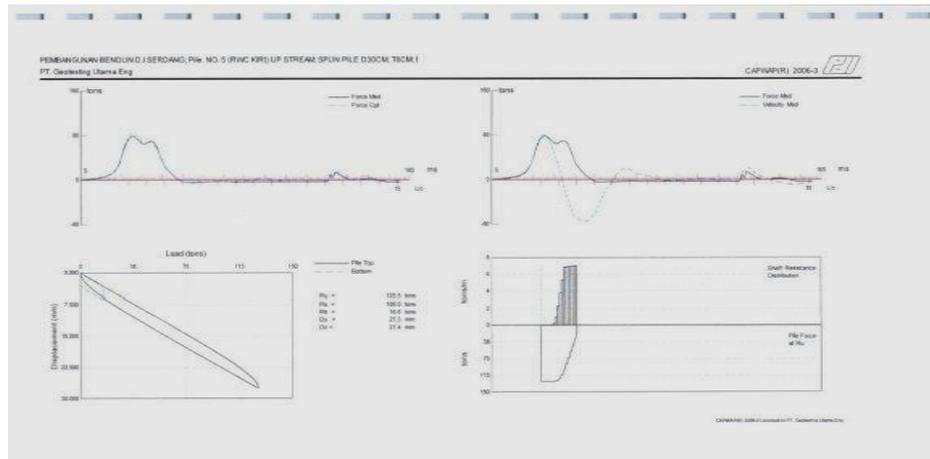
2.2.4. *Pile Driving Analyzer (PDA)*

Pile Driving Analyzer (PDA) merupakan sistem pengujian dengan menggunakan data digital komputer yang diperoleh dari *straintransducer* dan *accelerometer* untuk memperoleh kurva gaya dan kecepatan tiang dipukul menggunakan palu dengan berat tertentu. Hasil dari pengujian PDA terdiri dari kapasitas tiang, penurunan, energi palu, dll.

Pada umumnya, pengujian dengan menggunakan metode PDA dilaksanakan setelah tiang mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan tumbukan palu. Metode lain yang dapat digunakan untuk menahan tumbukan yaitu menggunakan cushion, merendahkan tinggi jatuh palu dan menggunakan palu yang lebih berat.

Tujuan dari pengujian PDA yaitu untuk memperoleh kapasitas daya dukung, penurunan, dan keutuhan tiang pondasi tiang tunggal yang diuji.

Uji PDA mengacu pada ASTM D-4945 (*Standard Test Method for High Strain Dynamic Testing of Deep Foundations*). Analisa data PDA dilakukan dengan prosedur *Case Method*, yang meliputi pengukuran data kecepatan (*velocity*) dan gaya (*force*) selama pelaksanaan pengujian (*re-strike*) dan perhitungan variabel dinamik secara *real time* untuk mendapatkan gambaran tentang daya dukung pondasi tiang tunggal. CAPWAP (*Case Pile Wave Analysis Program*) merupakan program aplikasi analisa numerik yang menggunakan masukan data gaya (*force*) dan kecepatan (*velocity*) yang diukur oleh PDA. Kegunaan dari program ini adalah untuk memperkirakan distribusi dan besarnya gaya perlawanan tanah total sepanjang tiang berdasarkan modelisasi sistem tiang-tanah yang dibuat dan memisahkannya menjadi bagian perlawanan dinamis dan statis. Analisis menggunakan CAPWAP akan menghasilkan : Daya dukung (R_u); Gaya ujung (R_b); Gaya gesek (R_s); Displacement (DMX).



Gambar 2.6 Grafik PDA Hasil Analisis CAPWAP

(Sumber : Proyek Bendung D.I Serdang 2020)

2.3. Pondasi

Pondasi merupakan bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan ke dalam tanah dan batuan yang terletak di bawahnya (Bowles, 1991).

Bowles (1991) menjelaskan bahwa sebuah pondasi harus mampu memenuhi beberapa persyaratan stabilitas dan deformasi, seperti :

1. Kedalaman harus berada di bawah daerah perubahan volume musiman yang disebabkan oleh pembekuan, pencairan, dan pertumbuhan tanaman.
2. Kedalaman harus memadai untuk menghindari pergerakan tanah lateral dari bawah pondasi, khusus untuk pondasi tapak dan rakit.
3. Sistem harus aman terhadap penggulingan, rotasi, penggelinciran atau pergeseran tanah.
4. Sistem harus aman terhadap korosi atau kerusakan yang disebabkan oleh bahan berbahaya yang terdapat di dalam tanah.
5. Sistem harus cukup mampu beradaptasi terhadap beberapa perubahan geometri konstruksi atau lapangan selama proses pelaksanaan dan mudah dimodifikasi jika perubahan diperlukan.
6. Metode pemasangan pondasi harus seekonomis mungkin.

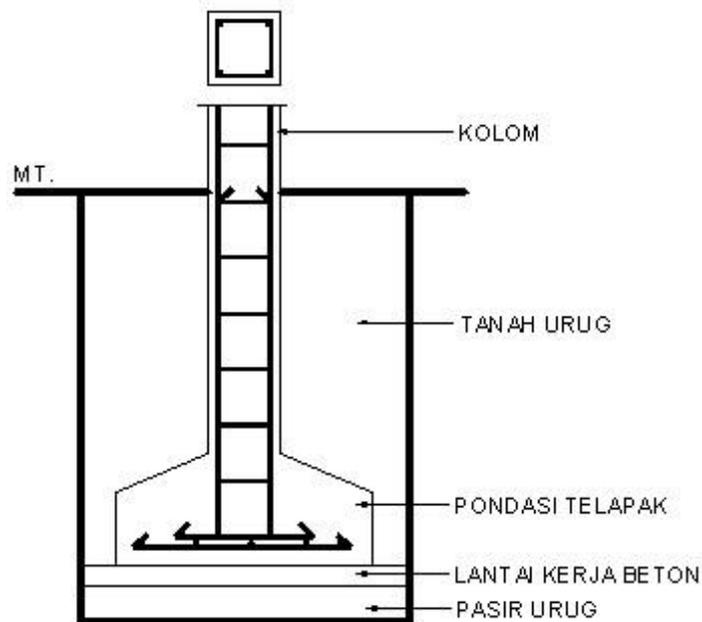
7. Pergerakan tanah keseluruhan (umumnya penurunan) dan pergerakan diferensial harus dapat ditolerir oleh elemen pondasi dan elemen bangunan atas.
8. Pondasi dan konstruksinya harus memenuhi syarat standar untuk perlindungan lingkungan.

Pada umumnya pondasi dibagi menjadi 2 jenis, antara lain :

A. Pondasi dangkal

Pondasi dangkal adalah pondasi yang mendukung beban secara langsung. Pondasi dangkal digunakan jika beban bangunan yang akan direncanakan relatif kecil dan letak lapisan tanah kerasnya tidak terlalu jauh dari permukaan tanah seperti :

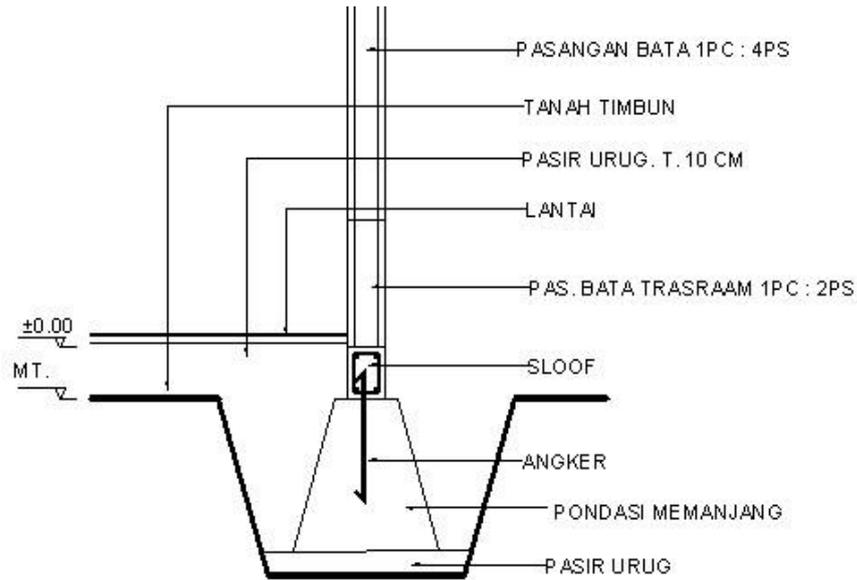
1. Pondasi telapak yaitu pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom.



Gambar 2.7 Pondasi Telapak

(Sumber : Hardiyatmo, H, C., 1996)

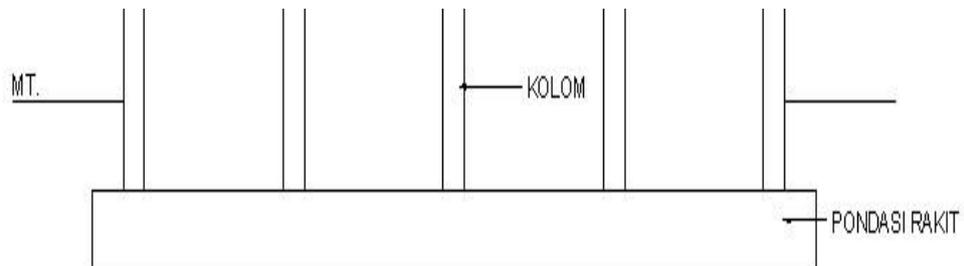
2. Pondasi memanjang yaitu pondasi yang digunakan untuk mendukung sederetan kolom yang berjarak dekat sehingga bila dipakai pondasi telapak sisinya akan terhimpit satu sama lainnya



Gambar 2.8 Pondasi Memanjang

(Sumber : Hardiyatmo, H, C., 1996)

3. 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 arahnya, sehingga bila dipakai pondasi telapak, sisi-sisinya berhimpit satu sama lainnya.



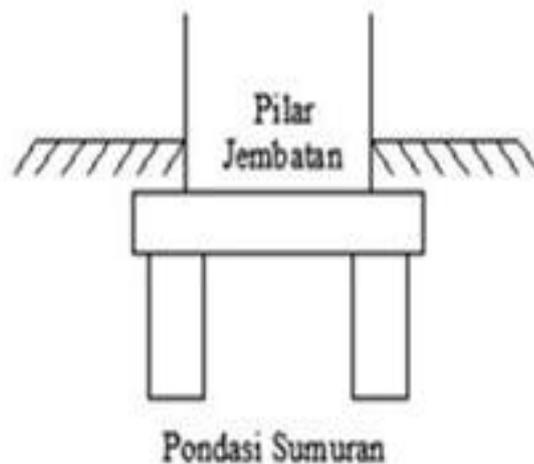
Gambar 2.9 Pondasi Rakit

(Sumber : Hardiyatmo, H, C., 1996)

B. Pondasi dalam

Pondasi dalam adalah pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak jauh dari permukaan. Pondasi dalam digunakan jika beban bangunan yang akan direncanakan sangat besar, daya dukung lapisan tanah permukaan tidak baik atau letak lapisan tanah kerasnya cukup dalam seperti :

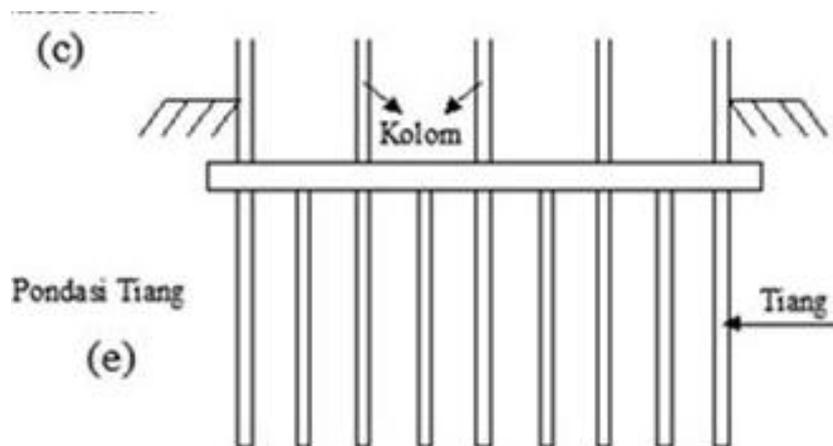
1. Pondasi sumuran (*pier foundation*) yaitu pondasi yang merupakan peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang digunakan bila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam, dimana pondasi sumuran $D_f/B > 4$ sedangkan pondasi dangkal $D_f/B < 1$, kedalaman (D_f) dan lebar (B).



Gambar 2.10 Pondasi Sumuran

(Sumber : Hardiyatmo, H, C., 1996)

2. 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. Pondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang dibanding dengan pondasi sumuran (Bowles, J, E., 1991).



Gambar 2.11 Pondasi Sumuran

(Sumber : Hardiyatmo, H, C., 1996)

2.3.1. Pondasi Tiang Pancang

Penggunaan pondasi tiang pancang sebagai pondasi bangunan apabila tanah yang berada di bawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan beban yang bekerja padanya (Sardjono, 1998).

Pondasi tiang pancang berfungsi mentransfer beban bangunan (*super structure*) ke lapisan tanah yang lebih dalam. Pada umumnya tiang pancang dipancangkan tegak lurus ke dalam tanah, namun jika jika diperlukan untuk menahan beban horizontal maka tiang pancang akan dipancangkan secara miring (*batter pile*). Kemiringan disesuaikan dengan alat pancang yang digunakan sesuai dengan perencanaan.

Pondasi tiang pancang pada umumnya digunakan untuk :

1. Untuk membawa beban-beban konstruksi di atas tanah, ke dalam atau melalui sebuah lapisan tanah. Di dalam hal ini beban vertikal dan beban lateral dapat terlihat.
2. Untuk menahan gaya desakan ke atas, atau gaya guling, seperti untuk telapak ruangan bawah tanah di bawah bidang batas air jenuh atau untuk kaki-kaki menara terhadap guling.
3. Sebagai faktor keamanan tambahan di bawah tumpuan jembatan atau tiang (*pile*), khususnya jika erosi merupakan persoalan yang potensial.
4. Tiang pancang sering kali digunakan untuk mengontrol pergerakan tanah seperti longsor tanah.

2.3.2. Jenis-jenis Tiang Pancang

Berbagai jenis pondasi tiang yang digunakan dalam konstruksi pondasi sangat tergantung pada beban yang bekerja pada pondasi tersebut selama tersedianya bahan yang ada, juga cara-cara pelaksanaan pemancangannya. Jenis pondasi tiang dapat dibedakan berdasarkan jenis bahan tiang dan pembuatannya. berikut ini klasifikasi tiang pancang yang dapat dibedakan berdasarkan jenis bahan tiang dan pembuatannya yaitu :

A. Tiang Pancang Kayu

Tiang pancang kayu dibuat dari kayu yang biasanya diberi pengawet dan dipancangkan dengan ujungnya yang kecil sebagai bagian

yang runcing. Tapi biasanya apabila ujungnya yang besar atau pangkal dari pohon di pancangkan untuk tujuan maksud tertentu, seperti dalam tanah yang sangat lembek dimana tanah tersebut akan kembali memberikan perlawanan dan dengan ujungnya yang tebal terletak pada lapisan yang keras untuk daya dukung yang lebih besar.

Tiang pancang kayu akan tahan lama dan tidak mudah busuk apabila tiang pancang kayu tersebut dalam keadaan selalu terendam penuh dibawah muka air tanah dan tiang pancang kayu akan lebih cepat rusak apabila dalam keadaan kering dan basah selalu berganti-ganti, sedangkan pengawetan dengan pemakaian obat pengawet pada kayu hanya akan menunda dan memperlambat kerusakan dari kayu, dan tidak dapat melindungi kayu dalam jangka waktu yang lama.

Oleh karena itu pondasi untuk bangunan-bangunan permanen (tetap) yang didukung oleh tiang pancang kayu, maka puncak dari pada tiang pancang kayu tersebut diatas harus selalu lebih rendah dari pada ketinggian dari pada muka air tanah terendah. Pada pemakaian tiang pancang kayu biasanya tidak diizinkan untuk menahan muatan lebih tinggi 25 sampai 30 ton untuk satu tiang.

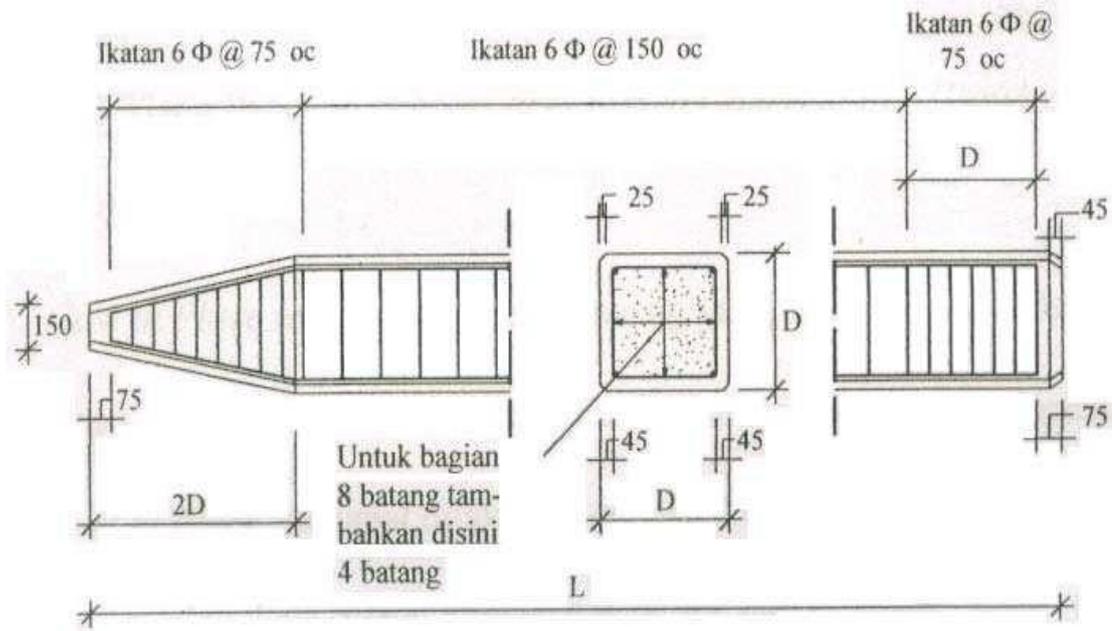
B. Tiang Pancang Beton

Tiang pancang jenis ini terbuat dari beton seperti biasanya. Tiang pancang ini dapat dibagi dalam 3 macam berdasarkan cara pembuatannya (*Bowles, J. E., 1991*), yaitu:

a. *Precast Reinforced Concrete Pile*

Precast Reinforced Concrete Pile adalah tiang pancang beton bertulang yang dicetak dan dicor dalam acuan beton (bekisting) yang setelah cukup keras kemudian diangkat dan dipancangkan. Karena tegangan tarik beton kecil dan praktis dianggap sama dengan nol, sedangkan berat sendiri beton besar, maka tiang pancang ini harus diberikan penulangan yang cukup kuat untuk menahan momen lentur yang akan timbul pada waktu pengangkatan dan pemancangan. Tiang pancang ini dapat memikul beban yang lebih besar dari 50 ton untuk setiap tiang, hal ini tergantung pada jenis beton dan dimensinya. *Precast*

Reinforced Concrete Pile penampangnya dapat berupa lingkaran, segi empat, segi delapan.

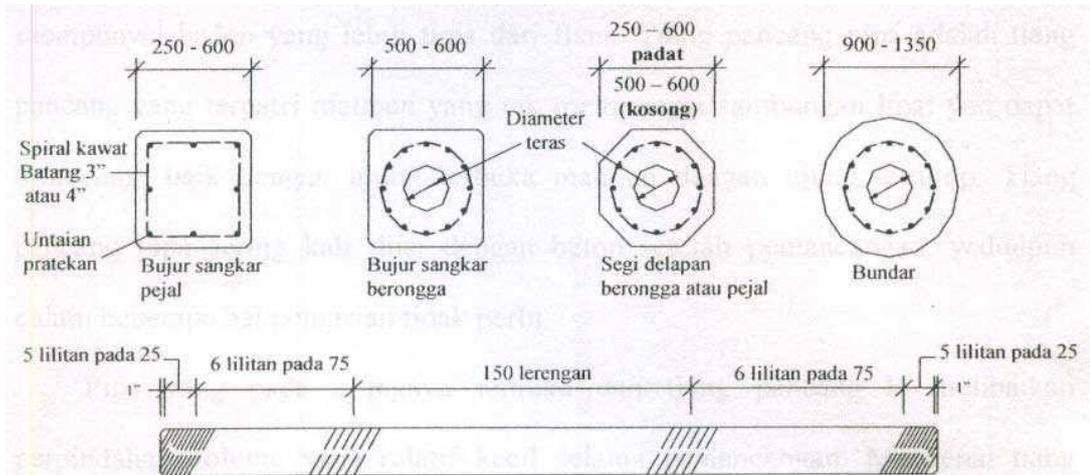


Gambar 2.12 Tiang pancang beton *precast concrete pile*

(Sumber : Bowles, J. E., 1991)

b. *Precast Prestressed Concrete Pile*

Tiang pancang *Precast Prestressed Concrete Pile* adalah tiang pancang beton yang dalam pelaksanaan pencetakannya sama seperti pembuatan beton prestess, yaitu dengan menarik besi tulangnya ketika dicor dan dilepaskan setelah beton mengeras. Untuk tiang pancang jenis ini biasanya dibuat oleh pabrik yang khusus membuat tiang pancang, untuk ukuran dan panjangnya dapat dipesan langsung sesuai dengan yang diperlukan.



Gambar 2.13 Tiang pancang beton *Precas Prestessed Concrete Pile*

(Sumber : Bowles, J. E., 1991)

c. *Cast in Place*

Cast in Place merupakan tiang pancang yang dicor ditempat dengan cara membuat lubang ditanah terlebih dahulu dengan cara melakukan pengeboran. Pada *Cast in Place* ini dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu :

1. Dengan pipa baja yang dipancangkan ke dalam tanah, kemudian diisi dengan beton dan ditumbuk sambil pipa baja tersebut ditarik keatas.
2. Dengan pipa baja yang dipancang ke dalam tanah, kemudian diisi dengan beton sedangkan pipa baja tersebut tetap tinggal di dalam tanah.

C. Tiang Pancang Baja

Kebanyakan tiang pancang baja ini berbentuk profil H. karena terbuat dari baja maka kekuatan dari tiang ini sendiri sangat besar sehingga dalam pengangkutan dan pemancangan tidak menimbulkan bahaya patah seperti halnya pada tiang beton precast. Jadi pemakaian tiang pancang baja ini akan sangat bermanfaat apabila kita memerlukan tiang pancang yang panjang dengan tahanan ujung yang besar.

Tingkat karat pada tiang pancang baja sangat berbeda-beda terhadap texture tanah, panjang tiang yang berada dalam tanah dan keadaan kelembaban tanah.

- a. Pada tanah yang memiliki texture tanah yang kasar/kesap, maka karat yang terjadi karena adanya sirkulasi air dalam tanah tersebut hampir mendekati keadaan karat yang terjadi pada udara terbuka.
- b. Pada tanah liat (clay) yang mana kurang mengandung oxygen maka akan menghasilkan tingkat karat yang mendekati keadaan karat yang terjadi karena terendam air.
- c. Pada lapisan pasir yang dalam letaknya dan terletak dibawah lapisan tanah yang padat akan sedikit sekali mengandung oxygen maka lapisan pasir tersebut juga akan akan menghasilkan karat yang kecil sekali pada tiang pancang baja.

Pada umumnya tiang pancang baja akan berkarat di bagian atas yang dekat dengan permukaan tanah. Hal ini disebabkan karena *Aerated-Condition* (keadaan udara pada pori-pori tanah) pada lapisan tanah tersebut dan adanya bahan-bahan organis dari air tanah. Hal ini dapat ditanggulangi dengan memoles tiang baja tersebut dengan (coaltar) atau dengan sarung beton sekurang-kurangnya 20" (\pm 60 cm) dari muka air tanah terendah.

Karat /korosi yang terjadi karena udara (*atmosphere corrosion*) pada bagian tiang yang terletak di atas tanah dapat dicegah dengan pengecatan seperti pada konstruksi baja biasa.

❖ Keuntungan Pemakaian Tiang Pancang Baja.

- Tiang Pancang ini mudah dalam hal penyambungannya.
- Tiang Pancang ini memiliki kapasitas daya dukung yang tinggi
- Dalam hal pengangkatan dan pemancangan tidak menimbulkan bahaya patah.

❖ Kerugian Pemakaian Tiang Pancang Baja.

- Tiang pancang ini mudah mengalami korosi.
- Bagian H pile dapat rusak atau dibengkokan oleh rintangan besar.

D. Tiang pancang komposit

Tiang pancang komposit adalah tiang pancang yang terdiri dari dua bahan yang berbeda yang bekerja bersama-sama sehingga merupakan satu tiang. Kadang-kadang pondasi tiang dibentuk dengan menghubungkan bagian atas dan bagian bawah tiang dengan bahan yang berbeda, misalnya

dengan bahan beton di atas muka air tanah dan bahan kayu tanpa perlakuan apapun di sebelah bawahnya. Biaya dan kesulitan yang timbul dalam pembuatan sambungan menyebabkan cara ini diabaikan.

1. *Water Proofed Steel and Wood Pile.*

Tiang ini terdiri dari tiang pancang kayu untuk bagian yang di bawah permukaan air tanah sedangkan bagian atas adalah beton. Kita telah mengetahui bahwa kayu akan tahan lama/awet bila terendam air, karena itu bahan kayu disini diletakan di bagian bawah yang mana selalu terletak dibawah air tanah. Kelemahan tiang ini adalah pada tempat sambungan apabila tiang pancang ini menerima gaya horizontal yang permanen.

2. *Composite Dropped in-Shell and wood Pile*

Tipe tiang ini hampir sama dengan tipe diatas bedanya hanya memakai shell yang terbuat dari logam tipis permukaanya diberi alur spiral.

3. *Composite Ungased-Concrete and Wood Pile*

Dasar pemilihan tiang komposit ini adalah :

- Lapisan tanah keras dalam sekali letaknya sehingga tidak memungkinkan untuk menggunakan *cast in place concrete pile*, sedangkan jika menggunakan *precast concrete pile* terlalu panjang, akibatnya akan sudah dalam perjalanan dan biaya menjadi mahal.
- Muka air tanah terendah sangat dalam sehingga bila menggunakan tiang pancang kayu akan memerlukan galian yang cukup dalam agar tiang pancang kayu tersebut selalu berada dibawah permukaan air tanah terendah.

4. *Composite Dropped-Shell and Pipe Pile*

Dasar pemilihan tiang komposit ini adalah :

- Lapisan tanah keras letaknya terlalu dalam bila digunakan *cast in place concrete*.
- Muka air tanah terendah terlalu dalam jika digunakan tiang komposit yang bagian bawahnya terbuat dari kayu.

5. *Fraki Composite Pile*

Prinsip tiang ini hampir sama dengan tiang franki biasanya hanya beda pada bagian atas digunakan tiang beton *precast* biasa atau tiang profil H dari baja.

2.3.3. Pondasi Tiang Pancang Menurut Pemasangannya

A. Tiang Pancang Pracetak

Tiang Pancang pracetak merupakan tiang pancang yang dicetak dan dicor di dalam bekisting, kemudian setelah cukup kuat diangkat dan dipancangkan.

Pemasangan tiang pancang pracetak ini terdiri dari :

1. Cara Penumbukan

Tiang pancang tersebut dipancangkan ke dalam tanah dengan cara penumbukan oleh alat penumbuk (*hammer*).

2. Cara Penggetaran

Tiang pancang tersebut dipancangkan ke dalam tanah dengan penggetaran oleh alat penggetar (*vibrator*).

3. Cara Penanaman

Permukaan tanah dilubangi sampai kedalaman tertentu, kemudian tiang pancang dimasukkan, lubang tersebut ditimbun lagi dengan tanah.

B. Tiang yang dicor di tempat

Teknik penggalian tiang yang dicor di tempat terdiri dari beberapa cara yaitu:

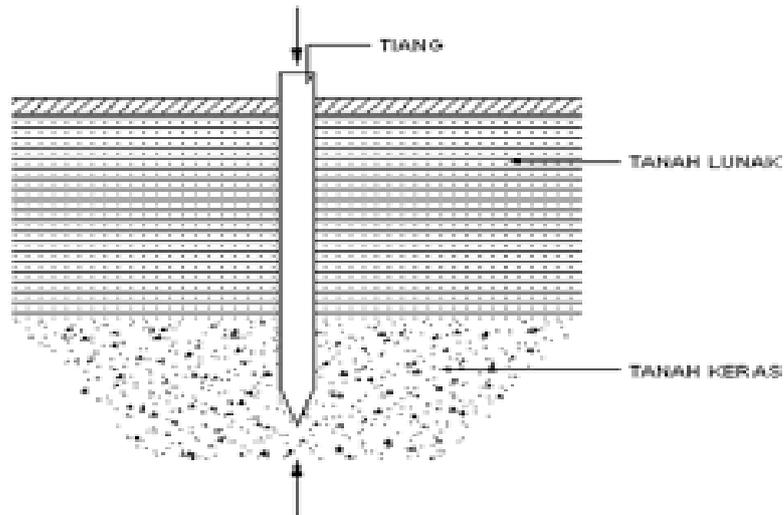
1. Cara Penetrasi Alas

2. Cara Penggalian

2.3.4. Pondasi Berdasarkan Cara Penyaluran Beban

A. Tiang dukung ujung

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 di atas 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 di bawah ujung tiang.

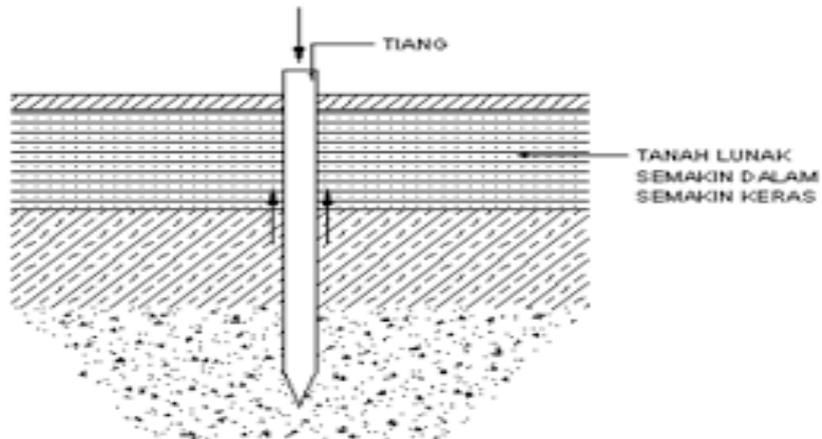


Gambar 2.14 Tiang Dukung Ujung

(Sumber : Bowles, 1991)

B. Tiang gesek

Tiang gesek (*friction pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah disekitarnya. Tahanan geser dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah di bawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas tiang.



Gambar 2.15 Tiang Gesek

(Sumber : Bowles, 1991)

C. Tiang pancang dengan tahanan lekat

Bila tiang dipancangkan di dasar tanah pondasi yang memiliki nilai kohesi yang tinggi, maka beban yang diterima oleh tiang akan ditahan oleh lekatan antara tanah di sekitar dan permukaan tiang (Hardiyatmo, 2002).

2.3.5. Pondasi tiang berdasarkan perpindahanya

A. Tiang perpindahan besar (*Large Displacement Pile*)

Yaitu tiang pejal atau berlubang dengan ujung tertutup dipancang ke dalam tanah sehingga terjadi perpindahan volume tanah yang relatif besar. Yang termasuk tiang perpindahan besar adalah tiang kayu, tiang beton pejal, tiang beton prategang (pejal atau berlubang), tiang baja bulat (tertutup pada ujungnya).

B. Tiang perpindahan kecil (*Small Displacement Pile*)

Yaitu sama seperti tiang kategori pertama hanya volume tanah yang dipindahkan saat pemancangan relatif kecil, contohnya tiang ulir, tiang beton berlubang dengan ujung terbuka, tiang beton prategang berlubang dengan ujung terbuka, tiang baja H, dan tiang baja bulat ujung terbuka.

C. Tiang tanpa perpindahan (*Non Displacement Pile*)

Terdiri dari tiang yang dipasang di dalam tanah dengan cara menggali atau mengebor tanah seperti bored pile, yaitu tiang beton yang pengecorannya langsung di dalam lubang hasil pengeboran tanah atau pipa baja diletakkan di dalam lubang dan dicor beton. (Hardiyatmo, 2002)

2.3.6. Metode Pelaksanaan Pemancangan Mini Pile

Secara umum tahapan pengerjaan tiang pancang adalah sebagai berikut :

a. Persiapan Pekerjaan Pemancangan

1. Mobilisasi mini pile dari *stockyard* ke *siteplan*.
2. Menandai dan menentukan titik yang akan dipancang.
3. Pengukuran elevasi mini pile.

b. Mobilisasi Alat Berat

1. Mobilisasi Alat.
2. Pemeriksaan Kelayakan Hammer dan alat yang lain melibatkan Disnaker.
3. Pengujian Alat sebelum digunakan.
4. Pengecekan setifikasi alat-alat yang akan digunakan.

c. Pekerjaan Pemancangan

1. Membuat skala pada minipile menurut kedalamannya.
2. Mengecek kembali posisi/koodirnat mini pile.

3. Angkat mini pile dan posisikan mini pile tersebut berdiri dengan posisi bagian atas mini pile berada di dalam topi pancang.
4. Mengecek ketegakkan mini pile terhadap 2 sumbu yang saling tegak lurus.
5. Operator mulai menurunkan *hammer* ke mini pile.
6. Selama pemancangan pastikan posisi mini pile tetap tegak lurus terhadap 2 sumbu *horizontal* yang saling tegak lurus.
7. Catat jumlah pukulan *hammer* dari saat mulai sampai dengan berakhirnya pemancangan
8. Penghentian pemancangan hanya diijinkan setelah mendapat ijin dari pengawas.
9. Membuat pile record dan data dari hasil kelendering.

2.4. Kapasitas Daya Dukung Ultimit Tiang Pancang

Kapasitas daya dukung ultimit menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah disepanjang bidang-bidang gesernya (Hardiyatmo, 2002).

Perancangan pondasi harus mempertimbangkan adanya keruntuhan geser dan penurunan yang berlebih. Untuk itu, perlu dipenuhi 2 (dua) kriteria, yaitu: kriteria stabilitas dan kriteria keruntuhan. Untuk memenuhi stabilitas jangka panjang, pondasi harus diletakkan pada kedalaman yang cukup untuk menanggulangi resiko erosi permukaan, gerusan, kembang susut tanah dan gangguan yang disekitarpondasi lainnya.

Hitungan kapasitas dukung tiang dapat dilakukan dengan pendekatan statis dan dinamis. Hitungan kapasitas dukung tiang secara statis dilakukan menurut teori mekanika tanah, yaitu dengan cara mempelajari sifat-sifat teknis tanah, sedangkan hitungan dengan cara dinamis dilakukan dengan menganalisis kapasitas *ultimate* dengan data yang diperoleh dari data pemancangan tiang.

Jika satuan yang digunakan dalam kapasitas dukung pondasi dangkal adalah satuan tekanan (kPa), maka dalam kapasitas dukung tiang satuannya adalah satuan gaya (kN). Dalam beberapa literatur digunakan istilah *pile capacity* atau *pile carrying capacity*.

2.4.1. Kapasitas daya dukung aksial berdasarkan data CPT

Sondir atau *cone penetration test* (CPT) sering kali sangat dipertimbangkan berperan dari geoteknik. CPT atau sondir ini test yang sangat cepat, sederhana, ekonomis dan tes tersebut dapat dipercaya dilapangan 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 pancang (*pile*), data tanah sangat diperlukan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari tiang pancang sebelum pembangunan dimulai, guna menentukan kapasitas daya dukung ultimit dari tiang pancang.

Untuk menghitung daya dukung tiang pancang berdasarkan data hasil sondir dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode yaitu :

A. Metode Langsung

Metode langsung ini dikemukakan oleh beberapa ahli diantaranya : Meyerhoff (1956,1976), Tomlison (1986), Begemann (1963,1965). Daya dukung pondasi tiang dinyatakan dengan rumus berikut :

$$Q_{ult} = (q_c \times A_p) + (JHL \times K) \quad (2.1)$$

Dimana :

Q_{ult} = Kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal.

q_c = Tahanan ujung sondir.

A_p = Luas penampang tiang.

JHL = Jumlah hambatan lekat.

K = Keliling tiang.

Daya dukung ijin pondasi dinyatakan dengan rumus :

$$Q_{ijin} = \frac{q_c \times A_p}{3} + \frac{JHL \times K}{5} \quad (2.2)$$

Dimana :

Q_{ijin} = Kapasitas daya dukung izin pondasi.

q_c = Tahanan ujung sondir.

A_p = Luas penampang tiang.

JHL = Jumlah hambatan lekat.

K = Keliling tiang.

Dari hasil uji sondir ditunjukkan bahwa tahanan ujung sondir (harga tekan konus) bervariasi terhadap kedalaman. Oleh sebab itu pengambilan harga q_c untuk daya dukung diujung tiang kurang tepat. Suatu rentang disekitar ujung perlu dipertimbangkan dalam menentukan data dukungnya.

Menurut Meyerhoff :

$q_p = q_c \longrightarrow$ Untuk keperluan praktis.

$q_p = (2/3 - 3/2) q_c$

Keterangan :

q_p = Tahanan ujung ultimate.

q_c = Harga rata-rata tahanan ujung konus dalam daerah 2D dibawah ujung tiang.

B. Metode Aoki dan De Alencar (1975)

Aoki dan Alencar (1975) mengusulkan untuk memperkirakan kapasitas dukung ultimit dari sondir. Kapasitas daya dukung aksial (q_u) diperoleh sebagai berikut:

$$Q_u = Q_b + Q_s = q_b A_b + f \cdot A_s \quad (2.3)$$

Dimana :

Q_u = Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang pancang.

Q_b = Kapasitas tahanan ujung tiang.

Q_s = Kapasitas tahanan kulit.

q_b = Kapasitas daya dukung di ujung tiang persatuan luas.

A_b = Luas ujung tiang.

f = Satuan tahanan kulit persatuan luas.

A_s = Luas kulit tiang pancang.

Dalam menentukan kapasitas daya dukung aksial ultimit (Q_u) menggunakan metode Aoki dan De Alencar (1975).

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

$$q_b = \frac{q_{ca}(base)}{F_b} \quad (2.4)$$

Dimana :

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

F_b = Faktor empirik tergantung pada tipe tanah.

Tahanan kulit persatuan luas (f) diprediksi sebagai berikut :

$$F = q_c (side) \frac{\alpha_s}{F_s} \quad (2.5)$$

Dimana ;

q_c (side) = Perlawanan konus rata-rata pada lapisan sepanjang tiang.

F_s = Faktor empirik yang tergantung pada tipe tanah.

F_b = Faktor empirik yang tergantung pada tipe rumah.

Faktor F_b dan F_s diberikan pada Tabel 2.1 dan nilai-nilai faktor empirik α_s diberikan pada Tabel 2.2

Tabel 2.1 Faktor empirik F_b dan F_s

Tipe Tiang Pancang	F_b	F_s
Tiang Bor	3,5	7,0
Baja	1,75	3,5
Beton Pratekan	1,75	3,5

(Sumber : Titi & Farsakh, 1999)

Tabel 2.2 Faktor empirik F_b dan F_s

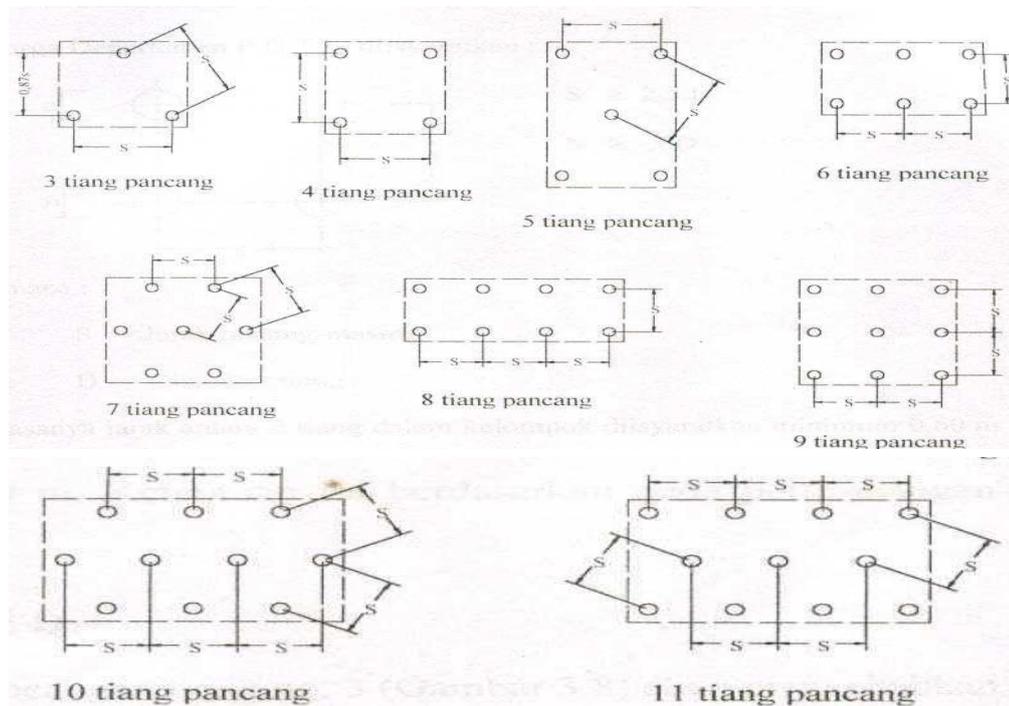
Tipe Tanah	α_s (%)	Tipe Tanah	α_s (%)	Tipe Tanah	α_s (%)
Pasir	1,4	Pasir berlanau	2,2	Lempung berpasir	2,4
Pasir kelanuan	2,0	Pasir beerlanau dengan lempung	2,8	Lempung berpasir dengan lanau	2,8
Pasir kelanuan dengan lempung	2,8	Lanau	3,0	Lempung berlanau dengan pasir	3,0
Pasir berlempung dengan lanau	3,0	Lanau perlempung dengan pasir	3,0	Lempung berlanau	4,0
Pasir berlempung	3,0	Lanau berlempung	3,4	Lempung	6,0

(Sumber : Titi & Farsakh, 1999)

Pada Umumnya nilai α_s untuk pasir = 1,4 persen, nilai α_s untuk lanau = 3,0 persen dan nilai α_s untuk lempung = 1,4 persen.

2.5. Pile Cap

Pada keadaan sebenarnya jarang sekali didapatkan tiang pancang yang berdiri sendiri (*Single Pile*), tetapi kita sering mendapatkan pondasi tiang pancang dalam bentuk kelompok (*Pile Group*). Untuk mempersatukan tiang-tiang pancang tersebut dalam satu kelompok tiang biasanya di atas tiang tersebut diberi poer (*footing*). Daya dukung kelompok tiang sangat bergantung pada penentuan bentuk pola dari susunan tiang pancang kelompok dan jarak antara satu tiang dengan tiang lainnya.



Gambar 2.16 Pola-pola Kelompok Tiang Pancang Untuk Kaki Tunggal.

(Sumber : Bowles, J. E., 1991)



Gambar 2.17 Pola-pola Kelompok Tiang Pancang Untuk Dinding Pondasi.

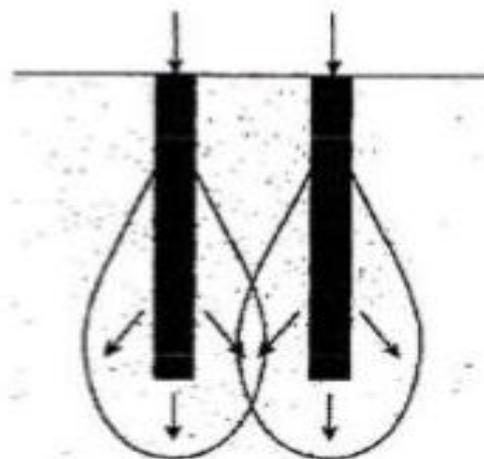
(Sumber : Bowles, J. E., 1991)

Bila beberapa tiang pancang dikelompokkan, maka intensitas tekanan bergantung pada beban dan jarak antar tiang pancang yang jika cukup besar sering kali tidak praktis karena poer di cor di atas kelompok tiang pancang (*pile group*) sebagai dasar kolom untuk menyebarkan beban pada beberapa tiang pancang dalam kelompok tersebut. Untuk menghitung nilai kapasitas dukung kelompok tiang ada beberapa hal yang harus diketahui sebelumnya, yaitu jumlah tiang dalam satu kelompok, jarak tiang, dan susunan tiang.

Dalam perhitungan, poer dibuat kaku sempurna sehingga :

Dalam perhitungan, poer dianggap/dibuat kaku sempurna sehingga :

- Bila beban-beban yang bekerja pada kelompok tiang tersebut menimbulkan penurunan maka setelah penurunan bidang poer tetap akan merupakan bidang datar.
- Gaya-gaya yang bekerja pada tiang berbanding lurus dengan penurunan tiang-tiang tersebut.



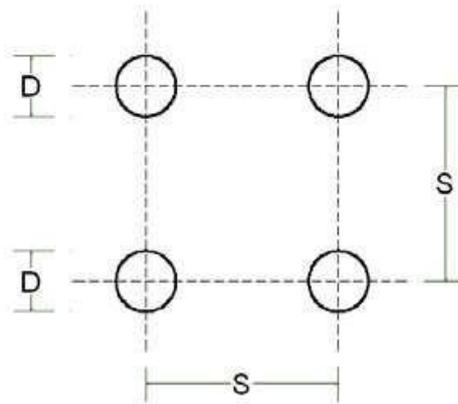
Gambar 2.18 Tiang Pancang Kelompok

(Sumber : Tomlinson, 1977)

2.5.1. Jarak Tiang (s)

Ukuran *pile cap* akan semakin kecil apabila jarak tiang (s) makin rapat sehingga secara tidak langsung biaya lebih murah. Tetapi bila memikul beban momen maka jarak tiang perlu diperbesar yang berarti menambah atau memperbesar tahanan momen. Umumnya, jarak antara 2 (dua) tiang dalam kelompok diisyaratkan minimum 0,60 m dan maksimum 2,00 m. Ketentuan ini berdasarkan pada pertimbangan - pertimbangan sebagai berikut :

- Bila jarak antar tiang $S < 2,5 D$ kemungkinan tanah di sekitar kelompok tiang akan naik terlalu berlebihan karena terdesak oleh tiang-tiang yang dipancang terlalu berdekatan. Selain itu dapat menyebabkan terangkatnya tiang-tiang di sekitarnya yang telah dipancang lebih dahulu
- Bila jarak antar tiang $S > 3 D$ akan menyebabkan perencanaan menjadi tidak ekonomis sebab akan memperbesar ukuran/dimensi dari poer, jadi memperbesar biaya.



Gambar 2.19 Jarak Antar Tiang Dalam Kelompok

(Sumber : Sardjono, H, S., 1988)

Dimana :

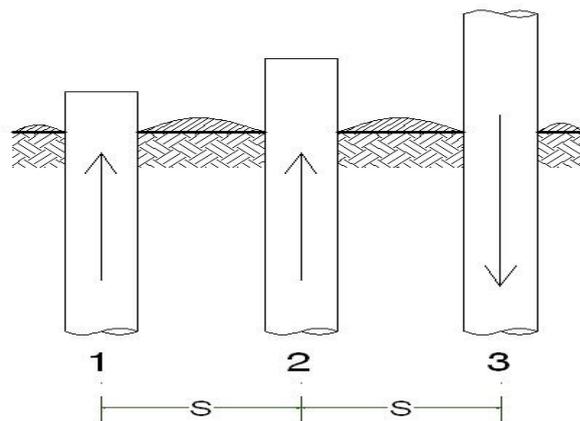
S = Jarak masing-masing tiang dalam kelompok (*spacing*).

D = Diameter tiang.

Pada perencanaan pondasi tiang pancang biasanya setelah jumlah tiang pancang dan jarak antara tiang-tiang pancang yang diperlukan kita tentukan, maka kita dapat menentukan luas poer yang ditentukan untuk tiap-tiap kolom portal.

Bila ternyata luas poer total yang diperlukan lebih kecil dari pada setengah luas bangunan, maka kita gunakan pondasi setempat dengan poer diatas kelompok tiang pancang.

Dan bila luas poer total diperlukan lebih besar dari pada setengah luas bangunan, maka biasanya kita pilih pondasi penuh (*raft foundation*) diatas tiang-tiang pancang.



Gambar 2.20 Pengaruh Tiang Akibat Pemancangan

(Sumber : Sardjono, H, S., 1988)

Tabel 2.3 Jarak Tiang Minimum

Fungsi Tiang	Jarak As-as Tiang Minimum
Tiang dukung ujung dalam tanah keras	2 - 2,5D atau 75cm
Tiang dukung ujung pada batuan keras	2D atau 60cm
Tiang Gesek	3 - 5D atau 75cm

(Sumber : Teng, 1962)

Tabel diatas memberikan jarak tiang minimum yang dibutuhkan untuk menekan biaya pembuatan pelat penutup tiang (*pile cap*).

Pada jenis tanah tertentu seperti tanah pasir padat, tanah plastis, lanau jenuh dan lain-lainnya, jarak tiang yang terlalu dekat menyebabkan bahaya gerakan secara lateral dan pengembangan tanah. Sedangkan pada pasir tidak padat, jarak terlalu dekat lebih disukai karena pemancangan dapat memadatkan tanah disekitar tiang. Jarak tiang yang dekat dapat mengurangi pengaruh gesek dinding negatif.

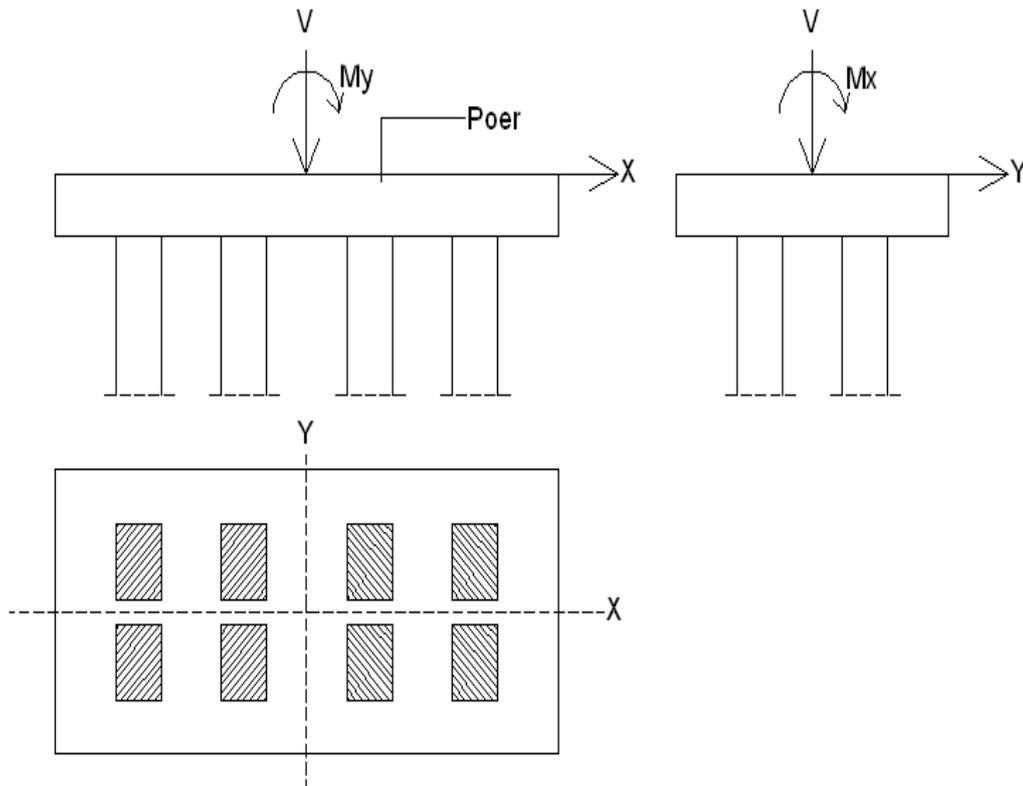
2.5.2. Gaya yang Bekerja Pada Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang mempunyai bentuk yang sebenarnya sama, hanya berbeda didalam meneruskan gaya-gaya yang bekerja ke tanah dasar pondasi. Penerus gaya-gaya ke tanah dasar pondasi melalui tiang, yakni beban diteruskan melalui ujung tiang lekatan atau gesek pada dinding tiang. Bila kapasitas dukung rendah, maka bangunan akan terperosok masuk ke dalam tanah, sedangkan bila kapasitas dukung tiang terlalu besar, maka bangunan tersebut kurang ekonomis.

Untuk mengetahui beban yang dipikul kelompok tiang pancang menimbulkan gaya vertikal, horizontal dan momen satu arah maka perhitungan tersebut dihitung sebagai berikut :

$$P_{maks} = \frac{V}{n} + \frac{M_y \cdot x_i}{\eta \cdot \sum x^2} \quad (2.6)$$

Kelompok tiang yang bekerja dua arah (x dan y), dipengaruhi oleh beban vertikal dan momen (x dan y) yang akan mempengaruhi terhadap kapasitas daya dukung tiang pancang.



Gambar 2.21 Beban sentris dan momen kelompok tiang arah x dan y

(Sumber : Sardjono, H, S., 1988)

Sedangkan tiang yang menerima momen lebih dari satu arah (dua arah) penurunan rumusnya adalah :

$$P_{maks} = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y \cdot x_i}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y_i}{\sum y^2} \quad (2.7)$$

Dimana :

P_1 = Beban yang diterima satu tiang pancang (ton)

V = Jumlah beban vertikal (ton)

N = Jumlah tiang pancang

- M_x = Momen yang bekerja pada kelompok tiang searah sumbu x (tm)
 M_y = Momen yang bekerja pada kelompok tiang searah sumbu y (tm)
 X_i = Jarak tiang pancang terhadap titik berat tiang kelompok dua arah
 X (m)
 Y_i = Jarak tiang pancang terhadap titik berat tiang kelompok dua arah
 Y (m)
 Σ_x^2 = Jumlah kuadrat tiang pancang pada arah x (m^2)
 Σ_y^2 = Jumlah kuadrat tiang pancang pada arah y (m^2)

2.5.3. Jumlah Tiang (n)

Untuk menentukan jumlah tiang yang akan dipasang didasarkan beban yang bekerja pada pondasi dan kapasitas dukung ijin tiang, maka rumus yang dipakai ditunjukkan pada Persamaan berikut :

$$n = \frac{P}{Q_a} \quad (2.8)$$

Dimana :

P = Beban yang berkerja (ton)

Q_a = Kapasitas dukung ijin tiang tunggal (ton)

2.5.4. Susunan Tiang

Metode perhitungan didasarkan pada susunan tiang, dengan mengabaikan panjang tiang, variasi bentuk tiang yang meruncing, variasi sifat tanah dengan kedalaman dan pengaruh muka air tanah.

Metode-metode yang dapat digunakan dalam menghitung efisiensi tiang antara lain:

1. Metode Converse-Labarre

Efisiensi kelompok tiang (E_g) diperoleh dari Persamaan :

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad (2.9)$$

Dimana :

θ = Arc tan d/s dalam derajat

n = Jumlah tiang dalam satu baris

m = Jumlah baris tiang

2. Metode Los Angeles

Efisiensi kelompok tiang (η) diperoleh dari Persamaan berikut :

$$E_g = 1 - \frac{d}{\pi \cdot s \cdot m \cdot n} [m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2}(n-1)(m-1)] \quad (2.10)$$

Dimana :

- E_g = Efisiensi grup tiang
- n = Jumlah tiang dalam satu baris
- m = Jumlah baris tiang
- d = Diameter tiang (m)
- s = Jarak antar tiang (m) (as ke as)
- π = Phi lingkaran = $3,14 / \frac{22}{7}$

3. Metode Seiler – Keeney

$$E_g = \left\{ 1 - \left[\frac{11s}{7(s^2-1)} \right] \left[\frac{n+m-2}{n+m-1} \right] \right\} + \frac{0,3}{m+n} \quad (2.11)$$

Dimana :

- E_g = Efisiensi grup tiang
- n = Jumlah tiang dalam satu baris
- m = Jumlah baris tiang
- s = Jarak antar tiang (m) (as ke as)

Kapasitas ultimit kelompok tiang dengan memperhatikan faktor efisiensi tiang dinyatakan dengan Persamaan berikut :

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_a \quad (2.12)$$

Dimana :

- Q_g = Beban maksimum kelompok tiang yang mengakibatkan keruntuhan (ton)
- n = Jumlah tiang dalam kelompok
- Q_a = Beban maksimum tiang tunggal (ton)

2.6. Penurunan Tiang Pancang

Pada saat tiang dibebani, maka tanah disekitarnya mengalami penurunan. Penurunan dapat terjadi disebabkan oleh pengurangan rongga pori atau air di dalam tanah maupun berubahnya susunan tanah. Berikut ini akan dijelaskan penurunan tiang tunggal dan penurunan tiang kelompok.

2.6.1. Penurunan Tiang Pancang Tunggal

Menurut Poulos dan Davis (1980) penurunan jangka panjang untuk pondasi tiang tunggal tidak perlu ditinjau karena penurunan tiang akibat konsolidasi dari tanah relatif kecil. Ini dikarenakan pondasi tiang direncanakan terhadap kuat dukung ujung dan kuat dukung friksinya atau penjumlahan dari keduanya.

Perkiraan penurunan tiang tunggal dapat dihitung berdasarkan :

- a. Untuk tiang apung atau tiang friksi

$$S = \frac{QI}{E_s d} \quad (2.13)$$

$$I = I_o R_k R_h R_\mu \quad (2.14)$$

- b. Ujung tiang dukung ujung (*End Bearing*)

$$S = \frac{QI}{E_s d} \quad (2.15)$$

$$I = I_o R_k R_b R_\mu \quad (2.16)$$

Dimana :

S = Penurunan untuk tiang tunggal (mm)

Q = Beban yang bekerja (kg)

I_o = Faktor pengaruh penurunan tiang yang tidak mudah mampat

R_k = Faktor koreksi kemudahmampatan tiang

R_h = Faktor koreksi untuk ketebalan lapisan yang terletak pada tanah

R_b = Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung

R_μ = Faktor koreksi angka poisson μ = 0.3

H = Kedalaman total lapisan tanah

Pada Gambar (2.14), (2.15), (2.16), (2.17), dan (2.18) menunjukkan grafik faktor koreksi. K adalah suatu ukuran kompresibilitas relatif dari tiang dan tanah yang dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$K = \frac{E_p R_a}{E_s} \quad (2.17)$$

$$R_a = \frac{A_p}{\frac{1}{4} \pi d^2} \quad (2.18)$$

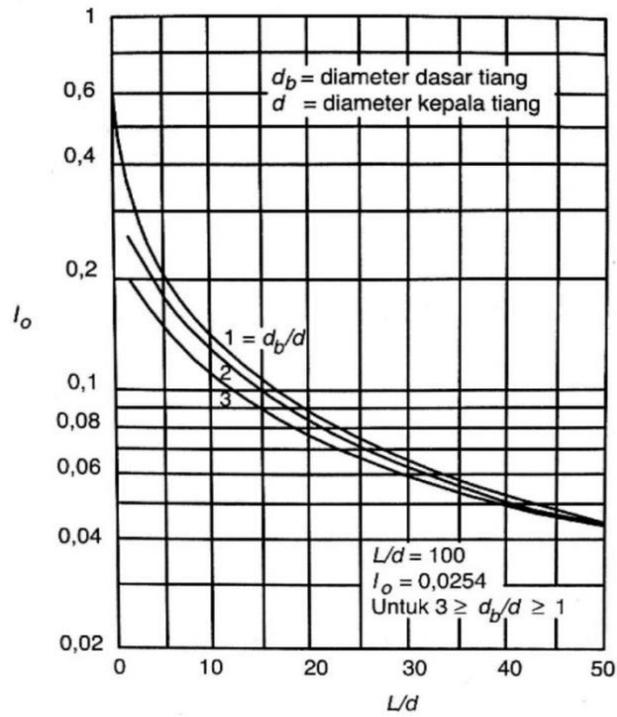
Dengan:

K = Faktor kekakuan tiang

E_p = Modulus elastisitas dari bahan tiang

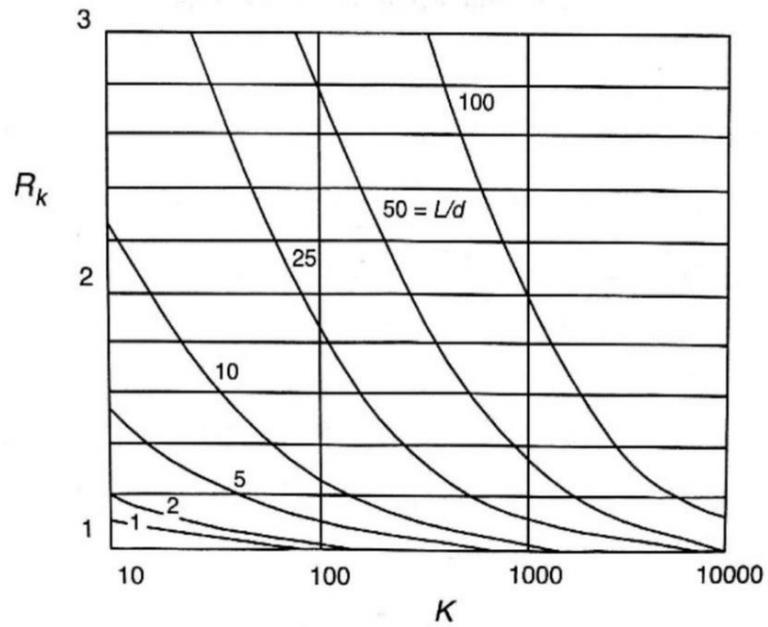
E_s = Modulus elastisitas tanah di sekitar tiang

E_b = Modulus elastisitas tanah di dasar tiang



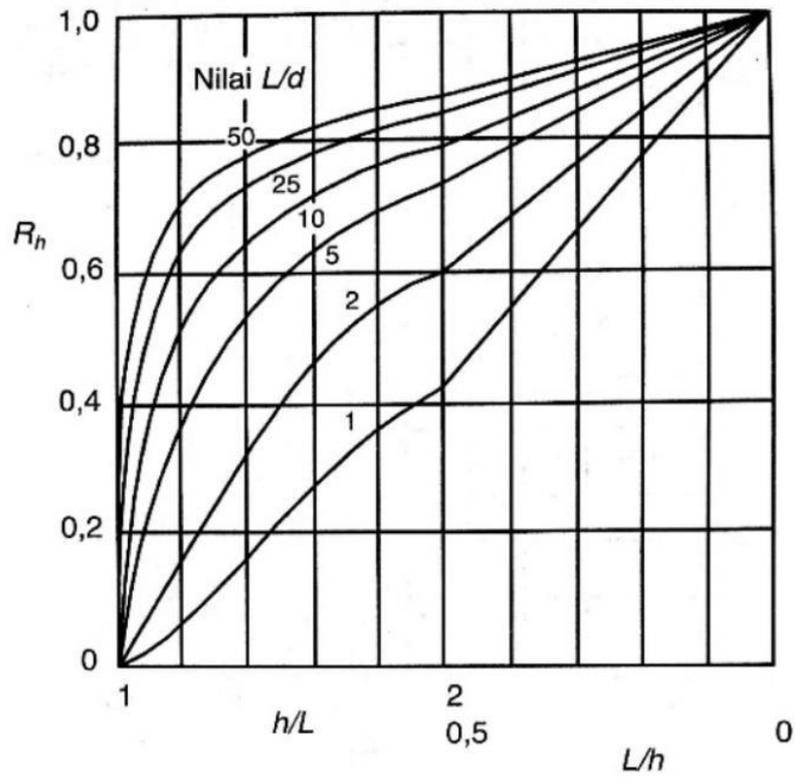
Gambar 2.22 Faktor Koreksi Penurunan I_o

(Sumber : Poulos dan Davis, 1980)



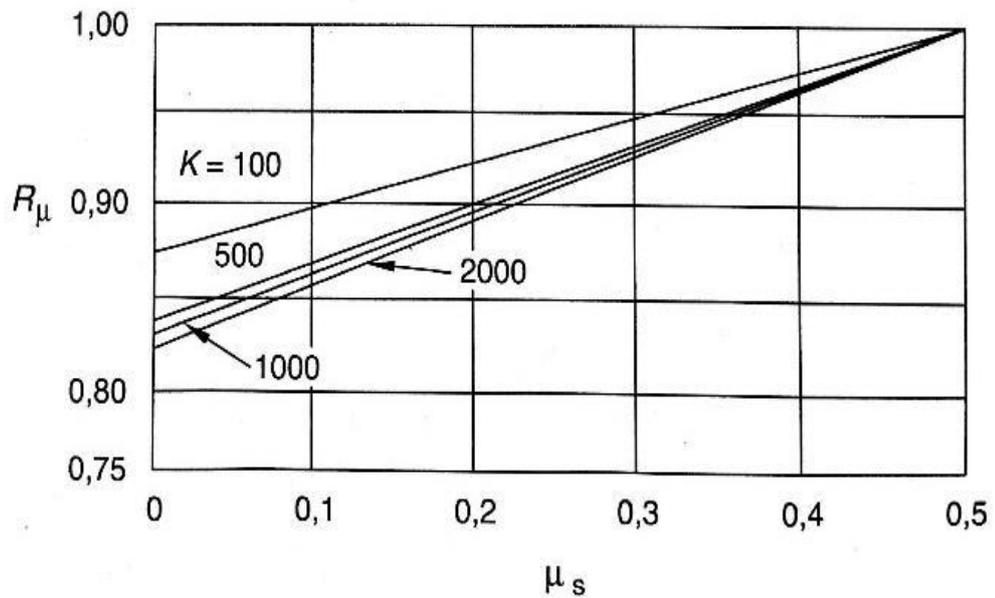
Gambar 2.23 Faktor Koreksi Penurunan R_k

(Sumber : Poulos dan Davis, 1980)



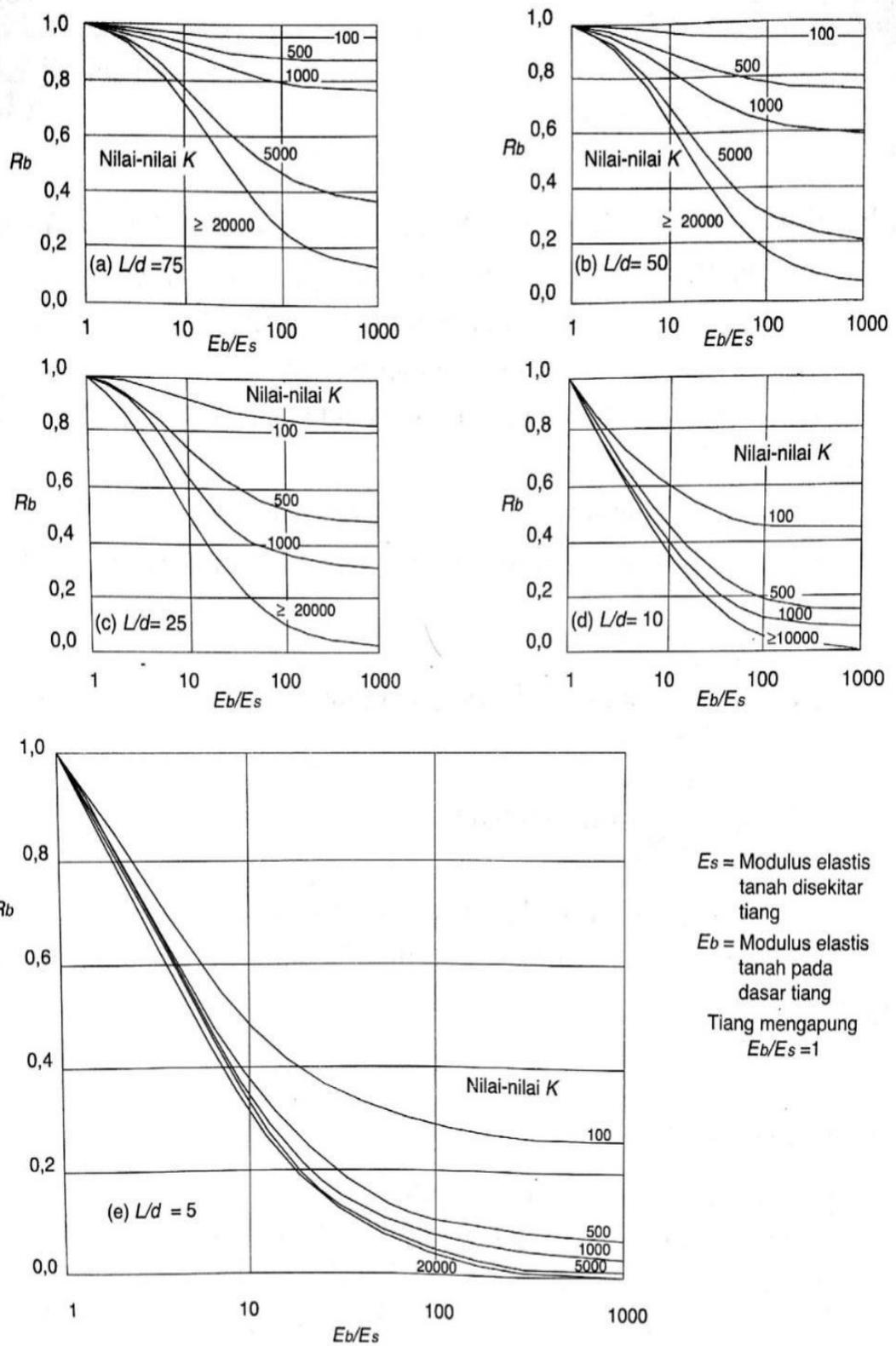
Gambar 2.24 Faktor Koreksi Penurunan R_h

(Sumber : Poulos dan Davis, 1980)



Gambar 2.25 Faktor Koreksi Penurunan R_μ

(Sumber : Poulos dan Davis, 1980)



Gambar 2.26 Faktor Koreksi Penurunan R_b
 (Poulos dan Davis, 1980)

2.6.2. Penurunan Tiang Pancang Elastis

Penurunan pondasi yang terletak pada tanah berbutir halus yang jenuh dan dapat dibagi menjadi tiga komponen merupakan penurunan elastis. Penurunan total adalah jumlah dari ketiga komponen tersebut, yang ditunjukkan pada Persamaan di bawah ini :

$$S = S_s + S_p + S_{ps} \quad (2.19)$$

Dengan :

S = Penurunan total

S_s = Penurunan elastis dan tiang

S_p = Penurunan tiang yang disebabkan oleh beban di ujung tiang

S_{ps} = Penurunan tiang yang disebabkan oleh beban di sepanjang batang tiang

$$S_s = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws}) \cdot L}{A_p \cdot E_p} \quad (2.20)$$

$$S_p = \frac{Q_{wp} \cdot C_p}{D \cdot q_p} \quad (2.21)$$

$$S_{ps} = \frac{Q_{ws} \cdot C_s}{L \cdot q_p} \quad (2.22)$$

Dimana :

S_e = Penurunan elastis dari tiang (mm)

Q_{wp} = Daya dukung ujung (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)

ξ = Koefisien dari *skin friction*, ambil 0.67

D = Diameter tiang (m)

q_p = Daya dukung ultimit (kN)

C_p = Koefisien empiris

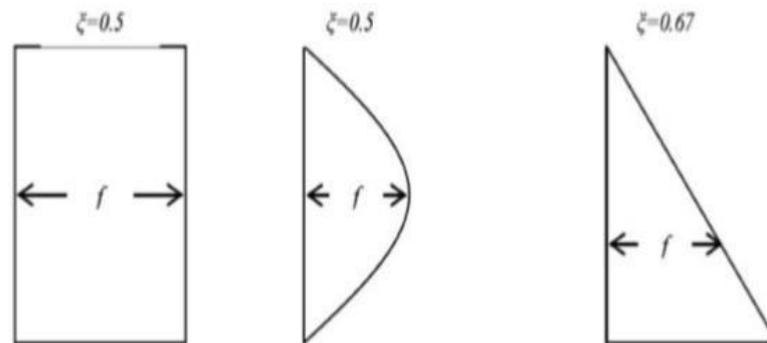
C_s = Konstanta empiris

$$C_s : \left(0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{L}{D}} \right) \cdot C_p \quad (2.23)$$

Nilai ξ tergantung dari unit tahanan friksi alami (*thenatureof unit friction resistance*) di sepanjang tiang terpancang di dalam tanah. Nilai $\xi = 0,5$ untuk

bentuk unit tahanan friksi alaminya berbentuk seragam atau simetris, seperti persegi panjang atau parabolik seragam, umumnya pada tanah lempung atau lanau. Sedangkan untuk tanah pasir nilai $\xi = 0,67$ untuk bentuk unit tahanan friksi alaminya berbentuk segitiga.

Pada Gambar 2.19 akan ditunjukkan bentuk unit tahanan friksi.



Gambar 2.27 Variasi Jenis Bentuk Unit Tahanan Friksi (Kulit) Alami Terdistribusi Sepanjang Tiang Tertanam ke Dalam Tanah

(Sumber : Bowles, 1991)

Tabel 2.4 Nilai Koefisien Empiris (C_p)

Tipe Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
<i>Sand (dense to loose)</i>	0,02-0,04	0,09-0,18
<i>Clay (stiff to soft)</i>	0,02-0,03	0,03-0,06
<i>Silt (dense to loose)</i>	0,03-0,05	0,09-0,12

(Sumber : Das, 1985)

2.6.3. Penurunan tiang pancang kelompok

Penurunan Tiang pancang kelompok dapat diartika sebagai perpindahan titik tiang pancang yang diakibatkan oleh peningkatan tegangan oleh lapisan dasar sedalam pemancangan tiang pancang dengan sifat elastisitas tanah di tambah pemendekan elastis tiang akibat pembebanan. Penurunan tiang pancang kelompok merupakan jumlah dari penurunan elastis dan penurunan konsolidasi. Penurunan elastis tiang adalah penurunan yang terjadi dalam waktu dekat atau dengan segera setelah penerapan beban (*elastic settlement* atau *immediate settlement*).

Menurut Vesic (1969) penurunan tiang kelompok dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$S_g = \sqrt{\frac{B_g}{D}} S_e \quad (2.24)$$

Dimana :

S_g = Penurunan kelompok tiang (mm)

B_g = Lebar kelompok tiang (mm)

D = Diameter pondasi tiang (mm)

S_e = Penurunan total per tiang (mm)

Menurut Meyerhoff (1976) penurunan tiang kelompok dapat dihitung dengan menggunakan data sondir dengan persamaan berikut :

$$S_g = \frac{q \cdot B_g \cdot l}{2 \cdot q_c} \quad (2.25)$$

$$q = \frac{Q_s}{L_s \cdot B_s} \quad (2.26)$$

Dengan

$$I = 1 - \frac{L}{8 \cdot B_s} \geq 0,5 \quad (2.27)$$

Dimana :

S_g = Penurunan kelompok tiang (mm)

q = Tekanan dasar pondasi

B_g = Lebar kelompok tiang (cm)

q_c = Nilai konus pada rata-rata kedalaman B_g

L = Kedalaman pondasi tiang (cm)

I = Faktor pengaruh

Penurunan yang diizinkan dari suatu bangunan tergantung pada beberapa faktor seperti jenis, tinggi, kekakuan, dan fungsi bangunan, besar dan kecepatan penurunan serta distribusinya.

2.7. Faktor Keamanan

Untuk mendapatkan kapasitas ijin tiang, maka kapasitas ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu. Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam penentuan faktor keamanan antara lain:

1. Tingkat ketelitian alat yang dipakai.
2. Kemampuan petugas yang melaksanakan percobaan pembebanan.
3. Cara melakukan percobaan pembebanan.
4. Keadaan lingkungan

5. Faktor lainnya yang dapat mempengaruhi percobaan yaitu jika pompa dongkrak diletakkan pada tempat tidak terlindung sinar matahari.

Tabel 2.5 Faktor Keamanan yang disarankan oleh Reese dan O'Neill

Klasifikasi Struktur	Faktor Aman			
	Kontrol Baik	Kontrol Normal	Kontrol Jelek	Kontrol Sagat Jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	3	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2	2,3	2,8

(Sumber : Reese dan O'Neill, 1989)