

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan jaman, pembangunan disemua aspek kehidupan bidang masyarakat diseluruh wilayah Indonesia dapat merata. Sesuai dengan perkembangan salah satu daerah, pembangunan infrastruktur merupakan salah satu sarana dan prasarana yang sangat menentukan untuk menunjang kelancaran dan meningkatkan aktifitas perekonomian di daerah yang mulai berkembang. Kabupaten Deli Serdang adalah suatu Kabupaten yang merupakan terbesar di Sumatera Utara yang saat ini berusaha untuk memaksimalkan perkembangan infrastruktur guna mempermudah sarana dan prasarana masyarakat Kabupaten Deli Serdang. Inilah yang akan menjadi tujuan dari pembangunan Jembatan di Kecamatan Kutalimbaru. Hal yang terpenting pembangunan jembatan bagian adalah pondasi. Pondasi yang kuat akan menghasilkan bangunan yang kokoh, sebab itu pemilihan jenis pondasi dalam suatu konstruksi harus dipertimbangan dengan baik sesuai dengan kondisi area pembangunan tersebut. Suatu struktur bangunan terdiri dari struktur atas dan struktur bawah. Struktur bangunan membutuhkan pondasi yang kuat dan kokoh sebagai pendukung konstruksi di atasnya. Pondasi merupakan bagian paling bawah dari suatu konstruksi yang berfungsi meneruskan beban konstruksi ke lapisan tanah yang berada di bawah pondasi. Umumnya permasalahan pondasi dalam lebih rumit dari pada pondasi dangkal. Oleh karenanya dibutuhkan suatu analisis yang matang untuk menghitung kuat daya dukung pondasi. Daya dukung pondasi pada tanah perlu dianalisis agar dapat

menahan beban konstruksi yang direncanakan sehingga tidak mengalami penurunan yang berlebih.

1.2 Rumus Masalah

1. Berapa besar daya dukung bored pile yang diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan metode Mayerhof dan metode Reese & Wright berdasarkan data Standar Penetration Test ?
2. Bagaimana perbandingan antara daya dukung bored pile dengan metode Mayerhof dan metode Reese & Wright.
3. Berapa besar penurunan pondasi bored pile?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis perbandingan hasil perhitungan antara metode Myerhof dan metode Reese & Wright terhadap daya dukung tanah di lokasi penelitian terhadap data lapangan.
2. Berapa besar penurunan pondasi bored pile pada metode mayerhoff dan metode reese & wright.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menghindari terjadinya kesalahan dalam pembuatan penelitian, maka penelitian membatasi ruang lingkup masalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian berada di Bunga pariama desa suka makmur Kec. Kutalimbaru.
2. Data tanah yang digunakan beraasal dari hasil uji Standar Penetration Test (SPT).

3. Metode analisis daya dukung tanah yang digunakan metode Mayerhof dan metode Reese & Wright.

1.5 Maanfaat Penelitian

1. Memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang geoteknik, khususnya mengenai analisis daya dukung pondasi bored pile berdasarkan data lapangan seperti uji SPT (Standard Penetration Test).
2. Menjadi referensi tambahan bagi penelitian sejenis terkait analisis daya dukung pondasi dalam perencanaan infrastruktur jembatan, terutama pada kondisi tanah serupa di wilayah Kabupaten Deli Serdang.
3. Sebagai perbandingan antara metode Meyerhof dan metode Reese & Wright, sehingga perencana dapat memilih metode yang paling sesuai dengan kondisi tanah dan kebutuhan proyek.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Uraian Umum

Pondasi adalah suatu konstruksi bagian dasar bangunan (substruktur) yang berfungsi meneruskan beban dari struktur atas kelapisan tanah bawahnya. Pondasi tiang (pile) adalah suatu bagian konstruksi pondasi yang berbentuk batang yang berfungsi untuk menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah sekitar tiang pada kedalaman tertentu. Penyaluran beban oleh tiang ini dapat dilakukan melalui lekatan antara selimut tiang dengan tanah di sekitar tiang (skin-friction), dan daya dukung ujung tiang (end-bearing), beban yang diterima oleh tiang diteruskan oleh ujung tiang ke lapisan tanah keras (Das, 2011). Dalam perencanaan pondasi bore diperlukan pemahaman tentang teori-teori perencanaan pondasi dalam. Dalam Bab ini membahas tentang teori-teori yang mendukung perencanaan pondasi dalam studi kasus pada tugas akhir ini. Perencanaan pondasi bore pile meliputi penentuan parameter-parameter tanah, perhitungan kapasitas daya dukung tiang yang diperlukan, perencanaan grup tiang, dan penurunan tiang (settlement). Menurut (Hardiyatmo, 2011) hal yang perlu dihindari dalam perencanaan pondasi adalah keruntuhan geser atau deformasi berlebihan. Pada perencanaan pondasi juga harus memperhatikan hal-hal berikut:

1. Daya dukung pondasi harus lebih besar dari beban yang bekerja pada pondasi baik beban statik maupun beban dinamik.
2. Penurunan yang terjadi akibat pembebanan tidak lebih besar dari penurunan yang diijinkan dan penurunan yang tidak seragam (differential settlement) tidak mengakibatkan kerusakan pada struktur.

Menurut (Hardiyatmo, 2011), kapasitas daya dukung ultimet diperhitungkan pada kondisi keruntuhan jangka pendek atau kondisi tak terdrainase (undrained). Besar daya dukung tahanan ujung dan tahanan samping pada pondasi bored pile tergantung dari beberapa hal berikut:

1. Kondisi lapisan tanah dasar pendukung tempat bertumpu pondasi beserta parameter lapisan tanah. Parameter tanah di pengaruhi oleh faktor-faktor berikut ini.

- Berat volume

Berat total tanah per satuan volume, termasuk ruang pori dan air yang berada di dalamnya. Besaran ini menggambarkan bagaimana kondisi tanah secara alami apakah longgar, padat, jenuh, atau kering serta digunakan untuk analisis geoteknik seperti tekanan overburden, kestabilan lereng, dan desain pondasi.

- Sudut geser dalam

Adalah besaran yang menunjukkan kemampuan tanah untuk menahan gaya geser akibat gesekan dan penguncian antar butiran tanah. Nilai ini menggambarkan seberapa kuat partikel tanah saling menahan ketika diberi beban sehingga tidak terjadi pergeseran atau keruntuhan.

- Kohesi tanah

adalah gaya tarik-menarik yang membuat partikel tanah saling melekat, sehingga tanah mampu menahan gaya geser meskipun tanpa adanya tekanan normal. Kohesi dilambangkan dengan c dan merupakan salah satu komponen utama dari kekuatan geser tanah.

2. Bentuk geometri pondasi yaitu, konfigurasi fisik dan ukuran dasar pondasi yang ditinjau dari bentuk, dimensi, serta elevasi penempatannya terhadap muka tanah atau struktur lain. Geometri pondasi menentukan bagaimana beban ditransfer dari bangunan ke tanah dan sangat berpengaruh terhadap kapasitas daya dukung, stabilitas, serta perilaku penurunan.
3. Beban pondasi yaitu, seluruh gaya yang diterima pondasi dari struktur di atasnya dan kemudian disalurkan ke tanah pendukung. Beban ini meliputi gaya vertikal, horizontal, dan momen yang berasal dari elemen bangunan maupun pengaruh lingkungan.

2.2 Tanah

Tanah dari pandangan ilmu Teknik Sipil merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, 1992). Tanah didefinisikan secara umum adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef,1994). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun yang lainnya (Hardiyatmo, 1992).

Tanah merupakan peranan penting dalam suatu pekerjaan konstruksi. Semua bangunan umumnya dibuat di atas dan di bawah permukaan tanah, maka dari itu diperlukan perencanaan pondasi yang mampu menyalurkan beban dari bangunan atas ke tanah. Untuk menentukan dan mengklasifikasikan tanah diperlukan suatu pengamatan lapangan, jika 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 itu dibagi dalam tanah berbutir kasar dan berbutir halus berdasarkan suatu analisis mekanis. Selanjutnya tahap klasifikasi tanah berbutir halus diadakan berdasarkan percobaan konsistensi (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1990).

2.3 Sifat-Sifat Fisik Tanah

Untuk mendapatkan sifat-sifat fisik tanah, maka ada beberapa ketentuan yang harus diketahui terlebih dahulu, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Kadar Air (W) Kadar air suatu tanah adalah properti tanah yang menggambarkan perbandingan dari berat air yang terdapat pada suatu sampel dengan berat dari partikel tanah kering.
2. Berat volume tanah (γ) Berat volume tanah (berat satuan = unit weight) adalah besarnya suatu berat tanah tiap satuan volume. Berat satuan tanah ditentukan berdasarkan perbandingan antara berat tanah dengan volume yang diisinya.
3. Berat jenis (Gs) Sifat fisik tanah ini dapat ditentukan dengan mengetahui berat jenis tanahnya dengan cara cotoh tanah yang lolos saringan No.200 menggunakan labu ukur. Berat jenis tanah adalah perbandingan anatara berat volume butiran padat dengan volume air pada temperature 40°C.
4. Batas Atterberg Batas Atterberg adalah batas konsistinsi dimana keadaan tanah melewati keadaan lainnya yang terdiri dari batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas.

5. Batas Cair (Liquid Limit, LL) Batas cair adalah kadar air minimum dimana tanah tidak mendapat gangguan dari luar. Tujuannya adalah untuk menentukan kadar air suatu jenis tanah pada batas antara keadaan plastis dan keadaan cair.
6. Batas Plastis (Plastic Limit, PL) Batas plastis adalah kadar air minimum dimana tanah dapat dibentuk secara plastis. Tujuannya adalah untuk menentukan kadar air suatu jenis tanah pada keadaan batas antara keadaan plastis dan keadaan semi padat.
7. Indeks Plastisitas (Plasticity Indeks, PI) Indeks Plastisitas adalah selisih batas cair dan batas plastis, Indeks Plastisitas merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, Indeks Plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah.
8. Analisis Saringan
Tujuan dari analisis saringan adalah untuk mengetahui persentasi butiran tanah. Dengan menggunakan 1 (satu) set saringan, setelah itu bahan-bahan organik dibersihkan dari sampel tanah dan digumpalkan-gumpalkan di pecah menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, kemudian diayak dan dicatat setiap berat sampel tertahan di setiap saringan. Tujuan akhir dari analisa saringan adalah untuk memberikan nama dan mengklasifikasi, sehingga dapat diketahui sifat-sifat fisik tanah.

2.4 Penyelidikan Tanah

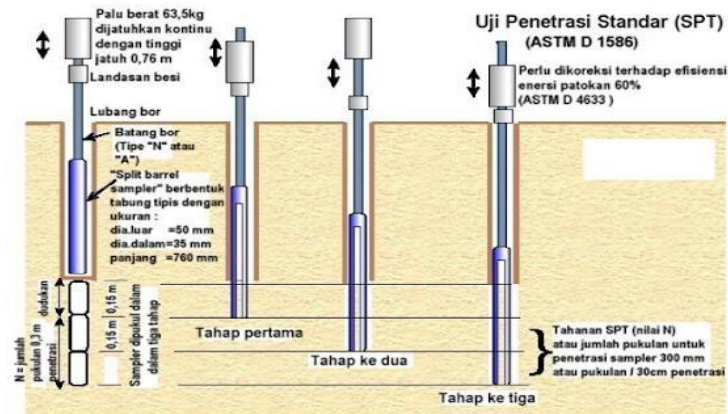
Penyelidikan kondisi tanah merupakan prasyarat dalam perencanaan pondasi tiang. Dalam perencanaan pondasi bored pile penyelidikan ini sangat penting dimana penggunaan data-data tersebut sangat berfungsi untuk memahami

kondisi geologi, sifat tanah, dan kekuatan tanah setempat. Jenis penyelidikan ini disesuaikan dengan pada jenis proyek, kepentingan proyek, kondisi tanah, dan uji lapangan (Bowles, 1997). Menurut (Hardiyatmo, 2011) jenis penyelidikan yang ada pada umumnya dilakukan dalam merencanakan pondasi adalah: 1. Penyelidikan dilapangan (in site test), Jenis penyelidikan dilapangan seperti pengeboran (hand boring ataupun machine boring), Cone Penetrometer Test (sondir), Standart Penetration Test (SPT), uji beban plat (plate load test), uji kipas dilapangan (Vane shear test), dan Dynamic Cone Penetrometer. 2. Penyelidikan di laboratorium (laboratory test), Jenis penyelidikan di laboratorium terdiri dari uji Index Properties test (Atterberg Limit, Water Content, Specific Gravity, Shieve Analysis), dan Engineering Properties tanah (Direct Shear Test, Triaxial Test, Consolidation Test, Permeability Test, Compaction test, dan CBR).

2.4.1 Standart Penetration Test (SPT)

SPT (standart penetration Test) adalah suatu metode pengujian dengan pengeboran untuk mengetahui perlawanan dinamik tanah. Pelaksanaan uji SPT dilakukan bersamaan dengan pengambilan contoh tanah dengan menggunakan alat split spoon sampler dengan diameter 50 mm dan panjang 500 mm. Uji Standart Penetration Test (SPT) dilakukan pada setiap lobang bor teknik dengan interval pengujian 1,5-2,0 m. Pada uji SPT, indikasi tanah keras diartikan sebagai lapisan dengan nilai SPT diatas 50 pukulan / 30.0 cm sebanyak 3 (tiga) kali pada 3 (tiga) kedalaman berturut-turut yaitu 15 cm. Prinsip pelaksanaan Uji Standart Penetration Test yaitu dengan memukul tabung standart kedalam lubang bor sedalam 450 mm dengan menggunakan palu seberat 63,5 kg yang jatuh bebas pada ketinggian 760 mm. Dihitung jumlah pukulan untuk melakukan penetrasi sedalam 150 mm. jumlah

yang digunakan adalah pada penetrasi sedalam 300 mm terakhir. (SNI-4153 "Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT", 2008) dan ASTM D-1586-67).



Gambar 2.1 Skema urutan uji penetrasi standar (SPT)

Sumber: SNI 4153-2008

2.4.2 Tujuan pengujian dengan alat standart penetration test

Adapun tujuan dari penyelidikan tanah menggunakan alat SPT yaitu:

1. Menentukan nilai kepadatan efektif dan sudeut geser dalam tanah tersebut dari pengambilan contoh tanah dengan menggunakan tabung split spoon standart.
2. Dapat diketahui jenis tanah dan ketebalan dari lapisan tanah tersebut.
3. Untuk mendapatkan perlawanan komulatif pada perlawanan penetrasi tanah dan menetapkan kepadatan dari tanah yang tidak berkohesi yang biasanya sulit diambil sampelnya.

2.5 Banguna Bawah (Sub structure)

Bangunan bawah adalah bagian konstruksi yang menahan beban dari bangunan atas dan menyalurkannya ke pondasi yang kemudian disalurkan menuju tanah dasar. Ditinjau dari konstruksinya, struktur bawah terdiri dari:

1. Pondasi

Pondasi merupakan konstruksi yang terletak paling bawah dan berfungsi menerima beban dan meneruskannya ke lapisan tanah keras yang diperhitungkan cukup kuat menahan nya.

2. Pile Cap

Pile cap merupakan bagian dari struktur bawah bangunan yang berfungsi sebagai pengikat tiang pancang atau bored pile yang sudah tertanam sehingga dapat menjadi satu kesatuan dan dapat menyalurkan beban secara merata tidak hanya kepada satu tiang pancang atau bored pile saja. Pile cap juga berfungsi sebagai penahan gaya geser terhadap beban yang ada.

3. Abutment Atau Footing

Abutment atau footing adalah suatu konstruksi jembatan yang terdapat pada ujung-ujung jembatan yang berfungsi sebagai penahan beban dari bangunan atas dan meneruskannya ke pondasi.

4. Pier Atau Pilar

Pier atau pilar adalah salah satu konstruksi bangunan bawah jembatan yang terletak diantara dua abutment yang juga berfungsi sebagai penahan beban bangunan atas dan meneruskannya ke pondasi

2.6 Pondasi

Pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang bertugas meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (*upper structure/super structure*) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya. Untuk tujuan itu pondasi bangunan harus diperhitungkan dan menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban – beban berguna dan gaya – gaya luar ,seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain – lain, dan tidak boleh terjadi penurunan pondasi setempat ataupun penurunan pondasi yang merata lebih dari batas tertentu (Gunawan, 1991).

Suatu perencanaan pondasi dikatakan benar apabila beban yang diteruskan oleh pondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan. Apabila

kekuatan tanah dilampaui, maka penurunan yang berlebihan atau keruntuhan dari tanah akan terjadi (Das, 1998).

Dalam perencanaan pondasi untuk suatu konstruksi dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan tipe pondasi menurut Sardjono (1988) didasarkan atas :

1. Fungsi bangunan atas (upper structure) yang akan dipikul oleh pondasi tersebut.
2. Besarnya beban dan beratnya bangunan atas.
3. Kedalaman tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan.

2.6.1 Macam-Macam Pondasi

Pondasi adalah bagian terendah bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada dibawahnya. Terdapat 2 klasifikasi pondasi yaitu :

1. Pondasi Dangkal (Shallow Foundation)

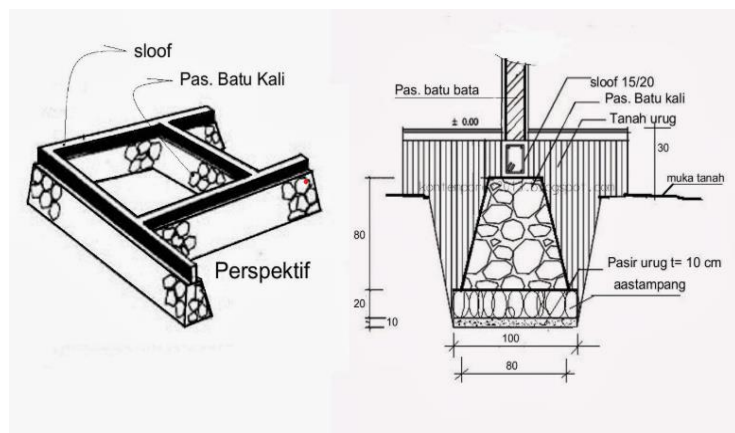
Adalah pondasi yang mendukung bebannya secara langsung dengan perbandingan kedalaman dan lebar telapak kurang dari satu ($D/B \leq 1$), disebut juga pondasi alas, pondasi telapak-tersebar (*spread footing*) dan pondasi rakit. Terbuat dari beton dan memakai tulangan yang berguna memikul momen lentur yang bekerja.

- Pondasi tapak adalah pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom.



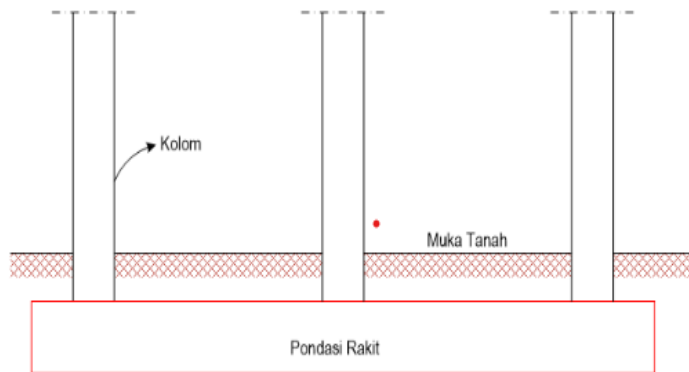
Gambar 2.2 Pondasi tapak
Sumber: sinausipil.com

- Pondasi memanjang adalah pondasi yang digunakan untuk mendukung dinding memanjang atau sederetan kolom yang berjarak dekat sehingga bila dipakai pondasi telapak sisinya akan berimpit satu sama lain.



Gambar 2.3 Pondasi Memanjang
Sumber : sinausipil.com

- Pondasi rakit (*raft foundation*) adalah pondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak atau digunakan bila susunan kolom-kolom jaraknya sedemikian dekat di semua arahnya, sehingga bila dipakai pondasi telapak, sisinya berimpit satu sama lain.



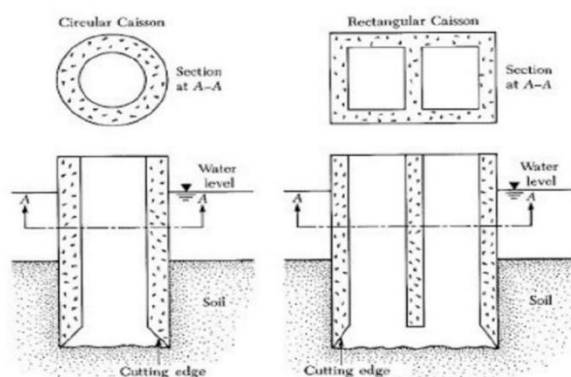
Gambar 2.4 Pondasi Rakit (raft foundation)

Sumber : sipilpedia.com

2. Pondasi Dalam (deep foundation)

Adalah pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak relatif jauh dari permukaan, perbandingan kedalaman dengan lebar pondasi lebih dari empat ($D/B \geq 4$), contoh : tiang pancang, *V pile*, *bore pile*.

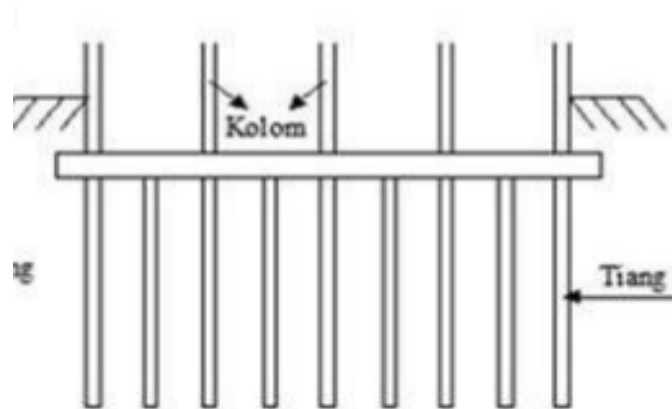
- Pondasi sumuran (*pier foundation/caisson*) yang merupakan bentuk peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang, digunakan bila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam.



Gambar2.5 Pondasi Sumuran (pier foundation/caisson)

Sumber : sinausipil.com

- Pondasi tiang (*Pile Foundation*) digunakan bila tanah pondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung nya, dan tanah keras terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Pondasi tiang umumnya diameternya lebih kecil dan lebih panjang dibandingkan dengan pondasi sumuran.



Gambar 2.6 Pondasi Tiang
 Sumber : (Hardiyatmo, 2002)

Menurut (Hardiyatmo, 2011), pondasi pile dapat dibagi 2 (dua) berdasarkan pelaksanaannya:

- Pondasi tiang pancang beton bertulang pracetak (precast reinforced concert pile)
- Pondasi tiang cor di tempat (cast in place), sering di sebut dengan tiang bored pile.

Pada umumnya pondasi dapat dibagi beberapa tipe berdasarkan bentuk dan fungsinya. Menurut (Hardiyatmo, 2008) Pondasi tiang dapat di bagi menjadi 3 (tiga) kategori berdasarkan besar perpindahannya adalah sebagai berikut :

1. Tiang perpindahan besar (Large displacement), Tiang perpindahan besar yaitu tiang pejal atau belubang dengan ujung tertutup yang dipancang kedalam tanah yang mengakibatkan perpindahan tanah yang relatif besar.
2. Tiang perpindahan kecil (small displacement pile) Tiang perpindahan kecil yaitu sama seperti tiang kategori tiang pertama hanya volume tanah yang dipindahkan saat pemanjangan relatif kecil.
3. Tiang Tanpa Perpindahan (non- displacement pile) Tiang tanpa perpindahan yaitu tiang yang terdiri dari tiang yang di pasang di dalam tanah dengan cara menggali atau mengebor tanah. Kategori tiang tanpa perpindahan yakni pondasi tiang bor/bore pile.

2.7 Pondasi Bored Pile

Pondasi bored pile merupakan pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dahulu (Hardiyatmo, 2010). Pemasangan pondasi bored pile ke dalam tanah lebih dahulu dilakukan dengan cara mengebor tanah, kemudian diisi tulangan yang telah dirangkai dan dituangkan beton. Apabila dalam tanah terdapat air maka diperlukan pipa besi atau yang biasa disebut dengan temporary casing untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi kelongsoran. Pipa ini akan dikeluarkan dan dilepas satu persatu waktu pengecoran beton.

Pondasi bored pile sangat cocok digunakan di tempat yang padat oleh bangunan karena tidak terlalu bising dan getarannya tidak menimbulkan dampak negatif terhadap bangunan di sekitarnya. Secara umum kelebihan dan kekurangan

penggunaan pondasi bored pile pada suatu proyek konstruksi adalah sebagai berikut:

1. Keuntungan

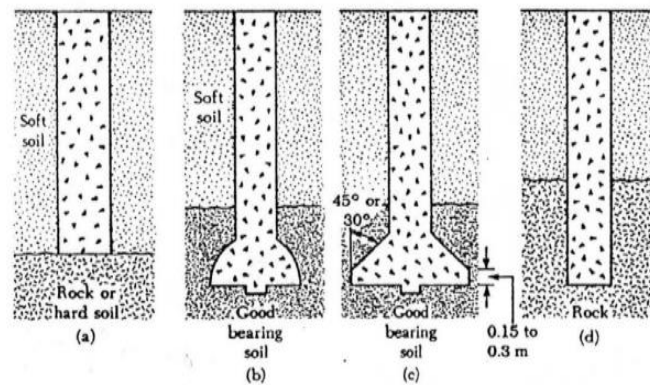
- a Kedalaman tiang dapat bervariasi
- b Kolom dapat langsung diletakan di pucuk bored pile
- c Tanah dapat diuji dan dibandingkan dengan data laboratorium
- d Mudah dipasang dengan diameter besar
- e Resiko kenaikan muka tanah kecil
- f Tidak banyak menimbulkan gangguan suara ataupun getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya
- g Tiang dapat menembus lapisan batuan

2. Kekurangan

- a Kemungkinan terjadi necking pada saat instalasi
- b Tidak mudah diperpanjang di atas muka air tanah
- c Mutu beton akan berpengaruh pada kapasitas dukung bored pile jika tidak terjamin keseragamannya
- d Metode pengeboran ada kemungkinan memperlemah tanah di sekitarnya

2.7.1 Jenis-Jenis pondasi bored pile

1. Bored pile lurus untuk tanah keras.
2. Bored pile yang ujungnya diperbesar berbentuk bel.
3. Bored pile yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium.
4. Bored pile lurus untuk tanah berbatu-batuan

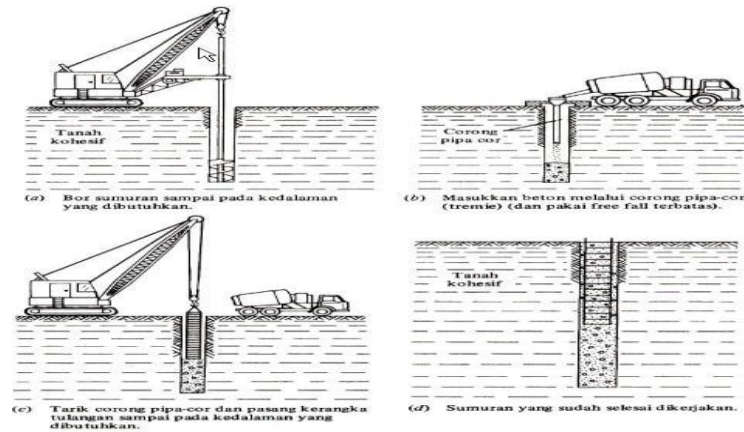


Gambar 2.7 Jenis-Jenis Pondasi Bored Pile
 Sumber : (Braja M. Das, 1941)

2.7.2 Metode Pengerjaan Bored Pile

1. Metode Kering

Cara ini sesuai dengan jenis tanah kohesif dan pada tanah dengan muka air tanah yang berada pada kedalaman di bawah dasar lubang bor atau jika permeabilitas tanahnya sangat kecil, sehingga pengecoran beton dapat dilakukan sebelum pengaruh air kecil. Pada metode kering yang pertama dilakukan adalah sumuran digali. Metode ini membutuhkan tanah tempat proyek yang tak berlekuk dan permukaan air di bawah dasar sumuran atau jika permeabilitasnya cukup rendah, sumuran bila digali dan dibeton sebelum sumuran terisi air cukup banyak sehingga bias mempengaruhi kekuatan beton.



Gambar 2.8 Proses Pelaksanaan Metode Kering
 Sumber: (Sosrodarsono, 2000)

2. Metode Acuan

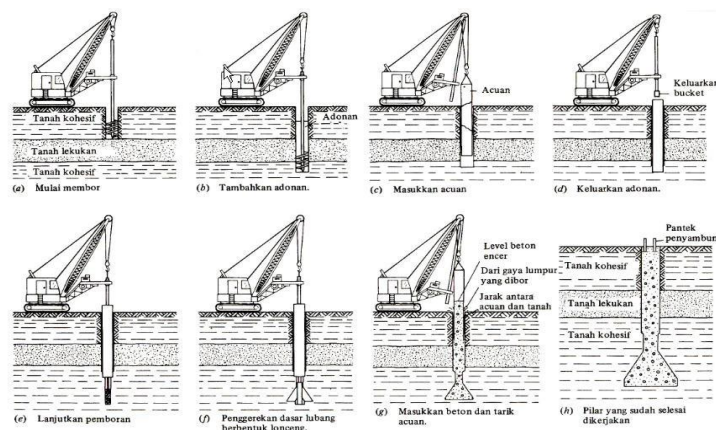
Metode ini dipakai pada tempat-tempat proyek yang mungkin terjadi lekukan atau deformasi lateral yang berlebihan terhadap rongga sumur (shaft cavity). Metode ini juga dipakai sebagai sambungan-perapat (seal) lubang terhadap masuknya air tanah tetapi hal ini membutuhkan lapisan tanah yang tidak bisa ditembus (kedap) air di bawah daerah lekukan tempat acuan bisa dipasangkan. Sebelum casing dimasukkan, suatu adonan spesi encer (slurry) digunakan untuk mempertahankan lubang. Setelah acuan dipasang, adonan dikeluarkan dan sumur diperdalam hingga pada kedalaman yang diperlukan dalam keadaan kering. Bergantung pada kebutuhan site dan proyek, sumuran di bawah acuan akan dikurangi paling tidak sampai pada ID acuan-kadangkadang 25 sampai 50 mm kurangnya untuk jarak ruang bor tanah (auger) yang lebih baik.

Acuan bisa saja ditinggalkan dalam sumuran atau bisa juga dikeluarkan. Jika dibiarkan di tempat, maka ruangan melingkar antara OD acuan dan

tanah (yang diisi dengan adonan atau lumpur hasil pengeboran) diganti dengan adukan encer (grout) yang diinjeksikan dengan tekanan. Adukan encer adalah campuran semen dengan cara menyisipkan pipa pada dasar adonan dan memompakan grout maka adonan akan dipindahkan ke atas puncak sehingga rongga tersebut diisi dengan adukan encer.

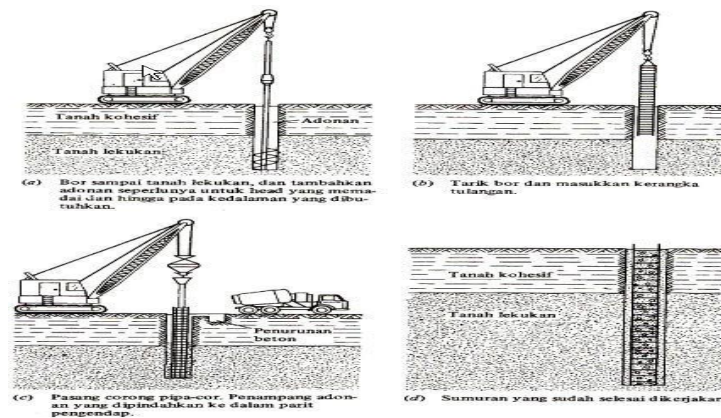
Sebagai kemungkinan lain, acuan bisa diangkat secara hati-hati untuk memastikan bahwa :

- a. Beton di dalam acuan tetap dalam keadaan encer.
- b. Kepala beton selalu lebih besar daripada kepala adonan sehingga beton yang menggantikan adonan bukan sebaliknya. Penarikan acuan dapat mengakibatkan daerah puncak sumuran menjadi oversize (berlebihan) bergantung pada kesesuaian antara OD acuan dan ID sumuran permulaan. Oversize ini jarang terjadi tetapi perlu diketahui sehingga volume total sumuran bisa dibandingkan dengan volume beton yang dipakai untuk meyakinkan bahwa sumuran tidak berisikan ronggarongga yang tidak disengaja.



Gambar 2.9 Metode Acuan konstruksi pilar yang dibor
 Sumber: (Sosrodarsono, 2000)

3. Metode ini bisa diterapkan pada semua keadaan yang membutuhkan acuan. hal ini diperlukan jika tidak mungkin mendapatkan penahan air (water seal) yang sesuai dengan acuan untuk menjaga agar air tidak masuk ke dalam rongga sumuran (shaft cavity). Pada metode ini diperlukan adanya “kepala” adonan (slurry head) yang cukup (atau kepadatan adonan yang dapat ditingkatkan menurut kebutuhan) sehingga tekanan di bagian dalam akan lebih besar dari tekanan GWT atau kecenderungan tanah untuk berlekuk.



Gambar 2.10 Metode adonan untuk konstruksi pilar yang dibor
 Sumber: (Sosrodarsono, 2000)

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam memakai metode ini adalah:

- a Jangan membiarkan adonan terlalu lama dalam sumuran sehingga akan terbentuk lapisan penyaring yang terlalu tebal pada dinding sumuran karena lapisan yang tebal sukar untuk digeser oleh beton selama pengisian sumuran.
- b Memompa adonan keluar dan partikel-partikel yang lebih besar dalam suspensi dipisahkan dengan memakai adonan “conditioned” yang dikembalikan lagi ke dalam sumuran sebelum di beton.

- c Hati-hati sewaktu menggali lempung melalui adonan, sehingga penarikan kepingan yang besar tidak menyebabkan tekanan atau pengipasan pori negatif yang bisa meruntuhkan sebagian dari sumuran.

Setelah sumuran selesai digali, tulangan kerangka dimasukkan ke dalam sumuran ke dalam sumuran dan sebuah corong pipa-cor (tremie) dipasang (urutan ini perlu diperhatikan sehingga corong pipa-cor tidak perlu ditarik sewaktu akan memasang kerangka (cage) dan lalu dipasang kembang, yang pasti akan mengakibatkan terputusnya pembentukan lapisan adonan dalam sumuran). Beton dipompa dengan hati-hati sehingga corong pipa-cor selalu terendam dalam beton sehingga hanya ada sedikit daerah permukaan yang terbuka dan yang terkontaminasi oleh adonan.

2.8 Kapasitas Daya Dukung Pondasi Bored Pile

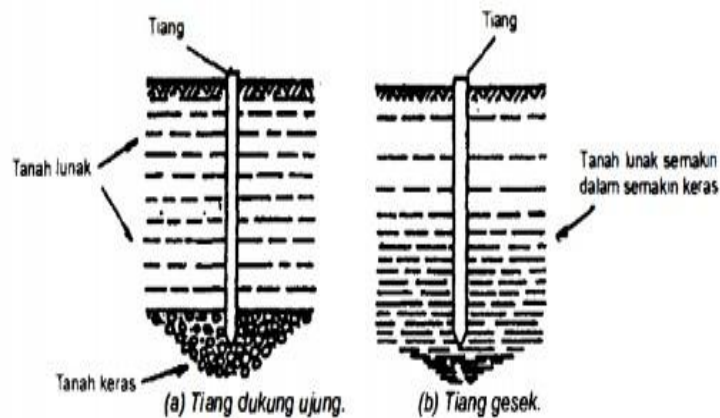
Kapasitas daya dukung adalah kemampuan suatu struktur untuk menahan beban yang diterima dari struktur itu sendiri dan juga struktur yang berada di atasnya. Kapasitas tiang (*pile capacity*) adalah kapasitas dukung tiang dalam mendukung beban (Hardiyatmo, 2011). Menurut cara mendukung bebannya, tiang dapat dibagi menjadi dua macam (Hardiyatmo, 2015), yaitu:

1. Tiang dukung ujung (end bearing pile)

Tiang dukung ujung adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tahanan ujung tiang terletak pada daerah tanah lunak atau lapisan keras lainnya yang dapat menahan beban yang tidak menyebabkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang ditentukan sepenuhnya oleh tahanan dukung lapisan keras di bawah ujung tiang.

2. Tiang gesek (friction pile)

Tiang gesek adalah tiang yang daya dukung bebannya ditentukan terutama oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya. Saat menghitung daya dukung tiang, ketahanan gesekan dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah di bawahnya harus diperhitungkan. Gambar tiang yang ditinjau dari cara mendukung bebannya dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Tiang Ditinjau dari Cara Mendukung Beban
Sumber: (Hardiyatmo, 2008)

Daya dukung pondasi tiang bor dapat dirumuskan dalam persamaan 2.1 berikut.

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s - W \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan:

Q_{ult} = daya dukung ultimit tiang (ton)

Q_p = daya dukung ultimit ujung tiang (ton)

Q_s = daya dukung ultimit selimut tiang (ton)

W = berat tiang (kN)

2.8.1 Kapasitas Dukung Tiang Tunggal

1. Kapasitas Dukung Tiang Tunggal Metode Reese & Wright (1977)

Persamaan untuk perhitungan kapasitas dukung tiang tunggal seperti daya dukung ujung dan daya dukung selimut menggunakan metode Reese & Wright (1977) dapat dilihat sebagai berikut.

A. Daya dukung ujung.

$$Q_p = A_p \times q_p \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan :

Q_p = daya dukung ujung (ton)

A_p = luas penampang bored pile (m^2)

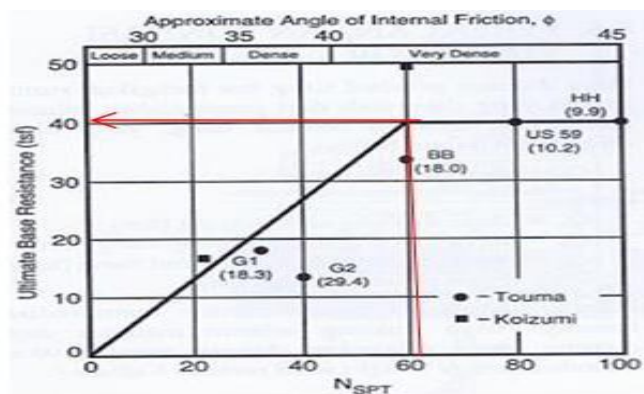
q_p = tahanan ujung per satuan luas (ton/m^2)

Untuk tanah kohesif:

$$q_p = 9 C_u \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk tanah non kohesif:

Reese & Wright (1977) mengusulkan korelasi antara q_p dan N_{SPT} seperti terlihat pada Gambar 2.12 berikut.



Gambar 2.12 Daya Dukung Ujung pada Tanah Non-Kohesif Reese & Wright,

1977

Sumber: (Hardiyatmo, 2002)

B. Daya dukung selimut

$$Q_s = f \times L \times p \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan:

Q_s = daya dukung selimut tiang (ton)

f = gesekan selimut tiang persatuan luas (ton/m^2)

L = panjang tiang bor (m)

p = keliling penampang tiang (m)

Gesekan selimut tiang persatuan luas dipengaruhi oleh jenis tanah dan parameter kuat geser tanah. Gesekan selimut tiang pada tanah kohesif dapat ditentukan dengan Persamaan 2.5 berikut

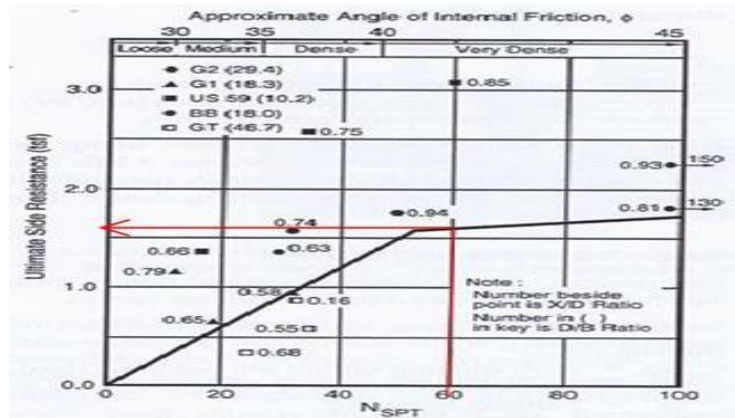
$$f = \alpha \times c_u \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan:

α = faktor adhesi, 0,55

c_u = kohesi tanah pada kondisi undrained

Besarnya nilai f pada tanah non kohesif dapat diperoleh dari korelasi langsung dengan N_{SPT} pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 berikut.



Gambar 2.13 Tahanan Geser Selimut Ultimit pada Tanah Non-Kohesif Reese & Wright, 1997
 Sumber: (Hardiyatmo, 2002)

C. Daya dukung ultimit

Daya dukung ultimit dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan

2.6 berikut.

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan:

Q_u = daya dukung ultimit (ton)

Q_p = daya dukung ujung ultimit (ton)

Q_s = daya dukung selimut tiang (ton)

D. Kapasitas dukung ijin tiang

Kapasitas dukung ijin tiang dapat dihitung dengan menggunakan

Persamaan 2.7 berikut.

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan:

Q_{all} = kapasitas dukung ijin tiang (ton)

Q_u = daya dukung ultimit (ton)

SF = angka aman untuk tahanan ujung tiang

Menurut Hardiyatmo (2008), dasar tiang yang dibesarkan dengan diameter $d < 2$ m digunakan faktor aman (SF) sebesar 2,5, sedangkan tiang tanpa pembesaran dibagian bawahnya digunakan faktor aman (SF) sebesar 2.

2. Kapasitas Dukung Tiang Tunggal Metode Meyerhof

Persamaan untuk perhitungan kapasitas dukung tiang tunggal seperti daya dukung ujung dan daya dukung selimut menggunakan metode Meyerhof dapat dilihat sebagai berikut.

A. Daya dukung ujung

$$Q_p = A_p \times f_p \dots\dots\dots (2.8)$$

$$f_p = 0,4 \times N_{60}' \times (L/D) \times \sigma_r \leq 3 \times N_{60}' \times \sigma_r \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan:

Q_p = daya dukung ujung (kN)

A_p = luas penampang bored pile (m^2)

N_{60}' = N_{SPT} yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan dan tekanan overburden

D = diameter tiang (m)

L = panjang tiang (m)

σ_r = tegangan referensi = 100 kPa

B. Daya dukung selimut

$$Q_s = \sum A_s \times f_s \dots\dots\dots (2.10)$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma_r \times N_{60} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan:

Q_s = daya dukung selimut (kN)

A_s = luas selimut tiang (m^2)

N_{60} = nilai N_{SPT} per lapisan tanah

σ_r = tegangan referensi 100 kPa

C. Daya dukung ultimit

Daya dukung ultimit dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan

2.12 berikut.

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan:

Q_u = daya dukung ultimit (ton)

Q_p = daya dukung ujung ultimit (ton)

Q_s = daya dukung selimut tiang (ton)

D. Kapasitas dukung ijin tiang

Kapasitas dukung ijin tiang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.13 berikut.

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan:

Q_{all} = kapasitas dukung ijin tiang (ton)

Q_u = daya dukung ultimit (ton)

SF = Angka aman untuk tahanan ujung tiang

Menurut Hardiyatmo (2008), dasar tiang yang dibesarkan dengan diameter $d < 2$ m digunakan faktor aman (SF) sebesar 2,5, sedangkan tiang tanpa pembesaran dibagian bawahnya digunakan faktor aman (SF) sebesar 2.

E. Mencari N60' koreksi

Skempton (1983) meneliti pengaruh dari prosedur pengujian SPT terhadap nilai N-SPT yang diperoleh. Disimpulkan bahwa N-SPT harus dikoreksi terhadap cara jatuhnya pemukul, tipe landasan (anvil) dan panjang total batang pipa bor. Nilai standar efisiensi energi bervariasi antara 35-85%, bila digunakan pemukul donat atau pemukul aman. Di amerika dan inggris rata-rata digunakan efisiensi energi 60%, untuk panjang batang bor lebih dari 10m. pada model pemukul otomatis terbaru, efisiensi energi bisa mencapai 80 - 100% bergantung pada tipe alat. Saat ini, dalam perancangan fondasi telah banyak digunakan korelasi-korelasi yang didasarkan pada N-SPT dengan mengubah N terukur menjadi N60 (FHWA, 2006). N60 menyatakan nilai N-SPT dengan efisiensi energi 60%.

Skempton (1986) menyarankan persamaan untuk mengkoreksi N dari lapangan dengan memperhatikan pengaruh prosedur pengujian, diameter lubang bor dan panjang batang bor:

$$N_{60} = \frac{1}{0,6} \times E_f \times C_b \times C_s \times C_r \times N \dots \dots \dots (2.14)$$

Dengan:

N_{60} = N-SPT telah dikoreksi

E_f = efisiensi pemukul

C_b = koreksi diameter lubang bor

C_s = koreksi oleh tipe tabung sampler

C_r = koreksi untuk panjang batang bor

N = nilai N-SPT hasil uji dilapangan

Diameter lubang bor juga berpengaruh terhadap nilai N. Telah diketahui bahwa jika diameter lubang bor 150 - 200 mm akan diperoleh N lapangan yang lebih kecil dibandingkan dengan diameter lubang 115 mm (lihat tabel 2.1)

Tabel 2.1 Efisiensi pemukul (E_f)

Negara	Tipe Pemukul	Mekanisme Pelepasan Pemukul	Efisiensi Pemukul (E_f)
Argentina	Donat	Cathead	0,45
Brasilia	Pin weight	Dilepas tangan	0,72
China	Otomatis	Trip	0,60
China	Donat	Dilepas tangan	0,55
China	Donat	Cathead	0,50
Columbia	Donat	Cathead	0,40
Jepang	Donat	Tombi trigger	0,78–0,85

Jepang	Donat	Cathead 2 turn + pelepas spesial	0,65–0,67
Inggris	Otomatis	Trip	0,73
Amerika	Aman	2 turn on cathead	0,55–0,60
Amerika	Donat	2 turn on cathead	0,45
Venezuela	Donat	Cathead	0,43

Sumber: Clayton, 1990

Tabel 2.2 Faktor koreksi SPT akibat pengaruh lubang bor, tabung sampler, batang bor

Faktor	Variasi Alat	Nilai Koreksi
Diameter lubang bor (Cb)	65 – 115 mm	1,00
Diameter lubang bor (Cb)	150 mm	1,05
Diameter lubang bor (Cb)	200 mm	1,15
Tabung sampler (Cs)	Tabung sampler standar	1,00
Tabung sampler (Cs)	Tabung sampler tanpa liner (tidak direkomendasikan)	1,20
Panjang batang bor (Cr)	3 – 4 m	0,75
Panjang batang bor (Cr)	4 – 6 m	0,85
Panjang batang bor (Cr)	6 – 10 m	0,95
Panjang batang bor (Cr)	> 10 m	1,00

Sumber: Skempton, 1986

2.9 Penurunan Pondasi Bored pile

Penurunan pondasi terjadi karena adanya beban di atas pondasi yang mengakibatkan tegangan pada lapisan tanah di bawah beban tersebut. Adanya pembebanan mengakibatkan keluarnya air pori disertai berkurangnya volume tanah sehingga dapat terjadi deformasi partikel tanah.

Penurunan elastis pondasi tiang adalah perpindahan vertikal tiang akibat deformasi elastis tanah disekitarnya menerima beban. Deformasi ini dapat dibalik, artinya tiang akan kemali ke pondasi semula jika beban dihilangkan.

Vesic (1977) memisahkan penurunan total menjadi tiga komponen dan menyarankan untuk menentukan dari analisis elastis. Tiga komponen elastis tersebut adalah:

1. Pendekatan elastis tiang
2. Penurunan tiang akibat beban yang berkerja (Q_{wp}) di titik tiang
3. Penurunan tiang akibat beban kerja (Q_{ws}) di sepanjang poros tiang

Penurunan elastis total tiang dibawah beban kerja Q_w dihitung dengan persamaan 2.15 berikut.

$$S_e = S_{e1} + S_{e2} + S_{e3} \dots\dots\dots(2.15)$$

Jika tidak ada gesekan sepanjang poros tiang, beban tiang tetap sama di semua kedalaman, dan pendekatan elastis menjadi $Q_w L / A_p E_p$. Karena gesekan, $S_{e(1)}$ akan berbeda dan bergantung pada variasi gesekan di sepanjang poros tiang. Hal ini dapat ditunjukkan secara teoritis dalam Persamaan 2.16 berikut.

$$S_{e1} = \frac{(Q_{wp} + \xi \times Q_{ws})L}{A_p E_p} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan:

Q_{wp} = beban kerja pada titik tiang

Q_{ws} = beban kerja sepanjang poros tiang

A_p = luas penampang tiang

L = panjang tiang

E_p = modulus elastisitas material tiang

ξ = Kontanta dalam kisaran 0,50-0,67

Penurunan tiang pancang yang disebabkan oleh beban yang dipikul pada titik tiang dapat dinyatakan dalam persamaan 2.17 berikut.

$$S_{e2} = \frac{Q_{wp} C_p}{D q_p} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dengan:

D = diameter tiang

Q_{wp} = beban kerja di titik tiang

q_p = tahanan titik ultimit tiang

C_p = koefisien empiris

Penurunan tiang yang disebabkan oleh beban yang dipikul oleh poros tiang dapat dinyatakan dalam persamaan 2.18 berikut.

$$S_{e3} = \left(\frac{Q_{ws}}{p \times L} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dengan:

P = keliling tiang

L = panjang tiang yang tertanam

I_{ws} = faktor pengaruh

Sebagai catatan bahwa Q_{ws}/ypL adalah nilai rata-rata f sepanjang poros tiang. Faktor pengaruh memiliki hubungan empiris yang sederhana (Vesic, 1977):

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \dots\dots\dots(2.19)$$

Penurunan yang diizinkan dari suatu bangunan bergantung pada beberapa faktor seperti jenis, tinggi, dan fungsi bangunan. Semakin lambat penurunan, maka struktur semakin bisa menahan diri terhadap penurunan yang terjadi tanpa adanya kerusakan struktur. Adanya syarat perbandingan penurunan yang sudah aman yaitu $S_{total} \leq S_{izin}$ yang dapat dilihat pada persamaan 2.20 dan Persamaan 2.21 berikut.

$$S_{izin} = 10\% \times D \dots\dots\dots(2.20)$$

Dengan:

D = diameter tiang (m)

Perhitungan penurunan yang diizinkan pada kelompok tiang dapat digunakan persamaan berikut.

$$S_{izin} = \frac{L}{250} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dengan:

L = kedalaman tiang (m)

Untuk mengetahui nilai modulus elastisitas tanah (E_s) dan poisson ratio (μ_s) dapat dilihat Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.3 Nilai Elastisitas Tanah

Jenis Tanah	E_s (kN/m ²)
Lempung	
Sangat lunak	300 – 3000
Lunak	2000 – 4000
Sedang	4500 – 9000

Keras	7000 – 20000
Berpasir	30000 – 42500
Pasir	
Berlanau	5000 – 20000
Tidak padat	10000 – 25000
Padat	50000 – 100000
Pasir dan kerikil	
Padat	80000 – 200000
Tidak padat	50000 – 140000
Lanau	2000 – 20000
Loess	15000 – 60000
Serpih	140000 - 1400000

Sumber: Bowles, 1997

Tabel 2.4 Angka Poissin Ratio

Jenis Tanah	Angka Poisson
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir padat	0,3 – 0,4
Pasir kasar (angka pori, $e = 0,40-0,70$)	0,15
Pasir halus (angka pori, $e = 0,40-0,70$)	0,25
Batu	0,1 – 0,4
Loose	0,1 – 0,3

Sumber: Hardyatmo, 2002