

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur di Indonesia mengalami perkembangan pesat dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini sejalan dengan meningkatnya kebutuhan akan fasilitas public yang memadai, termasuk Lembaga Pemasyarakatan (lapas). Menurut data dari Kementerian Hukum dan HAM, jumlah narapidana di Indonesia terus meningkat, sehingga memerlukan penambahan kapasitas lapas yang ada. Pembangunan lapas baru, seperti lapas kelas IIA Pematang Siantar menjadi sangat penting untuk mengatasi permasalahan ini. Namun, tantangan dalam Pembangunan infrastruktur, terutama dalam hal pondasi sering kali diabaikan, padahal pondasi yang kuat adalah kunci untuk menjamin keamanan dan keberlanjutan bangunan (Kementerian Hukum dan HAM, 2022).

Secara khusus, lapas kelas IIA Pematang Siantar terletak didaerah yang memiliki kondisi tanah yang bervariasi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tanah di wilayah ini cenderung memiliki daya dukung pondasi yang rendah, sehingga memerlukan analisis yang lebih mendalam terkait pondasi yang akan digunakan. Pondasi bored pile menjadi salah satu Solusi yang umum digunakan untuk mengatasi masalah ini. Metode analitis (*Mayerhoff dan Schmertmann & Nottingham*) dan metode elemen hingga dengan perangkat lunak Plaxis 2D dapat digunakan untuk menganalisis daya dukung pondasi bored pile secara lebih akurat. (Sari et al., 2021).

Masalah yang dihadapi dalam Pembangunan lapis kelas IIA Pematang Siantar adalah kesenjangan antara harapan dan kenyataan terkait daya dukung pondasi. Banyak proyek sebelumnya mengalami kegagalan structural akibat perhitungan daya dukung yang tidak akurat. Hal ini dapat mengakibatkan kerugian finansial yang signifikan dan bahkan membahayakan keselamatan pengguna bangunan. Oleh karena itu, penting untuk melakukan analisis yang lebih mendalam dan komprehensif untuk memastikan bahwa pondasi yang digunakan dapat mendukung beban bangunan dengan aman (Prasetyo, 2023).

Dalam kajian literatur, terdapat celah penelitian yang menunjukkan bahwa studi sebelumnya belum mengintegrasikan metode analisis dan elemen hingga secara bersamaan dalam konteks pondasi boredpile di daerah dengan kondisi tanah yang kompleks. Penelitian yang ada hanya cenderung berfokus pada satu metode saja, sehingga hasilnya mungkin tidak mencerminkan kondisi nyata dilapangan. Maka dari itu, penulis mencoba untuk menganalisis perbandingan hasil analisa daya dukung pondasi bored pile dengan menggunakan metode analisis dan penggunaan software *plaxis 2D* dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang akurat untuk digunakan dilapangan diantara penggunaan metode tersebut (Hendrawan, 2022).

Dan hal tersebut dituangkan dalam bentuk tugas akhir yang berjudul “Analisa Daya Dukung Pondasi Bore Pile Pada Proyek Pembangunan Lanjutan Lapis Kelas IIA Pematang Siantar Menggunakan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga Dengan Plaxis 2D”. Alasan penulisan topik ini adalah dari ketertarikan penulis terhadap rekayasa geoteknik dan pentingnya pondasi dalam Pembangunan infrastruktur. Penulis merasa bahwa penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil,

khususnya dalam analisis daya dukung pondasi. Dan juga penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya dan memberikan wawasan baru dalam penerapan metode analitis dan elemen hingga di bidang geoteknik.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hasil analisa daya dukung pondasi bored pile dan perhitungan penurunan tiang tunggal dengan menggunakan metode analitis (*Meyerhoff & Schmertmann dan Nottingham*) ?
2. Bagaimana hasil perhitungan penurunan tiang tunggal dan daya dukung pada pondasi boredpile dengan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan plaxis 2D?
3. Bagaimana perbandingan daya dukung dan penurunan tiang Tunggal dari metode analitis (*Meyerhoff, Schmertmann & Nottingham*), program plaxis 2D dan data lapangan dengan PDA?

1.3 Batasan Penelitian

Batasan masalah yang diambil berdasarkan identifikasi masalah adalah:

1. Lokasi penelitian adalah proyek Pembangunan lanjutan lapis kelas IIA Pematang Siantar
2. Menggunakan data sondir sebagai perhitungan pada 5 titik yang berbeda
3. Menghitung daya dukung dan penurunan pada tiang Tunggal pondasi boredpile
4. Menggunakan metode analitis yaitu *Meyerhoff dan Schmertmann & Nottingham*
5. Menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan Plaxis 2D

6. Menggunakan data PDA yang didapat dari Lokasi proyek sebagai data daya dukung tanah di lapangan

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai penurunan dan daya dukung tiang pondasi bore pile dengan perbandingan metode analitis (*Meyerhoff dan Schmertmann & Nottingham*) dan metode elemen hingga dengan bantuan *Software* Plaxis 2D dan juga data PDA sebagai hasil yang didapat dari lapangan.

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. Sebagai bahan referensi bagi para peneliti dalam pengembangan pemanfaatan metode elemen hingga menggunakan Plaxis 2D
3. Memahami cara menggunakan metode meyerhoff dan Schmertmann & Nottingham dengan menggunakan data sondir (CPT)
4. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi mahasiswa/I 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 (Q_u) pada Lokasi S-1 dan S-2 menunjukkan bahwa nilai Q_u 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 selisis 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 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

Menurut Dr.Ir.H. Darwis,Msc, (2018) Tanah adalah kumpulan butiran mineral alami (agregat) yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanis bila agregat tersebut diaduk dalam air. Sedangkan batuan adalah agregat yang mineralnya satu sama lain diikat oleh gaya-gaya kohesif yang permanen dan kuat, dan tidak bisa dipisahkan dengan cara mekanis sederhana. Akan tetapi di kalangan Insinyur Geologi istilah “batuan” dimaksudkan untuk semua materi penyusun kerak bumi

tanpa mempersoalkan derajat keterikatan partikel-partikel mineralnya (batu, tanah, air). Dan yang dimaksudkan oleh para ahli geologi sebagai “tanah” hanyalah bagian kerak bumi yang menopang tumbuhan. Sedangkan menurut ahli pertanian bahwa yang dimaksud dengan tanah adalah medium alam tempat tumbuhnya tumbuhan dan tanaman yang tersusun dari bahan-bahan padat, gas dan cair.

2.3 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, kepadatan dan daya dukung tanah serta mengetahui sifat korosivitas tanah. Penyelidikan tanah merupakan pekerjaan pendahuluan yang sangat penting dalam pelaksanaan suatu proyek.

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 ketelitian penyelidikan tanah tergantung dari besarnya beban bangunan, tingkat keamanan yang diinginkan, kondisi lapisan tanah, dan dana yang tersedia untuk penyelidikan. Oleh karena itu, untuk bangunan-bangunan sederhana atau ringan, kadang-kadang tidak dibutuhkan penyelidikan tanah, karena kondisi tanahnya dapat diketahui berdasarkan pengalaman setempat.

2.3.1 Sondir Test (CPT)

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

Tes sondir dilaksanakan untuk mengetahui perlawanan penetrasi konus dan hambatan lekat tanah. Perlawanan penetrasi konus adalah perlawanan tanah terhadap ujung konus yang dinyatakan dalam gaya persatuan luas. Hambatan lekat adalah perlawanan geser tanah terhadap selubung bikonus dalam gaya persatuan luas.

Dilihat dari kapasitasnya, alat sondir dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu sondir ringan (2 ton) dan sondir berat (10 ton). Sondir ringan digunakan untuk mengukur tekanan konus sampai 150 kg/cm² atau kedalaman maksimal 30 meter, dipakai untuk penyelidikan tanah yang terdiri dari lapisan lempung padat, lanau padat, dan pasir kasar. Dari hasil sondir diperoleh nilai jumlah perlawanan (JP), dan

nilai perlawanan konus (PK), sehingga hambatan lekat (HL) dapat dihitung sebagai berikut:

a. Hambatan Lekat (HL)

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

b. Jumlah Hambatan Lekat

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

Keterangan:

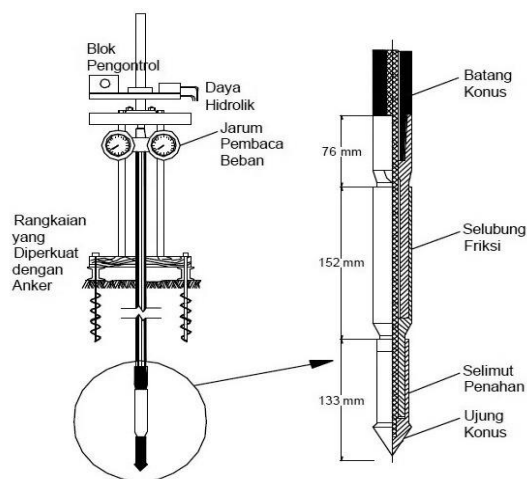
JP : Jumlah perlawanan, perlawanan ujung konus+selimut (kg/cm²)

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

A : Interval pembacaan (setiap kedalaman 20cm)

B : Faktor Alat = luas konus = 10 cm

I : Kedalaman lapisan tanah yang ditinjau (m)



Gambar 2. 1 Alat Sondir

Sumber : blogger.com

2.4 Pondasi

Menurut Zainal N, dan Sri Respati, (1995) semua konstruksi yang direkayasa untuk bertumpu pada tanah harus didukung oleh suatu pondasi. Dalam teknik sipil, istilah pondasi didefinisikan sebagai suatu konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai penopang bangunan dan meneruskan beban bangunan di atasnya (*upper structure*) ke lapisan tanah yang cukup kuat daya dukungnya. Atas dasar definisi tentang pondasi ini maka jelaslah bahwa hal itu adalah bagian yang paling penting dari sistem rekayasa. Suatu pondasi akan aman apabila:

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

Berdasarkan struktur beton bertulang, pondasi berfungsi untuk:

1. Mendistribusikan dan memindahkan beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan di atasnya ke lapisan tanah dasar yang mendukung struktur tersebut.
2. Mengatasi penurunan yang berlebihan dan penurunan tidak sama pada struktur.
3. Memberi kestabilan pada struktur dalam memikul beban horizontal akibat angin, gempa dan lain-lain.

2.4.1 Jenis-Jenis Pondasi

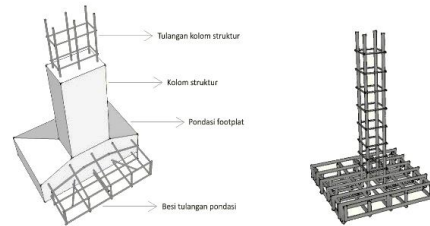
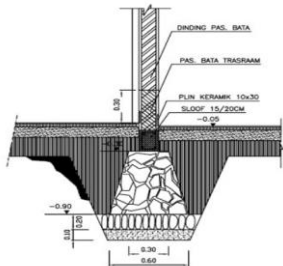
Menurut Nusa Setiani Triastuti, (2022) dalam perencanaan pondasi untuk suatu konstruksi dapat digunakan beberapa macam jenis pondasi. Pemilihan tipe pondasi harus disesuaikan dengan beberapa kriteria, diantaranya fungsi bangunan atas yang akan dipikul oleh pondasi tersebut, besarnya beban, berat struktur 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*).

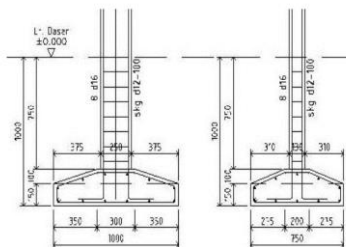
a. Pondasi dangkal

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 Tapak

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 lesulitann pelaksanaan konsruksi di lokasi dengan elevasi muka air tanah yang tinggi

2.4.2 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 Bore Pile

Pondasi bored pile adalah jenis pondasi dalam yang berbentuk tabung (sumur dalam), yaitu berfungsi meneruskan beban struktur bangunan di atasnya dari permukaan tanah sampai lapisan tanah keras dibawahnya. Pondasi borepile memiliki fungsi yang sama dengan pondasi tiang pancang atau pondasi dalam lainnya. Pondasi Boredpile adalah pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih 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 boredpile digunakan apabila tanah dasar yang kokoh yang mempunyai daya dukung besar terletak sangat dalam, yaitu kurang lebih 15m.

Perencanaan pondasi boredpile 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. Boredpile 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.
8. Pondasi boredpile dapat digunakan untuk diameter besar

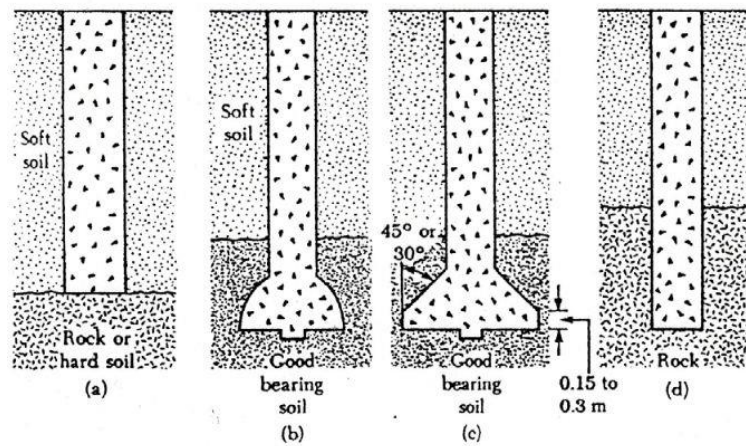
Kelemahan dari pondasi bored pile adalah:

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 perlu perhatian khusus apabila dipengaruhi air tanah. Karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik, maka dapat diatasi dengan cara ujung pipa tremie berjarak 25-50 mm 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 Borepile
 Sumber :ilmuteknik.id

2.5 Daya Dukung Tanah

Dalam sistem perencanaan pondasi gedung bangunan, jalan, jembatan, bendungan, 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 perhitungan beban yang akan diberikan kepada sebuah bangunan, dapat ditentukan 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.

2.6 Kapasitas Daya Dukung

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

2.6.1 Kapasitas Daya Dukung Bored Pile Dari Hasil CPT

Menurut Hardiyatmo, (2011) Kapasitas daya dukung tiang bor adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban. 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. 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

2.6.2 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 bor (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_{ca} = q_c rata rata (kN/m²) pada zona 1d dibawah ujung tiang dan 4d diatasnya

(d adalah diameter bored pile)

$\omega_1 = [(d+0,5)/2d]^n$; 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 padat 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:

$$f_s = K_f \times q_f \dots \dots \dots (2.7)$$

dengan K_f 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 = Tahanan gesek satuan (kg/cm^2)

K_f = Koefisien modifikasi tahanan gesek sisi konus

K_c = koefisien modifikasi tahanan 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)

2.6.3 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/cm^2)

ω = koefisien korelasi yang bergantung pada OCR

$$q_c = \frac{1}{2}(q_{c1} + q_{c2}) \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

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

$q_{c2} = q_c$ rata rata pada zona $8d$ diatas dasar tiang (kg/cm^2)

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
Kerikil halus ; pasir dengan OCR = 6 sampai 10	0,5

Sumber: Bowles, 1996

- 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 d 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 sampai 0,891 pada kedalaman $20d$ atau boleh dianggap secara keseluruhan nilai k_f adalah 0,9

2.7 Penurunan Tiang

Menurut Anigrah Pamungkas dan Erny Harianti, (2002) 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*). Dalam bidang teknik sipil ada dua hal yang perlu diketahui mengenai penurunan, yaitu:

a). Besarnya penurunan yang akan terjadi.

b). Kecepatan penurunan

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)

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + a + Q_s).L}{A_p.E_p} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

S_1 = 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 ($4700 \cdot \sqrt{f'c}$) (kN/m²)

α = Koefisien yang bergantung pada distribusi gesekan selimut sepanjang tiang (Vesic, 1977). Vesic menyarankan $\alpha = 0,5$ 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 (m)

E_b = Modulus Elastisitas Tanah

μ_s^2 = Nisbah Poisson tanah

I_{wp} = Factor apengaruh Sebesar 0,85

Penurunan akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang

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

Dimana :

Qws = Beban yang didukung ujung tiang (kN)

p = Keliling tiang (m)

L = panjang tiang (m)

Es = Modulus elastisitas tanah (kN)

μ_s = Poisson's ratio tanah (μ)

Iws= Faktor pengaruh

Tabel 2. 2 Perkiraan angka poisson tanah

Jenis Tanah	μ_s
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/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
Cadas	140000-1400000

Sumber : Hardiyatmo, 2003

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 :

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

$$S_{izin} = 10\% \cdot D \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana :

D = Diameter Tiang (m)

2.8 Plaxis

Menurut Abdul Malik (2023) Plaxis merupakan salah satu program elemen hingga yang dikembangkan untuk analisis deformasi, stabilitas, dan aliran air tanah dalam bidang rekayasa geoteknik. Pengembangan perangkat lunak PLAXIS dimulai pada tahun 1987 di Belanda. Tujuan pengembangan PLAXIS, yaitu untuk memudahkan analisis stabilitas tanggul yang dibangun di atas tanah lunak pada dataran rendah Belanda. Plaxis dikembangkan oleh *software development Bentley System Incorporated*. Bentley System menspesifikasikan pengembangan pada perangkat lunak untuk perencanaan, desain, dan pemeliharaan proyek infrastruktur. Plaxis sendiri terdiri dari 4 jenis yaitu :

1. Plaxis Input

Program plaxis merupakan program yang didasarkan oleh metode elemen hingga (*finite element*) yang menyimulasikan perilaku tanah untuk mendapatkan nilai deformasi dan stabilitas dari suatu struktur geoteknik yang dibangun. Plaxis input terdiri dari:

- Mendefinisikan masalah
- Penggambaran dimensi dan propertis material
- Mendefinisikan kondisi awal

2. Plaxis Calculation

Plaxis Calculation terdiri dari 2 tahapan, yaitu:

- Mendefinisikan tahap-tahap konstruksi bangunan
- Proses perhitungan dan hasil

Contohnya dalam penelitian C. S. Hotasi, H. Yassin, dan A. Kawanda, (2019) analisa menggunakan 2 metode yaitu metode perhitungan jangka pendek, dan perhitungan jangka panjang. Kedua metode tersebut dilakukan untuk

mengetahui seberapa mampu dinding menahan tekanan lateral tanah dan tekanan air. Perhitungan besar tekanan tanah lateral menggunakan teori Rankine. Analisa dengan software PLAXIS 2D dilakukan dengan menjadikan parameter tanah sebagai nilai input dan input material pada dinding penahan tanah dihitung secara manual.

3. Plaxis Output

Output dari program Plaxis mencakup nilai faktor keamanan (SF) minimum dan perpindahan (displacement) tanah. Hasil ini membantu dalam menganalisis stabilitas struktur dan deformasi tanah dalam berbagai kondisi geoteknik.

4. Plaxis Curve

Analisis kurva Plaxis sering digunakan untuk memahami respons mekanis struktur geoteknik, seperti p-y curves untuk tiang dan perilaku fondasi dangkal. Berbagai studi menunjukkan penerapan plaxis dalam model numerik untuk menilai stabilitas, deformasi, dan kapasitas dukung tanah seperti pada penelitian oleh Sayed Hemeda, (2024). Kurva yang dihasilkan dari analisis plaxis memberikan informasi penting mengenai hubungan antara beban dan deformasi.

Contoh analisis kasus Geoteknik dengan plaxis :

1. Penurunan akibat beban
2. Konstruksi galian di atas muka air
3. Konstruksi tanggul sungai
4. Galian kering dengan angkur

5. Konstruksi timbunan untuk jalan

6. Konstruksi terowongan dll.

2.9 Faktor Keamanan

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit dengan faktor keamanan. Faktor keamanan ini perlu diberikan dengan tujuan :

1. Untuk memberikan keamanan terhadap ketidak pastian metode hitungan yang digunakan.
2. Untuk memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah. Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
3. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok masih tetap dalam batas-batas toleransi.
4. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas toleransi.

Dari hasil banyak pengujian-pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang bor yang berdiameter kecil sampai sedang (600 mm), penurunan akibat beban kerja (*working load*) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2,5 . Besarnya beban bekerja (*working load*) atau kapasitas tiang izin dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimit (Q_u) dibagi dengan faktor aman (F) yang sesuai. Variasi besarnya faktor aman yang telah banyak digunakan untuk perancangan pondasi tiang, tergantung pada jenis tiang dan tanah berdasarkan data laboratorium sebagai berikut:

$$Q_a = Q_u/2,5 \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana :

Q_u = Kapasitas Ultimate

Tabel 2. 4 Faktor Kemanan Yang Disarankan

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

Sumber :Hardiyatmo,2002