

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur, terutama proyek jalan tol, memerlukan perencanaan yang matang untuk memastikan kelayakan dan daya dukung tanah pada fondasi. Salah satu aspek yang sangat penting dalam pembangunan jalan tol adalah pemilihan dan perancangan fondasi yang tepat. Jalan tol ruas Kuala Tanjung - Indrapura merupakan salah satu proyek strategis yang tengah dikembangkan di Indonesia, yang memerlukan fondasi yang kuat dan stabil agar dapat menopang struktur jalan tol yang akan dilalui oleh kendaraan bermuatan berat dalam jangka waktu yang lama. Proyek ini berada di wilayah dengan kondisi tanah yang bervariasi, mulai dari lapisan tanah berpasir hingga lempung, yang memiliki karakteristik daya dukung yang berbeda-beda. Oleh karena itu, pemilihan jenis fondasi yang sesuai, dalam hal ini fondasi tiang pancang, menjadi sangat penting untuk memastikan stabilitas dan keamanan struktur jalan tol.

Fondasi tiang pancang dipilih karena kemampuannya untuk menembus lapisan tanah yang lemah dan mencapai kedalaman tanah yang lebih keras, sehingga dapat menyalurkan beban dari struktur jalan tol ke tanah dengan daya dukung yang lebih tinggi. Tiang pancang juga memungkinkan penghematan biaya dan waktu pelaksanaan, terutama pada kondisi tanah yang tidak cukup kuat untuk menggunakan fondasi dangkal. Namun, untuk memastikan bahwa fondasi tiang pancang dapat berfungsi dengan baik dan aman, diperlukan analisis yang akurat terkait daya dukung tanah pada lokasi pemasangan tiang pancang.

Dalam menganalisis daya dukung tanah, terdapat berbagai metode yang dapat digunakan, masing-masing memiliki kelebihan dan keterbatasan. Salah satu metode yang sering digunakan dalam analisis daya dukung tanah adalah *Standard Penetration Test (N-SPT)*. Metode ini dilakukan dengan cara memukul alat uji ke dalam tanah dan mengukur jumlah pukulan yang diperlukan untuk menembus lapisan tanah pada kedalaman tertentu. Nilai N yang diperoleh dari hasil uji N-SPT digunakan untuk menilai kepadatan tanah dan memberikan indikasi tentang potensi

daya dukung tanah pada kedalaman tersebut. Meskipun N-SPT cukup efektif dalam memberikan gambaran tentang kondisi tanah, hasil uji ini masih bersifat empiris dan dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti jenis tanah, ukuran alat uji, dan kedalaman uji. Oleh karena itu, untuk meningkatkan akurasi perhitungan daya dukung, diperlukan metode lain yang lebih spesifik dan langsung terkait dengan tiang pancang itu sendiri.

Pile Driving Analyzer (PDA) Test merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memberikan koreksi terhadap hasil yang diperoleh dari uji N-SPT. PDA adalah alat yang digunakan untuk mengukur perilaku tiang pancang selama proses pemasangan, dengan memonitor kecepatan dan akselerasi tiang pancang yang dipasang di lapangan. Data yang diperoleh dari PDA Test memungkinkan perhitungan daya dukung tiang pancang yang lebih akurat berdasarkan respons tiang terhadap beban dan kondisi lapangan yang sebenarnya. Selain itu, PDA Test dapat memberikan informasi langsung mengenai penetrasi dan kapasitas daya dukung tiang pancang pada kedalaman tertentu, yang tidak dapat diperoleh secara langsung melalui N-SPT. Dengan demikian, penggunaan PDA Test dalam kombinasi dengan N-SPT memungkinkan untuk mendapatkan analisis yang lebih lengkap dan akurat terkait daya dukung tanah dan kapasitas tiang pancang.

Sebagai contoh, pada proyek jalan tol ruas Kuala Tanjung - Indrapura, pengujian N-SPT yang dilakukan di beberapa titik pengeboran memberikan gambaran awal mengenai karakteristik tanah dan potensi daya dukungnya. Namun, untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi tanah dengan lebih tepat, pengujian PDA Test dilakukan pada beberapa titik tiang pancang yang sudah dipasang. Hasil dari PDA Test ini memberikan koreksi terhadap data N-SPT, sehingga diperoleh estimasi daya dukung yang lebih akurat untuk merancang fondasi tiang pancang yang optimal.

Dengan menggunakan kedua metode uji ini, diharapkan dapat diperoleh desain fondasi tiang pancang yang lebih tepat, efisien, dan aman, serta dapat mengurangi potensi kegagalan struktur di masa depan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya dukung fondasi tiang pancang pada proyek jalan tol ruas Kuala Tanjung - Indrapura berdasarkan hasil N-SPT yang terkoreksi dengan

menggunakan data dari PDA test. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam perencanaan fondasi tiang pancang pada proyek jalan tol dan proyek infrastruktur lainnya yang memiliki kondisi tanah yang serupa.

Secara keseluruhan, penggabungan antara hasil uji N-SPT dan PDA Test dalam analisis daya dukung tiang pancang memberikan pendekatan yang lebih komprehensif untuk merancang fondasi yang lebih aman dan sesuai dengan kondisi lapangan. Oleh karena itu, penting untuk melakukan analisis mendalam yang melibatkan kedua metode ini dalam perencanaan fondasi pada proyek besar seperti jalan tol, guna memastikan bahwa fondasi yang dibangun dapat mendukung beban struktur dengan aman dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis daya dukung fondasi tiang pancang dengan menggunakan metode pengujian N-SPT dan PDA Test pada Proyek Jalan Tol Ruas Kuala Tanjung - Indrapura?
2. Bagaimana perbandingan hasil daya dukung fondasi tiang pancang dengan menggunakan metode pengujian N-SPT dan PDA Test pada Proyek Jalan Tol Ruas Kuala Tanjung - Indrapura?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan untuk memperjelas ruang lingkup penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan hasil pengujian N-SPT dan PDA Test yang didapat dari Proyek Jalan Tol Ruas Kuala Tanjung - Indrapura.
2. Membandingkan hasil N-SPT dengan PDA Test terhadap daya dukung fondasi tiang pancang pada Proyek Jalan Tol Ruas Kuala Tanjung - Indrapura.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan hasil pengujian N-SPT yang dilakukan di beberapa titik pada Proyek Jalan Tol Ruas Kuala Tanjung - Indrapura.
2. Mengetahui daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan hasil *PDA Test* yang dilakukan di beberapa titik pada lokasi Proyek Jalan Tol Ruas Kuala Tanjung - Indrapura
3. Mengetahui faktor - faktor apa saja yang mempengaruhi daya dukung fondasi tiang pancang?
4. Membandingkan hasil N-SPT dengan *PDA Test* terhadap daya dukung fondasi tiang pancang pada Proyek Jalan Tol Ruas Kuala Tanjung - Indrapura.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat dari penelitian ini diantaranya adalah:

1. Memberikan informasi yang akurat tentang daya dukung tanah pada lokasi proyek jalan tol.
2. Menyediakan rekomendasi teknis untuk perancangan fondasi tiang pancang yang lebih efisien dan aman.
3. Mengembangkan metodologi analisis daya dukung tanah dengan memperhitungkan hasil *PDA Test*.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian ini melibatkan pengumpulan data dari hasil uji N-SPT dan *PDA Test* di lapangan, serta perhitungan daya dukung fondasi menggunakan pendekatan empiris dan teoritis. Data hasil N-SPT dan *PDA Test* akan dibandingkan untuk memperoleh koreksi daya dukung tiang pancang yang lebih akurat.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1.7.1 Bagian awal

Bagian awal penulisan skripsi terdiri dari :

- a. Halaman Sampul: Mengandung judul skripsi, nama penulis, logo universitas/institusi, dan tahun penulisan.
- b. Lembar Pengesahan: Diperuntukkan sebagai bukti pengesahan skripsi oleh dosen pembimbing dan dekan/ketua program studi.
- c. Daftar Isi: Menyajikan daftar bab, subbab, dan halaman di mana masing-masing bagian berada.
- d. Daftar Tabel: Menyajikan daftar tabel yang ada dalam skripsi dengan nomor tabel dan halaman.
- e. Daftar Gambar: Menyajikan daftar gambar yang ada dalam skripsi dengan nomor gambar dan halaman.

1.7.2 Bagian inti (Bab-bab Skripsi)

Bagian inti pada penulisan skripsi terdiri dari :

- a. Bab I Pendahuluan:
 - Latar Belakang Masalah: Menggambarkan masalah yang akan diteliti, alasan pemilihan topik, dan urgensi penelitian.
 - Rumusan Masalah: Menyatakan pertanyaan-pertanyaan yang akan dijawab melalui penelitian.
 - Tujuan Penelitian: Menjelaskan tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian.
 - Manfaat Penelitian: Menjelaskan manfaat yang dapat diperoleh dari hasil penelitian.
- b. Bab II Tinjauan Pustaka:
 - Tinjauan Pustaka: Mengulas teori - teori dan penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik penelitian.
 - Kerangka Teori: Menjelaskan hubungan antar variabel atau konsep yang akan diteliti.
 - Hipotesis (jika ada): Menyatakan dugaan sementara tentang hubungan antar variabel.
- c. Bab III Metodologi Penelitian:

- Jenis Penelitian: Menjelaskan jenis penelitian yang digunakan (kuantitatif, kualitatif, atau campuran).
 - Subjek/Objek Penelitian: Menjelaskan subjek/objek yang akan diteliti.
 - Metode Pengumpulan Data: Menjelaskan cara pengumpulan data (kuisisioner, wawancara, observasi, dll.).
 - Metode Analisis Data: Menjelaskan metode yang digunakan untuk menganalisis data (statistik, analisis isi, dll.).
- d. Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan:
- Hasil Penelitian: Menyajikan data dan hasil penelitian secara objektif.
 - Pembahasan: Menganalisis dan menginterpretasi hasil penelitian dengan mengaitkannya dengan kajian pustaka.
- e. Bab V Kesimpulan dan Saran:
- Kesimpulan: Merangkum hasil penelitian dan menjawab rumusan masalah.
 - Saran: Memberikan saran-saran untuk penelitian lebih lanjut atau implementasi hasil penelitian.

1.7.3 Bagian Akhir:

Pada bagian akhir penulisan skripsi terdiri dari :

a. Daftar Pustaka:

Menyajikan daftar sumber-sumber yang digunakan dalam penulisan skripsi, seperti buku, jurnal, artikel, dll.

b. Lampiran:

Menampung data pendukung, seperti hasil pengisian kuesioner, foto, dokumen, dll.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fondasi

Menurut Hardiyatmo (2002), Fondasi merupakan salah satu elemen penting dalam konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menyalurkan beban dari struktur di atasnya ke tanah atau lapisan tanah di bawahnya. Secara sederhana, fondasi dapat diartikan sebagai bagian bawah dari suatu bangunan yang terletak di bawah permukaan tanah yang bertujuan untuk mendistribusikan beban vertikal, lateral, maupun beban lainnya dari bangunan agar tidak menyebabkan kerusakan pada struktur tersebut. Keberhasilan suatu bangunan sangat bergantung pada desain dan pelaksanaan fondasi yang baik, karena fondasi yang tidak tepat atau lemah dapat menyebabkan penurunan, pergeseran, atau bahkan kegagalan struktur.

Proses perancangan fondasi melibatkan analisis terhadap sifat-sifat tanah, seperti daya dukung tanah (*bearing capacity*), kompresibilitas, dan kekuatan tanah, yang dapat bervariasi tergantung pada lokasi dan jenis tanah. Pemilihan jenis fondasi yang tepat juga mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti beban bangunan, kedalaman air tanah, dan kondisi geoteknik lainnya. Dengan demikian, fondasi memegang peranan yang sangat vital dalam memastikan stabilitas dan keamanan suatu bangunan. Kegagalan pada fondasi dapat menyebabkan masalah yang serius, seperti penurunan struktur, keretakan pada dinding dan lantai, atau bahkan runtuhnya bangunan itu sendiri. Oleh karena itu, perancangan dan pelaksanaan fondasi harus dilakukan secara cermat dan teliti dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang dapat mempengaruhi kinerja struktur tersebut.

Suatu perencanaan fondasi dikatakan benar apabila beban yang diteruskan oleh fondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan. Apabila kekuatan tanah dilampaui, maka penurunan yang berlebihan atau keruntuhan dari tanah akan terjadi. Jika tegangan tekan melebihi tekanan yang diizinkan, maka dapat menggunakan bantuan fondasi tiang untuk membantu memikul tegangan tekan pada dinding dan kolom pada struktur bangunan.

2.2 Jenis - jenis Fondasi

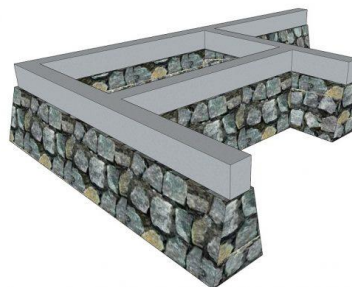
Berdasarkan kedalaman dan tipe tanah yang ada di bawah permukaan, fondasi dapat dibagi menjadi dua kategori besar : fondasi dangkal (*shallow foundation*) dan fondasi dalam (*deep foundation*). Pemilihan jenis fondasi yang tepat bergantung pada karakteristik tanah, kedalaman lapisan tanah yang kuat, serta beban yang akan ditanggung oleh bangunan.

2.2.1 Fondasi dangkal (*Shallow Foundation*)

Fondasi dangkal adalah jenis fondasi yang dipasang pada kedalaman yang relatif dekat dengan permukaan tanah dan digunakan apabila tanah di permukaan cukup kuat untuk menahan beban yang diberikan oleh bangunan. Bowles (1991) menjelaskan bahwa fondasi dangkal dirancang dengan kedalaman lebih kecil atau sama dengan lebar fondasi ($\frac{D_f}{B} \leq 1$). Jenis fondasi ini umumnya lebih ekonomis dan mudah diterapkan dalam kondisi tanah yang baik dan tidak memerlukan kedalaman yang besar. Beberapa jenis fondasi dangkal antara lain:

a. Fondasi batu kali (*Stone Column Foundation*)

Fondasi batu kali adalah fondasi yang terdiri dari susunan batu besar yang disusun secara manual atau menggunakan mesin untuk membentuk struktur penopang. Fondasi ini sering digunakan pada tanah yang kurang padat atau lunak dengan daya dukung yang rendah. Batu kali digunakan untuk memberikan stabilitas pada tanah yang tidak kuat.



Gambar 2.1 Fondasi Batu Kali
(Sumber : Buku KRS - Caritra, 2020)

b. Fondasi umpak (*Isolated or Pad Foundation*)

Fondasi umpak adalah jenis fondasi yang berbentuk alas beton bertulang yang disusun di bawah tiang atau kolom. Fondasi ini biasa digunakan untuk

bangunan dengan beban yang tidak terlalu besar. Fondasi umpak diterapkan pada tanah yang memiliki daya dukung yang baik dan stabil. Bentuk umpak ini memungkinkan distribusi beban secara langsung ke tanah.

c. Fondasi *Raft (Raft Foundation)*

Fondasi *raft* atau *raft foundation* adalah jenis fondasi yang terdiri dari pelat beton bertulang yang sangat besar yang menutupi seluruh area bangunan, mendistribusikan beban ke tanah secara merata. Fondasi ini umumnya digunakan pada tanah yang lemah atau tidak stabil, di mana fondasi dangkal tidak cukup untuk menahan beban struktur. Fondasi raft efektif digunakan pada bangunan bertingkat tinggi, bangunan besar, atau struktur yang memerlukan daya dukung tinggi.



Gambar 2.2 Fondasi Raft
(Sumber: Dokumentasi Proyek PT Utama Karya)

d. Fondasi sumuran (*Well Foundation*)

Fondasi sumuran digunakan pada lokasi dengan kondisi tanah lunak atau berair, seperti daerah pesisir atau dekat sungai. Fondasi ini terdiri dari struktur sumuran besar yang dibangun dengan metode pengeboran atau pemancangan. Fondasi ini dapat ditempatkan pada kedalaman yang lebih besar untuk mencapai lapisan tanah yang lebih kuat.

2.2.2 Fondasi dalam (*Deep Foundation*)

Fondasi dalam digunakan ketika tanah di dekat permukaan tidak cukup kuat untuk menahan beban bangunan yang besar atau jika kedalaman lapisan tanah yang kuat cukup dalam. Fondasi ini menyentuh lapisan tanah yang lebih dalam dan memiliki kapasitas dukung yang lebih tinggi. Bowles (1991) menjelaskan bahwa fondasi dalam dirancang dengan kedalaman lebih besar atau sama dengan lebar

fondasi ($\frac{Df}{B} \geq 4$). Fondasi dalam umumnya lebih mahal dan kompleks dalam penerapannya dibandingkan fondasi dangkal. Beberapa jenis fondasi dalam antara lain:

a. Tiang pancang (*Piles*)

Tiang pancang adalah jenis fondasi dalam yang terdiri dari pipa atau batang logam/beton yang dipancangkan ke dalam tanah untuk mencapai lapisan tanah yang lebih kuat. Tiang pancang dapat digunakan pada tanah dengan daya dukung rendah di kedalaman tertentu. Ada dua jenis tiang pancang yang umum digunakan: tiang pancang beton bertulang dan tiang pancang baja.



Gambar 2.3 Fondasi Tiang Pancang
(Sumber : Dokumentasi Proyek PT Utama Kaya)

b. Bor pile (*Bored Pile*)

Bor pile adalah tiang yang dibuat dengan cara pengeboran ke dalam tanah menggunakan alat bor khusus, kemudian diisi dengan beton bertulang. Bor pile digunakan pada tanah yang keras atau berlumpur, dan dapat dibangun dengan kedalaman yang lebih variatif, bergantung pada kebutuhan struktur.



Gambar 2.4 Bored Pile
Sumber : Dokumentasi Proyek PT Utama Karya

c. *Caisson (Caisson Foundation)*

Caisson adalah jenis fondasi dalam yang berbentuk tabung besar yang dapat diterjunkan ke dalam tanah atau air untuk mencapai lapisan tanah yang lebih keras. *Caisson* banyak digunakan untuk proyek-proyek besar yang berada di bawah permukaan air, seperti pada pembuatan jembatan atau dermaga. Proses pembuatan *caisson* melibatkan pengeboran tanah hingga lapisan keras ditemukan, kemudian struktur beton diletakkan dan dipadatkan untuk menjadi fondasi yang stabil.

d. *Tiang Pancang Mini (Mini Pile)*

Mini pile adalah tiang pancang yang berdiameter lebih kecil dibandingkan dengan tiang pancang standar. Fondasi ini digunakan pada tanah yang lebih sempit atau pada proyek yang memerlukan fondasi dalam pada kedalaman yang terbatas. *Mini pile* sering digunakan pada bangunan bertingkat rendah atau struktur kecil yang membutuhkan solusi fondasi dalam dengan biaya yang lebih rendah.



Gambar 2.5 Tiang Pancang Mini
(Sumber: Dokumentasi Proyek PT Utama Karya)

2.2.3 *Fondasi gabungan (Combined Foundation)*

Fondasi gabungan digunakan ketika beberapa kolom atau struktur saling berdekatan sehingga fondasi untuk masing-masing kolom tidak dapat diterapkan secara terpisah. Fondasi gabungan adalah gabungan dari fondasi dangkal atau dalam yang terhubung dengan plat yang sama, sehingga dapat menyalurkan beban lebih merata ke tanah. Jenis fondasi ini digunakan pada tanah yang memiliki kondisi yang tidak seragam atau apabila ada kemungkinan interaksi antar struktur yang kuat.

2.3 Fondasi Tiang Pancang

Fondasi tiang pancang merupakan jenis fondasi dalam yang digunakan untuk mentransfer beban bangunan atau struktur ke lapisan tanah yang lebih dalam dan lebih kuat. Tiang pancang dipancangkan ke dalam tanah untuk mencapai lapisan tanah yang memiliki daya dukung yang memadai, sehingga dapat menahan beban yang diberikan oleh bangunan. Fondasi ini sering digunakan pada tanah dengan daya dukung rendah di permukaan atau pada proyek yang membutuhkan dukungan struktur yang kuat, seperti gedung bertingkat tinggi, jembatan, dan dermaga (Indriyanto, 2020).

Menurut Tomlinson (2001), tiang pancang umumnya terbuat dari berbagai material, seperti beton bertulang, baja, atau kayu. Pemilihan material tiang pancang sangat dipengaruhi oleh jenis proyek, kondisi tanah, dan anggaran yang tersedia.

2.3.1 Jenis - jenis fondasi tiang pancang

Berdasarkan material dan cara pemasangannya, tiang pancang dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, di antaranya:

- **Tiang Pancang Beton Bertulang**

Tiang pancang beton bertulang adalah jenis tiang pancang yang paling umum digunakan dalam konstruksi modern. Tiang ini dibuat dari beton bertulang yang memiliki kekuatan tinggi dan tahan lama. Pemasangannya dapat dilakukan dengan metode pemancangan atau pengeboran (boring). Tiang pancang beton bertulang cocok digunakan pada proyek yang membutuhkan daya dukung tinggi dan untuk tanah dengan lapisan keras (Darwin, 2002). Tiang pancang jenis ini umumnya mempunyai berbagai macam bentuk seperti silinder, kotak ataupun persegi panjang.

- **Tiang Pancang Baja**

Tiang pancang baja terbuat dari pipa baja yang diperkuat. Tiang ini lebih fleksibel dan mudah dipasang di lokasi dengan akses terbatas. Keunggulan dari tiang pancang baja adalah kemampuannya untuk menahan beban lateral dan tekanan tanah yang lebih besar dibandingkan dengan tiang pancang beton bertulang pada beberapa kondisi tanah tertentu (Goh, 2015).

- **Tiang Pancang Kayu**

Tiang pancang kayu digunakan pada tanah dengan kandungan air tinggi atau di lokasi yang memiliki kondisi tanah lunak. Namun, tiang pancang kayu lebih mudah terdegradasi oleh cuaca dan serangan organisme seperti rayap, sehingga penggunaannya terbatas pada lokasi tertentu (Tajuddin, 2017).

2.3.2 Metode pemasangan tiang pancang

Metode pemasangan tiang pancang dapat dilakukan dengan berbagai cara, tergantung pada jenis tiang pancang dan kondisi lapangan. Beberapa metode pemasangan tiang pancang antara lain:

- **Pemasangan dengan Pancang (Driving Method)**

Metode ini menggunakan alat pemukul (pile driver) untuk memukul tiang pancang ke dalam tanah hingga mencapai kedalaman yang diinginkan. Tiang pancang beton bertulang atau baja sering dipasang dengan cara ini. Keuntungan dari metode ini adalah pemasangan yang cepat, namun dapat menyebabkan guncangan pada tanah sekitar (Boekhout et al., 2010).

- **Pemasangan dengan Pengeboran (Boring Method)**

Pengeboran digunakan untuk membuat lubang di tanah, kemudian tiang pancang dimasukkan ke dalam lubang tersebut dan diisi dengan beton. Metode ini lebih sering digunakan untuk tiang pancang beton bertulang dan sering dipilih untuk lokasi yang lebih padat atau berdekatan dengan bangunan yang ada (Goh, 2015).

2.3.3 Faktor yang mempengaruhi kinerja tiang pancang

Terdapat berbagai faktor yang mempengaruhi kinerja tiang pancang, diantaranya adalah:

- **Karakteristik Tanah**

Kondisi tanah sangat berpengaruh terhadap desain dan efektivitas tiang pancang. Tanah yang memiliki daya dukung tinggi akan memungkinkan penggunaan tiang pancang yang lebih pendek, sedangkan pada tanah yang lunak atau berlapis, diperlukan tiang pancang yang lebih panjang atau tiang pancang berdiameter besar untuk mencapai lapisan tanah yang lebih keras (Tajuddin, 2017).

- **Beban yang Diterima**

Beban dari struktur yang akan ditopang oleh tiang pancang, baik itu beban vertikal (berat bangunan) maupun beban lateral (angin, gempa), sangat mempengaruhi desain fondasi tiang pancang. Tiang pancang harus mampu menyalurkan beban tersebut secara efisien ke lapisan tanah yang lebih kuat.

- **Panjang dan Ukuran Tiang Pancang**

Panjang dan diameter tiang pancang bergantung pada kedalaman lapisan tanah yang kuat dan beban yang diterima. Pada tanah dengan daya dukung rendah, tiang pancang dengan panjang lebih besar dan diameter yang lebih besar diperlukan untuk mencapainya.

2.3.4 Analisis kekuatan tiang pancang

Analisis kekuatan tiang pancang melibatkan dua komponen utama, yaitu daya dukung ujung tiang (end bearing capacity) dan daya dukung geser pada dinding tiang (skin friction). Daya dukung ujung tiang berkaitan dengan kemampuan tiang pancang untuk menahan beban yang diteruskan melalui ujung tiang pada lapisan tanah yang keras. Sementara itu, daya dukung geser pada dinding tiang bergantung pada interaksi antara permukaan tiang dengan tanah di sekelilingnya (Tomlinson, 2001).

2.3.5 Keuntungan dan kelemahan penggunaan fondasi tiang pancang

Berikut ini adalah keuntungan dari penggunaan fondasi tiang pancang:

- Dapat digunakan pada tanah dengan daya dukung rendah atau pada tanah yang sulit dipadatkan.
- Memungkinkan pembangunan di area yang memiliki keterbatasan ruang atau akses.
- Memberikan kestabilan yang lebih baik pada bangunan dengan beban yang besar, seperti gedung bertingkat tinggi dan jembatan (Darwin, 2002).

Berikut ini adalah kelemahan dari penggunaan fondasi tiang pancang:

- Pemasangan tiang pancang dapat menimbulkan getaran yang mengganggu struktur sekitar.
- Biaya pemasangan dan material yang lebih tinggi dibandingkan dengan fondasi dangkal, terutama pada kondisi tanah yang tidak stabil.

- Metode pemasangan dapat dipengaruhi oleh cuaca dan kondisi lapangan yang sulit (Boekhout et al., 2010).

2.3.6 Studi terkait dan perkembangan teknologi fondasi tiang pancang

Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan fondasi tiang pancang semakin efisien. Salah satu inovasi terbaru adalah penggunaan tiang pancang dengan sistem pemantauan real-time untuk memantau kekuatan tiang pancang selama pemasangan. Hal ini bertujuan untuk mengurangi risiko kesalahan pemasangan dan meningkatkan akurasi daya dukung tiang pancang yang terpasang (Goh, 2015). Selain itu, penggunaan tiang pancang komposit yang menggabungkan material baja dan beton bertulang juga mulai dipelajari untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan fondasi pada tanah yang lebih kompleks.

2.4 Penyelidikan tanah

Penyelidikan tanah adalah proses penelitian atau pengujian terhadap kondisi fisik dan mekanik tanah di suatu lokasi yang bertujuan untuk memperoleh informasi yang akurat mengenai sifat-sifat tanah. Penyelidikan tanah sangat penting dalam perencanaan dan perancangan suatu bangunan atau infrastruktur, karena sifat tanah mempengaruhi pemilihan jenis fondasi yang tepat, stabilitas bangunan, dan keselamatan jangka panjang (Burland, 1990).

Penyelidikan tanah dilakukan untuk mengetahui kemampuan tanah dalam menahan beban yang diberikan oleh struktur yang akan dibangun. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah, dapat ditentukan jenis fondasi yang sesuai dan perencanaan struktur yang optimal. Menurut Das (2011), penyelidikan tanah juga dapat digunakan untuk menilai potensi masalah geoteknik, seperti penurunan tanah, stabilitas lereng, dan potensi likuifaksi di daerah rawan gempa.

2.4.1 Tujuan penyelidikan tanah

Tujuan utama dari penyelidikan tanah adalah untuk mengidentifikasi sifat fisik, kimia, dan mekanik tanah yang ada di lokasi proyek. Beberapa tujuan utama penyelidikan tanah adalah sebagai berikut:

- Menilai daya dukung tanah: Untuk menentukan apakah tanah cukup kuat untuk mendukung beban struktur yang akan dibangun.

- Memilih jenis fondasi yang tepat: Berdasarkan daya dukung tanah dan kedalaman lapisan tanah yang kuat, dapat dipilih jenis fondasi yang sesuai (dangkal atau dalam).
- Mendeteksi potensi masalah geoteknik: Seperti potensi penurunan, konsolidasi tanah, atau likuifaksi yang dapat mempengaruhi stabilitas struktur.
- Mengidentifikasi kedalaman air tanah: Untuk mengetahui kedalaman muka air tanah yang dapat mempengaruhi desain dan konstruksi fondasi.

2.4.2 Metode penyelidikan tanah

Penyelidikan tanah dilakukan melalui berbagai metode yang dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu metode pengujian lapangan dan pengujian laboratorium.

a. Metode Pengujian Lapangan

Metode pengujian lapangan dilakukan langsung di lokasi untuk memperoleh data mengenai kondisi tanah secara langsung. Beberapa metode pengujian lapangan yang sering digunakan antara lain:

- Uji bor (*Boring Test*)
Metode ini dilakukan dengan mengebor tanah pada kedalaman tertentu untuk mengambil sampel tanah untuk analisis laboratorium dan untuk mengetahui lapisan tanah secara vertikal. Selama proses pengeboran, parameter-parameter seperti kedalaman, warna, tekstur, dan kelembaban tanah dapat dicatat (Bowles, 1997).
- Uji sondir (*Standard Penetration Test, SPT*)
Uji sondir digunakan untuk mengukur daya dukung tanah dengan cara memukul alat uji sondir yang ditanamkan ke dalam tanah pada kedalaman tertentu. Berdasarkan jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk mencapai kedalaman tertentu, dapat diketahui tingkat kekerasan tanah dan diperkirakan daya dukung tanah (Das, 2011).
- Uji *cone penetration test* (CPT)
CPT adalah metode yang lebih canggih daripada SPT, di mana alat sondir berbentuk kerucut dimasukkan ke dalam tanah dengan tekanan. Uji ini

memberikan data yang lebih akurat mengenai sifat-sifat tanah seperti kohesi, kepadatan, dan daya dukung (Burland, 1990).

- Uji Tekan Tanah (*Plate Load Test*)

Uji tekan tanah dilakukan dengan menekan pelat baja dengan ukuran tertentu ke dalam permukaan tanah untuk melihat respons tanah terhadap tekanan. Uji ini memberikan informasi langsung mengenai daya dukung tanah pada kedalaman tertentu (Bowles, 1997).

b. Metode pengujian laboratorium

Pengujian laboratorium dilakukan terhadap sampel tanah yang diambil dari lokasi proyek untuk menganalisis sifat fisik dan mekanik tanah. Beberapa pengujian laboratorium yang umum dilakukan antara lain:

- Uji kadar air (*Water Content Test*)

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui kandungan air dalam sampel tanah. Kadar air ini penting karena mempengaruhi kekuatan dan daya dukung tanah.

- Uji kepadatan tanah (*Proctor Test*)

Uji ini digunakan untuk menentukan kepadatan maksimum tanah yang dapat dicapai pada tingkat kelembaban tertentu. Hal ini membantu dalam mengetahui karakteristik konsolidasi tanah (Das, 2011).

- Uji kekuatan geser tanah (*Shear Strength Test*)

Uji ini mengukur kekuatan tanah dalam menahan gaya geser, yang sangat penting untuk mendesain fondasi yang aman dan stabil. Pengujian ini dapat dilakukan dengan menggunakan alat seperti *Direct Shear Test* atau *Triaxial Test*.

- Uji analisis butir tanah (*Grain Size Analysis*)

Pengujian ini digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran dalam tanah. Hasil pengujian ini membantu dalam klasifikasi tanah berdasarkan komposisi butirannya, seperti pasir, lanau, atau lempung (Bowles, 1997).

c. Analisis Data Penyelidikan Tanah

Setelah data dari penyelidikan tanah dikumpulkan, data tersebut dianalisis untuk menentukan sifat-sifat tanah yang relevan dengan desain fondasi dan struktur bangunan. Beberapa analisis yang dilakukan antara lain:

- Klasifikasi tanah

Berdasarkan hasil uji butir dan analisis lainnya, tanah diklasifikasikan ke dalam kategori tertentu, seperti tanah pasir, lanau, lempung, atau campuran dari ketiganya. Klasifikasi ini penting untuk menentukan jenis fondasi yang cocok digunakan.

- Analisis daya dukung tanah

Berdasarkan data dari SPT, CPT, atau plate load test, dapat dihitung nilai daya dukung tanah (bearing capacity), yang merupakan parameter utama dalam desain fondasi. Nilai daya dukung ini sangat penting untuk memastikan fondasi mampu menahan beban yang diberikan oleh bangunan (Burland, 1990).

- Kestabilan tanah

Data dari penyelidikan tanah juga digunakan untuk menganalisis potensi masalah geoteknik, seperti potensi penurunan (settlement) atau likuifaksi (terjadinya perubahan perilaku tanah akibat getaran gempa yang dapat membuat tanah berperilaku seperti cairan).

2.4.3 *Standard penetration test (N-SPT)*

N-SPT adalah metode pengujian tanah untuk mendapatkan parameter mekanika tanah melalui penetrasi alat uji ke dalam tanah. *Standard Penetration Test (SPT)* dilakukan dengan mengacu pada standard ASTM D-1586. SPT dilakukan dengan cara memukul alat uji (*split spoon sampler*) yang dimasukkan ke dalam tanah pada kedalaman tertentu. Alat ini kemudian dipukul dengan palu yang memiliki massa tertentu dari ketinggian yang sudah ditentukan. Hasil dari uji ini akan menunjukkan jumlah pukulan yang diperlukan untuk menembus tanah pada kedalaman tertentu (Burland, 1990).

Uji SPT menghasilkan nilai **N** yang dikenal sebagai angka SPT atau jumlah pukulan. Nilai **N** merupakan jumlah pukulan yang diperlukan untuk menembus

tanah sejauh 30 cm pertama setelah penetrasi awal, dan nilai ini sering digunakan sebagai parameter untuk menilai kekuatan atau konsolidasi tanah (Das, 2011).



Gambar 2.6 Standard Penetration Test
(Sumber : Dokumentasi Proyek PT Utama Marga Waskita)

a. Prinsip kerja N-SPT

Prinsip dasar dari N-SPT adalah sebagai berikut:

- Sebuah tabung sampel berbentuk silindris (split spoon sampler) dengan panjang sekitar 30 cm dan diameter 5,08 cm (2 inci) dipasang pada ujung alat uji. Tabung ini berfungsi untuk mengambil sampel tanah ketika dimasukkan ke dalam lapisan tanah.
- Alat uji tersebut dipukul menggunakan palu dengan berat standar 63,5 kg yang dijatuhkan dari ketinggian 76 cm. Alat uji akan menembus tanah dengan cara memukulnya.
- Proses pemukulan dilakukan secara bertahap, dan setiap 30 cm penetrasi pertama, jumlah pukulan yang diperlukan untuk mencapai kedalaman tersebut dicatat. Hasilnya adalah nilai **N**, yang merupakan jumlah pukulan untuk menembus 30 cm pertama dari penetrasi tanah. Nilai **N** ini menjadi indikator kekuatan atau konsolidasi tanah pada kedalaman tersebut (Bowles, 1997).

b. Faktor yang Mempengaruhi Nilai N-SPT

Beberapa faktor dapat mempengaruhi hasil dari uji SPT, di antaranya adalah:

- Jenis Tanah

Nilai N-SPT sangat bergantung pada jenis tanah yang diuji. Tanah pasir atau kerikil cenderung memberikan nilai N yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah lempung atau lanau, karena sifat tanah yang lebih padat dan stabil (Burland, 1990).

- Kedalaman Pengujian

Nilai N dapat berubah dengan kedalaman tanah. Pada umumnya, nilai N semakin besar seiring dengan bertambahnya kedalaman tanah, karena tanah cenderung lebih padat di kedalaman yang lebih dalam (Das, 2011).

- Tekanan Air Tanah

Kenaikan muka air tanah atau kondisi air tanah di lokasi pengujian juga mempengaruhi hasil SPT. Pada kondisi tanah yang jenuh air, hasil uji SPT mungkin menunjukkan nilai yang lebih rendah karena adanya lapisan tanah yang lebih lunak akibat kandungan air yang tinggi (Bowles, 1997).

- Kecepatan Pemukulan

Kecepatan atau intensitas pemukulan juga dapat mempengaruhi hasil SPT. Kecepatan pemukulan yang lebih tinggi dapat menghasilkan nilai N yang lebih tinggi, yang dapat menyebabkan interpretasi yang kurang akurat mengenai daya dukung tanah jika tidak diperhitungkan dengan benar.

c. Hubungan Nilai N-SPT dengan Karakteristik Tanah

Nilai N yang dihasilkan dari uji SPT memberikan indikasi mengenai sifat mekanik tanah. Beberapa hubungan antara nilai N-SPT dengan karakteristik tanah adalah sebagai berikut:

- Kepadatan Tanah

Pada tanah pasir, nilai N yang lebih tinggi menunjukkan bahwa tanah tersebut lebih padat, yang berarti memiliki daya dukung yang lebih baik. Sebaliknya, nilai N yang lebih rendah pada tanah lempung menunjukkan bahwa tanah tersebut kurang padat dan mungkin lebih rentan terhadap penurunan atau konsolidasi (Das, 2011).

- Daya Dukung Tanah

Nilai N juga dapat digunakan untuk memperkirakan daya dukung tanah.

Beberapa metode empiris telah dikembangkan untuk menghubungkan nilai N-SPT dengan daya dukung tanah, seperti metode Meyerhof (1963) yang mengaitkan nilai N dengan kapasitas daya dukung ujung tiang pada tanah pasir.

- Kekuatan Geser Tanah

Nilai N-SPT sering digunakan untuk memperkirakan kekuatan geser tanah (shear strength) pada tanah pasir. Hubungan antara nilai N dan kohesi tanah, terutama pada tanah lempung, juga dapat diestimasi menggunakan rumus empiris yang dikembangkan dari analisis geoteknik (Bowles, 1997).

d. Aplikasi N-SPT dalam Perancangan Fondasi

Hasil uji N-SPT sangat berguna dalam perancangan fondasi, baik itu fondasi dangkal maupun fondasi dalam. Berdasarkan nilai N-SPT, dapat dilakukan penilaian terhadap kedalaman dan jenis fondasi yang paling sesuai, dengan memperhatikan daya dukung tanah pada lokasi proyek. Beberapa aplikasi nilai N-SPT dalam perancangan fondasi adalah sebagai berikut:

- Fondasi Dangkal

Pada tanah yang memiliki nilai N yang cukup tinggi (misalnya > 30), fondasi dangkal seperti fondasi pelat atau umpak dapat digunakan karena tanah di bawahnya memiliki daya dukung yang baik.

- Fondasi Dalam

Pada tanah dengan nilai N yang rendah (misalnya < 10), penggunaan fondasi dalam seperti tiang pancang atau bor pile lebih disarankan, karena tanah di permukaan tidak cukup kuat untuk menahan beban struktural yang diteruskan (Das, 2011).

e. Kelebihan dan Kekurangan N-SPT

Berikut ini beberapa kelebihan dari N-SPT, diantaranya adalah :

- Praktis dan Ekonomis: Uji SPT relatif murah dan cepat dilakukan dibandingkan dengan metode uji tanah lainnya seperti uji bor atau uji triaxial (Burland, 1990).

- Metode yang Sudah Terbukti: SPT telah digunakan secara luas dan teruji dalam berbagai proyek konstruksi, sehingga hasilnya mudah diterima dan digunakan dalam desain teknik.
- Memberikan Data yang Langsung: Uji SPT memberikan informasi langsung mengenai lapisan tanah dan potensi masalah yang dapat mempengaruhi desain fondasi.

Berikut ini beberapa kekurangan dari N-SPT, diantaranya adalah:

- Sensitif terhadap Metode Pemasangan: Hasil uji SPT sangat bergantung pada cara dan kualitas pengeboran, serta faktor-faktor eksternal seperti kecepatan pemukulan dan tekanan air tanah yang dapat mempengaruhi akurasi hasil (Das, 2011).
- Hanya Bekerja pada Kedalaman Tertentu: SPT tidak cocok untuk digunakan pada kedalaman yang sangat dalam atau pada kondisi tanah yang sangat keras.
- Kurang Akurat pada Tanah Lempung: Penggunaan SPT pada tanah lempung atau tanah yang sangat plastis bisa menghasilkan nilai yang kurang akurat karena sifat tanah tersebut yang tidak bisa dihitung hanya dengan satu parameter (Bowles, 1997).

2.4.4 Daya dukung fondasi tiang pancang dari hasil N-SPT

Daya dukung fondasi tiang pancang dapat dihitung berdasarkan hasil uji SPT (Standard Penetration Test). Hasil uji SPT memberikan data mengenai kepadatan tanah pada kedalaman tertentu yang digunakan untuk memperkirakan daya dukung tiang pancang.

Untuk menghitung daya dukung tiang pancang menggunakan hasil N-SPT, salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah dengan metode *Bordes* dan *Plaxis* atau *Meyerhoff*. Berdasarkan nilai N-SPT, daya dukung tiang pancang dapat dihitung menggunakan rumus-rumus empiris yang sesuai. Berikut adalah rumus yang biasa digunakan:

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots \dots \dots (2.1)$$

$$Q_i = \frac{Q_u}{FK} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$Q_p = 40 N_r \times A_p \dots\dots\dots(2.3)$$

$$Q_s = \frac{(A_s \times N_k)}{5} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$A_s = A_k \times L_i \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

- * Q_u = Daya dukung ultimate tiang pancang (ton)
- * Q_i = Daya dukung izin tiang pancang (ton)
- * N_r = Nilai “N” rata-rata 4 D keatas dan 4 D kebawah
- * D = Diameter tiang
- * A_p = Luas penampang tiang pancang (cm²)
- * A_s = Luas permukaan/sisi tiang yang tertanam
- * N_k = Nilai N rata-rata sepanjang tiang yang tertanam.
- * A_k = Keliling tiang pancang (cm)
- * L_i = Panjang tiang yang tertanam didalam tanah
- * FK = Faktor keamanan daya dukung ujung tiang

2.5 Pile Driving Analyzer (PDA) Test

PDA test adalah metode pengujian yang digunakan untuk mengukur respon tiang pancang selama proses pemasangan. Alat ini dapat mengukur kecepatan dan akselerasi tiang, serta memberikan informasi yang lebih tepat mengenai daya dukung tiang pancang.

Menurut *Aoki* (2005), *PDA Test* memberikan data real-time yang dapat digunakan untuk mengkoreksi estimasi daya dukung tiang pancang yang dihitung menggunakan metode *N-SPT*, sehingga memberikan hasil yang lebih akurat.

Metode *CASE* dan metode *CAPWAC* digunakan untuk menganalisis hasil pengukuran, dan prinsip dasar dijelaskan sebagai berikut:

a. Pengenalan Prinsip Metode *CASE*

Asumsi perkiraan dari metode *CASE*:

1. Impedansi tubuh tiang adalah konstan, yaitu, area penampang tubuh tiang tidak berubah, material tubuh tiang homogen dan tidak ada cacat yang jelas.

2. Hanya mempertimbangkan redaman dinamis di dasar tiang, mengabaikan redaman dinamis dari tanah sisi tiang, dan redaman statis selalu tetap konstan.
3. Gelombang tegangan tidak mengalami konsumsi energi dan distorsi sinyal dalam proses transmisi.
4. Hambatan gesekan pada setiap titik di sisi tiang tidak berubah dalam periode waktu ($t_1 \sim t_1 + 4l/c$).

Diasumsikan bahwa waktu puncak kecepatan benturan t_1 , waktu refleksi dasar tiang yang bersesuaian $t_2 = t_1 + 2L/C$. Berdasarkan kurva gaya dan kecepatan yang diukur $F(t)$, $V(t)$, dapat dihitung menggunakan rumus metode *CASE* untuk menghitung kapasitas beban tiang:

$$R_c = (1 - J_c) \frac{F(t_1) + Z \cdot V(t_1)}{2} + (1 + J_c) \frac{F(t_2) - Z \cdot V(t_2)}{2} \dots\dots(2.1)$$

Untuk tiang dengan penampang silang, koefisien integritas yang mengikuti cacat pertama pada kepala tiang dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\beta = \frac{F_{\downarrow}(t_1) - R_x + F_{\uparrow}(t_x)}{F_{\downarrow}(t_1) - F_{\uparrow}(t_x)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Di antaranya:

$$F_{\downarrow}(t_1) = \frac{F(t_1) + Z \cdot V(t_1)}{2} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$F_{\uparrow}(t_x) = \frac{F(t_x) - Z \cdot V(t_x)}{2} \dots\dots\dots(2.4)$$

R_x --- Hambatan tanah tiang di atas cacat X;

Lokasi cacat, yang sesuai dengan waktu refleksi gelombang cacat t_x , dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$L_x = c \frac{t_x - t_1}{2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Metode fitting kurva yang diukur mengadopsi model mekanika tanah-tiangan yang lebih kompleks, gaya atau kecepatan yang diukur atau gelombang yang naik sebagai kondisi batas untuk melakukan fitting. Setelah fitting selesai, kurva perhitungan yang dihasilkan harus konsisten dengan kurva yang diukur, tanah lateral pile friction harus sesuai dengan data geologi, dan nilai perhitungan penetrasi harus konsisten dengan nilai yang diukur, sehingga kapasitas beban vertikal tiang dan integritas tiang dapat diperoleh.

2.6 Koreksi Hasil *N-SPT* dengan *PDA Test*

Koreksi hasil *N-SPT* dengan *PDA Test* dilakukan untuk memperbaiki perhitungan daya dukung tiang pancang yang diperoleh dari uji lapangan. Berdasarkan penelitian oleh *Kramer* (2005), *PDA Test* dapat mengidentifikasi adanya perbedaan antara hasil teoritis dan kondisi lapangan yang sesungguhnya, sehingga memberikan estimasi daya dukung yang lebih realistis.

2.7 Penelitian Terkait

Pada penelitian ini, Penulis juga mengambil referensi dari beberapa penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Putri, R. M. (2017), yang membahas perbandingan antara hasil pengujian daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan interpretasi *PDA Test* dan perhitungan dari data *SPT*. Selain itu, penelitian dari Sagita, Fahriani, & Apriyanti. (2020) yang menganalisis mengenai perbandingan daya dukung tiang pancang dari data hasil uji *SPT* dan hasil uji beban di lapangan yaitu hasil uji kalendering dan *PDA Test*.