

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Pada perencanaan dalam suatu bangunan, terbagi atas dua perencanaan utama, yaitu perencanaan struktur bawah dan perencanaan struktur atas. Pada perencanaan struktur bawah meliputi pekerjaan bangunan yang berada di bawah permukaan tanah atau kita sebut juga dengan pekerjaan pondasi. Sedangkan pada perencanaan struktur atas meliputi berbagai pekerjaan bangunan yang berada di atas permukaan tanah, yaitu pekerjaan rangka bangunan.

3.2 Tanah Sebagai Penopang Pondasi

Tanah berperan penting sebagai penopang struktur bawah pada suatu pekerjaan konstruksi dan sebagai penopang beban struktur atas. Menurut (Nakazawa, 1983) tanah adalah 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/dinding penahan tanah. Jadi tanah 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.

3.2.1 Klasifikasi Tanah

Menurut (Nakazawa, 1983) suatu klasifikasi mengenai tanah adalah perlu memberikan gambaran sepintas mengenai sifat-sifat tanah dalam menghadapi perencanaan dan pelaksanaan. Jadi, untuk maksud pemanfaat contoh-contoh

perencanaan dan pelaksanaan di masa yang lampau atau ketelitian penggunaan syarat-syarat perencanaan yang digunakan dalam peraturan perencanaan (spesifikasi perencanaan), ternyata diperlukan suatu klasifikasi tanah yang dikelompokkan menurut suatu kriteria yang sama.

Klasifikasi tanah diperlukan antara lain bagi hal-hal sebagai berikut :

1. Perkiraan hasil eksplorasi tanah (persiapan log-bor tanah dan peta tanah dll).
2. Perkiraan standar kemiringan lereng dari penggalian tanah atau tebing.
3. Perkiraan pemilihan bahan (penentuan tanah yang harus disingkirkan, pemilihan tanah dasar, bahan tanah timbunan dll).
4. Perkiraan persentase maui dan susut.
5. Pemilihan jenis konstruksi dan peralatan untuk konstruksi (pemilihan cara penggalian dan rancangan penggalian).
6. Perkiraan kemampuan peralatan untuk konstruksi.
7. Rencana pekerjaan/pembuatan lereng dan tembok penahan tanah dll. (pemilihan jenis konstruksi dan perhitungan tekanan tanah).

Untuk menentukan dan mengklasifikasi tanah, diperlukan suatu pengamatan di lapangan dan suatu percobaan lapangan yang sederhana. Tetapi jika sangat mengandalkan pengamatan di lapangan, maka kesalahan-kesalahan yang disebabkan oleh perbedaan pengamatan perorangan, akan menjadi sangat besar, untuk memperoleh hasil klasifikasi yang objektif, biasanya tanah sepiintas dibagi dalam tanah berbutir kasar dan berbutir halus berdasarkan hasil analisa mekanis.

3.2.2 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah di lapangan memiliki tujuan untuk mengetahui suatu kondisi dari tanah serta jenis lapisan agar suatu bangunan berdiri stabil dan tidak mengalami penurunan (*settlement*) yang besar, sehingga pondasi bangunan harus

mencapai pada lapisan tanah yang padat (tanah keras) seperti yang dinyatakan oleh (Gunawan dkk, 1983). Maka untuk itu harus dilakukan penyelidikan tanah, baik penyelidikan di lapangan (lokasi bangunan) maupun penelitian di laboratorium, hal ini tentunya bertujuan untuk dapat mengetahui kedalaman lapisan tanah padat, kapasitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) serta daya dukung pondasi yang diizinkan harus dilakukan penyelidikan tanah.

Penyelidikan tanah dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu :

1. *Cone Penetration Test/Sondir*

Uji Sondir (CPT) merupakan uji tanah invasive yang bertujuan untuk menentukan jenis strata tanah, sifat tanah, serta parameter kekuatan. Uji ini dapat dilakukan berulang, dan paling cocok baik untuk tanah pasir juga tanah liat. Meskipun pada tes ini tidak dengan mengambil sampel untuk pengujian di laboratorium, tes ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan sejumlah besar informasi fisik berdasarkan korelasi dengan pengujian berdampingan dengan metode pengujian lain seperti SPT.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat sondir yang dapat mengukur nilai perlawanan ujung sondir (*cone penetration resistance*) serta hambatan lekat (*local friction*) di lapangan secara langsung. Hasil dari penyelidikan sondir berupa kompilasi data bacaan manometer di lapangan yang tersaji berupa grafik-grafik sondir, yang memperlihatkan pola perlawanan lapisan-lapisan tanah bawah terhadap penetrasi bikonus, yang mana dinyatakan dengan perlawanan ujung sondir (q_c), jumlah hambatan pelekat (TCF), gesekan lokal (q_s) dan juga rasio gesekan (FR), kesemuanya tersebut vs kedalaman. Berdasarkan hasil-hasil pengujian sondir akan diungkapkan pula susunan dan ketebalan lapisan-lapisan tanah bawah, dapat

diperkirakan pula macam-macam tanah penyusun lapisan-lapisan tersebut, serta penyebaran dalam luasan area medan.

2. *Deep Boring*

Pemboran atau *deep boring* dilakukan dengan menggunakan mesin bor guna mendapatkan contoh tanah. Metode pemboran dapat dilaksanakan dengan berbagai sistem yang telah ada. Misalnya seperti pada proyek Apartemen Klaska Residence Tower 1 ini, yaitu mengangkat dengan sistem coring (*core drilling*) yang mana berbeda dengan metode pemboran basah (*washed boring*). Berdasarkan pemboran inti nantinya akan didapatkan contoh tanah yang lebih mendekati keadaan aslinya di dalam lapisan kulit bumi, daripada berupa lumpur (*mud, slurry*) seperti yang biasanya dihasilkan pada pemboran basah (*washed boring*).

3. *Standard Penetration Test*

Standard Penetration Test merupakan metode eksplorasi tanah yang paling umum untuk desain pondasi. Uji SPT tidak hanya memberikan informasi dari mana kekuatan tanah dapat diperkirakan, tetapi juga memberikan sampel fisik yang dapat diperiksa secara visual atau digunakan untuk klasifikasi di laboratorium.

Uji penetrasi standar dilaksanakan pada lubang bor sesudah pengambilan contoh tanah pada setiap interval kedalaman. Uji ini dilakukan guna mendapatkan parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah di lapangan. Parameter tersebut berupa jumlah pukulan palu yang dicatat dan didefinisikan

sebagai nilai N-SPT. Hasil dari SPT ini ditunjukkan dalam bentuk diagram lengkap pada boring log.

3.3 Struktur Bawah

Struktur bawah merupakan seluruh bagian struktur yang terdapat di dalam tanah maupun berada di bawah permukaan tanah. Struktur bawah dari pada suatu bangunan terdiri dari pile cap serta yang tak kalah penting dan berperan besar yaitu pondasi itu sendiri. Untuk mendukung sistem pembebanan berat dalam memikul beban bangunan di atasnya, maka perlu dikaji dalam memilih pondasi yang sesuai. Sebab pondasi yang berberperan sebagai pokok utama dalam struktur bawah akan bekerja dalam menerima seluruh muatan dari sebuah bangunan, dimana hal ini termasuk beban-beban yang bekerja pada bangunan, beban seluruh struktur di atasnya, serta berat pondasi itu sendiri, yang lalu akan diteruskan oleh pondasi ke tanah dasar sebaik mungkin.

3.3.1 Pengertian Pondasi

(Hardiyatmo, H.C. 2002) menjelaskan bahwa pondasi merupakan komponen struktur terendah dari sebuah bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada di bawahnya.

(Bowles, 1977) menyatakan pondasi adalah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada kedalaman tanah dan batuan yang terletak dibawahnya.

(Braja M. Das, 2011) teknik pondasi adalah kombinasi cerdas dari mekanika tanah, geologi teknik, dan penilaian yang tepat yang berasal dari pengalaman masa lalu. Sampai batas tertentu, itu bisa disebut seni.

Fungsi dari pondasi adalah sebagai berikut :

1. Memberikan stabilitas lateral keseluruhan dari sebuah struktur
2. Menyediakan permukaan yang rata untuk konstruksi
3. Pendistribusi beban secara merata dari struktur atas menuju tanah

3.3.2 Macam-macam Pondasi

Ketika menentukan pondasi apa yang paling ekonomis, perlu mempertimbangkan beban bangunan struktur atas,, kondisi lapisan tanah serta penurunan yang dapat ditoleransi yang diizinkan. Secara umum, fondasi bangunan dibagi menjadi dua kategori besar, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Berikut adalah jenis pondasi yang termasuk dari pondasi dangkal dan pondasi dalam.

A. Pondasi Dangkal (*Shallow Foundation*)

1. Pondasi Telapak (*Foot Plate Foundation*)

Pondasi telapak adalah suatu pondasi yang mendukung pembebanan bangunan secara langsung pada tanah pondasi, bilamana terdapat lapisan tanah yang tebal dengan kualitas yang baik sehingga mampu mendukung bangunan pada permukaan tanah maupun sedikit di bawah permukaan tanah. Pondasi telapak umumnya digunakan untuk bangunan rumah tinggal serta pada gedung bertingkat ringan. Dibangun di atas tanah pendukung pondasi dengan memperluas bagian bawah dari kolom dengan membentuk suatu telapak (*foot plate*) yang dimensinya disesuaikan dengan beban bangunan serta daya dukung tanah pondasi, sehingga menyebarkan beban bangunan

menjadi tegangan yang lebih kecil. Pondasi telapak dibagi menjadi empat jenis :

a. Pondasi Telapak Tunggal (*Independent Footing*)

Pondasi telapak tunggal digunakan pada kedalaman tanah lebih dari 1.2 meter dari muka tanah, serta dibangun di bawah kolom-kolom utama dari pendukung suatu bangunan, hingga lalu beban bangunan dilimpahkan pada kolom-kolom utama lalu diteruskan menuju ke pondasi. Biasanya pondasi telapak tunggal dibangun untuk memikul kolom tunggal, menara, dll.

b. Pondasi Telapak Menerus (*Continous Footing/ Wall Footing*)

Pada pondasi menerus (*continuous footing*) dibangun di bawah sepanjang dinding bangunan, dengan menggunakan dimensi yang sama besar. Pondasi ini umumnya dipakai dengan kedalaman 0.80-1.20 meter dari permukaan tanah. Pada pondasi menerus, seluruh beban bangunan di atas disebarkan secara merata di sepanjang balok sloof, hingga kemudian diteruskan ke pondasi secara merata. Biasanya pondasi telapak menerus dibangun untuk memikul suatu bangunan yang panjang, misalnya dinding bangunan, maupun dinding penahan tanah.

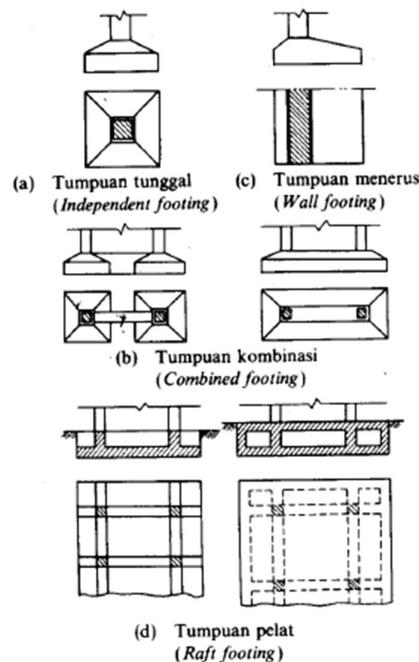
c. Pondasi Telapak Kombinasi/Gabungan (*Combined Footing*)

Pondasi telapak kombinasi/gabungan merupakan pondasi pelat yang cukup serupa dengan telapak tunggal, namun mendukung beban dari kolom lebih dari satu. Pondasi telapak gabungan

seringkali dibangun bila suatu luas tanah untuk sebuah bangunan dalam kondisi terbatas.

d. Pondasi Pelat (*Raft Footing*)

Pondasi pelat merupakan pelat beton (*footing*) yang berbentuk rakit dan menutupi seluruh area di bawah struktur serta menopang semua dinding dan kolom, untuk meneruskan beban bangunan ke lapisan tanah dasar maupun batu-batuan di bawahnya. Pondasi pelat diletakkan secara langsung di atas tanah maupun batu, namun juga dapat ditopang di atas tiang pancang. Pondasi pelat digunakan pada bangunan seperti menara air, cerobong asap, silo, dll. Pondasi pelat umumnya disarankan dalam situasi beban bangunan sangat berat ataupun tekanan yang diijinkan pada tanah sangat kecil, sehingga masing-masing pondasi akan menutupi lebih luas dari lantai.



Gambar 3.1 Jenis-jenis Pondasi Telapak

2. Pondasi Cakar Ayam

Pondasi cakar ayam diciptakan oleh Prof. Sedijatmo pada tahun 1962 untuk mengatasi masalah pondasi bagi tiang transmisi di tanah lembek. Pondasi cakar ayam ini terdiri oleh pelat beton setebal 15 cm. Pondasi cakar ayam dapat digunakan untuk mendukung bangunan-bangunan seperti gedung, menara, jembatan, dll. Dapat juga digunakan sebagai konstruksi perkerasan bagi lapangan terbang maupun pada jalan raya. Bagi tanah yang sangat lunak (dimana dengan daya dukung kurang dari 5 t/m²) pondasi cakar ayam dapat dikatakan jauh lebih ekonomis dibandingkan dengan pondasi konvensional seperti tiang pancang.

3. Pondasi Batu Kali

Pondasi batu kali adalah suatu pondasi yang berfungsi sebagai penahan dinding, yang biasanya digunakan pada bangunan sederhana. Pondasi ini terdiri atas batu kali, serta perekat yang berupa pasta semen (campuran pasir, air dan semen). Pada umumnya, campuran agregat untuk merekatkan batu kali menggunakan perbandingan 1 : 3, hal ini dikarenakan batu kali akan selalu menerima rembesan air dari tanah. Sehingga dibutuhkan campuran yang lebih kuat dalam menahan rembesan.

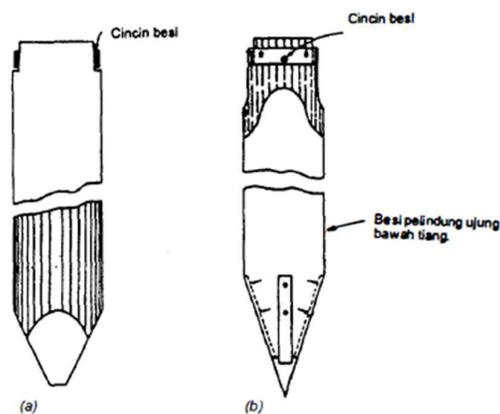
B. Pondasi Dalam (*Deep Foundation*)

1. Pondasi Tiang

Pondasi tiang merupakan konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal (gaya horizontal pada tiang tegak) terhadap sumbu tiang. Pondasi tiang berfungsi membuat menjadi satu kesatuan dengan menyatukan pangkal tiang pancang yang ada di bawah bangunan konstruksi, dengan tumpuan pondasi. Pondasi tiang dibedakan yaitu sebagai berikut :

a. Pondasi Tiang Kayu

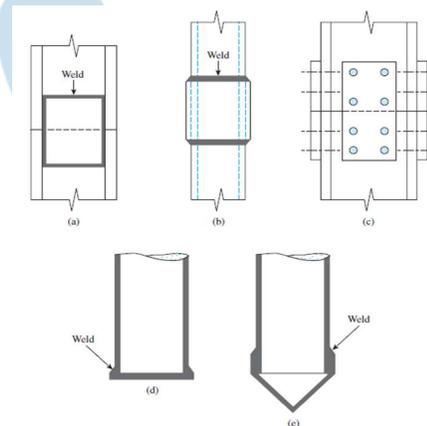
Pondasi tiang kayu pada umumnya terbilang murah dan mudah dalam pengerjaannya. Pada permukaannya dapat dilindungi maupun tidak dilindungi, dapat bergantung dari kondisi tanah tersebut. Tiang kayu tentunya dapat mengalami pembusukan, ataupun rusak akibat dimakan oleh serangga. Maka untuk menghindari kerusakan tersebut, ujung tiang kayu dapat dilindungi dengan sepatu dari besi pada saat pemancangannya. Beban maksimum yang diterima oleh tiang kayu tunggal dapat mencapai 270 – 300 kN.



Gambar 3.2 Tiang Kayu

b. Pondasi Tiang Baja

Pondasi tiang baja umumnya berupa tiang pancang pipa ataupun tiang pancang baja dengan kanal H. Tiang baja dapat didorong ke tanah dengan ujung terbuka atau tertutup. Balok baja wide-flange dan penampang I juga dapat digunakan sebagai tiang pancang. Namun, tiang pancang penampang H biasanya lebih digunakan karena memiliki ketebalan badan dan sayap yang sama (pada wide-flange dan penampang I, ketebalan badan lebih kecil dari ketebalan sayap). Tiang baja dapat dibangun pada daerah rawa, tanah gambut dan tanah organik lainnya yang bersifat korosif. Tanah yang memiliki pH lebih besar dari pada 7 tidak begitu korosif. Maka untuk mengimbangi efek dari korosi, dapat ditambah ketebalan baja (di atas luas penampang yang dirancang sebenarnya). Dalam beberapa keadaan, pelapis epoksi yang diterapkan pabrik pada tiang baja bekerja dengan baik terhadap korosi. Dan pelapis ini juga tidak mudah rusak oleh proses pemancangan. Panjang tiang baja yaitu 15 m hingga 60 m, dan bisa menahan beban 300 kN-1200 kN.

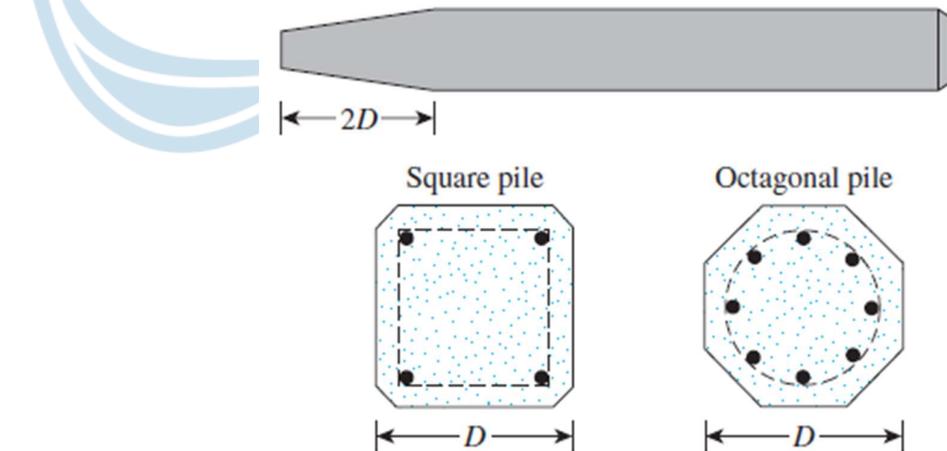


Gambar 3.3 Tiang Pancang Baja: (a) penyambungan tiang H dengan pengelasan; (b) penyambungan tiang pancang pipa dengan pengelasan; (c) penyambungan tiang-H dengan paku keling dan baut; (d) titik penggerak datar tiang pancang pipa; (e) titik penggerak kerucut dari tiang pipa

c. Pondasi Tiang Beton

Pondasi tiang beton dapat dibagi menjadi dua kategori dasar, yaitu tiang pracetak (*precast piles*) dan tiang cor di tempat (*cast-in-situ, cast-in-place*). Tiang pracetak dibuat dengan menggunakan tulang biasa, dan untuk penampangnya dapat berbentuk bujur sangkar. Penulangan juga diberikan agar tiang dapat menahan momen lentur yang terjadi selama pengambilan dan pengangkutan, menahan beban vertical, serta momen lentur yang disebabkan oleh beban lateral. Tiang pracetak dicor dengan panjang yang diinginkan dan dikeringkan sebelum diangkut ke lokasi kerja.

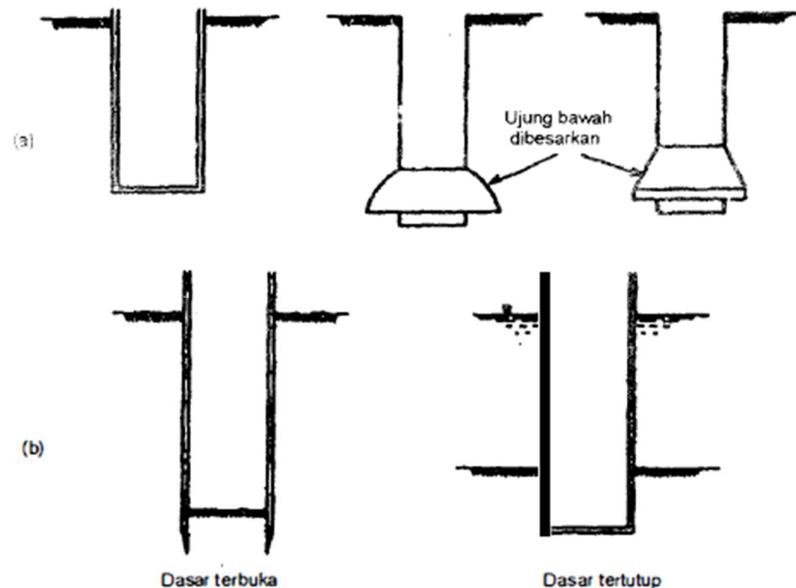
Tiang pancang cor di tempat dibangun dengan terlebih dahulu membuat lubang di tanah, kemudian diisi dengan beton segar. Tiang pancang ini dapat dibagi menjadi dua kategori besar, yaitu berselubung (*cased*) dan tidak berselubung (*uncased*).



Gambar 3.4 Tiang Pracetak dengan tulangan biasa

2. Pondasi Kaison (*Caisson Foundation*)

Pondasi kaison memiliki dua jenis tipe, yaitu kaison bor (*drilled caisson*) serta kaison (*caisson*). Secara umumnya yang dikenal di Indonesia, pondasi kaison dibuat berbentuk silinder, sehingga disebut juga pondasi sumuran. Pondasi kaison merupakan jenis peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pada kaison bor, langkah pertama yaitu dengan mengebor dahulu untuk menciptakan lubang pada tanah, hingga kemudian diisi dengan beton segar. Untuk mendapatkan daya dukung yang tinggi, dasar dari pondasi kaison dapat diperbesar. Sedangkan pada pondasi kaison, yang pada umumnya berbentuk silinder maupun kotak beton, dipasang dengan menanamkan silinder beton tersebut bersamaan dengan proses penggalian tanah.



Gambar 3.5 Pondasi Kaison : (a) Kaison Bor; (b) Kaison

3.3.3 Menentukan Jenis Struktur Bawah (Pondasi)

Dalam menentukan jenis struktur bawah (pondasi) yang akan dibangun, maka diperlukan perhatian yang khusus untuk memilih pondasi yang sesuai dengan berbagai keadaan di lapangan, efektifitas pengerjaan, serta ekonomis yang disesuaikan dengan jadwal kerja suatu proyek. Maka untuk mencapai berbagai hal tersebut, terdapat berbagai hal yang perlu dipertimbangkan dalam memilih jenis pondasi, yaitu sebagai berikut :

1. Kondisi Tanah

Sebelum memilih pondasi yang sesuai, perlu diperhatikan kondisi tanah dari tempat yang akan dibangun. Hal ini sangat penting dalam perinciannya, serta diperlukan adanya survei untuk mendapatkan detail keadaan suatu tanah. Berikut beberapa penjelasan yang menjelaskan dari setiap kedalaman tanah.

- a. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada permukaan tanah ataupun 2-3 meter di bawah permukaan tanah, maka pondasi yang sesuai digunakan adalah pondasi telapak (*foot plate foundation*).
- b. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman 10 meter di bawah permukaan tanah, maka pondasi yang sesuai digunakan yaitu pondasi tiang pracetak (*precast pile*), maupun pondasi tiang apung yang dapat memperbaiki tanah pondasi.
- c. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman 20 meter di bawah permukaan tanah, terdapat dua kondisi yaitu tergantung dari adanya penurunan (*settlement*) yang diizinkan. Pada kondisi tidak diizinkan terjadi penurunan dapat menggunakan tiang pancang (*pile driven foundation*) dan tiang bor (*bored pile*).

Namun bila terdapat batu besar (*cobble stones*) di lapisan antara, dapat digunakan pondasi kaisan sebab lebih menguntungkan.

- d. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman 30 meter di bawah permukaan tanah, yang sesuai digunakan pondasi kaisan, pondasi tiang baja, maupun tiang cor di tempat (*cast-in-situ*).
- e. Bila tanah pendukung pondasi terletak pada kedalaman lebih dari 40 meter di bawah permukaan tanah, maka jenis pondasi yang paling sesuai dan paling baik adalah tiang baja dan tiang beton cor di tempat (*cast-in-situ*).

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

Dalam hal ini kondisi suatu struktur atas perlu diperhatikan pula dalam memilih jenis pondasi. Perlu diamati pula mulai dari kondisi beban, kegunaan serta kepentingan bangunan atas, tantangan dalam pemeliharaan serta bahan-bahan bangunan yang digunakan, serta seberapa besar penurunan yang diizinkan terjadi pada pondasi.

3. Kondisi Lingkungan

Dari segi pelaksanaannya, akan terdapat berbagai keadaan lingkungan yang mempengaruhi proses pembangunan. Seperti adanya kondisi yang tidak memungkinkan pengerjaan seperti yang telah direncanakan. Bahkan bila berbagai macam pondasi yang sesuai telah dipilih dan dipertimbangkan dari kondisi tanah pula. Misalnya bila pekerjaan-pekerjaan konstruksi dekat dengan pemukiman serta kota yang aktif, sehingga dalam beberapa keadaan tertentu, metode konstruksi kadang-kadang dilarang karena sudut pandang gangguan. Karena hal itu, maka diusahakan melihat kondisi lingkungan masuk dalam pertimbangan.

4. Waktu & Biaya

Waktu dari pelaksanaan pekerjaan pondasi juga perlu diamati, hal ini tentunya agar tidak mengganggu kepentingan umum serta sesuai dengan *time schedule* proyek yang telah direncanakan.

Biaya yang dikeluarkan juga harus dipertimbangkan dalam memilih jenis pondasi, dengan tetap mengutamakan kekuatan dari kegunaan pondasi yang sesuai dengan jenis tanah dan jenis konstruksi di atasnya.

Selain itu, terdapat pula beberapa kriteria yang wajib dipenuhi dalam perencanaan suatu pondasi, yaitu sebagai berikut :

- a. Pondasi harus dibangun dengan tepat kondisi, sehingga tidak terjadi longsor.
- b. Pondasi harus aman dari kelongsoran daya dukung.
- c. Pondasi harus aman dari adanya penurunan yang berlebih.

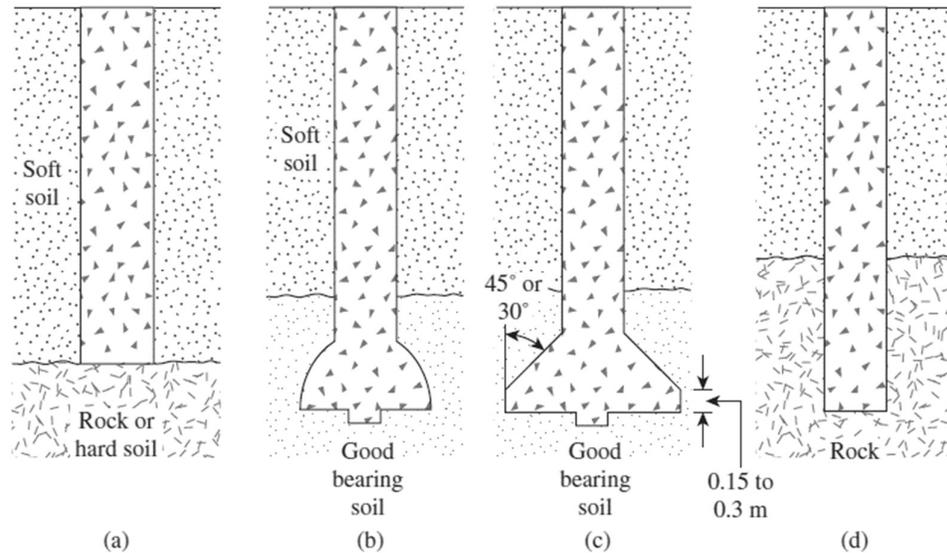
3.4 Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)

Pondasi memiliki fungsi utama yaitu untuk mendistribusikan beban struktur atas ke tanah, sehingga seluruh struktur dapat berdiri dengan kokoh di atas tanah. Pondasi bored pile digunakan di tempat yang umumnya memiliki diameter sekitar 750 mm atau lebih, dengan atau tanpa tulangan baja dan dengan atau tanpa alas yang diperbesar. Langkah dalam pelaksanaan pondasi tiang bor yaitu dengan membuat lubang yang dibor atau digali ke bagian bawah pondasi struktur lalu diisi dengan beton segar. Tergantung pada kondisi tanah, jika tanah mengandung air maka pipa besi (*casing*) dapat digunakan agar mencegah tanah di sekitar lubang mengalami keruntuhan selama konstruksi dengan menahan dinding lubang lalu

pipa besi ditarik ke atas pada waktu pengecoran beton. Namun pada umumnya dipakai juga pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan dalam membuat lubang yang stabil dengan alat bor. Pada tanah yang cenderung keras ataupun berbatuan lunak, dasar dari tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan dukung ujung tiang. Jenis pondasi *bored pile* dapat dipakai pada tanah dasar yang memiliki daya dukung terletak sangat dalam, kurang lebih hingga 15 m. Daya dukung *bored pile* didapat dari daya dukung ultimit (*ultimate bearing capacity*) yang merupakan penjumlahan dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) dan daya dukung selimut (*skin bearing capacity*). Daya dukung ujung diperoleh dari tekanan ujung, sedangkan daya dukung selimut diperoleh dari gaya gesek antara *bored pile* dengan tanah disekelilingnya. Pondasi *bored pile* tentunya akan berinteraksi dengan tanah dalam menghasilkan kapasitas dukung yang dapat memberi keamanan pada struktur atas. Agar mendukung didapatnya daya dukung yang cukup akurat, maka diperlukan penyelidikan tanah untuk menunjang data dan mengetahui kondisi serta parameter di dalam tanah. Terdapat dua metode yang umumnya digunakan dalam menentukan kapasitas daya dukung *bore pile* yaitu dengan metode statis dan metode dinamis.

Terdapat berbagai jenis pondasi *bored pile*, diantaranya yaitu :

1. Bore pile lurus untuk tanah keras (*straight shaft/straight pile*)
2. Bore pile dengan bentuk bel pada ujung (*belled shaft/belled pile*)
3. Bore pile dengan berbentuk trapezium pada ujung (*belled shaft/belled pile*)
4. Bore pile lurus untuk tanah berbatu (*straight shaft socketed into rock*)



Gambar 3.6 Jenis-jenis Bored Pile: (a) straight shaft; (b) dan (c) belled shaft; (d) straight shaft socketed into rock

Terdapat beberapa jenis alat pengerjaan pondasi bore pile, yaitu sebagai berikut :

1. *Bored Pile Mini Crane*

Bored pile mini crane merupakan alat yang digunakan dalam pengeboran tanah yang menjadi lokasi berdirinya suatu bangunan. Alat ini mampu membuat lubang dengan diameter dari 30 cm hingga 60cm, dan dengan membuat lubang dengan kedalaman dari 6 meter hingga lebih dari 24 meter. Kebutuhan dari kedalaman lubang dan besarnya diameter ditentukan bergantung dengan jenis serta besarnya suatu bangunan yang direncanakan di atasnya. Dalam pengoperasiannya, alat ini membutuhkan banyak air agar mempermudah pembuatan lubang dengan kedalaman serta diameter yang dibutuhkan. Dengan istilah lain yaitu menggunakan sistem bor basah (*wash boring*), sehingga perlu diperhatikan adanya kebutuhan air yang cukup dalam pengerjaannya.



Gambar 3.7 *Bored Pile Mini Crane*

2. *Bored Pile* Gawangan

Bored pile gawangan memiliki sistem kerja yang serupa dengan bored pile mini crane, yang menjadi pembeda terdapat pada bagian sasis serta tiang tempat gearbox tuasnya. Pada penggunaan alat ini diperlukan tambang di bagian kanan dan kiri alat yang lalu dikaitkan ke bagian lain guna menjaga keseimbangan dari alat selama pengeboran.



Gambar 3.8 *Bored Pile* Gawangan

3. *Bored Pile Manual/Strauss Pile*

Bored pile manual/strauss pile merupakan alat yang membutuhkan tenaga manual berupa tenaga manusia dalam memutar mata bornya. Alat ini mampu membuat lubang dengan diameter 30 cm hingga 40 cm serta kedalaman 8 meter hingga 9 meter. Saat dioperasikan alat ini tidak bising sehingga sesuai digunakan pada berbagai bangunan berskala kecil.



Gambar 3.9 *Bored Pile Manual/Strauss Pile*

4. *Drilling Rig*

Drilling rig sebuah alat yang mampu mengebor batu yang keras, mampu membuat lubang dengan diameter hingga 150 cm, serta dengan kedalaman hingga 30 meter. Terdapat dua tipe dasar *drilling rig* yang dapat ditunakan dalam pengeboran, yaitu tipe alat kabel (*cable tool/percussion*) dan tipe rotasi (*rotary*). Pada alat kabel (*cable tool*) hanya terdapat satu jenis rig, namun terdapat berbagai variasi pada rig putar (*rotary rigs*).



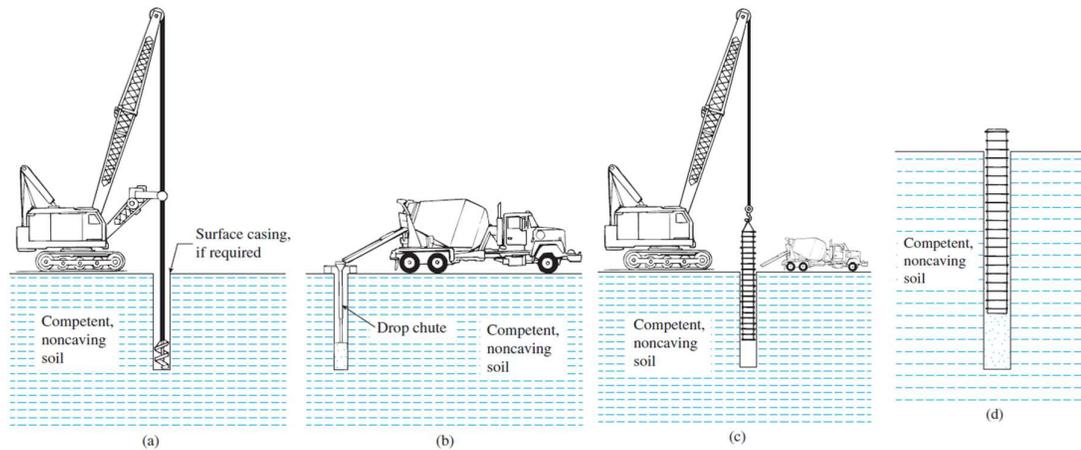
Gambar 3.10 *Rotary Drill Rig*

Dalam segi pelaksanaannya, pondasi bore pile dapat dibedakan menjadi beberapa macam metode, yaitu sebagai berikut :

1. Metode Kering (*Dry Method*)

Metode kering (*dry method*) digunakan pada tanah dan batuan yang berada di atas permukaan air dan tidak akan runtuh Ketika lubang dibor sampai pada kedalaman penuh. Langkah pertama yaitu dengan menggali lubang (dasarnya dapat dibentuk bel bila diperlukan). Lalu lubang kemudian diisi sebagian dengan beton segar, lalu dapat menempatkan kerangka tulangan untuk dipasang sesudah lubang selesai dikerjakan. Perlu diperhatikan bahwa kerangka tulangan tidak diijinkan untuk masuk hingga mencapai dasar lubang, sebab diperlukan pelindung beton minimum, namun dapat diperpanjang hingga mendekati dasar saja. Metode kering ini diperlukan pada tanah yang kohesif

dan memiliki permukaan air berada di bawah dasar lubang, ataupun bila permeabilitasnya cukup rendah.

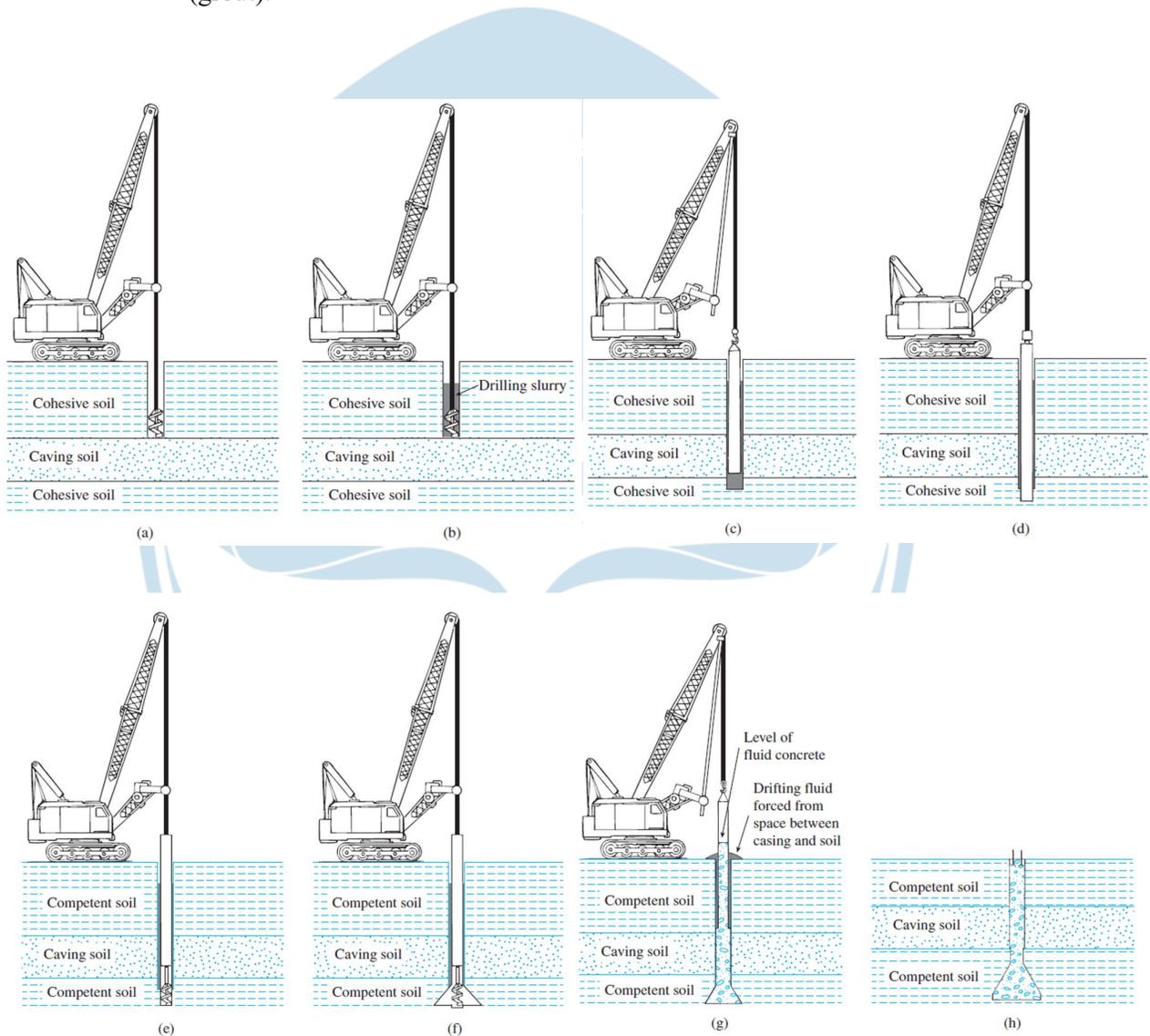


Gambar 3.11 Pekerjaan Metode Kering (*Dry Method*) : (a) memulai penggalian sampai kedalaman yang dibutuhkan; (b) mulai menuangkan beton segar melalui pipa-cor (*tremie*; dan memakai *free fall* terbatas) ; (c) menempatkan kerangka tulangan sampai pada kedalaman yang dibutuhkan; (d) lubang selesai dikerjakan

2. Metode Acuan (*Casing Method*)

Metode acuan atau *casing method* digunakan pada tanah atau batuan dimana deformasi yang berlebihan mungkin terjadi ketika lubang bor digali. Pada metode ini, Langkah pertama yaitu prosedur penggalian dimulai seperti pada metode kering, kemudian ketika lubang sudah dibuat, bentonite dimasukkan ke dalam lubang bor. Lalu pengeboran dilanjutkan sampai pada penggalian melewati tanah dan ditemukan lapisan tanah maupun batuan yang kedap air. Sebuah acuan (*casing*) dimasukkan ke dalam lubang. Kemudian *slurry* keluar dari *casing* dengan pompa *submersible*. Lalu bor yang lebih kecil dimasukkan ke dalam lubang melewati *casing*, hingga penggalian dilanjutkan. Bila diperlukan, dasar lubang dapat diperbesar, lalu beton segar lalu dituangkan de dalam galian dan *casing* ditarik keluar secara bertahap. Acuan (*casing*) dapat saja ditinggalkan dalam lubang, namun bisa juga dikeluarkan. Jika dibiarkan di tempat, maka ruangan melingkar antara OD acuan dan tanah (yang terisi

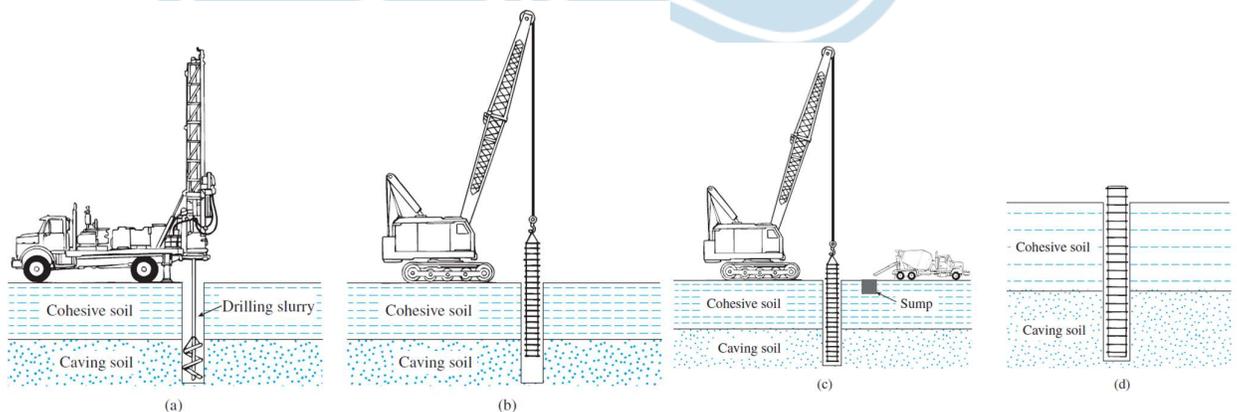
lumpur pengeboran) diganti dengan adukan encer (*grout*) yang diinjeksikan dengan menggunakan tekanan. Grout merupakan campuran semen dengan cara menyisipkan pipa di dasar kemudian memompakan grout, maka adonan akan berpindah ke atas puncak hingga rongga tersebut diisi oleh adukan encer (*grout*).



Gambar 3.12 Pekerjaan Metode Acuan (*Casing*): (a) memulai pengeboran; (b) mulai menuangkan beton segar ke dalam lubang; (c) mulai memasukkan acuan/*casing*; (d) mengeluarkan *slurry* (adonan) dari casing dengan pompa; (e) bor yang lebih kecil dimasukkan ke dalam lubang melewati *casing* untuk melanjutkan pemboran; (f) pergerakan dasar lubang berbentuk bel; (g) menuangkan beton segar ke dalam galian dan casing secara bertahap ditarik keluar; (h) *bored pile* selesai dikerjakan

3. Metode Adonan (*Washed Boring*)

Metode adonan (*washed boring*) adalah metode yang diterapkan pada semua keadaan yang membutuhkan acuan (*casing*). Hal ini diperlukan dengan kondisi bila tidak memungkinkan mendapat penahan air (*water seal*) yang sesuai dengan acuan untuk menjaga supaya air tidak masuk ke dalam rongga lubang (*shaft cavity*). Pada metode ini, sebuah acuan (*casing*) sepanjang 2-3 meter didorong ke dalam tanah dengan menggunakan mata bor. Kemudian air akan keluar dengan kecepatan tinggi melalui lubang di bagian bawah mata bor. Air dan partikel tanah ini lalu meluap di bagian atas dan kemudian ditampung dalam sebuah wadah. Sesudah lubang selesai digali, kerangka tulangan lalu dimasukkan dan corong pipa cor (*tremie*) dipasang. Beton dipompa dengan pipa cor selalu terendam agar hanya sedikit daerah yang terkontaminasi oleh adonan.



Gambar 3.13 Pekerjaan Metode Adonan (*Washed Boring*): (a) mulai pemboran hingga kedalaman penuh, dan tambahkan adonan (slurry) seperlunya untuk head yang memadai hingga kedalaman yang dibutuhkan; (b) tarik bor dan masukkan kerangka tulangan (c) pasang corong pipa-cor, beton segar lalu akan menggantikan volume slurry kemudian ditempatkan di lubang bor (d) *bored pile* selesai dikerjakan.



Gambar 3.14 Pekerjaan dengan Metode Kering/*Dry Method*
(Courtesy of Sanjeev Kumar, Southern Illinois University, Carbondale, Illinois)



Gambar 3.15 Pekerjaan Bored Pile dengan Metode Adonan/*Washed Boring*
(Courtesy of Khaled Sobhan, Florida Atlantic University, Boca Raton, Florida)

Penggunaan pondasi *bored pile* memiliki berbagai keunggulan dalam bidang konstruksi, beberapa diantaranya adalah sebagai berikut :

1. *Bore pile* tunggal dapat digunakan sebagai pengganti tiang kelompok (*pile cap*).
2. Membangun konstruksi *bore pile* pada tanah pasir padat dan kerikil akan lebih mudah dibandingkan dengan tiang pancang.
3. *Bore pile* dapat dibuat sebelum operasi perataan selesai.
4. Pada pekerjaan tiang pancang, tiang akan didorong oleh palu, yang mana timbul getaran tanah yang dapat merusak struktur di dekatnya. Namun pada penggunaan pondasi *bore pile* hal ini dapat dihindari.
5. Pekerjaan tiang pancang yang dipancang ke dalam tanah lempung dapat menghasilkan ground heaving dan membuat tiang pancang yang dipancang sebelumnya bergerak ke samping. Namun hal ini tidak terjadi pada pekerjaan pondasi *bore pile*.
6. Selama pekerjaan pondasi *bore pile* tidak timbul suara dari alat pancang seperti pada pekerjaan tiang pancang.
7. Dasar dari pondasi *bore pile* dapat diperbesar, sehingga dapat memberikan ketahanan besar pula terhadap beban angkat.
8. Permukaan atas pada dasar lubang yang dibor sedang dibangun dapat diperiksa secara visual.
9. Konstruksi *bore pile* umumnya menggunakan peralatan bergerak, yang mana pada kondisi tanah yang tepat dapat jauh lebih ekonomis dibandingkan dengan konstruksi pada pondasi tiang pancang.
10. Pondasi *bore pile* memiliki ketahanan yang tinggi terhadap beban lateral.

Namun penggunaan pondasi *bored pile* juga memiliki beberapa kelemahan, adapun sebagai berikut :

1. Kondisi cuaca yang buruk dapat menunda pekerjaan pengeboran serta pengecoran. Namun dapat pula diatasi dengan memasang tenda sebagai penutup.
2. Pada tanah pasir ataupun berkerikil pekerjaan pengeboran dapat mengganggu kepadatan, oleh karena itu digunakan *bentonite* sebagai penahan longsor.
3. Pengecoran beton akan mengalami kesulitan bila dipengaruhi oleh air tanah, sebab mutu beton tidak dapat control. Namun dapat diatasi dengan memberi jarak 25-50 cm pada ujung pipa tremie dengan dasar lubang pondasi.

3.5 Metode Pelaksanaan Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)

1. Persiapan Lahan Pekerjaan (Site Preparation)

Pada tahap ini, perlu dilakukan persiapan lahan pekerjaan dengan membersihkan lokasi pekerjaan dari berbagai gangguan yang ada di sekitarnya, seperti pohon-pohon, kabel dan lain-lain.

2. Alur Pengeboran

Pada tahap ini perlu direncanakan alur dalam pengeboran sehingga pekerjaan dengan mesin, excavator, crane serta truck mixer dapat berjalan dengan baik.

3. Survey Lapangan

Survey lapangan diperlukan sebagai pengukuran serta penentuan titik lokasi koordinat bore pile dengan alat theodolite.

4. Pemasangan Casing

Penggunaan casing digunakan sebagai penyangga sementara maupun permanen untuk tiang bor (*bore pile*) dengan kondisi tanah yang tidak stabil lebih dalam.

Casing sementara digunakan untuk menahan sisi-sisi lubang bor hanya cukup lama untuk beton segar akan dituangkan. Casing sementara tetap pada tempatnya hingga beton segar dituangkan ke tingkat yang cukup untuk menahan tekanan tanah dan tekanan air, lalu casing dilepas setelah beton ditempatkan.

Penggunaan casing permanen berarti casing tetap ada dan menjadi bagian permanen dari pondasi. Contoh penggunaan casing permanen adalah ketika lubang yang akan dibor akan dipasang melalui air dan bagian casing yang menonjol digunakan sebagai bekisting. Pemasangan casing dilakukan sesudah suatu kedalaman dicukupi, diperlukan untuk menghindari terjadinya kelongsoran tanah dipasang casing yang berupa pipa dengan diameter dalam kurang lebih sama dengan diameter lubang bor. Casing dipasang dengan bantuan excavator (back hoe). Pemasangan casing yaitu dengan diangkat dan dimasukkan pada lubang bor sampai kedalaman yang diperlukan dimana tidak sampai mencapai dasar lubang bor. Hal ini untuk menghindari terjadinya longsor dan tanah yang tertutup kembali.

5. Pembuatan Drainase

Pembuatan drainase ini yaitu dengan menciptakan kolam air yang berfungsi sebagai penampungan air bersih yang dipakai untuk pekerjaan pengeboran dan penampungan air bercampur lumpur pada pengeboran pertama. Jarak kolam air harus berjauhan dengan lubang pengeboran, hal ini agar lumpur dalam air hasil pengeboran dapat mengendap sebelum mengalir Kembali ke dalam lubang. Ukuran dari kolam air 3m x 3m x 2.5m dan drainase penghubung ke casing berukuran 1.2m dengan kedalaman kira-kira 0.7m.

6. Setting Mesin

Sesudah casing terpasang, maka digunakan mata bor yang disesuaikan dengan diameter yang ditentukan, lalu dimasukkan ke dalam casing terlebih dahulu.

Tahap selanjutnya yaitu beberapa pelat dipasang untuk memperkuat tanah dasar tempat dijadikannya dudukan untuk mesin RCD (Rotary Circle Dumper).

Proses pengeboran dilakukan dengan memutar mata bor ke arah kanan, serta sesekali diputar ke arah kiri untuk memastikan lubang pengeboran berjalan dan menghancurkan hasil pengeboran agar larut dalam air sehingga lebih mudah dihisap. Proses pengeboran dilakukan bersamaan dengan penghisapan lumpur hasil pengeboran, sehingga perlu diperhatikan agar air yang ditampung di kolam air memenuhi sirkulasi air yang diperlukan untuk pengeboran. Kedalaman pengeboran diukur dengan meteran pengukur kedalaman, bila belum mencapai kedalaman yang dibutuhkan, pengeboran dapat terus berlangsung. Bila kedalaman yang diinginkan sudah dicapai maka stang bor dapat diangkat.

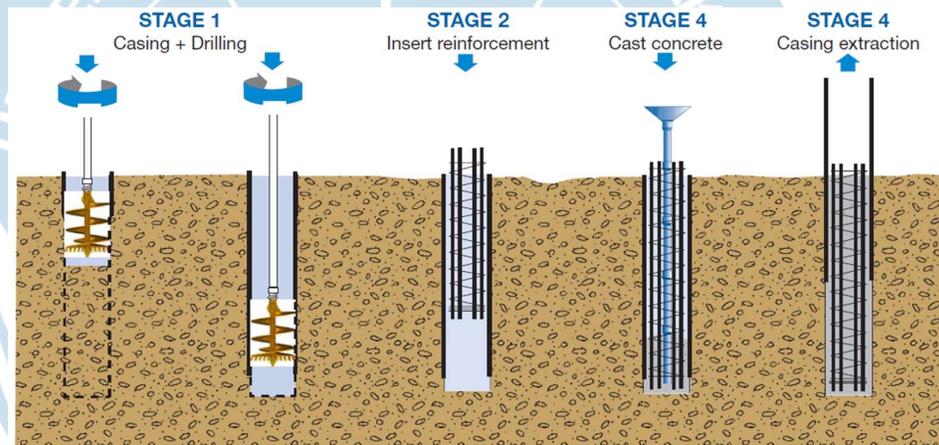
7. Instalasi kerangka Tulangan

Kerangka tulangan baja dimasukkan ke dalam lubang bor dengan menggunakan *service crane* dengan kapasitas yang sesuai. Saat diturunkan, *concrete spacer* (tahu beton) harus diterapkan pada bagian luar baja tulangan untuk memastikan selimut beton yang dirancang. Untuk menjamin selimut beton yang cukup di bawah tiang, sengkang (*cage*) digantung 15-20 cm dari dasar lubang.

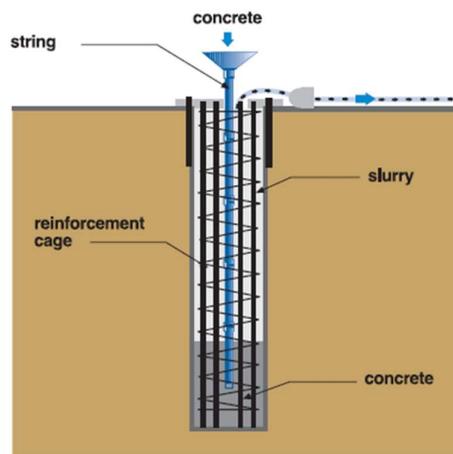
8. Pengecoran dengan Ready Mix Concrete

Sesudah tulangan dimasukkan, lubang bor diisi dengan beton segar. Untuk melakukan ini, seutas pipa baja dengan diameter internal tidak kurang dari 250 mm diturunkan ke bagian tengah lubang. Sebagai aturan umum, pipa dari 2 atau 3 meter panjang bagian yang dihubungkan satu sama lain sampai mencapai

dasar lubang. Sebuah corong ditempatkan di bagian atas pipa dan beton segar dituangkan ke dalamnya. Beton mengalir ke bawah pipa, ketika mencapai bagian dasar, lalu mulai mengisi lubang, naik kembali. Oleh karena perbedaan densitas yang cukup besar antara dua cairan, *slurry* tidak tercampur dengan beton tetapi dipaksa naik ke permukaan dimana dikumpulkan dalam lubang khusus, untuk kemudian digunakan kembali. Saat beton naik di dalam lubang bor, pipa diperpendek untuk memastikan bahwa tidak lebih dari 3-4 m pipa terendam dalam beton basah pada satu waktu. Setelah beton mencapai tingkat yang ditentukan, penuangan berhenti dan pipa dapat ditarik sepenuhnya.



Gambar 3.16 Langkah-langkah Pelaksanaan Pondasi *Bored Pile*



Gambar 3.17 Bagian-bagian dalam pelaksanaan pengeboran



Gambar 3.18 Pekerjaan Pengeboran



Gambar 3.19 Instalasi Pipa



Gambar 3.20 Kerangka Tulangan



Gambar 3.21 Pengecoran dengan Ready Mix Concrete

3.6 Kapasitas Daya Dukung Pondasi *Bored Pile* Berdasarkan Data SPT

Dalam pelaksanaan pengujian di lapangan, *standard penetration test* (SPT) dapat dilakukan untuk mengungkapkan kondisi lapisan tanah bawah dan perkiraan kapasitas lebih jauh dukung pondasi dapat dihasilkan. Pelaksanaannya pun juga relative mudah. Standard penetration test (SPT) merupakan cobaan dinamis, dengan diperoleh kepadatan relative (*relative density*) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N). Perencanaan perhitungan daya dukung tiang berikut berdasarkan data hasil pengujian SPT yang dihitung dengan menggunakan metode O'Neil & Reese.

3.6.1 Daya Dukung Ultimit Tiang

O'Neil & Reese mengusulkan untuk memperkirakan daya dukung ultimit dengan menjumlahkan daya dukung ujung dan daya dukung selimut. Untuk menentukan daya dukung ultimit dapat dinyatakan dengan rumus berikut:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (1)$$

Dimana:

Q_u = Daya dukung ultimit tiang (ton)

Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)

Untuk menentukan daya dukung ujung (Q_p) diperlukan nilai tahanan ujung per satuan luas (q_p) yang dinyatakan dengan rumus berikut :

$$q_{max} = N_c \cdot S_u \quad (2)$$

$$N_c = 1.33 (\ln I_r) + 1 \quad (3)$$

$$I_r = \frac{E_s}{3S_u} \quad (4)$$

Dimana :

I_r = Rigidity index tanah

E_s = Modulus young tanah

S_u = Kuat geser tanah tak teralir

Nilai dari N_c bisa didapatkan pula dengan mengikuti syarat berikut :

$$9 \text{ for } (S_u)_b > 25 \text{ kPa (500 psf)} \quad (5)$$

$$6 \text{ for } (S_u)_b < 25 \text{ kPa (500 psf)} \quad (6)$$

Kemudian selanjutnya untuk menghitung nilai daya dukung ujung (Q_p) dapat mengikuti rumus berikut:

$$Q_p = q_p \cdot A_b \quad (7)$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

q_p = Tahanan ujung per satuan luas (ton/m^2)

A_b = Luas penampang tiang bor (m^2)

Untuk mendapatkan nilai daya dukung selimut (Q_s) perlu menghitung dahulu

nilai persatuan luas (f_s) yaitu dengan rumus sebagai berikut :

$$f_s = \alpha \cdot c_u \quad (8)$$

Dimana :

f_s = Gesekan selimut tiang (ton/m^2)

α = Faktor adhesi

c_u = Kohesi tanah (ton/m^2)

Dalam menentukan nilai faktor adhesi (α) pada metode O'Neil & Reese dengan material tanah kohesif memiliki ketentuan sebagai berikut :

$$\alpha = 0.55 \text{ untuk } \frac{S_u}{P_a} \leq 1.55 \quad (9)$$

$$\alpha = 0.55 - 0.1 \left(\frac{S_u}{P_a} - 1.5 \right) \text{ untuk } 1.5 < \frac{S_u}{P_a} \leq 2.5 \quad (10)$$

Dimana :

S_u = Kuat geser tanah

P_a = Tekanan atmosfer

Sedangkan pada metode O'Neil & Reese dengan material non-kohefif nilai β dan perhitungan nilai f_s memiliki ketentuan seperti berikut :

$$f_s = \beta \cdot \sigma'_v \leq 200 \text{ kPa} \quad (11)$$

Dengan nilai β sesuai ketentuan berikut :

$$\beta = 1.5 - 0.245 \sqrt{z \text{ (m)}}; 0.25 \leq \beta \leq 1.2 \quad (12)$$

$$\beta = \frac{N_{60}}{1.5} (1.5 - 0.245 \sqrt{z \text{ (m)}}); N_{60} \leq 1.5 \quad (13)$$

Kemudian sesudah didapatkan nilai f_s sesuai dengan materialnya (kohefif/non-kohefif) dapat dilakukan perhitungan untuk nilai daya dukung selimut (Q_s) yakni dengan rumus berikut :

$$Q_s = f_s \cdot L \cdot p \quad (14)$$

Dimana :

Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)

f_s = Gesekan selimut tiang (ton/m^2)

L = Panjang tiang (m)

p = Keliling penampang tiang (m)

3.7 Kapasitas Daya Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data CPT

Dalam pelaksanaan pengujian di lapangan, *cone penetration test* (CPT) atau sondir sangat dibutuhkan dalam geoteknik. Selain CPT merupakan tes yang ekonomis dan cepat, tes sondir dapat menunjukkan dengan cukup akurat untuk mengetahui kekuatan dari setiap lapisan tanah, termasuk karakteristik serta kedalaman lapisan tanah keras. Untuk itu sebelum merencanakan pondasi tiang sangat dibutuhkan data tanah untuk menunjang perencanaan kapasitas daya dukung tiang. Hal ini tentunya

harus dilakukan sebelum pembangunan dimulai untuk menentukan kapasitas daya dukung ultimit serta kapasitas daya dukung ijin dari suatu pondasi tiang.

Perencanaan perhitungan daya dukung tiang berikut berdasarkan data hasil pengujian sondir yang dihitung dengan menggunakan metode **Frank & Magnan**.

3.7.1 Daya Dukung Ultimit Tiang

Frank & Magnan mengusulkan untuk menghitung daya dukung ujung dengan rumus seperti persamaan berikut:

$$Q_b = k_c \cdot q_c \quad (15)$$

Dimana :

Q_b = Daya dukung ujung (ton/m^2)

k_c = Faktor daya dukung ujung

q_c = Perlawanan ujung sondir (ton/m^2)

Dengan nilai faktor kapasitas daya dukung ujung (k_c) yang mengacu pada tabel berikut :

Tipe Tanah		q_c (Mpa)	k_c ND	k_c D
Lempung/ Lunak	Lunak	<3	0.40	0.55
	Kaku	3-6		
	Keras (lempung)	>6		
Pasir/ Kerikil	Lepas	<5	0.15	0.50
	Sedang	8-15		
	Rapat	>20		
Kapur	Terlapukan	<5	0.20	0.30
		>5	0.30	0.45

ND = non displacement pile, D = displacement pile

Tabel 3.1 Faktor Kapasitas Daya Dukung Ujung, k_c (CPT) untuk pondasi dalam (MELT, 1993)

Kemudian untuk dapat menentukan daya dukung ujung (Q_b) yang sudah diperhitungkan dengan satuan luas yaitu sebagai berikut :

$$Q_b = k_c \cdot q_c \cdot A_b \quad (16)$$

Dimana :

Q_b = Daya dukung ujung (ton)

k_c = Faktor daya dukung ujung

q_c = Perlawanan ujung sondir (ton/m^2)

A_b = Luas penampang tiang (m^2)

Sedangkan untuk menghitung kapasitas daya dukung friksi kulit (Q_s) menggunakan persamaan berikut:

$$Q_s = \text{nilai terkecil dari } \left\{ \frac{q_c}{\beta}; q_{max} \right\} \quad (17)$$

Dimana untuk menentukan nilai β dan q_{max} berbeda-beda tergantung pada setiap jenis tanahnya yaitu dengan mengacu pada tabel berikut :

Pile type		Clay and silt			Sand and gravel			Chalk			
		Soft	Stiff	Hard	Loose	Medium	Dense	Soft	Weathered		
Drilled	β	–	–	75 ^a	–	–	200	200	200	125	80
	q_{smax} (kPa)	15	40	80 ^a	40	80 ^a	–	–	120	40	120
Drilled removed casing	β	–	100	100 ^b	–	100 ^b	250	250	300	125	100
	q_{smax} (kPa)	15	40	60 ^b	40	80 ^b	–	40	120	40	80
Steel driven closed-ended	β	–	120	–	150	–	300	300	300	^c	
	q_{smax} (kPa)	15	40	–	80	–	–	–	120	^c	
Driven concrete	β	–	75	–	–	–	150	150	150	^c	
	q_{smax} (kPa)	15	80	–	80	–	–	–	120	^c	

^aTrimmed and grooved at the end of drilling

^bdry excavation, no rotation of casing

^cin chalk, q_s can be very low for some types of piles; a specific study is needed

Tabel 3.2 Batas Acuan Friksi Kulit dari nilai CPT (MELT, 1993)

Kemudian untuk dapat menentukan daya dukung ujung (Q_b) yang sudah diperhitungkan dengan satuan luas yaitu sebagai berikut :

$$Q_s = \text{nilai terkecil dari } \left\{ \frac{q_c}{\beta}; q_{max} \right\} \cdot A_s$$

Dimana :

Q_b = Daya dukung ujung (ton)

A_s = Luas penampang tiang (m^2)

Kemudian untuk menentukan daya dukung ultimit, dapat menjumlahkan daya dukung ujung serta daya dukung selimut dari hasil yang didapatkan, yaitu dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Dimana :

Q_u = Daya dukung ultimit tiang (ton)

Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)

