

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur publik yang memadai merupakan salah satu prioritas utama dalam mendukung keberlanjutan tata kelola lingkungan dan pelayanan masyarakat. Di wilayah Sumatera, peningkatan proyek pembangunan balai-balai pemerintah, termasuk Balai Pengelolaan Pemanfaatan Hutan dan Lingkungan Hidup (PPHLHK), menjadi langkah strategis dalam memperkuat fungsi kelembagaan kehutanan dan lingkungan

Kondisi tanah di wilayah Sumatera sangat bervariasi, mulai dari tanah lempung lunak di pesisir hingga tanah keras di daerah dataran tinggi. Variasi ini berpengaruh besar terhadap daya dukung tanah, sehingga perencanaan pondasi yang tidak sesuai dengan kondisi tanah dapat menyebabkan kerusakan struktural bahkan kegagalan total bangunan. Oleh karena itu, penyelidikan tanah dengan metode yang akurat seperti sondir (*Cone Penetration Test/CPT*) menjadi penting sebagai dasar perencanaan fondasi.

Daya dukung tanah perlu diketahui untuk menghitung dan merencanakan sebuah dimensi beban struktur yang akan dibangun. Apabila daya dukung tanah tidak mampu menerima beban dari struktur yang direncanakan, dengan data daya dukung tanah yang telah diketahui kita dapat melakukan perlakuan tertentu agar nilai daya dukung tanah dapat mencapai nilai yang diinginkan. Penimbunan dan pemadatan merupakan salah satu perlakuan tertentu untuk mendapatkan nilai daya dukung tanah.

Penyelidikan kondisi dibawah tanah merupakan prasyarat bagi perencanaan dari elemen konstruksi bawah tanah. Perlu juga untuk mendapatkan informasi yang mencukupi untuk desain yang ekonomis untuk sebuah proyek yang diusulkan. Salah satu percobaan yang digunakan dalam mengetahui daya dukung suatu tanah yaitu dengan menggunakan percobaan, CPT (*Cone Penetration Test*).

Cone Penetration Test (CPT) atau lebih sering disebut sondir merupakan salah satu survey lapangan yang berguna untuk memperkirakan letak lapisan tanah keras. Tes ini baik dilakukan pada tanah lempung. Dari tes ini didapatkan nilai perlawanan penetrasi konus. Perlawanan penetrasi konus adalah perlawanan tanah terhadap ujung konus yang dinyatakan dalam gaya persatuan luas. Sedangkan hambatan lekat adalah perlawanan geser tanah terhadap selubung bikonus dalam gaya persatuan panjang. Nilai perlawananan penetrasi konus dan hambatan lekat bisa diketahui dari pembacaan manometer.

Dalam analisis ini, dua metode digunakan untuk mengevaluasi daya dukung pondasi tiang bor (*bored pile*), yaitu metode *Meyerhoff* dan *Schmertmann & Nottingham* dan penurunan tiang tunggal. Metode *Meyerhoff* lebih bersifat empiris dengan pendekatan konvensional yang mempertimbangkan daya dukung ujung dan friksi selimut. Sementara itu, metode *Schmertmann & Nottingham* memanfaatkan data sondir secara langsung untuk mengevaluasi kapasitas dukung tiang berdasarkan kondisi actual di lapangan.

Penelitian ini bertujuan untuk melengkapi keterbatasan penelitian terdahulu dengan mengaplikasikan metode kuantitatif berbasis data sondir pada proyek nyata pembangunan Balai PPHLHK Wilayah Sumatera. Penelitian ini akan menggunakan

pendekatan empiris untuk menghitung daya dukung tanah, dan membandingkannya daya dukung pondasi bored pile dengan metode *Meyerhoff* dan *Schmertmann & Nottingham* serta mengevaluasi tingkat keamanan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hasil daya dukung tanah berdasarkan data sondir menggunakan metode analitis (*Meyerhoff dan Schmertmann & Nottingham*)
2. Bagaimana hasil perhitungan penurunan tiang tunggal pada pondasi bored pile
3. Bagaimana perbandingan daya dukung dan penurunan tiang tunggal dari metode analitis (*Meyerhoff dan Schmertmann & Nottingham*)

1.4 Batasan Masalah

1. Lokasi penelitian adalah proyek Pembangunan balai pphlhk Sumatera
2. Menggunakan data sondir sebagai perhitungan pada 2 titik yang berbeda
3. Menggunakan metode analitis yaitu (*Meyerhof dan Schmertmann & Nottingham*)

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menghitung daya dukung tanah berdasarkan data sondir menggunakan metode analitis (*Mayerhoff dan Schmertmann & Nottingham*)
2. Menghitung penurunan tiang tunggal pada pondasi bored pile
4. Mengetahui perbandingan daya dukung dan penurunan tiang tunggal dari metode analitis (*Meyerhoff dan Schmertmann & Nottingham*)

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian yang diharapkan penulis ini adalah

1. Sebagai bekal atau ilmu yang dapat digunakan dalam dunia pekerjaan bagi penulis
2. Memahami cara menggunakan metode *Mayerhoff* dan *Schmertmann & Nottingham* dengan menggunakan data sondir (CPT)
3. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi mahasiswa dan mahasiswi di Universitas Islam Sumatera Utara

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Yang Relevan

Penelitian yang dilakukan oleh Indra Mutiara (2021) dengan judul “Analysis of Bored Pile Foundation Bearing Capacity Based on Cone Penetration Test Data (Case Study: Cilellang Weir Location)” bertujuan untuk mengevaluasi data SPT terhadap daya dukung pondasi bored pile dengan menggunakan perhitungan Schmertmann&Nottingham serta metode Mayerhoff. Dari hasil penelitian ini didapat perhitungan daya dukung ultimate (Qu) pada Lokasi S-1 dan S-2 menunjukkan bahwa nilai Qu meningkat seiring dengan bertambahnya diameter tiang bor, baik dengan metode Schmertmann & Nottingham maupun Meyerhoff.

Penelitian oleh Kristina Napitipulu dan Kartika Indah Sari (2023) dengan judul “Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data Pengujian CPT Dengan Software Plaxis Pada Pembangunan Pasar Baru Panyabungan Kabupaten Mandailing Natal “ yang meneliti tentang daya dukung dan penurunan pondasi boredpile dengan data SPT dan menggunakan data PDA sebagai perbandingan dengan hasil bahwa daya dukung tiang dari metode analitis (CPT) lebih besar dari pada hasil PDA test dengan selisih sebesar 12,875 Ton, sementara penurunan pada tiang dari PDA test lebih besar dibandingkan dengan metode analitis dengan selisih 8,551 mm dan Plaxis sebesar 10,581 mm dengan selisih daya dukung antara metode plaxis dan PDA test adalah 0,25 Ton.

Penelitian oleh Irma Ridhayani dan Irfan saputra (2021) dengan judul “ Studi Analisis Daya Dukung Tanah Berdasarkan Data Sondir Di Kampus Padhang-

Padhang Universitas Sulawesi Barat” Berdasarkan hasil pengujian maka nilai dari hasil pengujian sondir dapat diketahui melalui grafik hubungan komulatif perlawanan konus dan didapat data sondir dari ke 5 titik data sondir titik terendah didapat pada titik 2 yaitu 2,20 m dengan nilai konus sebesar 155 kg/cm² dengan geseran totalnya sebesar 248,00 kg/cm² dan titik terbesar didapat pada titik 5 yaitu 4,40 m dengan nilai konus sebesar 150 kg/cm² dengan geseran totalnya 269,33 kg/cm. Jenis tanah yang ada pada lokasi atau tempat penelitian termasuk jenis tanah berkoehesi (lempung, lanau), karna lapisan tanah atas mempunyai daya dukung yang besar (qc besar) sehingga pondasi cukup pada kedalaman 2-4 m, maka jenis pondasi menggunakan pondasi dangkal. Bila dilakukan pembangunan dengan konstruksi besar atau berat maka perlu melakukan perkuatan tanah sehingga bisa menggunakan pondasi dala.

Penelitian yang dilakukan oleh Hendra Cahyadi Akhmad Gazali Firman Al Hakim (2 desember 2020) .” Analisis daya dukung pondasi bore pile berdasarkan data sondir padap royek pembangunan instalasi ibu kota kecamatan (ikk) perusahaan daerah air minum (pdam) kabupaten tanah laut” Dari analisis yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: 1. Daya dukung ultimit (Qult) pondasi bore pile dengan metode Van Der Ween adalah 213,20 ton dengan daya dukung izin (Qizin) 71,06 ton untuk titik kedua (S02) dan 193,52 ton dengan daya dukung izin (Qizin) 64,50 ton untuk titik ketiga (S03). 2. Daya dukung ultimit (Qult) pondasi bore pile dengan metode Philipponant adalah 136,51 ton dengan daya dukung izin Sama sama menggunakan tiga metode yang sama, dan dari jurnal ini contoh perhitungannya yang saya akan ambil contoh untuk menyelesaikan tugas

penelitian saya. (Qizin) 45,50 ton untuk titik kedua (S02) dan 135,06 ton dengan daya dukung izin (Qizin) 45,02 ton untuk titik ketiga (S03).

Penelitian selanjutnya berjudul “Analisa Perbandingan Daya Dukung Pondasi BoredPile Berdasarkan Data Sondir Dan Pile Driving Analyzer Test Pada Proyek Pengembangan Gedung J Universitas Kristen Petra Surabaya”. Penelitian ini menggunakan 4 metode berdasarkan data sondir yaitu Metode Aoki dan De Alencar, Metode Price dan Wardle, Metode Meyerhof, dan Metode Philipponnat. Metodologi pengumpulan data dilakukan dengan pengambilan data dari pihak proyek, serta melakukan penelitian kepustakaan. Lokasi pondasi boredpile yang digunakan dalam penelitian ini berlokasi di Gedung J – Universitas Kristen Petra Surabaya. Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan hasil dari perhitungan daya dukung berdasarkan data sondir yang paling mendekati dengan PDA Test. Hasil analisis memperlihatkan Daya Dukung Ultimate dari yang terendah dan yang tertinggi pada metode statis (data sondir) adalah Meyerhof (98,390 ton) dan Aoki dan De Alencar (34,943 ton) pada Titik S2 ; Meyerhof (91,333 ton) dan Aoki dan De Alencar (31,761 ton) pada Titik S4. Data uji PDA memberikan nilai daya dukung sebesar 93 ton pada Titik S2 dan 99 ton pada Titik S4. Nilai rasio antara uji sondir dan uji PDA yang paling mendekati nilai 1 adalah Metode Meyerhof sebesar 0,982 pada Titik S2 dan 0,993 pada Titik S4.

2.2 Tanah

Tanah adalah lapisan hitam tipis yang menutupi bahan pada bumi dan merupakan partikel-partikel remah sisa vegetasi dan hewan. Tanah memiliki peranan penting bagi kehidupan di bumi karena tanah mendukung kehidupan

tumbuhan dengan menyediakan hara dan air sekaligus sebagai penopang akar. Tanah juga sebagai tempat tinggal hewan, manusia, dan mikroorganisme.

2.3 Pengertian Tanah

Tanah dalam pandang Teknik sipil adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di antara batuan dasar (*bedrock*) (Yatmo, H.C. 200). Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) padat yang tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. (Das, 2002)

Bagian ini disebut sebagai tanah sisa. Hasil pelapukan terangkut ke tempat lain tanah juga didefinisikan sebagai akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau yang lemah partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Di antara partikel-partikel tanah terdapat tanah ruang kosong yang disebut pori-pori yang berisi air dan udara. Ikatan yang lemah antara partikel-partikel tanah disebabkan oleh karbonat dan oksida tersenyawa di antara partikel-partikel tersebut, atau dapat juga disebabkan oleh adanya material organik. Bila hasil dari pelapukan tersebut berada pada tempat semula maka dan mengendap di beberapa tempat yang berlainan disebut tanah bawaan (*transportation*). Media pengangkut tanah berupa gravitasi, angin, air, dan gletser. Pada saat akan berpindah tempat, ukuran dan bentuk partikel-partikel dapat berubah dan terbagi dalam beberapa rentang ukuran.

Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan oleh angin dan *gletser*, atau perpevahan akibat pembekuan dan pencairan

es dalam batuan sedangkan proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu penyebabnya adalah mengandung asam alkali, oksigen dan karbondioksida. Pelapukan kimiawi menghasilkan pembentukan kelompok-kelompok partikel yang berukuran koloid ($<0,002$ mm) yang terkenal sebagai mineral lempung.

Tanah lempung terdiri dari butir-butir yang sangat kecil ($<0,002$ mm) dan menunjukkan sifat-sifat plastesida dan kohesi. Kohesi menunjukkan kenyataan bahwa bagian-bagian itu melekat satu sama lainnya, sedangkan plastisida adalah sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu di rubah-rubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah (Wesley, 1997).

Partikel lempung dapat terbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus. Karena itu, tanah lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Umumnya, terdapat kira-kira 15 macam mineral yang di klasifikasikan sebagai mineral lempung yakni : *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite* (Yatmo.H.C. 1992). Semua macam tanah secara umum terdiri dari tiga bahan yaitu, butiran tanahnya sendiri, serta air dan udara yang terdapat dalam ruangan antara butir-butiran tersebut. Ruangan ini disebut pori (*voids*). Apabila bila tanah sudah benar-benar kering maka tidak akan ada air sama sekali dalam porinya, keadaan semacam ini jarang di temukan pada tanah yang masih dalam keadaan asli dilapangan. Air hanya dapat dihilangkan sama sekali dari tanah apabila kita ambil tindakan khusus untuk maksud itu, misalnya dengan memanaskan di dalam oven (Wesley. 1997).

Peranan tanah ini sangat penting dalam perencanaan atau pelaksanaan bangunan karena tanah tersebut berfungsi untuk mendukung beban yang ada di atasnya, oleh karena itu tanah yang akan dipergunakan untuk mendukung konstruksi harus di persiapkan terlebih dahulu sebelum di pergunakan sebagai tanah dasar (*Subgrade*)

2.4 Penyelidikan Tanah (*Soil investigation*)

Berdasarkan Bowles, Joseph E. (1984) Uji Penyelidikan tanah adalah kegiatan untuk mengetahui daya dukung dan karakteristik tanah serta kondisi geologi, seperti mengetahui susunan lapisan tanah/sifat tanah, mengetahui kekuatan lapisan tanah dalam rangka penyelidikan tanah dasar untuk keperluan pondasi bangunan, jalan, dll, kepadatan dan daya dukung tanah serta mengetahui sifat korosivitas tanah

Tujuan yang ingin dicapai dalam penyelidikan tanah adalah:

- Menentukan daya dukung tanah menurut tipe pondasi
- Menentukan tipe dan kedalaman pondasi
- Untuk mengetahui posisi letak muka air tanah
- Untuk meramalkan besarnya penurunan
- Untuk mengetahui data sifat karakteristik lapisan tanah

Dapat diketahui kedalaman lapisan tanah keras yang dapat dijadikan hasil - hasil penyelidikan tanah harus memberikan informasi yang cukup memadai, misalnya untuk menentukan pilihan jenis pondasi, daya dukungnya, dan untuk menentukan metode konstruksi yang efisien. Tuntutan penyelidikan tanah tergantung dari besarnya beban bangunan, Tingkat keamanan yang diinginkan, kondisi lapisan tanah, dan dan yang tersedia untuk penyelidikan. Oleh karena itu

untuk bangunan sederhana atau ringan, kadang tidak dibutuhkan penyelidikan tanah, karena kondisi tanahnya dapat diketahui berdasarkan pengalaman setempat.

2.4.1 *Sondering Test (CPT)*

Pengujian sondir adalah pengujian dengan menggunakan alat sondir yang ujungnya berbentuk kerucut dengan sudut 60° dan dengan luasan ujung 1,54 in² (10 cm²). Alat ini digunakan dengan cara ditekan ke dalam tanah terus menerus dengan kecepatan tetap 20 mm/detik, sementara itu besarnya perlawanan tanah terhadap kerucut penetrasi (q_c) juga terus diukur.

Tes sondir adalah uji lapangan untuk mengetahui perlawanan penetrasi konus dan hambatan lekat tanah. Perlawanan penetrasi konus adalah resistensi tanah terhadap ujung konus yang diukur dalam satuan gaya per luas area. Hambatan lekat adalah resistensi geser tanah terhadap selubung bikonus yang juga diukur dalam satuan gaya per luas area. Berdasarkan kapasitasnya, alat sondir dibagi menjadi dua jenis: sondir ringan (2 ton) dan sondir berat (10 ton). Sondir ringan digunakan untuk mengukur tekanan konus hingga 150 kg/cm² atau kedalaman 30 meter, terutama pada tanah lempung padat, lanau padat, dan pasir kasar. Hasil uji sondir, termasuk nilai jumlah perlawanan (JP), digunakan untuk menginterpretasikan sifat-sifat tanah dan merencanakan pondasi bangunan, dan nilai jumlah perlawanan (JP) dan nilai perlawanan konus (PK), sehingga hambatan lekat (HL) dapat dihitung sebagai berikut:

1. Hambatan Lekat (HL)

$$HL = (JP - PK) \times \frac{a}{b} \dots\dots\dots (2.1)$$

2. Jumlah Hambatan Lekat

$$JHL = \sum_{n=0}^i HL \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

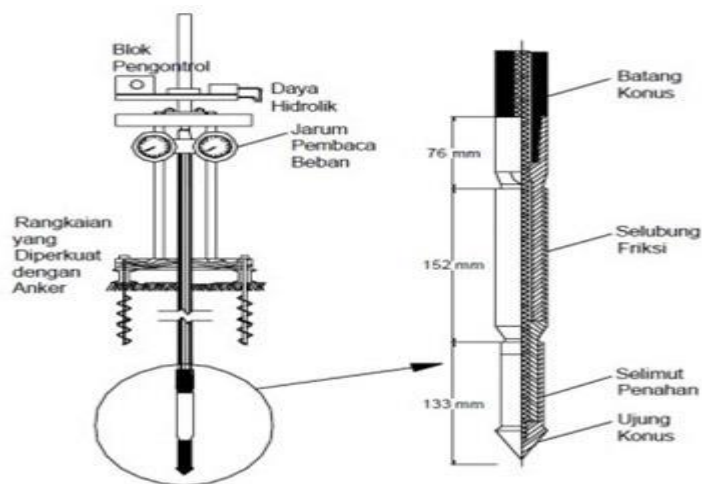
JP = Jumlah perlawanan, perlawanan ujung konus + selimut (kg/cm²)

PK = Perlawanan penetrasi konus, qc (kg/cm²)

A = Interval pembacaan (setiap kedalaman 20 cm)

B = Faktor alat luas konus/luas torak = 10 cm

I = Kedalaman lapisan tanah yang ditinjau (m)



Gambar 2.1 Alat sondir
 Sumber : binus.ac.id 2021

2.4.2 Boring SPT (*Standar Penetration Test*)

Standar penetration test atau lebih sering dikenal sebagai SPT merupakan suatu cara yang dilakukan dilapangan atau lokasi pekerjaan yang bertujuan untuk mengetahui atau mendapatkan daya dukung tanah secara langsung di proyek. Selain itu test ini juga bertujuan untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh tanah dengan teknik penumbukan. Uji SPT ini merupakan percobaan dinamis yang dilakukan dalam suatu lubang bor dengan memasukkan

tabung sampel yang berdiameter dalam 35 mm sedalam 305 mm dengan menggunakan masa pendorong (palu) seberat 63,5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760 mm.

Banyaknya pukulan palu tersebut untuk memasukkan tabung sampel sedalam 305 dinyatakan sebagai nilai N pelaksanaan dilakukan dalam tiga tahap yang mana tahap pertama merupakan dudukan sementara Jumlah pukulan untuk memasukkan tahap kedua dan ketiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT dinyatakan dalam pukulan per 30 cm.

Keuntungan Menggunakan test SPT :

- a. Dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis tanah secara visual,
- b. Dapat digunakan untuk mendapatkan parameter secara kualitatif melalui korelasi empiris
- c. Test ini dapat dilakukan dengan cepat dan operasinya sederhana,
- d. Biaya yang digunakan relative murah,
- e. Prosedur pengujian sederhana dapat dilakukan secara manual,
- f. Dapat digunakan pada sembarang jenis tanah dan batuan lunak,
- g. Sampel tanah terganggu dapat diperoleh untuk identifikasi jenis tanah,
- h. Uji SPT pada pasir, hasilnya dapat langsung digunakan untuk memprediksi kerapatan relative dan kapasitas daya dukung tanah.

Kekurangan menggunakan test SPT :

- a. Profil kekuatan tanah tidak menerus,
- b. Perlu ketelitian dalam pelaksanaan test ini,
- c. Hasil yang didapat merupakan contoh tanah terganggu,
- d. Interpretasi hasil SPT bersifat empiris,

- e. Ketergantungan pada operator dalam menghitung,
- f. Nilai N yang diperoleh merupakan data sangat kasar bila digunakan tanah lempung.

2.5 Pondasi

Menurut Gunawan (1983), pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi 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 dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban berguna dan gaya-gaya luar, seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain tanpa mengakibatkan terjadi keruntuhan geser tanah dan penurunan (*settlement*) tanah / pondasi yang berlebihan. Suatu pondasi akan aman apabila:

- a. penurunan (*settlement*) tanah yang disebabkan oleh beban masih dalam batas yang diperbolehkan.
- b. keruntuhan geser dari tanah dimana pondasi berada tidak terjadi.

Berdasarkan struktur beton bertulang, pondasi berfungsi untuk :

1. Menyalurkan Beban: Pondasi berfungsi untuk menyalurkan beban dari struktur bangunan ke tanah. Beban ini meliputi beban mati (berat bangunan itu sendiri), beban hidup (beban yang ditimbulkan oleh penghuni dan perabot), serta beban lainnya seperti beban angin dan gempa.
2. Menjaga Stabilitas: Pondasi membantu menjaga stabilitas bangunan dengan memastikan bahwa beban yang diterima tidak menyebabkan pergeseran atau penurunan yang tidak merata pada struktur. Ini penting untuk mencegah kerusakan pada bangunan.

3. Mencegah Penurunan: Dengan mendistribusikan beban secara merata ke tanah, pondasi mencegah penurunan yang berlebihan yang dapat menyebabkan retakan atau kerusakan pada dinding dan elemen struktural lainnya.

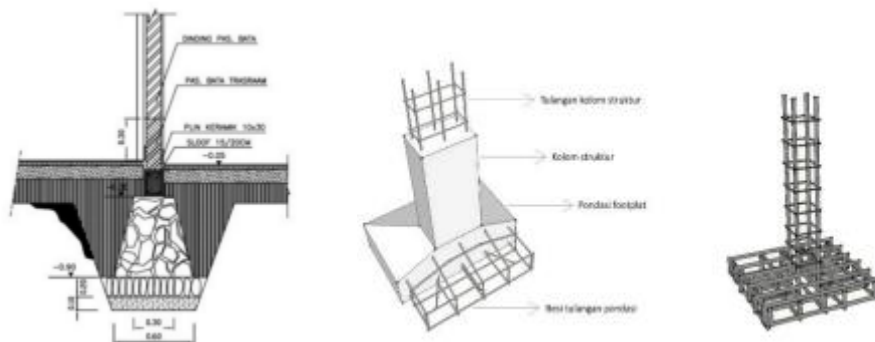
2.5.1 Jenis – jenis pondasi

Menurut Nusa Setiani,(2022) dalam perencanaan pondasi untuk suatu konstruksi dapat digunakan beberapa macam jenis pondasi. Pemilihan tipe pondasi harus disesuaikan dengan beberapa kriteria,diantaranya fungsi bangunan atas yang akan dipikul oleh pondasi tersebut,besarnya beban,berat struktur atas dan keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan serta biaya pondasi sehingga dalam perencanaan pondasi dapat terpenuhi keamanan bangunan tersebut.

Secara umum,pondasi dibagi menjadi 2 kelompok berdasarkan dari letak tanah kerasnya serta perbandingan antara kedalaman pondasi dan lebar pondasi yaitu pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*).

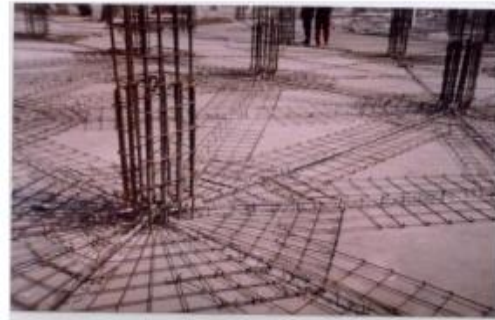
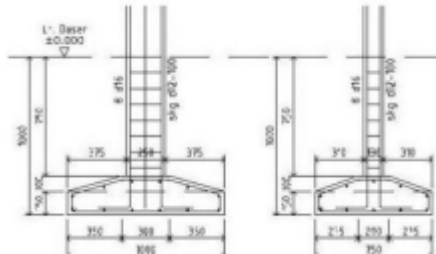
a. Pondasi dangkal

Pondasi yang dasarnya terletak dekat dengan permukaan tanah. Bisa dinamakan juga sebagai alas, telapak, telapak tersebar atau pondasi rakit. Pondasi ini mendukung bebannya secara langsung. Kedalamannya pada umumnya $D/B \leq 4$. Adapun jenis pondasi dangkal yaitu pondasi telapak, pondasi batu kali, pondasi cakar ayam, dan pondasi sarang laba-laba.



a) Pondasi batu kali

b) Pondasi cakar ayam



c) Pondasi cakar ayam

d) Pondasi sarang laba laba

Gambar 2.2 pondasi dangkal

Sumber : *binus.ac.id* 2021

b. Pondasi dalam

Pondasi yang lapisan tanah kerasnya terletak berada jauh dari permukaan tanah atau kedalaman pondasi dari muka tanah lebih dari lima kali lebar pondasi ($D/B > 4$) sehingga daya dukung tanah permukaan tidak mampu memikul beban struktur atas. Adapun beberapa pertimbangan memilih pondasi dalam yaitu:

1. Lapisan tanah kerasnya berada jauh dari permukaan tanah
2. Untuk konstruksi dimana beban terpusat dari struktur atas yang disalurkan ke pondasi sangat besar
3. Untuk konstruksi di laut atau yang berhubungan dengan air
4. Untuk mengatasi kesulitan pelaksanaan konstruksi di lokasi dengan elevasi muka air tanah yang tinggi

2.5.2 Klasifikasi Pondasi Tiang

Berdasarkan metode instalasinya, pondasi tiang pada umumnya dapat diklasifikasikan atas :

a. Tiang pancang

Pondasi tiang pancang merupakan pondasi tiang yang dibuat terlebih dahulu biasanya dari beton fabrikasi, kemudian dimasukkan ke dalam tanah hingga mencapai kedalaman tertentu. Metode yang paling umum untuk menancapkan tiang ke dalam tanah adalah dengan menggunakan sebuah mesin yang disebut mesin pemancang dan prosesnya disebut sebagai pemancangan tiang. Istilah “pemancangan” tersebut bisa meliputi penggetaran tiang dan penekanan tiang secara hidrolis yang menyebabkan desakan ke dalam tanah sehingga mencapai tegangan kontak antara selimut tiang dengan tanah yang relatif lebih besar dibandingkan dengan tiang bor (*bored pile*).

b. Pondasi *Bored Pile*

Pondasi bored pile adalah jenis pondasi dalam yang berbentuk tabung, yaitu berfungsi meneruskan beban struktur bangunan di atasnya dari permukaan tanah sampai lapisan tanah keras dibawahnya. Pondasi *bored pile* memiliki fungsi yang sama dengan pondasi tiang pancang atau pondasi dalam lainnya. Pondasi Boredpile adalah pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah terlebih dahulu.

Pemasangan pondasi *Bored Pile* ke dalam tanah dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, yang kemudian diisi tulangan yang telah dirangkai dan dicor beton. Apabila tanah mengandung air, maka dibutuhkan pipa besi atau yang biasa disebut dengan *Temporary Casing* untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi kelongsoran, dan pipa ini akan dikeluarkan pada waktu pengecoran beton. Pondasi *bored pile* digunakan apabila tanah dasar yang kokoh yang mempunyai daya dukung besar terletak sangat dalam, yaitu kurang lebih 15m.

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 adhesi antara bored pile dan tanah disekelilingnya. *Bored pile* berinteraksi 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.

Ada beberapa alasan digunakan pondasi tiang bor dalam konstruksi, yaitu:

1. Cocok digunakan untuk lokasi yang sempit karena *bored pile* tunggal dapat digunakan pada pile cap atau tiang kelompok.
2. Diameter dan kedalaman tiang dapat divariasikan sesuai dengan yang sudah ditentukan
3. Pondasi *bored pile* dapat didirikan sebelum penyelesaian tahapan selanjutnya dan mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap beban lateral.
4. Meskipun saat pemasangan pondasi *bored pile* menimbulkan getaran tanah, tidak akan mengakibatkan kerusakan pada bangunan yang ada di dekatnya.
5. Proses pemasangan pondasi *bored pile* pada tanah lempung tidak akan membuat tiang bergeser ke samping dan juga tidak akan membuat tanah bergelombang.

6. Dasar dari pondasi *bored pile* dapat diperbesar yang akan memberikan ketahanan yang besar untuk gaya keatas.
7. Permukaan di atas di mana dasar *bored pile* didirikan dapat diperiksa secara langsung.

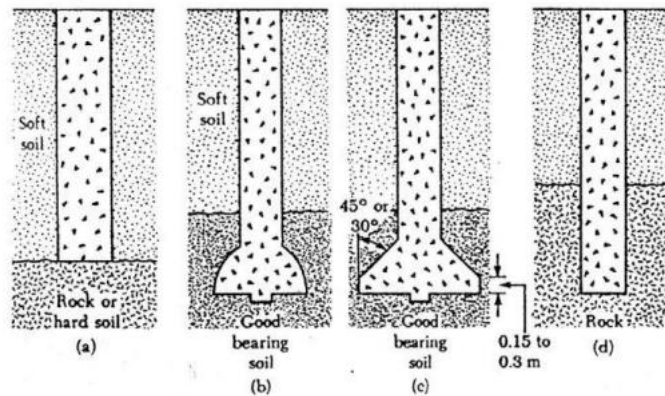
Kelemahan dari pondasi bored pile adalah :

1. Keadaan cuaca yang kurang mendukung dapat mempersulit pengeboran dan pengecoran.
2. Kepadatan tanah pada saat pengeboran akan mengalami penurunan. Apabila lokasi pengeboran berupa tanah berpasir atau tanah berkerikil, maka gunakanlah bentonite sebagai penahan longsor.
3. Pengecoran beton sulit dilakukan apabila dipengaruhi air tanah. Karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik, maka dapat diatasi dengan cara ujung pipa tremie berjarak 25 50 cm dari dasar lubang pondasi. Selain itu, air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang.
4. Pembesaran ujung bawah tiang tidak dapat dilakukan untuk tanah berpasir.
5. Dapat menimbulkan tanah runtuh (*ground loss*), maka diperlukan pemasangan casing untuk mencegah kelongsoran.
6. Walaupun peneterasi dengan menggunakan pondasi bored pile mampu mencapai kedalaman yang telah ditentukan, kadang kadang yang terjadi adalah tiang pendukung kurang sempurna karena adanya lumpur yang tertimbun di dasar. Oleh karena itu, dibutuhkan pemasangan pipa paralon pada tulangan bored

Ada berbagai jenis pondasi bored pile yaitu :

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 2.3 jenis jenis pondasi boredpile
 Sumber : *binus.ac.id* 2021

2.6 Daya Dukung Tanah

Dalam system perencanaan pondasi gedung bangunan, jalan, jembatan, bending, irigasi, tembok penahan, turap, dermaga ataupun bangunan lainnya harus memperhitungkan serta mengetahui apakah lapisan tanah tersebut cukup kuat untuk menahan beban pondasi tanpa terjadinya keruntuhan geser (*shear failure*).

Daya dukung pondasi dihitung menggunakan data lapangan serta laboratorium dari laporan penyelidikan tanah, untuk menentukan kedalaman tiang bor. Tujuan dilakukannya penyelidikan ini untuk mengetahui lapisan tanah, tekstur, dan kekuatan tanah dilokasi proyek tersebut. Maka dari itu, dalam penghitungan beban yang akan diberikan kepada sebuah bangunan, dapat di tentukan dengan besaran ataupun kekuatan tiang bor untuk bangunan yang akan direncanakan. Daya

dukung tiang bor akan dihitung dengan menggunakan data *Cone Penetration Test* (CPT). Faktor yang mempengaruhi daya dukung tanah adalah sebagai berikut :

- a. Faktor keamanan yang cukup agar tidak terjadi keruntuhan.
- b. Batas daya dukung pondasi yang diijinkan.
- c. Jenis dan kuat geser tanah.
- d. Ada atau tidak muka air tanah.
- e. Beban tambahan.

2.7 Kapasitas Daya Dukung Tanah

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi 2 (dua) macam yaitu:

1. Daya dukung ujung tiang (*end bearing pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada dibawah ujung tiang
2. Tiang gesek (*friction pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah disekitarnya

2.7.1 Kapasitas Daya Dukung Bored Pile Dari Hasil CPT

Kapasitas daya dukung tiang bor adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban (Hardiyatmo, 2011). Jika dalam kapasitas dukung pondasi dangkal satuannya adalah satuan tekanan (kPa) maka dalam kapasitas dukung tiang satuannya adalah satuan gaya (kN). Kapasitas ultimit tiang yang dibor dalam tanah kohesif, ialah jumlah tahanan gesek sisi tiang dan tahanan ujungnya. Besar tahanan

gesek tiang tergantung dari bahan dan bentuk tiang. Umumnya, apabila tanah homogen, tahanan gesek dinding yang berupa adhesi antara sisi tiang dan tanah akan berpengaruh besar pada kapasitas ultimitnya.(Gunadarma 2009) Pada saat perencanaan pondasi tiang pancang (pile), data tanah geser sangat diperlukan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (bearing capacity) dari tiang bor sebelum pembangunan dimulai, guna menentukan kapasitas ultimit dari tiang bor. Kapasitas dukung ultimit tiang (Q_u), dihitung dengan persamaan umum,yaitu:

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

Dengan :

Q_u = Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang bor

Q_b = Kapasitas tahanan di ujung tiang

Q_s = Kapasitas tahanan kulit

q_b = Kapasitas daya dukung di ujung tiang persatuan luas

A_b = Luas di ujung tiang

f = Satuan tahanan kulit persatuan luas

A_s = Luas kulit tiang bor

2.7.2 Metode *Mayerhoff*

Metode *mayerhoff* dapat digunakan untuk mencari dalam mencari daya dukung pada bored pile dengan memperhitungkan tahanan ujung dan tahanan gesek. Berikut adalah Langkah perhitungannya :

- Kuat dukung ultimate (Q_u)

$$Q_u = Q_b + Q_s \dots\dots\dots(2.4)$$

$$= f_b \cdot A_b + f_s \cdot A_s \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

Q_u = Kapasitas Ultimate tiang bor (kg)

F_b = Tahanan ujung satuan (kg/cm²)

A_b = Luas penampang ujung tiang bor (cm²)

F_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm²)

A_s = Luas selimut tiang (cm²)

- Tahanan ujung satuan (f_b)

$$f_b = \omega_1 \cdot \omega_2 \cdot q_{ca} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

f_b = Tahanan ujung satuan, untuk tiang bor diambil 70 % atau 50 % nya

q_c = rata-rata (kN/m²) pada zona 1d dibawah ujung tiang dan 4d diatas tiang (d adalah diameter bored pile)

$\omega_1 = [(d+0,5)/2d]$; koefisien modifikasi pengaruh skala, jika $d < 0,5$ m maka

$$\omega_1 = 1$$

$\omega_2 = L/10d$; koefisien modifikasi untuk penetrasi tiang dalam lapisan pasir pada saat $L < 10d$, lalu jika $L > 10d$ maka $\omega_2 = 1$

L = Kedalaman penetrasi tiang

- Tahanan gesek satuan (f_s)

Tahanan gesek satuan diambil salah satu dari :

$$f_s = K_c \times q_r \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan K_c adalah 1 atau,

bila tidak dilakukan pengukuran tahanan gesek sisi konus :

$$f_s = K_c \times q_c \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan K_c adalah 0,005

Dimana :

F_s = Tahan gesek satuan (kg/cm²)

K_f = Koefisien modifikasi tahanan gesek sisi konus

K_C = Koefisien modifikasi tanah konus

- Daya dukung ijin tiang bor (Q_{all})

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

Q_{all} = daya dukung ijin

Q_u = kapasitas daya dukung ultimate

SF = factor keamanan (2,5-4)

2.7.3 Metode *Schmertmann & Nottingham*

Metode *Schmertmann & Nottingham* juga dapat digunakan untuk mencari daya dukung tanah dengan menggunakan data sondir yaitu dengan rumus :

- Kuat daya dukung ultimate (q_u)

$$Q_u = Q_b + Q_s \dots\dots\dots(2.10)$$

$$= f_b \cdot A_b + f_s \cdot A_s \dots\dots\dots(2.11)$$

$$= \omega \cdot q_c \cdot A_p + k_f \cdot q_s \cdot A_s \dots\dots\dots(2.12)$$

- Tahanan ujung satuan (f_p)

$$F_b = \omega \cdot q_c < 150 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

F_b = tahanan ujung satuan (kg/cm²)

ω = koefisien korelasi yang bergantung pada OCR

q_c = rata rata pada zona 8d diatas dasar tiang (kg/cm²)

Tabel 2.1 faktor ω berdasarkan kondisi tanah

Kondisi Tanah	Faktor ω
Pasir terkonsolidasi normal (OCR = 1)	1
Pasir mengandung banyak kerikil kasar; Pasir dengan OCR = 2 sampai 4	0.67
Krikil halus; Pasir dengan OCR = 6 sampai 10	0.5

- Tahanan gesek satuan (f_s)

$$f_s = k_s \cdot q_f < 1,2 \text{ kg/cm}^2 \text{ (120 kN/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

f_s = tahanan gesek satuan (kg/cm^2)

k_s = koefisien tak berdimensi

q_f = tahanan gesek sisi konus (*sleeve friction/cleef*) (kg/cm^2)

bila tiang dalam pasir, k_f bergantung pada rasio L/d (L kedalaman dan diameter

1. Kedalaman 8d pertama dari permukaan tanah k_f diinterpolasi dari nilai 0 dipermukaan tanah sampai 2,5 di kedalaman 8d

2. Lebih dari kedalaman 8d ini, nilai k_f berkurang dari 2,5 samapi 0,891 pada kedalaman 20d atau boleh dianggap secara keseluruhan nilai k_f adalah 0,9

2.8 Penurunan Tiang

Penurunan tiang pada kelompok tiang merupakan jumlah penurunan elastis atau penurunan yang terjadi dalam waktu dekat (*immediate settlement atau elastic settlement*) S_i dan penurunan yang terjadi dalam jangka waktu yang panjang (*long term consolidation settlement*) S_c , (Anugrah Pamungkas dan Erny Harianti, 2002). Dalam bidang teknik sipil ada dua hal yang perlu diketahui mengenai penurunan, yaitu:

- a). Besarnya penurunan yang akan terjadi.

b). Kecepatan penurunan

2.8.1 Penurunan Tiang Tunggal

Berikut adalah persamaan penurunan fondasi tiang tunggal :

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana :

S = Penurunan total

S₁ = Penurunan akibat deformasi aksial tiang (m)

S₂ = Penurunan dari ujung tiang (m)

S₃ = Penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang

Penurunan akibat deformasi aksial tiang (kN)

$$S_1 = \frac{(Q_{WP} + \alpha + Q_s) \cdot L}{A_p \cdot E_p} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

S_s = Penurunan akibat deformasi aksial tiang (m)

Q_p = Beban yang didukung ujung tiang (kN)

Q_s = Beban yang didukung selimut tiang (kN)

L = Panjang tiang (m) A_p = Luas penampang tiang (m²)

E_p = Modulus elastisitas tiang (4700 · √f'c (11)) (kN/m²)

α = Koefisien yang bergantung pada distribusi gesekan selimut sepanjang tiang (Vesic, 1977). Vesic menyarankan α = 0,5 untuk distribusi gesekan yang seragam (Rahardjo, 2013).

Penurunan dari ujung tiang

$$S_2 = \frac{q_{wp} \cdot D}{E_b} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :

Q_{wp} = Beban yang didukung ujung tiang (kN)

D = Diameter tiang

E_b = Modulus Elastisitas Tanah

μ_s^2 = Nisbah Poison Tanah

I_{wp} = Faktor pengaruh sebesar 0,85

Penurunan akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang

$$S_3 = \frac{Q_{ws}}{p \times l} \times \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana :

Q_{ws} = Beban yang didukung ujung tiang (kN)

p = Keliling tiang (m)

L = Panjang tiang (m)

E_s = Modulus elastisitas tanah (kN)

μ_s = Poissons ratio tanah (μ)

I_{ws} = Faktor pengaruh

Tabel 2.2 Perkiraan angka poisson tanah

Jenis Tanah	μ
Lempung Jenuh	0,40-0,50
Lempung Tak Jenuh	0,10-0,30
Lempung Berpasir	0,20-0,30
Lanau	0,30-0,35
Pasir Padat	0,20-0,40
Pasir Kasar	0,15
Pasir Halus	0,25
Batu	0,10-0,40
Loess	0,10-0,30

Sumber : Hardiyatmo, 2003

Tabel 2.3 Perkiraan modulus elastisitas tanah

Jenis Tanah	E (kN/m²)
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	
Loess	15000-60000
Cadas	140000-1400000

Sumber : Hardiyatmo, 2003

2.8.2 Penurunan Yang Diizinkan

Penurunan yang diizinkan dari suatu bangunan tergantung pada beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi jenis bangunan, tinggi, kekakuan, dan fungsi, serta besar dan kecepatan penurunan serta sebarannya. Semakin lambat penurunan, maka semakin besar kemungkinan struktur untuk beradaptasi terhadap penurunan yang terjadi tanpa merusak strukturnya oleh pengaruh rangkak (*creep*). Oleh karena itu, kriteria penurunan pondasi pada tanah berpasir dan pada tanah lempung berbeda. Secara umum dimungkinkan untuk membangun hubungan antara penurunan yang diijinkan dan penurunan maksimum, karena penurunan maksimum dapat diprediksi dengan akurasi yang cukup. Kondisi rasio penurunan yang aman adalah sebagai berikut :

$$S_{total} \leq S_{izin}$$

$$S_{izin} = 10\% \cdot D \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana :

D = Diameter Tiang (m)