

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu bagian struktur terpenting dari sebuah konstruksi atau bangunan adalah pondasi. Dikarenakan pondasi merupakan struktur yang memiliki peranan untuk meletakkan, menahan dan meneruskan beban dari bangunan atas ke lapisan tanah yang cukup kuat guna mendukung konstruksi tersebut. Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam perencanaan pondasi, dimana beban yang diterima pondasi dari struktur di atasnya dan diteruskan ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah tersebut. Apabila beban konstruksi yang ditopang lebih besar dari kekuatan tanah dibawahnya, bisa dipastikan penurunan dan keruntuhan yang berlebihan dari tanah akan terjadi. Efek yang ditimbulkan dari permasalahan tersebut dapat mengakibatkan kerusakan dan kegagalan pada konstruksi yang berada diatas pondasi tersebut. Dalam dunia konstruksi terdapat 2 macam pondasi, diantaranya yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal merupakan pondasi yang sering digunakan apabila beban pada konstruksi dikategorikan beban ringan dan kondisi tanah pada area konstruksi tersebut cukup baik. Adapun jenis-jenis pondasi dangkal yaitu pondasi batu kali, pondasi umpak, pondasi tapak (foot plate), hingga pondasi rollag bata. Sedangkan pondasi dalam adalah pondasi yang digunakan pada konstruksi yang dikategorikan memiliki beban yang berat serta kondisi dan keberadaan tanah keras yg cukup dalam dari permukaan tanah sehingga pondasi ini sangat cocok digunakan pada permasalahan tersebut. Jenis-

jenis pondasi dalam yang sering dijumpai pada sebuah konstruksi beban berat meliputi pondasi tiang pancang, pondasi Piers dan pondasi tiang bor (bored pile). Pondasi tiang bor atau bored pile merupakan salah satu jenis pondasi dalam yang memiliki karakteristik fisik seperti tiang dan proses pengerjaannya yang diawali dengan pekerjaan pengeboran, setelah itu lubang hasil pengeboran diisi dengan tulangan yang sudah dirakit sebelumnya kemudian dicor. Kuat dukung 2 bored pile terletak pada kontak antara badan tiang dengan tanah sekitarnya yaitu tekanan ujung tiang pada tanah yang ada dibawahnya (end bearing capacity) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan kuat dukung geser yang didapatkan dari kuat dukung gesek antara badan tiang dengan tanah yang menyelimutinya (friction bearing capacity). Interaksi yang dihasilkan antara pondasi tiang bor dengan tanah disekitarnya menghasilkan kuat dukung yang mampu menopang serta memberikan keamanan pada struktur diatasnya.

Mengingat gedung ini adalah sebuah gedung Transportasi Darat yang merupakan salah satu infrastruktur yang sangat penting bagi masyarakat. Oleh karena itu perencanaan dan pembuatann jenis struktur bawah (pondasi) perlu diperhitungkan dengan cermat agar terhindar dari penurunan bahkan abruhnya gedung tersebut.

Untuk itu penulisan skripsi ini difokuskan Daya Dukung Dan Metode Pelaksanaan Bore Pile Pada Pembangunan Gedung Balai Pengelola Transportasi Darat. Pondasi Bored Pile merupakan salah satu jenis pondasi yang kedalamannya kurang lebih dari 15 meter dan biasa digunakan pada konstruksi bangunan-bangunan tinggi. Pemakaian pondasi Bored Pile adalah merupakan alternatif lain,

bila mana dalam pelaksanaan pembangunan berada pada suatu lokasi yang sangat sulit atau beresiko tinggi apabila mempergunakan pondasi tiang pancang (*spoon pile*).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat di ambil kesimpulan rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Banyaknya metode penyelidikan tanah.
2. Bored pile dapat berupa single pile atau grup pile.
3. Banyaknya metode menghitung daya dukung bore pile.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini pembahasan masalah dibatasi sebagai berikut:

1. Metode penyelidikan tanah yang digunakan berupa uji sondir.
2. Pondasi bored pile berupa pile grup.
3. Menghitung daya dukung menggunakan metode m.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui dan menentukan daya dukung pondasi Bored Pile berdasarkan metode Schmertmann dan Mayerhoff.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian sebagai berikut :

1. Sebagai referensi, khususnya pada penelitian dengan metode perencanaan daya dukung Bored Pile.
2. Sebagai penambah wawasan.
3. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat pada perkembangan ilmu pengetahuan di bidang geoteknik dan bidang ilmu lainnya.

1.6 Metode Penulisan

Metode penulisan adalah cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan didekskripsikan, dibuktikan, dikembangkan dan ditemukan, pengetahuan teori, tindakan dan produk tertentu sehingga dapat digunakan untuk memahami, memecahkan dan mengantisipasi masalah dalam kehidupan manusia.

Metode penulisan yang digunakan pada penelitian skripsi ini menggunakan 3 metode, yakni:

1. Studi lapangan, yaitu mengumpulkan data-data pendukung yang ada pada proyek pembangunan Gedung Balai Transportasi Darat di Sumatera Utara.
2. Studi literatur, yaitu mempelajari teori-teori yang berhubungan dengan topik bahasan melalui studi kepustakaan.
3. Konsultasi, melakukan berbagai tanya jawab dengan beberapa pihak yakni pihak lokasi proyek pembangunan, para pakar dan dosen pembimbing dan pihak-pihak lain yang juga memahami materi topik tinjauan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Uraian Umum

Pada prinsipnya perencanaan suatu bangunan meliputi perencanaan bangunan atas dan perencanaan bangunan bawah, perencanaan bangunan atas (*upper structure*) meliputi bagian struktur dari bangunan yang ada diatas permukaan tanah seperti kerangka pemikul bangunan tersebut. Sedangkan untuk bangunan bawah (*sub structure*) adalah bagian bangunan yang ada di bawah permukaan tanah, dalam hal ini bangunan yang dimaksud adalah pondasi.

2.2 Tanah Sebagai Dasar Pondasi

Tanah selalu mempunyai peranan yang penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Menurut (Nakazawa, 2016) Tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan, atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri seperti tanggul atau bendungan atau kadang-kadang sebagai sumber penyebab gaya luar pada bangunan, seperti tembok atau dinding penahan tanah. Jadi tanah itu selalu berperan pada setiap pekerjaan teknik sipil. Tenaga-tenaga Teknik Sipil yang berkecimpung dalam perencanaan atau pelaksanaan bangunan perlu mempunyai pengertian yang mendalam mengenai fungsi-fungsi serta sifat tanah itu bila dilakukan pembebanan terhadapnya.

(Hardiyatmo, 2010) menyatakan tanah pada kondisi alam, terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik.

Butiran-butiran tersebut dapat dengan mudah dipisahkan satu sama lain dengan kocokan air. Material ini berasal dari pelapukan batuan, baik secara fisik maupun kimia. Sifat-sifat teknis tanah, kecuali oleh sifat batuan induk yang merupakan material asal, juga dipengaruhi oleh unsur-unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan batuan tersebut. Istilah-istilah seperti kerikil, pasir, lanau dan lempung digunakan dalam teknik sipil untuk membedakan jenis-jenis tanah. Pada kondisi alam, tanah dapat terdiri dari dua atau lebih campuran jenis-jenis tanah dan kadang-kadang terdapat pula kandungan bahan organik. Material campurannya kemudian dipakai sebagai nama tambahan dibelakang material unsur utamanya. Sebagai contoh, lempung berlanau adalah tanah lempung yang mengandung lanau dengan material utamanya adalah lempung dan sebagainya.

Tanah terdiri dari 3 komponen, yaitu udara, air dan bahan padat. Udara dianggap tidak mempunyai pengaruh teknis, sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang diantara butiran-butiran, sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Bila rongga tersebut terisi air seluruhnya, tanah dikatakan dalam kondisi jenuh. Bila rongga terisi udara dan air, tanah pada kondisi jenuh sebagian (*partially saturated*). Tanah kering adalah tanah yang tidak mengandung air sama sekali atau kadar airnya nol.

2.2.1 Kekuatan Tanah Sebagai Dasar Pondasi

Definisi dari Pondasi adalah suatu konstruksi pada bagian dasar struktur atau Sub. Menurut (Frick, 2001) keadaan kekuatan tanah sebagai dasar pondasi tergantung pada susunan dan struktur tanah sebagai kulit bumi yang termakan cuaca

dan air hujan. Semakin heterogen struktur tanah tersebut, semakin sulitlah untuk melakukan perencanaan pondasi.

Kekuatan tanah dapat diselidiki dengan berbagai cara, antara lain :

1. Kedalaman dan ketebalan lapisan bumi, terutama lapisan yang akan menerima beban pondasi,
2. Tegangan tanah (σ) yang diizinkan,
3. Keadaan hidrologis (sifat – sifat dari lapisan tanah).

Perlu diperhatikan bahwa disamping kekuatan atau kelemahan, kekokohan landasan tanah juga dipengaruhi oleh :

1. Pemadatan dan penurunan tanah akibat vibrasi lalu lintas, peralatan berat perindustrian dan sebagainya,
2. Penurunan tanah akibat perubahan hidrologis (misalnya penurunan muka air tanah atau kadar air di dalam tanah) atau karena pengikisan pada tepi sungai dan sebagainya,
3. Pergeseran tanah atau longsor akibat tekanan berat, terendam air akibat banjir atau air pasang.

Hal tersebut mengakibatkan penurunan gedung yang tak terhindarkan. Perencanaan pondasi yang baik akan menghambat terjadinya penurunan. Namun, apabila terjadi penurunan masih dalam batas toleransi. Pondasi bangunan yang menjamin kestabilan / keseimbangan bangunan terhadap pembebanan (berat sendiri, beban hidup, retakan dan gerakan geologis kecil serta gaya tekan angin, gempa bumi dan sebagainya) harus diperhitungkan sedemikian rupa. Kemampuan tanah dalam mendukung beban dari struktur di atasnya yang dinyatakan dengan

tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat beban. Dengan pengetahuan tentang konsep struktur, maka pondasi merupakan bagian struktur gedung yang mempunyai daya tahan paling lama sebagai landasan.

2.2.2 Karakteristik Tanah

Menurut (Frick, 2001) dalam merencanakan struktur bawah diperlukan data– data mengenai karakteristik tanah tempat struktur tersebut berada dan beban struktur yang bekerja di atas struktur bawah yang direncanakan. Karakteristik tanah meliputi jenis lapisan tanah di bawah permukaan tanah, kadar air, tinggi muka air tanah dan lain lain. Tanah salah satu indikator mengetahui kecocokan suatu lahan. Beban struktur yang bekerja tergantung dari jenis material yang digunakan, Jumlah tingkat bangunan, jenis – jenis beban yang bekerja pada struktur tersebut dan lain – lain. Seorang *structure engineer* harus bisa menentukan jenis pondasi yang tepat untuk digunakan berdasarkan data tanah yang ada pada *soil engineer*.

Hasil penyelidikan tanah yang dilaporkan oleh *soil engineer* antara lain :

1. Kondisi tanah dasar yang menjelaskan jenis lapisan tanah pada beberapa lapisan kedalaman.
2. Analisis daya dukung tanah.
3. Besar nilai SPT (*Standar Penetration Test*) dari beberapa titik bor.
4. Besar tahanan ujung konus dan jumlah hambatan pelekat dari beberapa titik sondir.
5. Analisis daya dukung tiang pondasi berdasarkan data – data tanah (apabila menggunakan pondasi tiang).

2.2.3 Penyelidikan Tanah

(Gunawan dkk, 1983) menyatakan bahwa penyelidikan tanah di lapangan bertujuan untuk mengetahui kondisi tanah dan jenis lapisan agar bangunan dapat berdiri dengan stabil dan tidak timbul penurunan (*settlement*) yang terlalu besar, maka pondasi bangunan harus mencapai lapisan tanah yang cukup padat (tanah keras). Untuk mengetahui letak/kedalaman lapisan tanah padat dan kapasitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) dan daya dukung pondasi yang diizinkan maka perlu dilakukan penyelidikan tanah yang mencakup penyelidikan baik di lapangan (lokasi/rencana bangunan baru) dan penelitian di laboratorium.

Penyelidikan tanah dilakukan dengan beberapa cara, yakni :

1. Sondir

Tes *sondir* dilakukan dengan menggunakan alat sondir yang dapat mengukur nilai perlawanan konus (*Cone Resistance*) dan hambatan lekat (*Local Friction*) secara langsung di lapangan. Hasil penyondiran disajikan dalam bentuk diagram sondir yang memperlihatkan hubungan antara kedalaman sondir di bawah mukatanah dan besarnya nilai perlawanan konus (qc) serta jumlah hambatan pelekat (TF).

2. *Deep boring*

Deep boring dilaksanakan dengan menggunakan mesin bor untuk mendapatkan contoh tanah. Pekerjaan *Standar Penetration Test* juga dilakukan pada pekerjaan boring.

3. *Standar Penetration Test*

Standar Penetration Test dilaksanakan pada lubang bor setelah pengambilan contoh tanah pada setiap beberapa interval kedalaman. Cara uji dilakukan

untuk memperoleh parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah di lapangan. Parameter menyatakan bahwa pondasi merupakan bagian bangunan yang menghubungkan bangunan dengan tanah yang menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban hidup dan gaya – gaya luar terhadap gedung seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain – lain.

(Bowles, 1997) Pondasi merupakan bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan kedalam tanah atau bebatuan yang terletak dibawahnya Fungsi pondasi yaitu :

1. Sebagai kaki bangunan atau alas bangunan,
2. Sebagai penahan bangunan dan meneruskan beban dari atas ke dasar tanah yang cukup kuat,
3. Sebagai penjaga agar kedudukan bangunan tetap stabil (tetap).

2.2.4 Macam-macam Pondasi

Secara umum jenis-jenis struktur bawah (pondasi) menurut Zainal dibagi menjadi 3 bagian, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Yang termasuk pondasi dangkal adalah sebagai berikut :

1. Pondasi Telapak

Pada umumnya digunakan untuk bangunan rumah tinggal dan gedung bertingkat ringan, yaitu dengan memperlebar bagian bawah kolom atau dinding bawah bangunan sehingga membentuk suatu telapak yang menyebarkan beban bangunan menjadi tegangan yang lebih kecil dari daya dukung tanah yang diijinkan. Jadi pondasi ini berfungsi untuk mendukung bangunan secara langsung pada lapisan tanah. Pondasi telapak ini dapat dibagi dalam empat

jenis:

a. Pondasi Telapak Tunggal

Digunakan untuk memikul sebuah kolom tunggal, tugu, menara, tangki air dan cerobong asap.

b. Pondasi Telapak Menerus

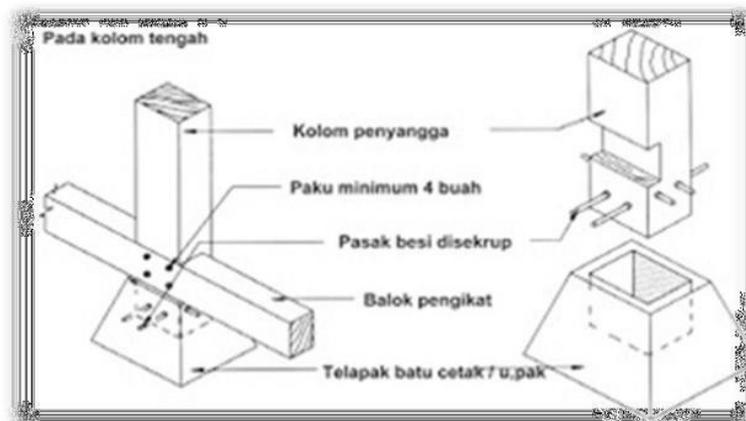
Digunakan untuk menyangga suatu bangunan yang panjang, seperti dinding penahan tanah dan dinding bangunan .

c. Pondasi Telapak Gabungan

Digunakan untuk menahan beban kolom yang besar dan daya dukung tanahnya relatif kecil.

d. Pondasi Pelat

Merupakan sebuah pelat beton yang tebal dan menggunakan tulangan atas dan bawah yang menerus. Pondasi ini digunakan untuk bangunan yang didirikan pada tanah yang memiliki daya dukung rendah atau daya dukung kolom yang besar. Pondasi telapak disajikan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pondasi Telapak

Sumber : Dharmayasa dan Utami (2018)

2. Pondasi Cakar Ayam

Pondasi cakar ayam digunakan di daerah rawa atau tepatnya pada tanah dengan kapasitas dukung 1.5 – 3.5 ton / m². Dasar pemikiran pondasi cakar ayam adalah pemanfaatan karakteristik tanah yang tidak dimanfaatkan oleh sistem pondasi lain, pondasi ini terdiri dari pelat beton bertulang dengan pipa-pipa beton yang dihubungkan secara monolit. Pelat beton tersebut akan mengapung di atas tanah rawa ataupun tanah lembek. Sedangkan kekakuannya diperoleh dari pipa beton bertulang yang berada di bawahnya yang dapat berdiri tegak akibat tekanan tanah pasif. Jadi fungsi pipa hanyalah sebagai pengaku dan bukannya sebagai penopang seperti halnya pondasi sumuran.

3. Pondasi Sarang Laba-laba

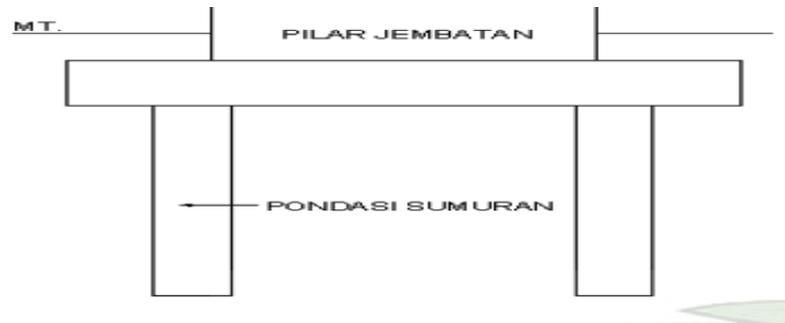
Pondasi sarang laba-laba berfungsi untuk memikul beban terpusat / kolom dari struktur atas seperti bangunan bertingkat tiga sampai lima, pabrik, hanggar, menara transmisi tegangan tinggi dan menara air. Pondasi ini terdiri dari pelat betontipis, yang di bawahnya dikakukan oleh *rib-rib* tegak.

Sedangkan macam-macam pondasi dalam adalah sebagai berikut :

1. Pondasi Sumuran

Pondasi sumuran adalah suatu bentuk peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang, digunakan apabila tanah dasar terletak pada kedalaman yang relatif dalam. Pondasi sumuran digunakan untuk kedalaman tanah keras 2 – 5 m. Pondasi ini dibuat dengan cara menanam blok-blok beton silinder dengan menggali tanah berbentuk sumuran / lingkaran berdiameter > 0.80 m sampai mencapai tanah keras. Pada bagian atas pondasi diberi *poer* untuk menerima

dan meneruskan beban pondasi sumuran secara merata seperti disajikan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pondasi Sumuran
Sumber : Triananda (2021)

2. Pondasi Tiang

Pondasi tiang antara lain dibedakan sebagai berikut :

a. Pondasi Tiang Kayu

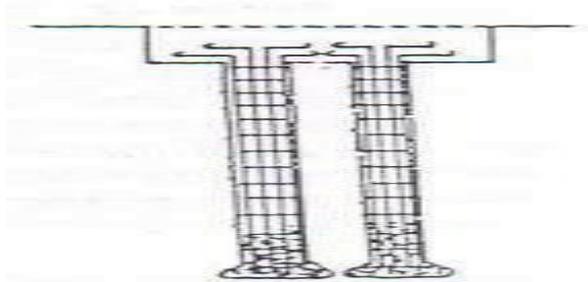
Pondasi ini sangat cocok untuk daerah rawa dan daerah yang banyak terdapat hutan kayu, sehingga mudah memperoleh tiang kayu yang panjang dan lurus dengan diameter cukup besar. Biasanya satu tiang dapat menahan beban sampai 25 ton.

b. Pondasi Tiang Baja

Kekuatan tiang ini cukup besar sehingga di dalam pengangkutan dan pemancangannya tidak menimbulkan bahaya patah seperti halnya pada tiang pancang beton pracetak. Salah satu cara yang banyak dilakukan dalam membangun pondasi kokoh adalah dengan media tiang pancang. Pemakaiannya sangat bermanfaat apabila diperlukan pondasi tiang yang panjang / dalam dengan tahanan ujung yang besar. Satu- satunya kelemahan yang dimiliki adalah tidak tahan terhadap korosi atau karat.

c. Pondasi Tiang Beton

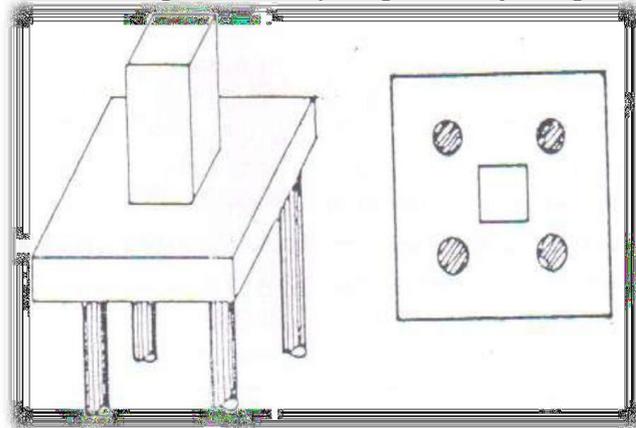
Pondasi ini terdiri atas : Tiang PC, Tiang Mini, Tiang *Franky*, Tiang *Bump*, Tiang Bor, Tiang *Strauss* dan Tiang Mikro. Kesemuanya merupakan tiang beton pracetak. Pondasi tiang beton disajikan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 pondasi tiang bor
Sumber : Kartikasari dan Sanhardi (2019)

3. Pondasi Caisson

Pondasi ini digunakan sebagai pondasi dasar bangunan yang dipakai apabila cara penggalian terbuka tidak dimungkinkan karena adanya air naik atau endapan pada dasar pondasi. Selain itu digunakan pula bila daya dukung tidak mencukupi dengan menggunakan pondasi tiang atau penurunan dan getaran memegang peranan dalam pemakaiannya seperti disajikan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 pondasi Caisson
Sumber : Farid (2019)

2.3 Dasar-Dasar Penentuan Jenis Pondasi

Menurut Heriati (2013) menyatakan bahwa dalam pemilihan bentuk dan jenis pondasi yang memadai perlu diperhatikan beberapa hal yang berkaitan dengan pekerjaan pondasi tersebut. Ini karena tidak semua jenis pondasi dapat digunakan di semua tempat. Misalnya pemilihan jenis pondasi tiang pancang di tempat padat penduduk tentu tidak tepat walaupun secara teknik cocok dan secara ekonomis sesuai dengan jadwal kerjanya. Beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam penentuan jenis pondasi :

1. Keadaan tanah yang akan dipasang pondasi
 - a. Bila tanah keras terletak pada permukaan tanah atau 2 – 3 meter di bawah permukaan tanah maka pondasi yang dipilih sebaiknya jenis pondasi dangkal (pondasi jalur atau pondasi tapak) dan pondasi strauss.
 - b. Tanah keras terletak pada kedalaman hingga kedalaman 10 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang biasanya dipakai adalah pondasi tiang minipile atau pondasi tiang pancang atau pondasi tiang apung untuk memperbaiki tanah pondasi.
 - c. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 20 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang biasanya dipakai adalah pondasi tiang pancang atau pondasi bor bilamana tidak boleh menjadi penurunan. bila terdapat batu besar pada lapisan tanah, pemakaian kaison lebih menguntungkan.
 - d. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 30 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang dipakai adalah pondasi kaison

terbuka tiang baja atau tiang yang dicor di tempat. Jika terjadi keterlambatan proses pelaksanaan maka ini dapat berpengaruh kepada proses pelaksanaan struktur berikutnya.

e. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 40 meter di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang dipakai adalah tiang baja dan tiang beton yang dicor di tempat.

2. Batasan – batasan akibat konstruksi di atasnya (*upper structure*)

Kondisi struktur yang berada di atas pondasi juga harus diperhatikan dalam pemilihan jenis pondasi. Kondisi struktur tersebut dipengaruhi oleh fungsi dan kepentingan suatu bangunan, jenis bahan bangunan yang dipakai (mempengaruhi berat bangunan yang ditanggung pondasi) dan seberapa besar penurunan yang diijinkan terjadi pada pondasi.

3. Faktor lingkungan

Faktor lingkungan merupakan faktor yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dimana suatu konstruksi tersebut dibangun. Apabila suatu konstruksi direncanakan menggunakan pondasi jenis tiang pancang, tetapi konstruksi terletak pada daerah padat penduduk, maka pada waktu pelaksanaan pemancangan pondasi pasti akan menimbulkan suara yang mengganggu penduduk sekitar.

4. Waktu perjalanan

Waktu pelaksanaan pekerjaan pondasi juga harus diperhatikan agar tidak mengganggu kepentingan umum. Pondasi tiang pancang yang membutuhkan banyak alat berat mungkin harus dipertimbangkan kembali apabila dilaksanakan

pada jalan raya dalam kota yang sangat padat karena akan menimbulkan kemacetan luar biasa.

5. Biaya

Jenis pondasi juga harus mempertimbangan besar anggaran biaya konstruksi yang direncanakan, tetapi harus tetap mengutamakan kekuatan dari pondasi tersebut agar konstruksi yang didukung oleh pondasi tetap berdiri dengan aman. Analisis jenis pondasi yang tepat dan sesuai dengan kondisi tanah juga bisa menekan biaya konstruksi. Misalnya konstruksi struktur pada lokasi dimana kondisi tanah bagus dan cukup kuat bila menggunakan pondasi telapak saja tidak perlu direncanakan menggunakan pondasi tiang. Penggunaan pondasi tiang pancang jenis *precast* yang membutuhkan biaya yang tinggi dalam bidang pelaksanaan dan transportasi bisa diganti dengan pondasi tiang yang dicor di tempat dengan spesifikasi pondasi yang sama untuk menekan biaya.

Standar daya dukung tanah menurut Peraturan Pembebanan Indonesia

Untuk Gedung tahun 1983 adalah :

1. Tanah keras (lebih dari 5 kg/cm^2)
2. Tanah sedang ($2\text{-}5 \text{ kg/cm}^2$)
3. Tanah lunak ($0,5\text{-}2 \text{ kg/cm}^2$)
4. Tanah amat lunak ($0\text{-}0,5 \text{ kg/cm}^2$).

Kriteria daya dukung tanah tersebut dapat ditentukan melalui pengujian secara sederhana. Misal pada tanah berukuran $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ yang diberi beban 5 kg tidak akan mengalami penurunan atau ambles maka tanah tersebut digolongkan

tanah keras. Ada dua kriteria yang harus dipenuhi dalam perencanaan suatu pondasi, yakni :

1. Pondasi harus ditempatkan dengan tepat, sehingga tidak longsor akibat pengaruh luar,
2. Pondasi harus aman dari kelongsoran daya dukung, dan pondasi harus aman dari penurunan yang berlebihan.

2.4 Pondasi Bored Pile (Tiang bor)

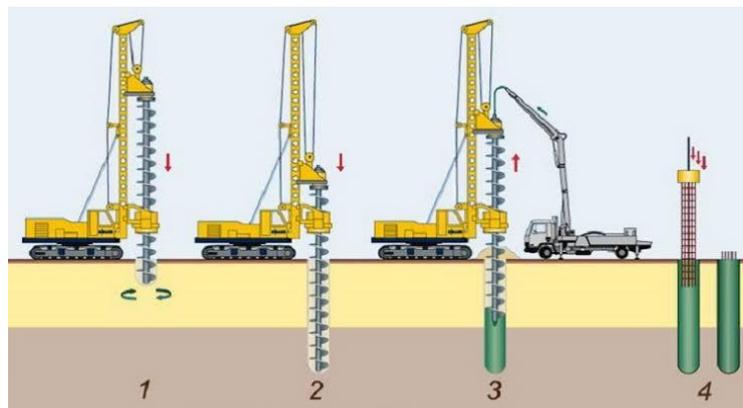
Pondasi berfungsi untuk meneruskan/mendistribusikan beban dari super struktur ke tanah agar keseluruhan bangunan dapat berdiri kokoh di atas tanah. Sedangkan pondasi bored pile digunakan untuk menjaga kestabilan lereng dinding penahan tanah termasuk pada pondasi bangunan ringan yang dibangun di atas tanah lunak serta struktur yang membutuhkan gaya lateral yang cukup besar.

Pondasi *bored pile* digunakan apabila tanah dasar yang kokoh yang mempunyai daya dukung besar terletak sangat dalam, yaitu kurang lebih 15 m. Pondasi tiang suatu konstruksi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan cara menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat dengan satu kesatuan yang monolitik dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat dibawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi (Nakazawa. K, 1983). Perencanaan pondasi bored pile mencakup rangkaian kegiatan yang dilaksanakan dengan berbagai tahap yang meliputi studi kelayakan dan perencanaan teknis, semua itu dilakukan supaya menjamin hasil akhir suatu konstruksi yang kuat, aman serta ekonomis.

Daya dukung *bored pile* diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing*

capacity) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung geser yang diperoleh dari daya dukung gesek atau gaya *adhési* antara bored pile dan tanah disekelilingnya. *Bored pile* berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas. Untuk menghasilkan daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang akurat juga.

Ada dua metode yang biasa digunakan dalam penentuan kapasitas daya dukung *bored pile* yaitu dengan menggunakan metode statis dan metode dinamis. Tiang ini biasanya dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik keatas pada waktu pengecoran beton. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan daya dukung ujung tiang. Pondasi Bored Pile disajikan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Pondasi Bored Pile
Sumber : Google Search (2024)

Ada beberapa jenis dan metode pengerjaan bore pile namun pada dasarnya seperti:

2.4.1 Bored Pile mini crane

Bored Pile mini crane adalah pondasi *bore pile*, dengan menggunakan mesin mini crane sebagai alat untuk melakukan pembuatan bore pile dengan alat bored pile mesin ini bisa dilaksanakan pengeboran dengan pilihan diameter 30cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm hingga 80 cm. Metode bored pile menggunakan sistem wet boring (bor basah), dibutuhkan air yang cukup untuk mendukung kelancaran pelaksanaan pekerjaan sehingga sumber air harus diperhatikan jika menggunakan alat bor pile ini. Pembuatan Bored Pile disajikan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Pembuatan bored pile mini crane
Sumber : dokumen pribadi (2023)

2.4.2 Bored Pile Gawangan

Bored Pile Gawangan adalah metode pembuatan pondasi bore pile yang menggunakan alat gawangan. Alat bor pile ini memiliki sistem kerja yang mirip dengan bored pile mini crane, perbedaan hanya pada desain sasis dan tiang tempat *gearbox*, kemudian juga diperlukan tambang pada kanan dan kiri alat yang dikaitkan ketempat lain agar menjaga keseimbangan alat selama

pengeboran seperti disajikan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Bored pile gawangan
Sumber : Dokumen Pribadi (2023)

2.4.3 Bored Pile Manual / Strauss Pile

Alat strauss pile ini menggunakan tenaga manual untuk memutar mata bornya, menggunakan metode bor pile kering (*dry boring*). Alat bor pile manual yang simpel, ringkas dan mudah dioperasikan serta tidak bising saat pengerjaan menjadikan cara ini banyak digunakan diberbagai proyek seperti perumahan, pabrik, gudang, pagar, dan lain-lain. Kekurangannya terbatasnya pilihan diameter yakni hanya 20 cm, 25 cm, 30 cm dan 40 cm. Tentu saja karena ini berhubungan dengan tenaga penggeraknya yang hanya tenaga manusia.

2.5 Metode Pelaksanaan Pondasi Bored Pile

Ditinjau dari segi pelaksanaannya pondasi bore pile dapat dibedakan menjadi 3 macam sistem, yaitu :

2.5.1 Sistem *Augering*

Pada sistem ini selain augernya sendiri, untuk kondisi lapangan padatanah yang mudah longsor diperlukan casing atau bentonite slurry sebagai penahan longsor. Penggunaan bentonite slurry untuk kondisi lapisan tanah yang permeabilitynya besar tidak disarankan, karena akan membuat bentonite slurry menjadi banyak dan mengakibatkan terjadinya perembesan melalui lapangan permeable tersebut. Sistem *Augering* disajikan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Sistem *Augering*
Sumber : Dokumen Pribadi (2023)

2.5.2 Sistem *Grabbing*

Pada penggunaan sistem ini diperlukan casing (continuous semirotary motion casing) sebagai penahan kelongsoran. Casing tersebut dimasukkan ke dalam tanah dengan cara ditekan sambil diputar. Sistem ini sebenarnya cocok untuk semua kondisi tanah, tetapi yang paling sesuai adalah kondisi tanah yang sulit ditembus.

2.5.3 Sistem Wash Boring

Pada sistem ini diperlukan casing sebagai penahan kelongsoran dan juga pompa air untuk sirkulasi airnya yang dipakai untuk pengeboran. Sistem ini cocok untuk kondisi tanah pasir lepas. Metode pengeboran dengan bantuan air dalam proses pengeborannya sekaligus untuk mengangkat sampah tanah sisa pengeboran. Untuk jenis bore pile ini perlu diberikan tambahan tulangan praktis untuk penahan gaya lateral yang terjadi. Penulangan minimum 2% dari luas penampang tiang.

Dalam menjalankan metode pelaksanaan pondasi bored pile, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

a. Persiapan Lokasi Pekerjaan (Site Preparation)

Pelajari Lay-out pondasi dan titik-titik bore pile, membersihkan lokasi pekerjaan dari gangguan yang ada seperti bangunan-bangunan, tanaman atau pohon-pohon, tiang listrik atau telepon, kabel dan lain-lainnya.

b. Rute / Alur Pengeboran

Merencanakan alur / urutan pengeboran sehingga setiap pergerakan mesin RCD, Excavator, Crane dan Truck Mixer dapat termobilisasi tanpa halangan.

c. Survey Lapangan dan Penentuan Titik Pondasi

Survey yang dilakukan pada awal pekerjaan di lokasi pekerjaan, yang bertujuan untuk memperoleh data awal sebagai bagian penting bahan kajian teknis dan bahan untuk pekerjaan selanjutnya. Mengukur dan menentukan posisi titik koordinat bore pile dengan bantuan alat Theodolite.

d. Pemasangan Stand Pipe/ casing

Setelah mencapai suatu kedalaman yang ‘mencukupi’ untuk menghindari tanah di tepi lubang berguguran maka perlu di pasang casing, yaitu pipa yang mempunyai ukuran diameter dalam kurang lebih sama dengan diameter lubang bor. Stand pipe/casing dipasang dengan ketentuan bahwa pusat dari stand pipe harus berada pada titik pondasi yang telah disurvei. Pemasangan stand pipe dilakukan dengan bantuan Excavator (*Back Hoe*).

Meskipun mesin bornya berbeda, tetapi pada prinsipnya cara pemasangan casing sama: diangkat dan dimasukkan pada lubang bor. Tentu saja kedalaman lubang belum sampai bawah, Kalau nunggu sampai kebawah, maka bisa-bisa tanah berguguran se. Lubang tertutup lagi. Jadi pemasangan casing penting.

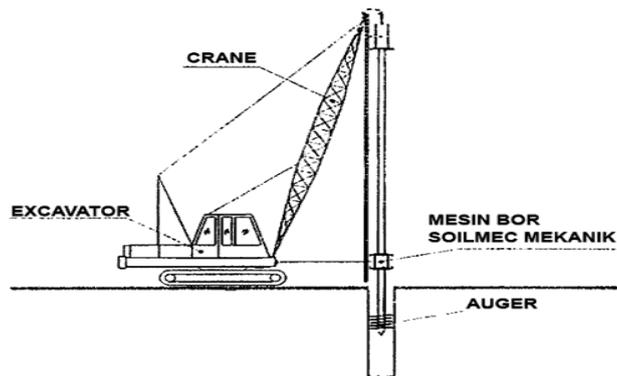
2.6 Pembuatan Drainase dan Kolam Air

Kolam air berfungsi untuk tempat penampungan air bersih yang akan digunakan untuk pekerjaan pengeboran sekaligus untuk tempat penampungan air bercampur lumpur hasil dari pengeboran. Ukuran kolam air 3m x 3m x 2,5m dan drainase/parit penghubung dari kolam ke stand pipe berukuran 1,2 m, kedalaman 0,7m (tergantung kondisi). Jarak kolam air tidak boleh terlalu dekat dengan lubang pengeboran, sehingga lumpur dalam air hasil pengeboran mengendap dulu sebelum airnya mengalir kembali kedalam lubang pengeboran.

Lumpur hasil pengeboran yang mengendap didalam kolam diambil (dibersihkan) dengan bantuan Excavator. Setting Mesin RCD (*RCD Machine Instalation*). Setelah stand pipe terpasang, mata bor sesuai dengan diameter yang ditentukan dimasukkan terlebih dahulu kedalam stand pipe, kemudian beberapa

buah pelat dipasang untuk memperkuat tanah dasar kedudukan mesin RCD (*Rotary Circle Dumper*), kemudian mesin RCD diposisikan dengan ketentuan sebagai berikut.

- a. Mata bor disambung dengan stang pemutar, kemudian mata bor diperiksa apakah sudah benar-benar berada pada pusat/as stand pipe (titik pondasi).
 - Posisi mesin RCD harus tegak lurus terhadap lubang yang akan dibor (yang sudah terpasang stand pipe), hal ini dapat dicek dengan alat waterpass).
 - Proses Pengeboran (Drilling Work). Proses pengeboran disajikan pada gambar 2.10.



Gambar 2.9 Skematik alat- alat yang digunakan untuk mengebor
Sumber : Aziz (2021)

Proses pengeboran dilakukan dengan memutar mata bor ke arah kanan, dan sesekali diputar ke arah kiri untuk memastikan bahwa lubang pengeboran benar-benar mulus, sekaligus untuk menghancurkan tanah hasil pengeboran supaya larut dalam air agar lebih mudah dihisap. Proses pengeboran dilakukan secara bersamaan dengan proses penghisapan lumpur hasil pengeboran, oleh karena itu air yang ditampung pada kolam air harus dapat

memenuhi sirkulasi air yang diperlukan untuk pengeboran. Setiap kedalaman pengeboran ± 3 meter, dilakukan penyambungan stang bor sampai kedalaman yang diinginkan tercapai. Jika kedalaman yang diinginkan hampir tercapai (± 1 meter lagi), maka proses penghisapan dihentikan (mesin pompa hisap tidak diaktifkan), sementara proses pengeboran terus dilakukan sampai kedalaman yang diinginkan (dapat diperkirakan dari stang bor yang sudah masuk), selanjutnya stang bor dinaikkan sekitar 0,5-1 meter, lalu proses penghisapan dilakukan terus sampai air yang keluar dari selang buang kelihatan lebih bersih (± 15 menit). Kedalaman pengeboran diukur dengan meteran pengukur kedalaman, jika kedalaman yang diinginkan belum tercapai maka proses yang tadi dilakukan kembali. Jika kedalaman yang diinginkan sudah tercapai maka stang bor boleh diangkat dan dibuka.

b. Instalasi Tulangan dan Pipa Tremie

Tulangan yang digunakan sudah harus tersedia lebih dahulu sebelum pengeboran dilakukan, sehingga begitu proses pengeboran selesai, langsung dilakukan instalasi tulangan, hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya kelongsoran dinding lubang yang sudah selesai dibor. Tulangan harus dirakit rapi dan ikatan tulangan spiral dengan tulangan utama harus benar-benar kuat sehingga pada waktu pengangkatan tulangan oleh crane tidak terjadi kerusakan pada tulangan (ikatan lepas dan sebagainya). Proses instalasi tulangan dilakukan sebagai berikut :

- 1) Posisi crane harus benar-benar diperhatikan, sehingga tulangan yang akan dimasukkan benar-benar tegak lurus terhadap lubang bor, dan juga pada

waktu pengecoran tidak menghalangi jalan masuk truck mixer.

- 2) Pada tulangan diikat dua buah sling, satu buah pada ujung atastulangan dan satu buah lagi pada bagian sisi memanjang tulangan. Pada bagian dimana sling diikat, ikatan tulangan spiral dengan tulangan utama diperkuat (bila perlu dilas), sehingga pada waktu tulangan diangkat, tulangan tidak rusak (ikatan spiral dengan tulangan utama tidak lepas). Pada setiap sambungan (bagian overlap) sebaiknya dilas, karena pada proses pengecoran, sewaktu pipa tremie dinaikkan dan diturunkan kemungkinan dapat mengenai sisi tulangan yang dapat menyebabkan sambungan tulangan lepas dan tulangan terangkat ke atas.
- 3) Tulangan diangkat dengan menggunakan dua hook crane, satu pada sling bagian ujung atas dan satu lagi pada bagian sisi memanjang, pengangkatan dilakukan dengan menarik hook secara bergantian sehingga tulangan benar-benar lurus, dan setelah tulangan terangkat dan sudah tegak lurus dengan lubang bor, kemudian dimasukkan pelan-pelan ke dalam lubang, posisi tulangan terus dijaga supaya tidak menyentuh dinding lubang bor dan posisinya harus benar-benar di tengah/ di pusat lubang bor.
- 4) Jika level yang diinginkan berada di bawah permukaan tanah, maka digunakan besi penggantung.
- 5) Setelah tulangan dimasukkan, kemudian pipa tremie dimasukkan. Pipa tremie disambung-sambung untuk memudahkan proses instalasi dan juga untuk memudahkan pemotongan tremie pada waktu pengecoran. Ujung pipa tremie berjarak 25-50 cm dari dasar lubang pondasi. Jika jaraknya kurang

dari 25 cm maka pada saat pengecoran beton lambat keluar dari tremie, sedangkan jika jaraknya lebih dari 50 cm maka pada saat pertama kali beton keluar dari tremie akan terjadi pengenceran karena bercampur dengan air pondasi (penting untuk diperhatikan). Pada bagian ujung atas pipa tremie disambung dengan corong pengecoran.

c. Pengecoran dengan Ready Mix Concrete

- 1) Proses pengecoran harus segera dilakukan setelah tulangan dan pipa tremie selesai, guna menghindari kemungkinan terjadinya kelongsoran pada dinding lubang bor. Oleh karena itu pemesanan ready mix concrete harus dapat diperkirakan waktunya dengan waktu pengecoran. Proses pengecoran dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut :
- 2) Pipa tremie dinaikkan setinggi 25-50 cm di atas dasar lubang bor, air dalam pipa tremie dibiarkan dulu stabil, kemudian dimasukkan bola karet yang diameternya sama dengan diameter dalam pipa tremie, yang berfungsi untuk menekan air campur lumpur ke dasar lubang sewaktu beton dituang pertama sekali, sehingga beton tidak bercampur dengan lumpur.
- 3) Pada awal pengecoran, penuangan dilakukan lebih cepat, hal ini dilakukan supaya bola karet dapat benar-benar menekan air bercampur lumpur di dalam pipa tremie, setelah itu penuangan distabilkan sehingga beton tidak tumpah dari corong.
- 4) Jika beton dalam corong penuh, pipa tremie dapat digerakkan naik turun dengan syarat pipa tremie yang tertanam dalam beton minimal 1 meter pada saat pipa tremie dinaikkan. Jika pipa tremie yang tertanam dalam beton terlalu panjang, hal ini dapat memperlambat proses syarat bahwa pipa tremie

yang masih tertanam dalam beton minimal 1 meter.

2.7 Metode Pelaksanaan Pondasi Strauss Pile

Strauss pile salah satu jenis pondasi struktur untuk konstruksi bangunan di mana dapat dikerjakan tanpa menggunakan peralatan mesin karena dibangun dengan cara menggali tanah secara manual memanfaatkan alat bor auger. Proses tersebut menggunakan tenaga dari manusia. Dalam menjalankan pelaksanaan metode pondasi strauss pile, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Pekerjaan lokasi pekerjaan (*Site Preparation*)

Pelajari *lay-out* pondasi dan titik-titik yang akan di bor, membersihkan lokasi pekerjaan dari gangguan yang ada seperti bangunan-bangunan, tanaman, atau pohon- pohon, tiang listrik, atau telepon, kabel dan lainnya.

2. Rute / Alur pengeboran (*Route of boring*)

Mengatur alur pengeboran ini menentukan efisiensi kerja agar tidak ada titik bor yang terlewatkan.

a. Persiapan Pengeboran

Persiapan kerja sangat sederhana dan hanya membutuhkan waktu beberapa menit saja untuk mengatur alat berupa mata bor, pipa, setang dan alat pendukung lainnya.

b. Pengeboran

Tanah di bor dengan besar diameter sesuai perencanaan tiang *strauss*. Mata bor diputar dan diberi beban tekanan sampai dirasa sudah dipenuhi tanah lalu diangkat dan dibuang tanahnya. Langkah ini dilakukan terus-menerus

hingga mencapai kedalaman yang diinginkan. Pengeboran tanah dikerjakan 2 orang untuk 1 alat (kadang kala ada juga yang dikerjakan 3 orang atau 4 orang).

c. Pembesian

Pengerjaan pembesian ini dilakukan dengan membuat besi spiral sebagai pengekang dan pemotongan besi pokok untuk tulangan utamanya, dilanjutkan dengan perangkaiannya sesuai dengan gambar kerja hingga menjadi kerangka tulangan yang siap dipasang.

d. Pengecoran

Pada dasarnya, pekerjaan pengecoran ini sama dengan yang telah dijelaskan di atas, yang mana tahap terakhir ini, pengecoran dilakukan dengan menggunakan pipa paralon (pipa tremi) sebagai penghantar cor hingga ke dasar agar beton tidak mengalami segregasi.

2.7.1 Pondasi Tiang Berdasarkan Data Sondir

Bagian dari struktur yang digunakan untuk menerima dan menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah pada kedalaman tertentu. Penggunaan pondasi tiang adalah karena letak tanah keras yang cukup dalam. Diantara perbedaan tes dilapangan, sondir atau *cone penetration test* (CPT) seringkali sangat dipertimbangkan berperan dari geoteknik. CPT atau sondir merupakan tes yang cepat, sederhana, ekonomis, dan tes sondir dapat dipercaya dilapangan dengan pengukuran terus-menerus dari permukaan tanah dasar.

CPT atau sondir dapat juga mengklasifikasikan lapisan tanah dan dapat memperkirakan kekuatan dan karakteristik dari tanah. Didalam perencanaan

pondasi tiang, data tanah sangat diperlukan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) tiang sebelum pembangunan dimulai, guna menentukan kapasitas daya dukung ultimit dari pondasi tiang. Untuk melakukan perencanaan pondasi perhitungan daya dukung tiang berdasarkan data hasil pengujian sondir dihitung dengan menggunakan metode *Aoki dan De Alencar*.

2.7.2 Metode Aoki dan De Alencar

Dalam merencanakan pondasi tiang pancang, dibutuhkan data tanah geser hal tersebut dilakukan untuk mencari daya dukung ultimit pada tiang pancang. Aoki dan De Alencar menentukan sebuah metode untuk menentukan daya dukung bore pile berdasarkan hasil pengujian sondir (CPT) dengan menentukan dapat dukung ultimit pondasi. Untuk daya dukung pondasi tiang menggunakan metode dinyatakan dengan rumus:

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (2.1)$$

$$Q_b = q \cdot A_p \quad (2.2)$$

Dimana :

Q_u = Kapasitas daya dukung tiang (kg)

Q_b = Kapasitas daya dukung ujung tiang (kg)

Q_s = Kapasitas daya dukung gesekan tiang (kg)

q_b = Tahanan ujung sondir (kg/cm)

A_p = Luas penampang tiang (cm) A_s = Luas selimut tiang (cm²)

F_s = Tahanan gesekan tiang berdasarkan data sondir (kg)

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

$$q_b = \frac{q_c(base)}{F_b} \quad (2.3)$$

Dimana:

$q_c(base)$ = perlawanan konus rata-rata 1,5 D di atas ujung tiang sampai 1,5 D di bawah ujung tiang

F_b = faktor empirik tergantung pada tipe tanah.

Tabel 2.1. Faktor Empirik F_b

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

Untuk kapasitas daya dukung selimut tiang (Q_s), didapat dari perkalian antara :

$$Q_s = A \cdot F_s \quad (2.4)$$

$$A_s = \pi \times \text{diameter tiang} \times \text{tinggi tiang} \quad (2.5)$$

$$F_s = 0,012 \cdot q_s \quad (2.6)$$

Dimana :

q_s = Nilai rata-rata hambatan pelekak konus

Besarnya beban yang bekerja atau kapasitas ijin tiang bor dengan memperhatikan kemandan terhadap keruntuhan maka nilai ultimit (Q_u) dibagi dengan faktor keamanan yang sesuai.

2.7.3 Metode Meyerhoff

Meyerhoff mengembangkan formula untuk memperhitungkan kondisi tanah yang tidak homogen dimana lapisan tanah pertama selalu lebih kuat dari lapisan tanah kedua pada tahun 1978. Teori daya dukung Meyerhoff (1974) mirip dengan teori Terzaghi dalam menghitung tegangan geser tanah di bawah kaki pondasi. Meyerhoff, di sisi lain, mengasumsikan bahwa mekanisme keruntuhan meluas keatas menuju permukaan tanah. Schretmann merekomendasikan rumus daya dukung tiang bor tiang berikut untuk berbagai jenis tanah dan jenis tiang: Untuk jenis tanah dan jenis tiang yang berbeda, Schretmann menganjurkan formula daya dukung untuk tiang Bore Pile, sebagai berikut :

$$Q_{ult} = (Q_p + Q_s) = (q_c \times A_p) + (JHL \times K) \quad (2.7)$$

Dimana :

Q_{ult} = Daya dukung ultimate (ton)

Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)

q_c = Tahanan ujung sondir

A_p = Luas penampang tiang

JHL = Jumlah hambatan lekat

K = Keliling tiang

Untuk tiang dengan desakan tanah yang seperti tiang bor, maka kapasitas izin tiang, sehingga menjadi :

$$Q_{izin} = \frac{Q_{ult}}{SF} \quad (2.8)$$

Dimana :

Q_u = Kapasitas daya dukung tiang tunggal

SF = *safety factor*

W_p = Berat tiang

2.7.4 Metode Schertmann dan Nottingham

Metode Schertmann dan Nottingham mengusulkan untuk perhitungan daya dukung berdasarkan data hasil sondir sebagai berikut :

a. Tahanan Ujung Satuan

Tahanan ujung satuan tiang pada pasir menurut Schertmann dan Nottingham yaitu menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_b = A_b \omega q_{ca} \quad (2.9)$$

Keterangan :

A_b = luas ujung bawah tiang (cm^2)

ω = koefisien korelasi

q_{ca} = tahanan konus rata-rata (kg/cm^2)

Dalam metode schertmann dan Nottingham (1975) tahanan ujung tiang per satuan luas diperoleh dari nilai rata-rata q_c disepanjang $8d$ diatas dasar tiang sampai $0,7d$ atau $4d$ dibawah tiang. Langkah-langkah penentuan q_c adalah sebagai berikut:

1. Perhatikan diagram tahanan kerucut (q_c) per kedalamannya dan pilihlah kedalaman sementara yang dianggap mendekati kapasitas ultimit tiang yang dipakai.
2. Pada kedalaman tiang yang ditinjau, perhatikan tahanan konus rata-rata q_c yang diambil pada jarak $8d$ diatas kedalaman ujung tiang dan $4d$ dibawahnya.

3. Tentukan q_{c1} dengan menghitung nilai rata-rata tahanan kerucut q_c pada zona 4D dibawah dasar tiang.
4. Tentukan q_{c2} dengan menghitung nilai rata-rata tahanan kerucut q_c pada zona 8D diatas tiang.
5. Hitung $q_{ca} = \frac{1}{2} (q_{c1} + q_{c2})$
6. Dengan menggunakan nilai-nilai dalam tabel 2.2, tentukan ω guna memperhatikan pengaruh kadar kerikil atau OCR
7. Hitung tahanan ujung satuan dengan persamaan sebagai berikut :

$$f_b = \omega q_{ca} \leq 150 \text{ kg/cm}^2 \text{ (15.000 kN/cm}^2\text{)} \quad (2.10)$$

Keterangan :

f_b : tahanan ujung satuan (kg/cm^2)

ω : koefisien korelasi yang bergantung pada OCR (tabel 2.3)

q_{ca} : $\frac{1}{2} (q_{c1} + q_{c2})$ (kg/cm^2)

q_{c1} : q_c rata-rata pada zona 0,7d atau 4d dibawah dasar tiang (kg/cm^2)

q_{c2} : q_c rata-rata pada zona 8d diatas tiang (kg/cm^2)

Nilai ω berkisar antara 0,5 sampai 1 bergantung pada rasio konsolidasi berlebihan OCR (*Over Consolidation Ratio*). Hubungan q_{ca} dan tahanan ujung satuan dengan menggunakan ω dari Tabel 2.3, biasanya juga dapat digunakan untuk ujung tiang yang terletak pada lapisan lempung.

Tabel. 2.2 Variasi nilai K_b

K_b	Jenis Tiang
0,35	Drilling pilles
0,3	Jacked pilles

Sumber : Hadiyanto 2011

Tabel. 2.3 Faktor ω (deRuiter dan Beringen, 1979)

Kondisi tanah	Faktor ω
Pasir terkonsolidasi normal (OCR =1)	1
Pasir mengandung banyak kerikil kasar; pasir dengan OCR = 2 sampai 4	0,67
Kerikil halus ; pasir dengan OCR = sampai 10	0,5

Sumber : Hadiyanto 2011

b. Tahanan gesek satuan

Tahanan gesek satuan dapat ditentukan dari tahanan konus q_c sebagai berikut :

$$Q_s = f_s \times A_s \quad (2.11)$$

Keterangan :

f_s : tahanan gesek satuan ((kg/cm²) nilainya dibatas sampai 1,2 (kg/cm²)

q_c : tahanan gesek sisi konus (kg/cm²)

K_c : koefisien tak berdimensi tiang beton $k_c = 1,2\%$

c. Daya dukung ultimit tiang dan daya dukung izin

$$Q_u = Q_b + Q_s$$

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} \quad (2.12)$$

Keterangan :

Q_u = daya dukung ultimit tiang

Q_b = daya dukung ujung tiang

Q_s = daya dukung sisi tiang

Q_a = daya dukung izin tiang

$SF = Safety Factor$

2.8 Penulangan Pondasi Bored Pile

Jika dimensi / penampang pondasi ditentukan oleh gaya aksial/berat bangunan yang dipikul masing-masing kolom, maka penulangan pondasi ditentukan oleh gaya momen dan gaya geser yang bekerja pada pondasi tersebut. Dengan perhitungannya sebagai berikut

2.8.1 Hitung Tulangan Utama

Untuk menentukan presentasi tulangan kolom menggunakan grafik interaksi kolom dengan langkah-langkah sebagai berikut :

Menentukan momen nominal (M_n)

$$M_n = \phi \cdot M_u \quad (2.13)$$

Dimana:

ϕ = faktor reduksi kekuatan tekan dengan tulangan spiral 0,70

M_n = Momen nominal yang bekerja

M_u = Momen maksimum yang bekerja pada tiang.

2.8.2 Jumlah tiang yang diperlukan

Perhitungan dari jumlah tiang yang diperlukan pada suatu titik kolom menggunakan beban aksial yaitu dengan kombinasi beban DL + LL (beban tak terfaktor). Jumlah tiang yang diperlukan dihitung dengan membagi gaya aksial yang terjadi dengan daya dukung tiang.

$$N_p = \frac{p}{p_{all}} \quad (2.14)$$

Dimana:

N_p = jumlah tiang

P = gaya aksial yang terjadi

P_{all} = daya dukung ijin tiang.