

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dalam penentuan dan penyelidikan daya dukung tiang pondasi *bored pile* bisa dilakukan dengan 2 metode yaitu metode statis dan metode dinamis. Metode statis adalah metode perhitungan daya dukung dari hasil penyelidikan bor log atau *standard penetration test* (SPT) di lapangan. Sedangkan metode dinamis adalah metode yang dilakukan dengan memanfaatkan digital komputer dan sensor. Metode dinamis disini tidak lain adalah pengujian *Pile Driving Analyzer Test* (PDA Test).

Penelitian dari Rahma Nur Afifa (2021) dengan judul Analisis Daya Dukung *Bore Pile* Pada pembangunan Jembatan Kereta Api Antara Araskabu-Tebing Tinggi dan Lintas Tebing Tinggi-Siantar, dengan analisis penelitian menggunakan metode N-SPT (teori *Reese & Wreight* (1977) dan teori *Reese & O'Neil*) dan PDA test menyatakan bahwa hasil daya dukung ultimit tiang tunggal dari data N-SPT lebih kecil daripada daya dukung ultimit hasil pengujian PDA test. Adapun salah satu hasil daya dukung ultimit dari data N-SPT pada titik BH 1 (Abt 1) yaitu sebesar 3620,62 kN sedangkan daya dukung ultimit dari hasil pengujian PDA test pada titik Abt 1-1C yaitu sebesar 3926,6 kN sehingga selisih hasil daya dukung antara keduanya yaitu sebesar 305,98 kN.

Penelitian dari Uly Nurul Fadilah dan Halimah Tunafiah (2018) dengan judul penelitian Analisa Daya Dukung Pondasi *Bored Pile* Berdasarkan Data N-SPT Menurut Rumus *Reese & Wreight* (1977) dan Penurunan, dengan analisis penelitian menggunakan metode N-SPT rumus *Reese & Wreight* (1977) dan metode PDA test menyatakan bahwa hasil perhitungan daya dukung ultimit menurut metode N-SPT teori *Reese & Wreight* (1977) lebih kecil daripada daya dukung hasil PDA test. Adapun salah satu hasil daya dukung ultimit dari data N-SPT pada titik P8.34 BP5 yaitu sebesar 1617,12 ton sedangkan daya dukung ultimit dari hasil pengujian PDA test yaitu sebesar 1851 ton sehingga selisih hasil daya dukung antar keduanya yaitu sebesar 233,88 ton.

Penelitian dari Hinawan Teguh Santoso & Juandra Hartono (2020) dengan judul penelitian Analisa Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Uji SPT dan Pengujian Dinamis, dengan analisis penelitian menggunakan metode N-SPT dan PDA *test* menyatakan bahwa hasil daya dukung total rerata dari data N-SPT lebih kecil daripada daya dukung rerata hasil pengujian PDA *test*. Adapun hasil daya dukung rerata dari data N-SPT yaitu sebesar 430,7 ton sedangkan daya dukung rerata hasil uji PDA yaitu sebesar 432,4 ton sehingga selisih hasil daya dukung keduanya 1,7 ton saja. Oleh karena itu dari penelitian tersebut dapat dikatakan bahwa pengujian PDA *test* cukup handal untuk mengkonfirmasi besaran daya dukung tiang yang telah terpasang di lapangan.

Penelitian dari Jeston Purba (2016) dengan judul penelitian Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang pada Proyek Pembangunan Perhotelan/Apartemen/Kondominium di Jalan Ring Road – Medan (Studi Kasus), dengan analisis penelitian menggunakan metode SPT dan PDA *test* menyatakan bahwa apabila nilai daya dukung tiang berdasarkan data SPT lebih kecil dari hasil PDA *test* maka daya dukung tiang dalam pembangunan itu aman.

Penelitian dari Ahmad dan Muhammad Noor Asnan (2021) dengan judul penelitian Kajian Daya Dukung *Bore Pile* Pada Proyek Pembangunan Gedung Jendral Soedirman Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur, dengan analisis penelitian menggunakan metode SPT (teori perumusan Reese & Wreight (1977)) dan metode PDA *test* menyatakan bahwa hasil daya dukung tiang *bored pile* dari data SPT lebih kecil daripada daya dukung hasil PDA *test*. Adapun hasil daya dukung ultimit dari data SPT pada titik BH-01 sebesar 402,861 ton, pada titik BH-02 sebesar 401,593 ton. Sedangkan daya dukung ultimit dari hasil PDA *test* pada tiang BP-50 sebesar 421 ton, tiang BP-75 sebesar 443 ton, tiang BP-8 sebesar 454 ton dan tiang BP-34 sebesar 646 ton.

2.2 Tanah

2.2.1 Pengertian Tanah

Tanah merupakan lapisan paling atas dari permukaan bumi. Tanah umumnya terdiri dari kumpulan mineral, bahan organik dan endapan sedimen yang secara kimia terikat satu sama lain disertai zat cair dan gas yang mengisi ruang-

ruang kosong di antara partikel padat tersebut. Menurut (Riadi, 2021), tanah adalah lapisan paling atas dari permukaan bumi yang berasal dari bahan induk yang sudah diproses lebih lanjut, karena pengaruh air, udara, dan berbagai organisme baik yang masih hidup maupun yang sudah mati.

Tanah didefinisikan juga sebagai campuran dari beberapa partikel baik itu partikel padat, air, maupun udara. Ketiga partikel-partikel tersebut berpengaruh terhadap sifat-sifat tanah. Partikel padat dan air menjadi komponen utama yang berpengaruh terhadap sifat-sifat tanah. Sedangkan partikel udara seperti angin hanya mengisi rongga yang terdapat di dalam tanah. Menurut (Riadi, 2021), tanah memiliki beberapa partikel-partikel yang terkandung di dalamnya antara lain sebagai berikut :

1. Berangkal (*boulders*) merupakan partikel batuan yang mempunyai ukuran lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Sedangkan kerakal (*cobbles*) merupakan partikel batuan yang berukuran 150 mm sampai 250 mm.
2. Kerikil (*gravel*) adalah partikel batuan yang mempunyai ukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang mempunyai ukuran 0,074 mm sampai 5 mm. Pasir kasar umumnya berukuran 3-5 mm sedangkan pasir halus umumnya berukuran kurang dari 1 mm.
4. Lanau (*silt*) adalah partikel batuan dengan ukuran berkisar 0,002 mm sampai 0,074 mm. Lanau biasanya banyak dijumpai di dalam danau atau di sekitar garis pantai muara sungai. Lempung (*clay*) adalah partikel batuan yang mempunyai ukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Lempung disini menjadi salah satu sumber utama kohesi / gaya tarik menarik pada tanah kohesif.
5. Koloid (*colloids*) adalah partikel batuan yang ukurannya lebih kecil dari 0,001 mm.

2.2.2 Klasifikasi Tanah

Menurut (Meiwa, 2020), tanah dapat diklasifikasikan menjadi 3 berdasarkan sifat lekatnya yaitu, tanah kohesif, tanah non kohesif, dan tanah organik.

1. Tanah kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antar butir-butirnya. Misalnya, tanah lempung. Tanah kohesif memiliki partikel butiran yang halus

berukuran kurang dari 0,06 mm dan saling berikatan. Selain itu, tanah kohesif juga memiliki tingkat kadar air yang tinggi. Ketika basah tanah ini akan melunak, tetapi ketika kering tanah ini bisa menjadi sangat padat dan keras.

2. Tanah non kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antar butir-butirnya atau hampir tidak mengandung lempung. Misalnya, tanah pasir. Partikel-partikel yang terkandung dalam tanah non kohesif memiliki ukuran antara 0,06 mm – 200 mm dan berongga-rongga.
3. Tanah organik adalah tanah yang sifatnya sangat dipengaruhi oleh bahan-bahan organik seperti sisa-sisa hewani maupun tumbuh-tumbuhan.

2.3 Pondasi

2.3.1 Pengertian Pondasi

Struktur bawah merupakan bagian bawah dari suatu struktur bangunan/gedung yang menahan beban dari struktur atas. Struktur bawah disini meliputi balok, sloof dan pondasi (Panungkas dan Harianti, 2016). Pondasi adalah bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi untuk meneruskan beban bangunan ke lapisan tanah yang berada di bawah pondasi. Oleh karena itu, pondasi bangunan harus sangat diperhitungkan agar bisa menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban di atasnya, dan gaya-gaya luar, seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain tanpa mengakibatkan keruntuhan, tanah geser dan penurunan tanah (*settlement*) ataupun pondasi yang berlebihan. Dalam memilih sistem pondasi yang baik untuk suatu bangunan, ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan antara lain sebagai berikut :

1. Kondisi tanah.
2. Pola penyaluran beban.
3. Bentuk dan dimensi bangunan.
4. Batasan – batasan dari lokasi di sekelilingnya (lokasi proyek).
5. Pipa bawah tanah.
6. Kondisi lingkungan
7. dll.

2.3.2 Macam – macam Pondasi

Secara umum pondasi dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam.

1. Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal adalah salah satu jenis pondasi yang letaknya tidak terlalu dalam dari permukaan tanah atas. Dengan kata lain, pondasi dangkal adalah pondasi yang memiliki kedalaman kurang atau sama dengan lebar pondasi. Pondasi dangkal umumnya bisa dikerjakan oleh tenaga manusia dengan alat-alat yang sederhana (Khomaeni, 2020). Adapun macam-macam pondasi dangkal antara lain:

a. Pondasi Tapak

Pondasi tapak merupakan salah satu jenis pondasi dangkal yang umum digunakan pada bangunan-bangunan bertingkat sebagai tumpuan struktur atasnya agar bangunan stabil. Pondasi tapak berbentuk telapak atau papan dan terbuat dari beton bertulang. Terkadang pondasi tapak dibuat lebih besar dari dimensinya, hal ini bertujuan agar pondasi dapat meneruskan beban ke lapisan tanah keras pada bagian bawahnya dengan baik (Budi, 2024).

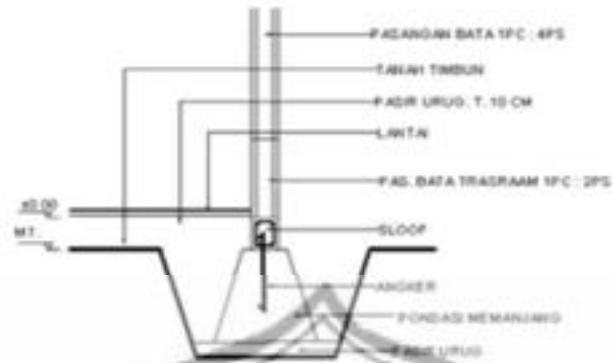


Gambar 2.1 Pondasi Tapak

b. Pondasi Menerus

Pondasi menerus atau kaki gabungan adalah salah satu jenis pondasi dangkal yang menggunakan satu plat kaki untuk menahan dua kolom atau lebih secara bersamaan (Surendro, 2015). Pondasi menerus biasa digunakan untuk menahan sederetan kolom yang berjarak dekat. Selain itu, pondasi menerus juga bisa digunakan untuk pondasi dinding terutama untuk rumah tinggal yang tidak bertingkat. Pondasi menerus biasanya tersusun dari pasangan batu bata atau batu kali yang terletak di bawah balok sloof. Pondasi menerus umumnya

berfungsi untuk menahan seluruh beban bangunan umumnya yang dipikul oleh dinding dan diteruskan ke pondasi menerus sepanjang dinding bangunan.



Gambar 2.2 Pondasi Menerus

c. Pondasi Rakit

Pondasi rakit adalah salah satu jenis pondasi dangkal yang biasanya digunakan pada bangunan yang berdiri di atas tanah lunak atau digunakan apabila jarak antar kolom-kolomnya berdekatan di semua arah (Khomaeni, 2020).



Gambar 2.3 Pondasi Rakit

2. Pondasi Dalam

Pondasi dalam adalah pondasi yang didirikan pada kedalaman lebih dari 3 meter di bawah level permukaan tanah. Pondasi dalam berfungsi untuk meneruskan beban bangunan ke lapisan tanah yang paling dalam dan kuat untuk menahan beban struktur bangunan sehingga bangunan bisa berdiri kokoh. Jenis pondasi dalam banyak dijumpai adalah pondasi dalam dengan bentuk tiang (Khomaeni, 2020).

a. Pondasi Sumuran

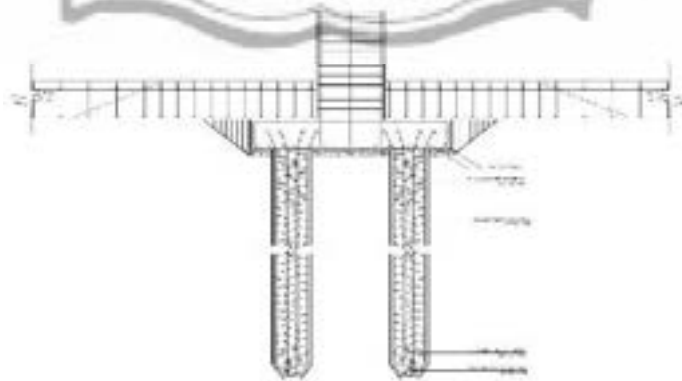
Pondasi sumuran merupakan salah satu jenis pondasi dalam yang biasanya digunakan pada kondisi tanah yang kurang baik (tanah keras) dengan kedalaman lebih dari 3 meter. Pondasi sumuran umumnya mempunyai diameter berkisar antara 0,8 sampai dengan 1 meter. Pondasi sumuran juga bisa digunakan ketika dalam satu bangunan memiliki diameter yang berbeda-beda karena adanya perbedaan beban pada masing-masing kolom bangunan (Khomaeni, 2020).



Gambar 2.4 Pondasi Sumuran

b. Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang adalah salah satu jenis pondasi dalam yang terbuat dari kayu, beton, atau baja yang berfungsi meneruskan beban dari struktur atas ke tanah penunjang pada kedalaman tertentu lebih dari 3 meter. Pemasangan pondasi tiang pancang yaitu dengan cara dipukul atau didongkrak ke dalam tanah kemudian disambungkan dengan pile cap (Khomaeni, 2020).



Gambar 2.5 Pondasi Tiang Pancang

c. Pondasi *Bored Pile*

Menurut (Afifa, 2021) pondasi *bored pile* atau sering disebut dengan pondasi tiang bor adalah salah satu jenis pondasi dalam yang berbentuk tabung dan pemasangannya dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu sampai kedalaman yang sudah ditentukan, kemudian dimasukkan besi tulangan baru dilanjutkan pengecoran beton. Pondasi *bored pile* efektif digunakan pada bangunan dengan lapisan lantai yang jumlahnya cukup banyak dan terletak pada area padat bangunan (sudah banyak bangunan-bangunan besar di sekitarnya).



Adapun keuntungan dari pondasi *bored pile* menurut (Khomaeni, 2020) yaitu:

1. Tidak menimbulkan getaran sehingga cocok untuk pembangunan di area padat pemukiman.
2. Untuk diameter tiang bisa dibuat besar dan kedalamannya bisa divariasikan.
3. Tidak menimbulkan resiko kenaikan muka tanah.

Adapun kerugian dari pondasi *bored pile* menurut (Khomaeni, 2020) yaitu :

1. Pengecoran beton sedikit sulit karena dipengaruhi air sehingga mutu beton menjadi berkurang.
2. Butuh pengawasan khusus selama pengecoran dilakukan agar hasilnya maksimal.
3. Biaya lebih mahal karena diameter pengeboran biasanya melebihi perkiraan.

Berikut ini tahapan metode pelaksanaan pondasi *bored pile* yaitu sebagai berikut :

1. Pekerjaan persiapan, meliputi persiapan lahan, pengadaan alat, bahan dan tenaga kerja dan perlengkapan K3L (Kesehatan, Keselamatan Kerja dan Lingkungan)
2. Penentuan titik *bored pile* (*surveying*) yang dilakukan oleh surveyor. Titik-titik yang sudah dibuat diberi patok/tanda agar tidak bergeser dan mudah ditemukan.
3. Persiapan pengeboran dan *setting* alat bor seperti memindahkan mesin bor ke area titik yang akan dibor, memasang mata bor ke *kelly bar* yang ada pada mesin bor.
4. selama pekerjaan persiapan pengeboran, di sisi lain di bagian pabrikasi besi perakitan besi tulangan sudah mulai dilakukan.
5. Pengeboran awal/ *pre-boring* sampai pada kedalaman ± 8 m untuk memasukkan *casing* ke dalam lubang. Untuk pekerjaan pengeboran terbagi menjadi 2 metode pengeboran yaitu metode *dry drilling* dan *wash boring*. Metode *dry drilling* adalah pengeboran dengan sistem kering. Sedangkan metode *wash boring* adalah metode pengeboran dengan sistem basah atau dengan bantuan air.
6. Kemudian pemasangan *casing*, dibantu dengan *service crane*.
7. Dilanjutkan pengeboran lagi sampai dengan kedalaman yang ditentukan.
8. Pemasangan besi tulangan.
9. Pemasangan pipa tremi.
10. Kemudian pengecoran beton.
11. Dan tahap akhir, pencabutan pipa tremi.

2.4 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah merupakan kegiatan yang perlu dilakukan ketika akan melakukan pekerjaan konstruksi berskala besar seperti pembangunan gedung bertingkat, dan pembangunan-pembangunan lainnya. Penyelidikan tanah sendiri dilakukan guna untuk mengetahui susunan lapisan tanah, sifat / karakteristik tanah, kekuatan daya dukung tanah serta kondisi geologinya. Penyelidikan tanah

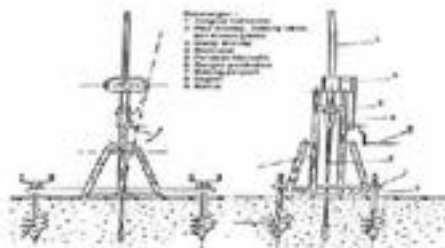
dibedakan menjadi 2 yaitu penyelidikan tanah di lapangan dan penyelidikan tanah di laboratorium. Penyelidikan tanah di lapangan dilakukan dengan menguji tanah pada lokasi secara langsung contohnya uji pengeboran / *boring*, uji CPT / sondir dan uji SPT. Sedangkan penyelidikan tanah di laboratorium dilakukan setelah sampel tanah diambil pada pekerjaan *boring* kemudian dilanjutkan uji di laboratorium untuk mengetahui karakteristik maupun sifat tanah. Kemudian hasilnya dikorelasikan dengan hasil pengujian di lapangan untuk menentukan desain dan dimensi pondasi yang efisien dan aman. Jadi pada dasarnya kedua pengujian ini baik di lapangan maupun di laboratorium perlu dilakukan kemudian hasil dari pengujian saling dikorelasikan untuk memastikan keakurasian hasilnya (Anonim, 2019).

2.4.1 Pengeboran Inti / *Core Drilling / Boring*

Metode pengeboran inti / *core drilling / boring* merupakan salah satu metode pengujian tanah yang dilakukan dengan cara mengambil sampel tanah melalui proses pengeboran guna mengetahui lapisan-lapisan tanah pada lokasi pembangunan.

2.4.2 Uji *Conus / Sondir*

Uji sondir atau *Dutch Static Penetrometer* adalah metode pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai tahanan konus (q_c) terhadap konsistensi tanah di lokasi pembangunan. Metode ini dilakukan dengan cara yaitu konus pada ujung alat sondir ditekan masuk ke dalam lapisan tanah. Besar gaya yang diperoleh diukur dengan alat pengukur tekanan (*manometer gauge*) yang menunjukkan nilai tahanan konus dalam kg/cm^2 . Nilai konus yang diperoleh adalah nilai dari kepadatan relative (*relative density*) dari lapisan-lapisan tanah yang diukur.



Gambar 2.7 Skema Alat sondir
(Sumber : SNI 2827:2008)

2.4.3 Standart Penetration Test (SPT)

Pengujian *Standart Penetration Test* atau sering disingkat uji N-SPT merupakan salah satu jenis pengujian tanah yang dilakukan dengan cara menjatuhkan batangan besi pemukul ke dalam lubang bor kemudian dihitung jumlah pukulan. Semakin banyak pukulan yang diperlukan, semakin keras tanah dan juga semakin besar kohesi dari tanah tersebut.

Hasil dari pengujian tersebut merupakan deskripsi umum mengenai susunan lapisan tanah disertai nilai SPT, nilai ini dinyatakan dalam N pukulan. Pengujian ini menggunakan tabung belah SPT atau *Standard Split Barrel Sampler* yang dipukul hingga 150 cm pada tanah sambil terus dilakukan pencatatan banyaknya pukulan yang diperlukan. Pengujian ini umumnya dilakukan bersamaan dengan pengambilan sampel tanah tiap 1,5 - 2 meter atau setiap pergantian jenis tanah (Standar ASTM D 1586-84).

Adapun peralatan yang diperlukan untuk pengujian SPT menurut SNI 4153:2008 yang mengacu pada ASTM D 1586-84 antara lain sebagai berikut :

- a. Mesin bor yang dilengkapi dengan peralatannya.
- b. Mesin pompa yang dilengkapi dengan peralatannya.
- c. *Split Barrel Sampler* (Tabung belah SPT).
- d. Palu dengan berat 63,5 kg dengan toleransi meleset $\pm 1\%$.
- e. Alat penahan (tripod).
- f. Rol meter.
- g. Alat penyipat datar.
- h. Kerekan.
- i. Kunci-kunci pipa.
- j. Tali yang kuat untuk menarik palu.

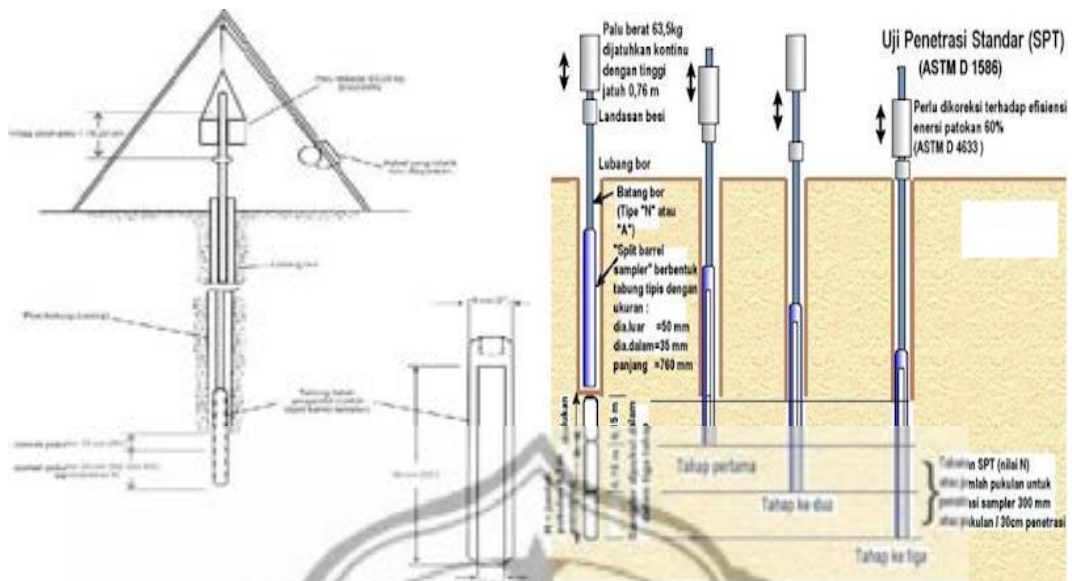
Berikut ini metode tahapan prosedur pengujian *Standart Penetration Test* (SPT) menurut SNI 4153:2008 yaitu sebagai berikut :

- a. Pekerjaan persiapan
 1. Pasang blok penahan (*knocking block*) pada pipa bor.
 2. Beri tanda pada ketinggian sekitar 75 cm pada pipa bor yang berada di atas penahan.

3. Bersihkan lubang bor pada kedalaman yang akan dilakukan pengujian dari bekas-bekas pengeboran.
4. Pasang *split barrel sampler*/tabung belah pada pipa bor, dan pada ujung lainnya disambungkan dengan pipa bor yang telah dipasang blok penahan.
5. Masukkan peralatan uji SPT ke dalam dasar lubang bor atau sampai kedalaman pengujian yang diinginkan.
6. Beri tanda pada batang bor mulai dari muka tanah sampai ketinggian 15 cm, 30 cm dan 45 cm.

b. Pengujian SPT

1. Lakukan pengujian pada setiap perubahan lapisan tanah atau interval sekitar 1,50 m sampai dengan 2 m sesuai kebutuhan.
2. Tarik tali pengikat palu/*hammer* sampai pada tanda yang telah dibuat sebelumnya (kira-kira 75 cm).
3. Lepaskan tali sehingga palu jatuh bebas menimpa penahan.
4. Ulangi langkah 2 dan 3 berkali-kali sampai mencapai penetrasi 15 cm.
5. Hitung jumlah pukulan atau tumbukan N pada penetrasi 15 cm yang pertama.
6. Ulangi Langkah 1,2,3,4 sampai pada penetrasi 15 cm yang ke-2 dan ke-3.
7. Catat jumlah pukulan N pada setiap penetrasi 15 cm.
 - 15 cm pertama dicatat N_1
 - 15 cm ke-dua dicatat N_2
 - 15 cm ke-tiga dicatat N_3
8. Jumlah pukulan yang dihitung adalah $N_2 + N_3$. Nilai N_1 tidak diperhitungkan karena masih kotor bekas pengeboran.
9. Bila nilai N lebih besar daripada 50 pukulan, hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter.
10. Catat jumlah pukulan pada setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah batuan.



Gambar 2.8 Skema Uji SPT
(Sumber : SNI 4153:2008)

2.5 Pengujian PDA

Pile Driving Analyzer Test atau sering disingkat *PDA Test* adalah suatu sistem pengujian dengan menggunakan data digital komputer atau monitor tablet yang terintegrasi dengan sensor *strain transducer* dan *accelerometer* serta terhubung dengan palu atau *hammer* kapasitas tertentu.

Dari pengujian *PDA test* sendiri didapatkan hasil seperti, kapasitas daya dukung tiang, nilai keutuhan tiang, penurunan/*displacement* tiang dan juga efisiensi dari transfer energi pukulan palu/*hammer* terhadap tiang.

Berikut ini beberapa keuntungan dari pengujian *PDA test* menurut (Nurhadi, 2013) antara lain sebagai berikut :

- Bisa menghemat waktu, karena pengujian berlangsung cepat hanya satu hari.
- Pengujian *PDA* hanya membutuhkan ruang yang relative kecil.
- Dapat digunakan untuk mengevaluasi daya dukung, integritas dan penurunan tiang.

Adapun kekurangan dari pengujian *PDA (Pile Driving Analyzer)* menurut (Nurhadi, 2013) antara lain sebagai berikut :

- Tidak dapat digunakan untuk menghitung gaya lateral.

- b. Hasil yang diperoleh bisa menyimpang jauh jika dilakukan oleh pihak-pihak yang tidak berpengalaman.
- c. Pemasangan sensor harus teliti.

Pada umumnya, pengujian dengan metode PDA *test* dilaksanakan setelah tiang mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan tumbukan *hammer* / palu atau umur tiang telah mencapai 28 hari. Berdasarkan (*Metode Kerja Pengujian Tiang Bor Pile Driving Analyzer (PDA Test) Pile Integrity Tester (PIT Test) Vibrating Wire Load Cell Tiang Bor D-60 cm*, 2022) ada beberapa peralatan yang dibutuhkan saat pengujian PDA yaitu :

1. PDA 8G (PDI, USA)
2. *Strain Transducer* (minimal 2 buah)
3. *Accelerometer* (minimal 2 buah)
4. Palu PDA *hammer* (dengan berat rekomendasi sekitar 1,5 – 2% dari kapasitas ultimate tiang)
5. Peralatan lain : Gerindra, bor tangan, dan *dynabolt*
6. Peralatan lain yang perlu disiapkan : kabel, kelistrikan, *service crane*, *excavator* dan pompa air.



Gambar 2.9 PDA 8G Model

Adapun metode atau prosedur pengujian PDA (*Pile Driving Analyzer*) ini mengacu pada ASTM D4945 – *Standard Test Method for High Strain Dynamic Testing of Deep Foundation* yaitu sebagai berikut :

- a. Pekerjaan persiapan kepala tiang
 1. Sebelum uji PDA dilakukan, perlu dipastikan bahwa tiang uji sudah memenuhi umur 28 hari sehingga kualitas beton dapat menahan tumbukan yang dihasilkan oleh *hammer* dan efek *set up* dari tanah juga sudah tercapai.

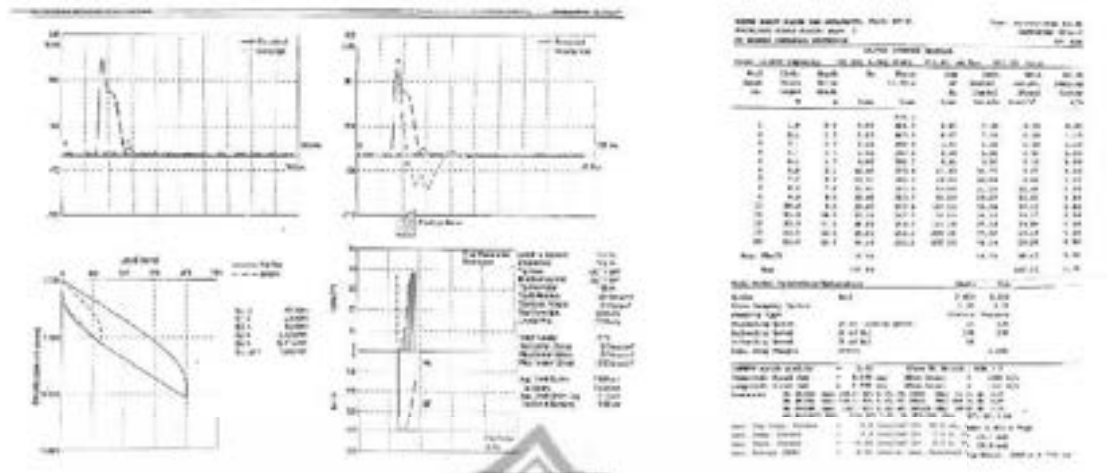
2. Pembersihan dan perataan kepala tiang (pada kepala tiang boleh ada stek besi yang muncul) agar rata, simetris dan tegak lurus.
3. Jika kepala tiang berada pada elevasi yang sama dengan tanah eksisting atau berada di bawah tanah, maka penggalian perlu dilakukan minimal 2x diameter tiang dari kepala tiang. Pastikan bahwa dasar galian tetap dalam kondisi kering.

b. Persiapan PDA

1. Setelah semua persiapan kepala tiang selesai, *hammer* dipasang pada kepala tiang. Perlu dicatat bahwa posisi *hammer* harus sentris dengan tiang uji.
2. Melakukan perataan di sekitar area tempat lokasi sensor ($\pm 1,5x - 2x$ diameter tiang dari kepala tiang). Dilanjutkan dengan proses pengeboran menggunakan bor tangan dan pemasangan *dynaflo*.
3. Pasang sensor *transducer* dan *accelerometer*.
4. Lalu proses memasukkan data tiang dilakukan pada komputer PDA, termasuk nomor tiang, dimensi tiang, tipe dan berat *hammer*, kalibrasi sensor *transducer* dan *accelerometer*.

c. Pengujian PDA

1. Angkat *hammer* sampai mencapai tinggi yang diperlukan
2. Dilakukan pukulan pertama, umumnya untuk memastikan bahwa keseluruhan sistem PDA bekerja sempurna. Lalu tinggi jatuh dapat disesuaikan sampai mencapai kapasitas rencana. Berat dari *hammer* merupakan hal yang penting karena akan mempengaruhi tinggi jatuh *hammer*, maka perlu dipastikan bahwa *hammer* tersebut sesuai dengan daya dukung dan panjang tiang.
3. Variabel yang diperoleh dari hasil uji PDA meliputi : daya dukung tiang (RMX/RSU/RU), penyaluran energi maksimum (EMX), penurunan maksimum tiang (DMX), Penurunan final (DFN), tegangan tekan (CSX), tegangan tarik (TSX), impedansi tiang (BTA) dll.
4. Hasil PDA akan dianalisa lebih lanjut menggunakan komputer CAPWAP untuk menentukan hasil yang lebih detail.



Gambar 2.11 Contoh Data Hasil PDA Test

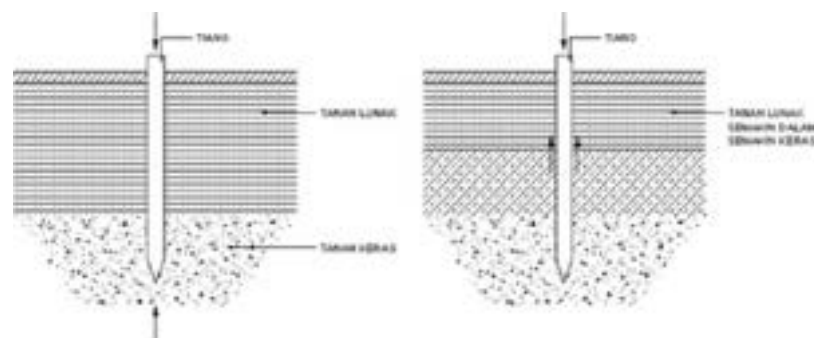
2.6 Kapasitas Daya Dukung

2.6.1 Daya Dukung Ujung Dan Tiang Gesek

Kapasitas daya dukung pondasi merupakan kemampuan tanah dalam mendukung dan memikul beban-beban struktur yang ada di atasnya (Assa dan Mantiri, 2020).

Menurut (Hardiyatmo, 2002), tiang dibagi menjadi 2 macam berdasarkan cara mendukung bebannya yaitu sebagai berikut :

1. Tiang dukung ujung (*end bearing pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tiang dukung ujung berada dalam zona tanah yang lunak yang berada di atas tanah keras. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawah ujung tiang.
2. Tiang gesek (*friction pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya.



Gambar 2.12 Tahanan Ujung dan Tahanan Gesek Pada Tiang Bor
(Sumber : Afifa, 2021)

2.6.2 Evaluasi Keamanan

Menurut (Purba, 2016) untuk mengevaluasi keamanan daya dukung ultimit pada pondasi bangunan tersebut harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Untuk daya dukung ultimit tiang (Q_u) dari hasil SPT lebih kecil dari hasil daya dukung PDA *test* (R_U) ($Q_u \leq R_U$), maka daya dukung tiang pondasi tersebut aman.
- b. Untuk daya dukung ultimit tiang (Q_u) dari hasil SPT lebih besar dari hasil daya dukung PDA *test* (R_U) ($Q_u \geq R_U$), maka daya dukung tiang pondasi tersebut tidak aman atau kemungkinan mengalami kelebihan beban.

2.6.3 Kapasitas Daya Dukung Tiang *Bored Pile* Berdasarkan Data N-SPT Metode Reese & Wreight (1977)

Standard Penetration Test atau lebih sering dikenal dengan sebutan SPT merupakan suatu cara yang dilakukan di lapangan atau lokasi pekerjaan yang bertujuan untuk mengetahui atau mendapatkan daya dukung tanah secara langsung di proyek. Selain itu, tes ini juga bertujuan untuk mengetahui perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh tanah dengan teknik penumbukan. Uji SPT juga merupakan suatu percobaan dinamis yang dilakukan dalam suatu lubang bor dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan *split barrel sampler* ke dalam tanah. Dari pengujian ini akan diperoleh kepadatan relative (*relative density*), sudut geser tanah (Φ) berdasarkan nilai jumlah pukulan (N). Perkiraan kapasitas daya dukung pondasi *bored pile* pada tanah pasir dan *silt* didasarkan pada data uji lapangan SPT, dapat ditentukan dengan perumusan metode Reese & Wreight (1977) yaitu seperti di bawah ini.

1. Daya dukung ujung tiang *bored pile* (*end bearing*), (Reese & Wreight, 1977)

Pada tanah non kohesif :

$$Q_p = 7 \cdot N' \cdot A_p \quad (2.1)$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung ujung tiang (Ton)

7 = Koefisien perlawanan ujung tiang yang dianjurkan

N' = Nilai rata-rata N_v pada hasil SPT (kN/m^2)

A_p = Luas penampang tiang bor (m^2)

Pada tanah kohesif :

$$Q_p = 9 \cdot C_u \cdot A_p \quad (2.2)$$

$$C_u = N_v \times \frac{2}{3} \times 10 \quad (2.3)$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung ujung tiang (Ton)

C_u = Kohesi tanah (Ton/m^2)

A_p = Luas penampang (m^2)

N_v = jumlah dari N_2 (pukulan ke-2) dan N_3 (pukulan ke-3) pada hasil SPT

2. Daya dukung selimut tiang *bored pile (skin friction)*, (Reese & Wreight, 1977)

Pada tanah non kohesif:

$$Q_s = 0,2 \cdot N_v \cdot P \cdot L_i \quad (2.4)$$

Dimana :

Q_s = Daya dukung selimut tiang (Ton)

0,2 = Koefisien yang dianjurkan

N_v = Jumlah hasil N_2 (pukulan ke-2) dan N_3 (pukulan ke-3) pada hasil SPT

P = Keliling tiang *bored pile* (m)

L_i = Panjang lapisan tanah (m)

Pada tanah kohesif:

$$Q_s = \alpha \cdot C_u \cdot P \cdot L_i \quad (2.5)$$

$$C_u = N_v \times \frac{2}{3} \times 10 \quad (2.6)$$

Dimana:

Q_s = Daya dukung selimut tiang (Ton)

α = Faktor adhesi (0,55)

C_u = Kohesi tanah (Ton/m^2)

P = Keliling tiang *bored pile* (m)

L_i = Panjang lapisan tanah (m)

N_v = Jumlah dari N_2 (pukulan ke-2) dan N_3 (pukulan ke-3) pada hasil SPT

3. Daya dukung ultimit tiang *bored pile* (Reese & Wreight, 1977)

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2.7)$$

Dimana :

Q_u = Daya dukung ultimit tiang *bored pile* (Ton)

Q_p = Daya dukung ujung tiang (Ton)

Q_s = Daya dukung selimut tiang (Ton)



2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai salah satu acuan penulis dalam melakukan penelitian yang dapat memperkaya teori dan perspektif terhadap penelitian yang dilakukan. Berikut ini beberapa penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi penulis antara lain sebagai berikut.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
1.	Rahma Nur Afifa (2021)	Analisis Daya Dukung <i>Bore Pile</i> Pada Pembangunan Jembatan Kereta Api Antara Araskabu-Tebing Tinggi dan Lintas Tebing Tinggi-Siantar.	Hasil perhitungan daya dukung ultimat tiang tunggal dan data N-SPT lebih kecil dari pada PDA <i>Test</i> .	<ul style="list-style-type: none"> Metode yang digunakan yaitu metode SPT dan PDA <i>Test</i>. Hasil penelitian yaitu daya dukung SPT lebih kecil daripada PDA <i>Test</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> Objek penelitian / studi kasus pada pembangunan Jembatan Kereta Api Antara Araskabu-Tebing Tinggi dan Lintas Tebing Tinggi-Siantar. Jenis dan kondisi tanah. Detail dan dimensi pondasi.
2.	Ully Fadilah Halimah Tunafiah (2018)	Analisis Daya Dukung <i>Pile Bored</i> Berdasarkan Data N-SPT Menurut Rumus <i>Reese & Wright</i> Dan Penurunan	Hasil perhitungan daya dukung ultimat menurut metode <i>Reese & Wright</i> lebih kecil daripada daya dukung hasil PDA <i>test</i> .	<ul style="list-style-type: none"> Metode yang digunakan yaitu metode SPT dan PDA <i>Test</i>. Hasil penelitian yaitu daya dukung SPT lebih kecil daripada PDA <i>Test</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> Objek penelitian / studi kasus pada proyek pembangunan 6 Ruas Jalan Tol Jakarta. Jenis dan kondisi tanah.
3.	Hinawan Teguh & Juandra Hartono (2020)	Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Uji SPT dan Pengujian Dinamis	Hasil daya dukung ultimat dari data N-SPT lebih kecil daripada daya dukung PDA <i>test</i> sehingga pengujian PDA <i>test</i> cukup handal untuk mengkonfirmasi besaran daya dukung tiang di lapangan	<ul style="list-style-type: none"> Metode yang digunakan yaitu metode SPT dan PDA <i>Test</i>. Hasil penelitian yaitu daya dukung SPT lebih kecil daripada PDA <i>Test</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> Objek penelitian / studi kasus pada proyek pembangunan jembatan Kaligawe Semarang, Jawa Tengah. Jenis pondasi yang digunakan disini adalah pondasi tiang pancang. Jenis dan kondisi tanah.
4.	Jestron (2016)	Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Perhotelan/Apartemen/Kondominium di Jalan Ring Road – Medan (Studi Kasus)	Apabila nilai daya dukung tiang berdasarkan data SPT lebih kecil dari hasil PDA <i>test</i> maka daya dukung tiang dalam pembangunan itu aman.	<ul style="list-style-type: none"> Metode yang digunakan yaitu metode SPT dan PDA <i>Test</i>. Hasil penelitian yaitu daya dukung SPT lebih kecil daripada PDA <i>Test</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> Objek penelitian / studi kasus pada proyek pembangunan perhotelan/Apartemen/Kondominium di Jalan Ring Road – Medan. Jenis Pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang.

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan
5.	Rifka Dwi Iswati (2023)	Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi <i>Bored Pile</i> Berdasarkan Data N-SPT Dan PDA. Proyek Pembangunan Rumah Sakit Kasih Ibu Surakarta	Hasil daya dukung rata-rata SPT lebih kecil daripada daya dukung rata-rata PDA test.	<ul style="list-style-type: none"> • Metode yang digunakan yaitu metode SPT dan PDA Test. • Hasil penelitian yaitu daya dukung SPT lebih kecil daripada PDA Test. 	<ul style="list-style-type: none"> • Objek penelitian / studi kasus pada proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Kasih Ibu Surakarta. • Jenis pondasi yang digunakan adalah pondasi <i>bored pile</i>. • Jenis dan kondisi tanah

