

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pondasi merupakan struktur konstruksi yang terpenting dalam pembangunan karena semua beban yang ada di atasnya akan ditahan oleh pondasi. Perkembangan jaman saat ini telah banyak konstruksi pembangunan yang semakin besar yang akan membutuhkan daya dukung dari pondasi yang cukup agar konstruksi tetap aman. Pada pembangunan Pelabuhan Sigapiton, pondasi yang dipakai adalah pondasi tiang pancang. Pondasi ini dipakai karena jenis pondasi yang sesuai dengan tanah pendukung yang terletak pada kedalaman 9 meter dibawah permukaan tanah adalah pondasi tiang. (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1990).

Perhitungan kapasitas tiang dengan menggunakan data di lapangan biasanya didampingi dengan hasil uji pembebanan aksial pada pondasi tiang setelah pemancangan, uji pembebanan setelah pemancangan sangat perlu dilakukan untuk memeriksa kapasitas daya dukung nyata yang dapat termobilisasi pada pondasi yang direncanakan dan memperoleh gambaran tentang tingkat penurunan yang terjadi apakah masih dalam batas-batas yang dapat diizinkan. Pada Pembangunan Pelabuhan Sigapiton, uji pembebanan aksial pada pondasi tiang setelah pemancangan dilakukan dengan menggunakan uji *Pile Driving Analyzer* (PDA).

Target yang ingin dicapai adalah merencanakan daya dukung dinamis tiang pancang yang ditinjau penulis dan juga melihat hasil uji pembebanan dengan menggunakan *Pile Driving Analyzer* (PDA) yang telah dilakukan sebelumnya pada Pembangunan Pelabuhan Sigapiton. Rumus dinamis yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode *Engineering New Record* (ENR) dan *Eytelwein* lalu rumus Statis yang dipakai adalah metode *Meyerhof, de Ruitter*, dan *Luciano Decourt*. Hasil dari analisis daya dukung dinamis tiang pancang dan *Pile Driving Analyzer* (PDA) adalah semakin kecil nilai penetrasi tiang yang didapat dari data pemancangan maka semakin besar kapasitas daya dukung pondasi yang diperoleh.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan di atas maka permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pemancangan tiang pada pembangunan Pelabuhan Sigapiton.
2. Menganalisis pengaruh dari nilai *final set* dalam perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang.
3. Menganalisis pengaruh dari N-SPT dalam perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang.

1.3 BATASAN MASALAH

1. Lokasi Penelitian ini dilakukan di Desa Sigapiton Kecamatan Ajibata Kabupaten Toba.
2. Analisa dilakukan minimal dua titik tiang pancang.
3. Data Sondir, SPT, dan Kalendering digunakan pada penelitian ini.

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Adapun maksud dan Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis daya dukung pondasi tiang pada pembangunan Pelabuhan Sigapiton dengan menggunakan rumus Statis dan dinamis yang akan dibandingkan dengan hasil uji *Pile Driving Analyzer (PDA)*.
2. Mendapat suatu hasil perbandingan daya dukung ultimit pondasi tiang pancang yang mendekati hasil uji *Pile Driving Analyzer (PDA)*.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat Penelitian ini adalah :

1. Memberikan wawasan bagi penulis dan pembaca tentang penerapan matakuliah geoteknik mengenai analisis daya dukung pondasi tiang pancang menggunakan *PDA test*.
2. Sebagai referensi bagi pihak-pihak yang membutuhkan informasi dan mempelajari hal terkait yang dibahas dalam laporan Tugas Akhir ini.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini dibagi menjadi 5 (lima) bab uraian yaitu:

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi kajian teori dan literatur atau bahan bacaan yang digunakan dalam penelitian ini, baik itu dari jurnal, buku, internet, makalah dan sumber bacaan lainnya.

BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini berisi penjabaran keseluruhan proses yang dilakukan selama pengumpulan data berlangsung sampai selesai. Diantaranya bagaimana proses pengumpulan dan pengolahan data dari hasil penelitian.

BAB IV. PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA

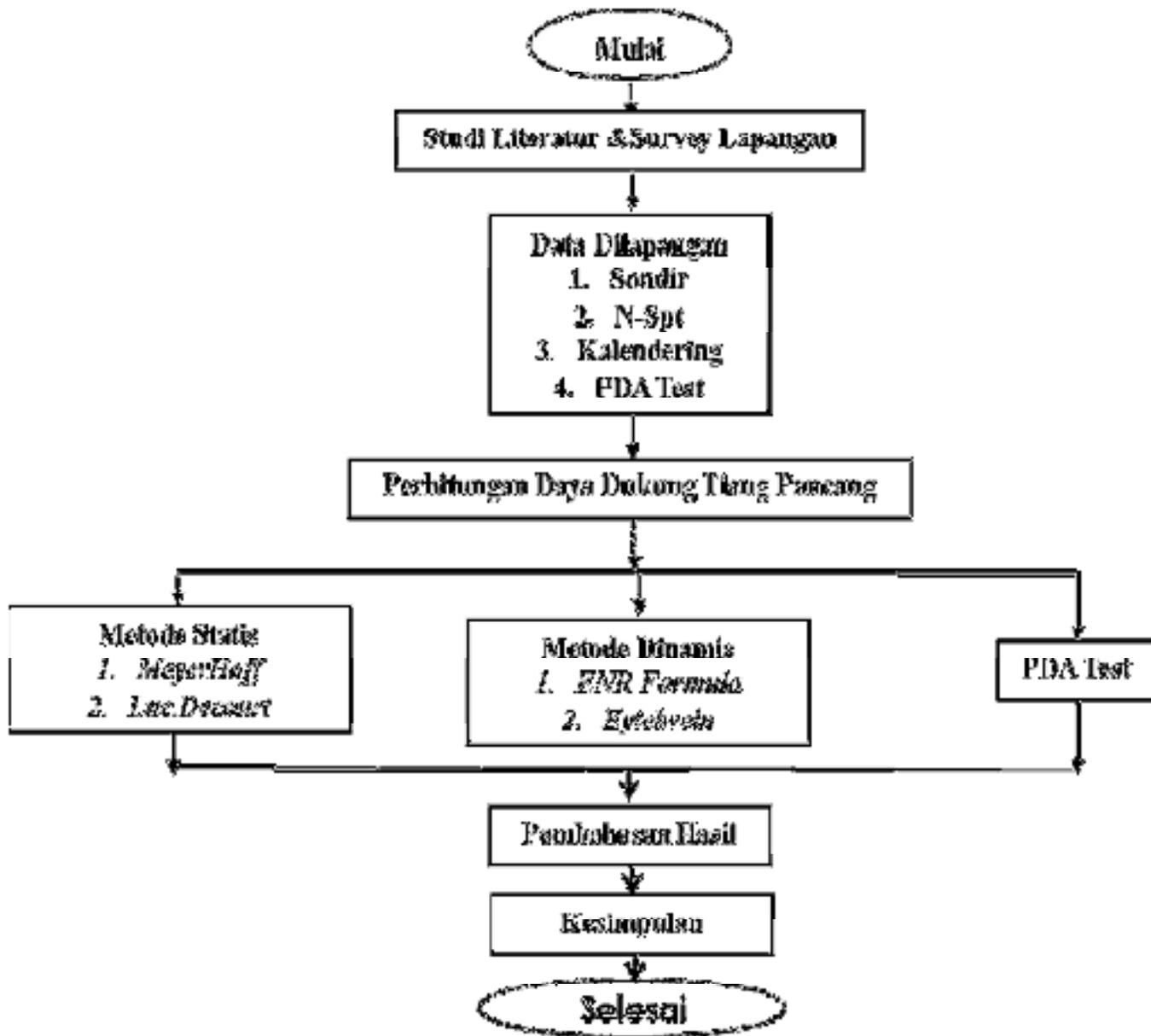
Bab ini berisi tentang pembahasan atau hasil data-data yang dikumpulkan. Hasil data-data yang terkumpul tersebut kemudian di analisa sehingga diperoleh hasil atau tujuan akhir dari penelitian ini.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi penjabaran mengenai hasil akhir penelitian dan saran saran dari peneliti yang dianggap dapat menjadi masukan bagi pihak lainnya.

1.7 Schedule Penelitian

1.8 Metodologi Pembahasan



Gambar 1.1 Bagan Alir

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam setiap perencanaan suatu konstruksi khususnya pondasi tiang pancang harus diketahui kapasitas daya dukung pondasi terlebih dahulu. Rumus daya dukung tiang telah digunakan untuk menghitung kapasitas tiang selama beberapa dekade karena dinilai cukup baik. Rumus tersebut didapat berdasarkan dari pengalaman ahli keteknikan di lapangan. Para ahli keteknikan memiliki perbedaan dalam cara menghitung kapasitas dukung tiang yang mungkin akan memperoleh hasil yang berbeda pula.

Tinjauan kepustakaan bertujuan untuk membuat kerangka teori dan konsepsi sebagai dasar yang berhubungan dengan permasalahan yang diteliti. Pada Bab ini dikemukakan beberapa teori dan rumus yang diperoleh dari literatur yang berhubungan dengan kapasitas daya dukung dinamis dan Statis tiang pancang dan pengujian dinamis tiang pancang dengan menggunakan *Pile Driving Analyzer*.

2.1 Umum

Sardjono, 1998 seperti yang dikutip oleh Syarif (2016) mengemukakan bahwa semua konstruksi yang direkayasa untuk bertumpu pada tanah didukung oleh suatu pondasi. Pondasi merupakan konstruksi yang menyalurkan beban struktur atas (*upper structure*) ke lapisan tanah dasar yang ada di bawahnya dan memiliki daya dukung yang besar.

Tiang (*pile*) adalah suatu bagian konstruksi pondasi yang berbentuk batang yang berfungsi untuk menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah di sekitar tiang pada kedalaman tertentu. Penyaluran beban oleh tiang ini dapat dilakukan melalui lekatan antara selimut tiang dengan tanah di sekitar tiang, penyaluran ini disebut tahanan selimut (*skin friction*), dan daya dukung ujung tiang (*end bearing*).

Hal-hal yang perlu dihindari dalam perencanaan pondasi adalah keruntuhan geser dan deformasi yang berlebihan. Pada perencanaan pondasi juga harus memperhatikan hal-hal berikut ini :

1. Daya dukung pondasi harus lebih besar daripada beban yang bekerja pada pondasi baik beban statik maupun beban dinamikanya;
2. Penurunan yang terjadi akibat pembebanan tidak melebihi dari penurunan yang diizinkan.

2.2 Tanah

Secara teknis, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Braja M Das, 1995).

Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Berdasarkan ASTM D2487, klasifikasi pembagian butiran tanah adalah sebagai berikut :

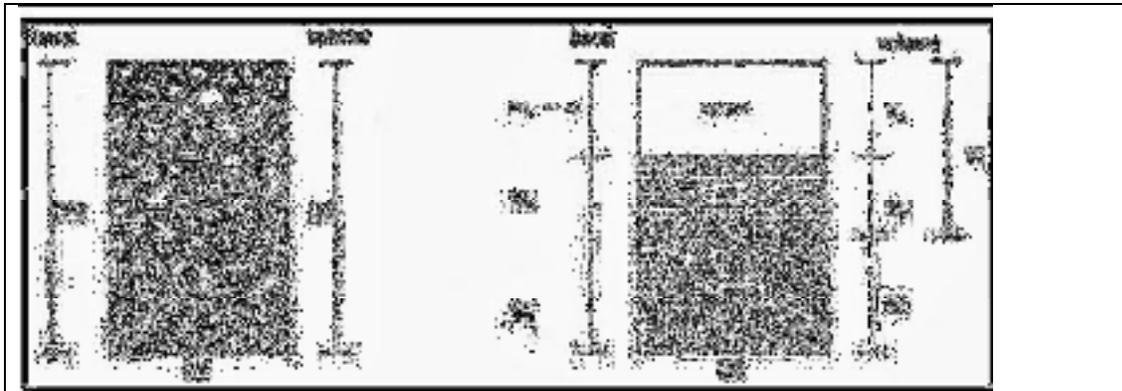
- a) Kerikil adalah partikel-partikel batuan yang lolos saringan 3 in (75 mm) dan tertahan dalam saringan no.4 (4,75mm).
- b) Pasir adalah partikel-partikel batuan yang lolos saringan no.4 (4,75mm) dan tinggal dalam saringan no.200 (0,075mm).
- c) Lanau adalah tanah yang butirannya lolos saringan no.200 (0,075mm). Untuk klasifikasi, lanau adalah tanah berbutir halus, atau fraksi halus tanah dengan indeks plastisitas kurang dari 4.
- d) Lempung adalah tanah berbutir halus yang lolos saringan no.200 (0,075mm). Untuk klasifikasi, lempung adalah tanah berbutir halus dengan indeks plastisitasnya lebih dari 4. Butiran lempung lebih halus dari lanau, merupakan kumpulan butiran mineral kristalin yang bersifat mikroskopis dan berbetuk serpih-serpih atau pelat-pelat. (Hardiyatmo, 2014).

Cara membedakan antara lanau dan lempung, adalah dengan mengambil tanah basah yang dicetak dan dikeringkan, kemudian dipecah ke dalam fragmen-fragmen kira-kira berukuran 1/8 in (3,1mm) dan ditekan di antara jari telunjuk dan ibu jari. Fragmen lempung hanya dapat pecah jika ditekan dengan usaha yang relative besar, sedang fragmen lanau dapat dipecah dengan mudah bila ditekan. (*Peck et al*, 1953).

Tanah terdiri dari 3 komponen, yaitu udara, air, dan bahan padat. Udara dianggap tidak mempunyai pengaruh teknis, sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah.

Dimana ruang di antara butiran-butiran, sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase, seperti ditunjukkan pada

Gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1 : Diagram Fase Tanah

Sumber : Das, Braja M.199

2.3 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah dilakukan untuk mengetahui jenis pondasi yang akan digunakan untuk konstruksi bangunan. Selain itu dari hasil penyelidikan tanah dapat ditentukan perlakuan terhadap tanah agar daya dukung yang dihasilkan dapat mendukung konstruksi yang akan dibangun. Dari hasil penyelidikan tanah kemudian akan dipilih jenis, kedalaman, serta dimensi pondasi yang paling ekonomis namun masih aman.

Penyelidikan tanah dapat dilakukan dengan berbagai cara, misalnya dengan menggali lubang uji, pengeboran, dan lain-lain. Biasanya tanah yang akan diuji akan dibawa ke laboratorium, namun ada juga yang melakukan pengujian langsung di lapangan tergantung pada jenis pengujian yang akan dilakukan dan keperluannya.

Ketelitian dalam pengujian tanah sangat diperlukan, terutama dalam menentukan muka air tanah karena data yang diperoleh untuk merencanakan pondasi sangatlah mempengaruhi perencanaan pondasi dan dapat menyebabkan kesalahan dalam menganalisa stabilitas tanah.

Tahapan lainnya dari penyelidikan tanah antara lain:

1. Penyelidikan awal, dimana dilakukan pada jarak titik 100 m sampai dengan 200 m untuk tanah normal dan 50 m sampai dengan 100 m untuk tanah lunak.

2. Penyelidikan detil dilakukan pada jarak titik 15 m sampai dengan 25 m untuk bangunan persegi dan 25 m sampai dengan 50 m untuk konstruksi memanjang.
3. Minimum titik penyelidikan pada tahap detil, yaitu 3 sampai 5 lokasi diatur pada pola teratur.
4. Selalu menempatkan titik penyelidikan pada posisi bangunan yang berat dan penting.

Sifat-sifat tanah dapat diperoleh dari uji coba di dalam lubang bor atau melalui uji laboratorium pada contoh tanah yang diperoleh dari pengeboran. Pengeboran untuk penyelidikan tanah harus dilakukan dengan hati-hati dan diusahakan mampu menjaga struktur asli tanah. Hasil uji di dalam bor dan uji laboratorium sangat tergantung dari kualitas lubang bor atau contoh tanah yang diperoleh. Batasan penyelidikan tanah tergantung dari beberapa faktor, antara lain :

1. Jenis tanah pendukung
2. Variasi lapisan tanah
3. Kondisi air tanah
4. Jenis proyek
5. Informasi lain yang tersedia

Penyelidikan tanah yang lebih teliti dibutuhkan apabila :

1. Lapisan tanah pendukung sangat bervariasi
2. Bangunan relatif lebih besar
3. Bangunan memberi dampak lingkungan besar bila terjadi kegagalan pondasi
4. Tidak terdapat informasi awal pada lokasi proyek.

Penyelidikan tanah yang sering dilakukan antara lain :

a. Penyelidikan Lapangan (*In Situ*)

Penyelidikan lapangan biasanya terdiri dari:

1. *Cone Penetration Test* (sondir *Cone Penetration Test* (sondir))
2. SPT
3. *Dynamic Cone Penetration Test* (DCP)

4. *Hand Boring*, dan sebagainya

b. Penyelidikan Laboratorium

Penyelidikan laboratorium terdiri dari:

1. Uji *index properties*, seperti : *water content, specific gravity, atterberg limit*, dan *shieve analysis*.
2. Uji *engineering properties*, seperti : *Direct Shear Test, Triaxial Test, Consolidation Test, Permeability Test, Compaction Test*, dan CBR

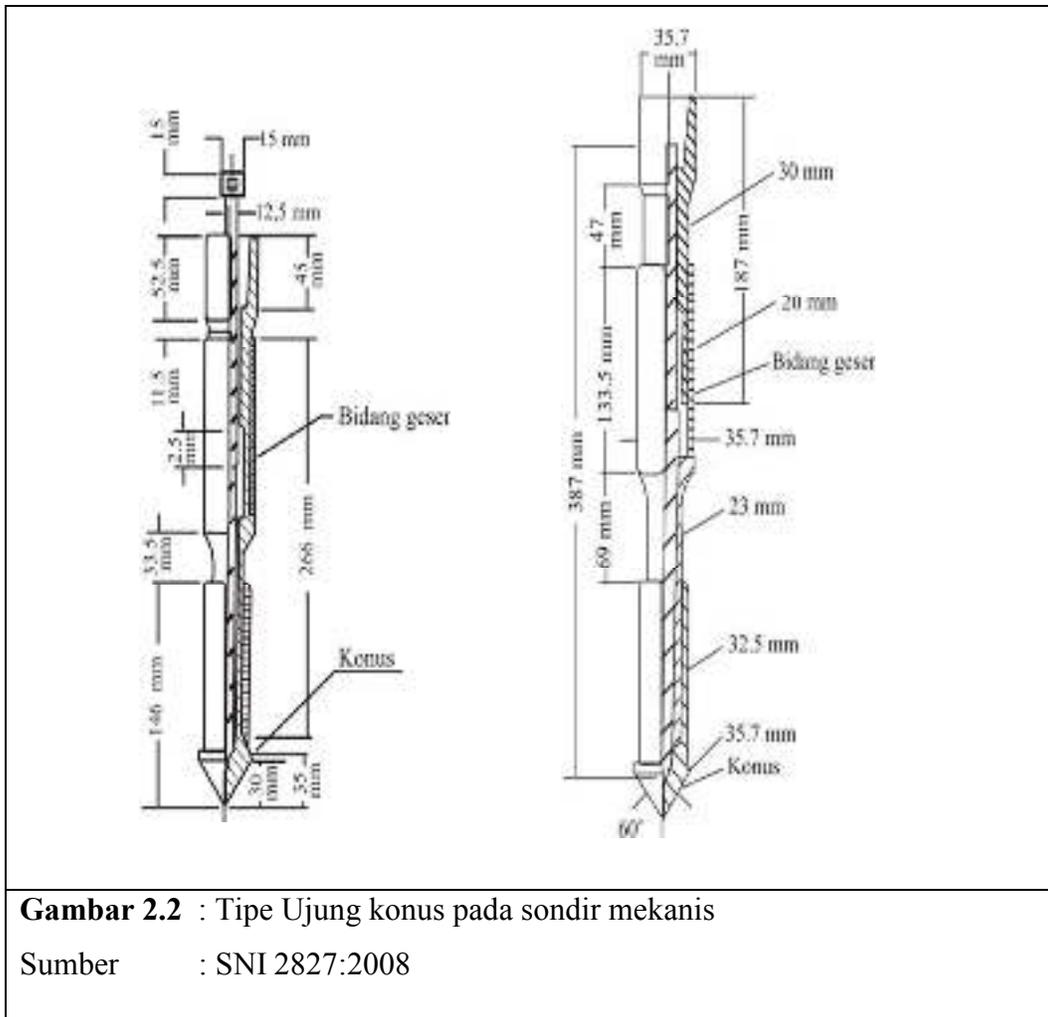
Pemilihan jenis pengujian yang dilakukan sangat tergantung kepada jenis konstruksi yang akan dikerjakan pada lokasi. Dalam penelitian ini, penyelidikan lapangan yang akan dibahas adalah pengujian SPT sesuai data yang diterima oleh penulis.

2.3.1 Cone penetration test (CPT)

Pengujian *Cone Penetrometer Test* atau sondir adalah pengujian dengan menggunakan alat sondir yang ujungnya berbentuk kerucut dengan sudut 60" dan dengan luasan ujung 10 cm. Alat ini digunakan dengan cara ditekan ke dalam tanah terus menerus dengan kecepatan standar 20 mm/detik (standar ASTM D411-75T), sementara itu besarnya perlawanan tanah terhadap kerucut penetrasi (q_c) juga terus diukur.

Tujuan dari pengujian sondir ini adalah untuk mengetahui perlawanan penetrasi konus dan hambatan lekat tanah yang merupakan indikator dari kekuatan tanahnya dan juga dapat menentukan dalamnya berbagai lapisan tanah yang berbeda. Ada 2 tipe ujung konus pada sondir mekanis yaitu :

1. Konus biasa, yang diukur adalah perlawanan ujung konus dan biasanya digunakan pada tanah yang berbutir kasar, dimana besar perlawanan lekatnya kecil;
2. Bikonus, yang diukur adalah perlawanan ujung konus dan hambatan lekatnya dan biasanya digunakan pada tanah yang berbutir halus.



Gambar 2.2 : Tipe Ujung konus pada sondir mekanis

Sumber : SNI 2827:2008

2.3.2 Standart penetration test (SPT)

Standard Penetration Test (SPT) sering digunakan untuk mendapatkan daya dukung tanah secara langsung di lokasi. Metode *SPT* merupakan percobaan dinamis yang dilakukan dalam suatu lubang bor dengan memasukkan tabung sampel sedalam 450 mm dengan menggunakan massa pendorong (palu) seberat 63,5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760 mm (SNI 4153-2008). Tujuan dari percobaan *SPT* ini adalah untuk menentukan kepadatan relatif lapisan tanah dari pengambilan contoh tanah dengan tabung sehingga diketahui jenis tanah dan ketebalan tiap tiap lapisan kedalaman tanah dan untuk memperoleh data yang kualitatif pada perlawanan penetrasi tanah serta menetapkan kepadatan dari tanah yang tidak berkohesi yang biasa sulit diambil sampelnya.

Tabel 2.1 Hubungan Nilai N dengan Kerapatan Relatif

Nilai N	Kerapatan Relatif (D_r)
< 4	Sangat Tidak Padat
4-10	Tidak Padat
10-30	Kepadatan Sedang
30-50	Padat
>50	Sangat Padat

(Das, 1995)

Nilai N-SPT kemudian diperiksa terhadap energi, yaitu:

$$N_{60} = \frac{E_r}{60} N_{60} \quad (2.1)$$

Dimana:

N_{60} = Efisiensi 60%

E_r = Efisiensi yang diukur

N_M = Nilai yang terukur yang harus diperiksa

Dalam beberapa hubungan korelatif, nilai tenaga terkoreksi N_{60} yang dinormalisasi terhadap tegangan vertikal (*overburden stress*) dinyatakan dengan $(N_1)_{60}$ yang dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$(N_1)_{60} = N_M \times C_w \times C_F \times C_B \times C_R \times C_D \quad (2.2)$$

Dimana:

$(N_1)_{60}$ = Nilai SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh efisiensi tenaga 60%

N_M = Hasil uji SPT

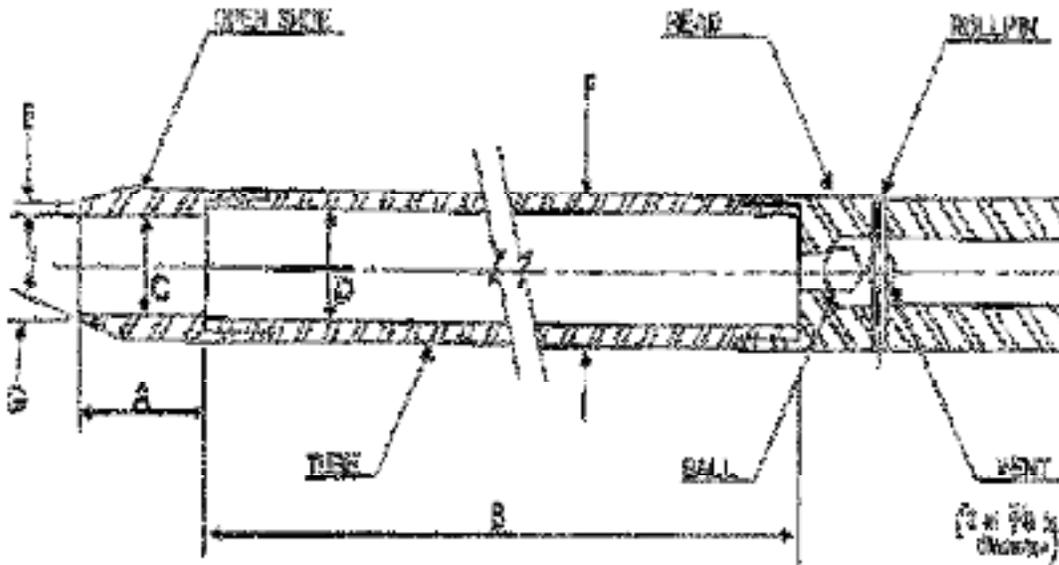
C_w = Faktor koreksi terhadap tegangan vertikal efektif

C_{E2} = Faktor koreksi terhadap rasio tenaga palu

C_{E3} = Faktor koreksi terhadap diameter bor

C_{E4} = Faktor koreksi untuk panjang batang SPT

C_{E5} = Faktor koreksi tabung contoh (*samplers*) dengan atau tanpa pelapis



A 5 1.0 to 2.0 in. (25 to 50 mm)

B 5 18.0 to 30.0 in. (0.457 to 0.762 m)

C 5 1.375 6 0.005 in. (34.93 6 0.13 mm)

D 5 1.50 6 0.05 - 0.00 in. (38.1 6 1.3 - 0.0 mm)

E 5 0.10 6 0.02 in. (2.54 6 0.25 mm)

F 5 2.00 6 0.05 - 0.00 in. (50.8 6 1.3 - 0.0 mm)

G 5 16.0° to 23.0°

Gambar 2.3 : Ukuran tabung *SPT*

Sumber : ASTM D1586

Tabel 2.2 Hubungan antara Angka Penetrasi Standar dengan Sudut Geser

Dalam dan Kepadatan Relatif pada Tanah Pasir

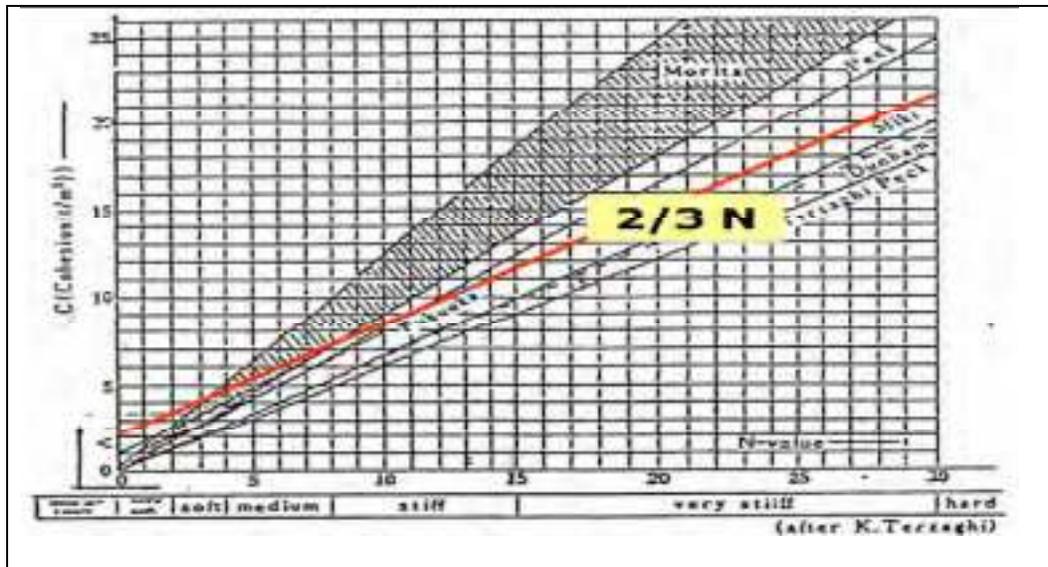
Angka Penetrasi Standar, N	Kepadatan Relatif, Dr (%)	Sudut Geser Dalam ϕ ($^{\circ}$)	
		Menurut Peck	Menurut Meyerhof
0 – 4	Sangat Lepas (0,0 – 0,2)	<28,5	<30
4 – 10	Lepas (0,2 – 0,4)	28,5 – 30	30 – 35
10 – 30	Sedang (0,4 – 0,6)	30 – 36	35 – 40
30 – 50	Padat (0,6 – 0,8)	36 - 41	40 - 45
>50	Sangat Padat (0,8 – 1,0)	>41	>45

(Sosrodarsono & Nakazawa, 2000)

Tabel 2.3 Hubungan antara Harga N-SPT dan Berat Isi Tanah

Tanah tidak kohesif	Harga N	<10	10 – 30	30 – 50	>50
	Berat isi, γ (kN/m ³)	12 – 16	14 – 18	16 – 20	18 – 23
Tanah kohesif	Harga N	<4	4 – 15	16 – 25	>25
	Berat isi, γ (kN/m ³)	14 – 18	16 – 18	16 – 18	>20

(Das, 1995)



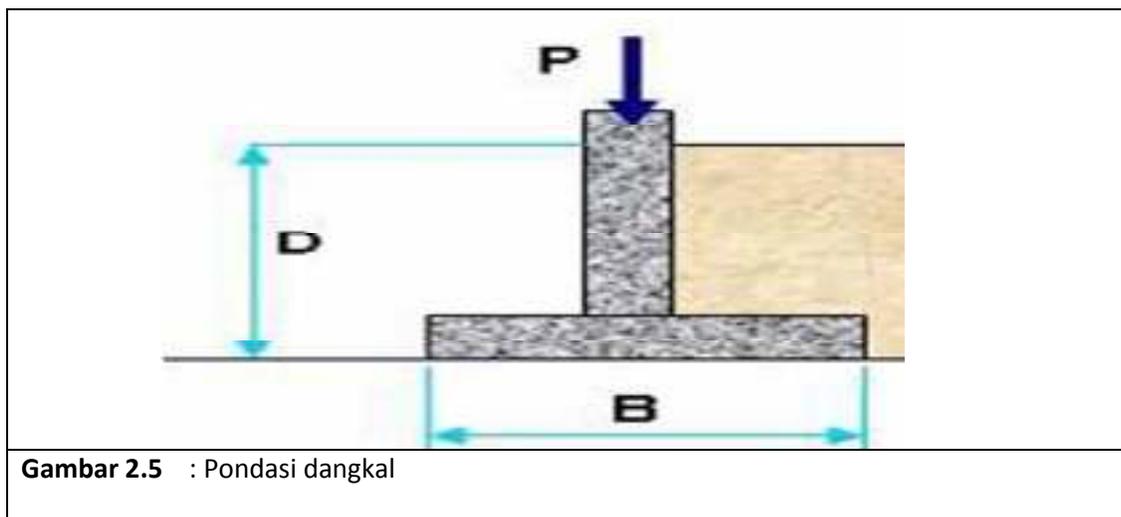
Gambar 2.4 : Hubungan antara Harga N-SPT dan Kohesi Tanah

Sumber : Rekayasa Pondasi, Mahsyur Irsya

2.4 Jenis Jenis Pondasi

2.4.1 Pondasi Dangkal (*Shallow Foundations*)

Pondasi dangkal adalah jenis pondasi yang dasarnya terletak tidak terlalu dalam dari permukaan tanah atas. Dapat dikerjakan dengan alat sederhana oleh tenaga manusia. Disebut pondasi dangkal bila kedalaman pondasi dari muka tanah adalah kurang atau sama dengan lebar pondasi ($D \leq B$).



Gambar 2.5 : Pondasi dangkal

Sumber : Teknik Pondasi Agung Sedayu

Untuk pondasi bangunan rumah tinggal dan Gedung bertingkat biasa (*Ordinary Low-Rise Building*) dengan berat bangunan yang relatif tidak besar, maka biasanya cukup digunakan pondasi dangkal yang disebut Pondasi Langsung (*Spread Footing*), yakni dengan memperlebar bagian bawah dari kolom atau dinding bangunan, sehingga beban disebarakan menjadi desakan yang lebih kecil daripada daya dukung tanah yang diijinkan.

Dalam memasang pondasi langsung perlu diperhatikan beberapa faktor :

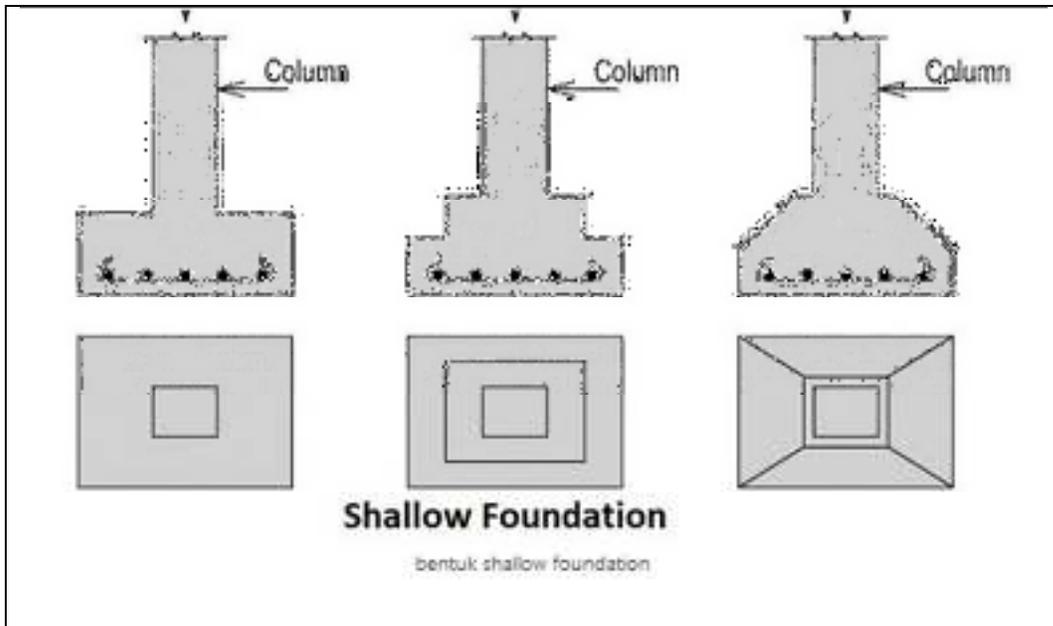
- Letak dasar pondasi di bawah lapisan tanah teratas (*Top Soils*) yang mengandung humus/bahan organik/sisa tumbuh-tumbuhan.
- Kedalaman tanah urug (*Sanitary Land Fill*) atau tanah lunak.
- Kedalaman tanah yang dipengaruhi sifat retak-retak atau kembang susut.
- Kedalaman muka air tanah.
- Letak dan kedalaman pondasi bangunan lama yang berdekatan. Dengan beberapa pertimbangan tersebut, maka kedalaman dasar pondasi langsung di Indonesia biasanya diletakkan antara 0,60 m sampai 3,00 m dibawah muka.

Berdasarkan bentuknya Pondasi langsung (Dangkal) digolongkan dalam 4 macam, adalah :

1. Pondasi Menerus (*Continuous Footing*), dipasang di bawah seluruh panjang dinding bangunan dengan dimensi sama besar. Pondasi ini dipakai dengan kedalaman 0,80 – 1,20 m dari permukaan tanah. Pondasi ini dapat dibuat dengan pasangan batu kali dengan *specimen* 1 cmt : 5 psr. Untuk tanah lembek pondasi dibuat dari beton bertulang atau kombinasi beton dengan pasangan batu kali, yang di atasnya dipasang balok *sloof*. Pada pondasi menerus ini seluruh beban bangunan disebarakan merata lebih dahulu sepanjang balok *sloof*, kemudian diteruskan ke pondasi.
2. Pondasi Telapak (*Individual Footing*), dipakai pada kedalaman tanah lebih dari 1,20 m dari muka tanah dan dipasang di bawah kolom-kolom utama pendukung bangunan. Seluruh beban bangunan dilimpahkan ke kolom-kolom utama, dan diteruskan ke pondasi di bawahnya. Pondasi ini tetap dihubungkan oleh balok *sloof* dengan pondasi setempat lain, dan *sloof* ditopang oleh pondasi batu kali. Pondasi setempat dipakai pada kedalaman 1,50 – 4,00 m, dengan tanah yang digali hanya pada dimana kolom-kolom utamanya ditanam,

sedangkan galian di bawah balok *sloof* cukup dengan 0,60 – 0,80 m. Jenis pondasi setempat berdasarkan bahan pembentuknya, adalah :

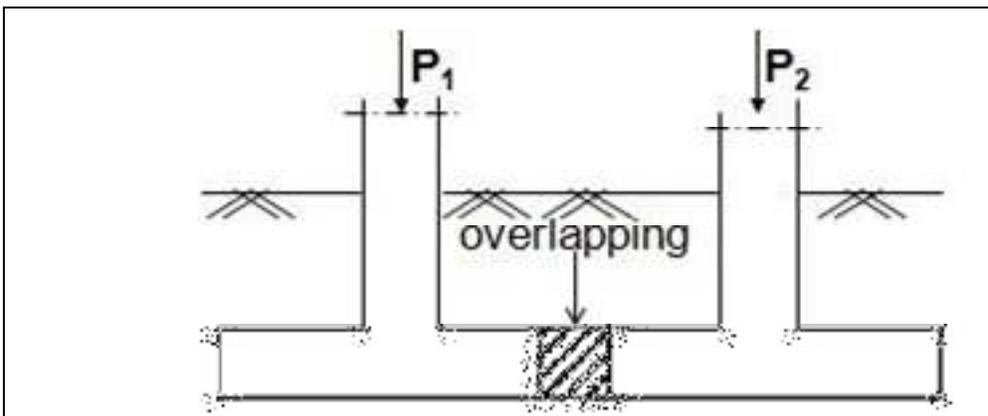
- Plat beton bertulang (Pondasi Telapak – *Voet Plat*), dibuat dari beton bertulang berupa plat, tulangan kolom ditanam sampai dasar plat.
- Pilar pasangan batu-kali, dapat berupa : kerucut terpotong atau kubus tegak, ataupun juga bulat (pondasi sumuran).



Gambar 2.6 : Pondasi Telapak

Sumber : Teknik Pondasi Agung Sedayu

3. Pondasi Gabungan (*Combined Footing*), merupakan pondasi plat yang mendukung kolom lebih dari satu. Pondasi ini dipakai bila luas tanah untuk bangunan sangat terbatas, misalnya di kanan kirinya sudah padat bangunan.



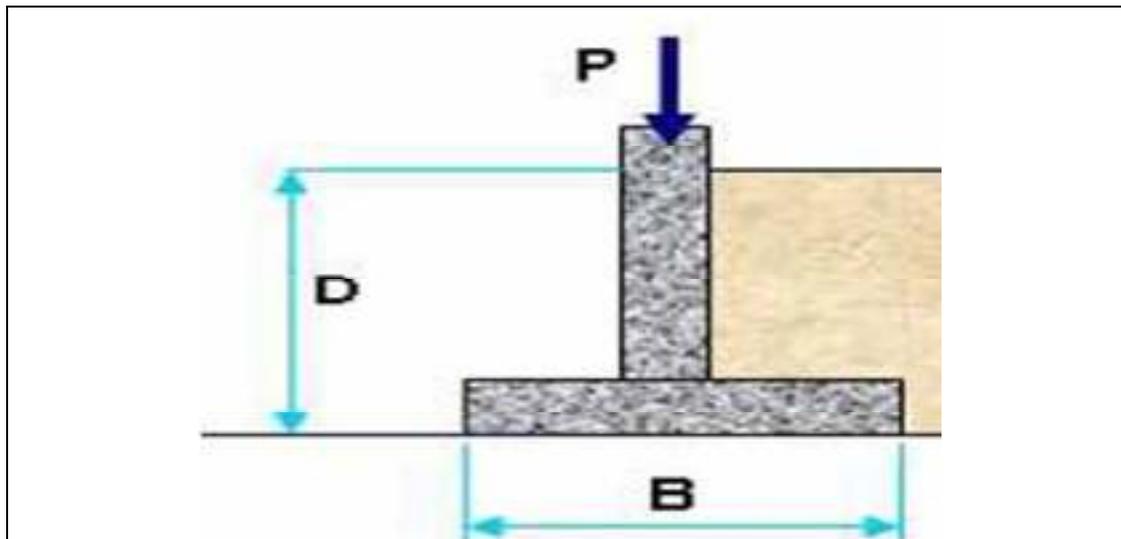
Gambar 2.7 : Pondasi Gabungan

Sumber : Teknik Pondasi Agung Sedayu

4. Pondasi Plat (*Mat Foundation / Raft Footing*), merupakan pondasi yang dibuat berupa plat tebal dengan perkuatan balok-balok dari beton bertulang kedap air, dipasang dibawah seluruh luas bangunan, dapat dimanfaatkan sebagai ruang basement di bawah tanah, untuk : gudang, ruang mesin atau tempat parkir. Pondasi ini biasanya dirangkai menjadi satu menerus dengan dinding beton kedap air sebagai turap penahan tanah sekeliling basement.

2.4.2 Pondasi Dalam (*Deep Foundations*)

adalah jenis pondasi yang dipakai pada kedalaman lebih dari 6,00 m dari permukaan tanah, dasar pondasi ini terletak cukup dalam dari permukaan tanah atas. Dikerjakan dengan peralatan berat dan tidak dapat dikerjakan oleh tenaga manusia. Disebut pondasi dalam bila kedalaman pondasi dari muka tanah adalah sama atau lebih besar dari lima kali lebar pondasi ($D \geq 5B$)



Gambar 2.8 : Pondasi Dalam (*Deep Foundations*)

Sumber : Teknik Pondasi Agung Sedayu

Pondasi Dalam dibagi menjadi :

1. Pondasi Tiang Pancang, adalah berupa tiang dari kayu, baja, atau beton bertulang ditanam ke dalam tanah dengan mesin pancang. Tiang-tiang di atasnya dirangkai menjadi satu dengan plat beton yang disebut : kepala tiang, Pur (*Poer, Pile Cap*). Pur ini nantinya akan menjadi tumpuan dari kolom-kolom, dan meneruskan beban kolom ke tiang-tiang di bawahnya. Di

bawah satu Pur umumnya terdapat dua atau lebih tiang dengan bentuk tampang bulat, segi delapan atau segi empat, diameter rata-rata antara : 30 cm – 50 cm.

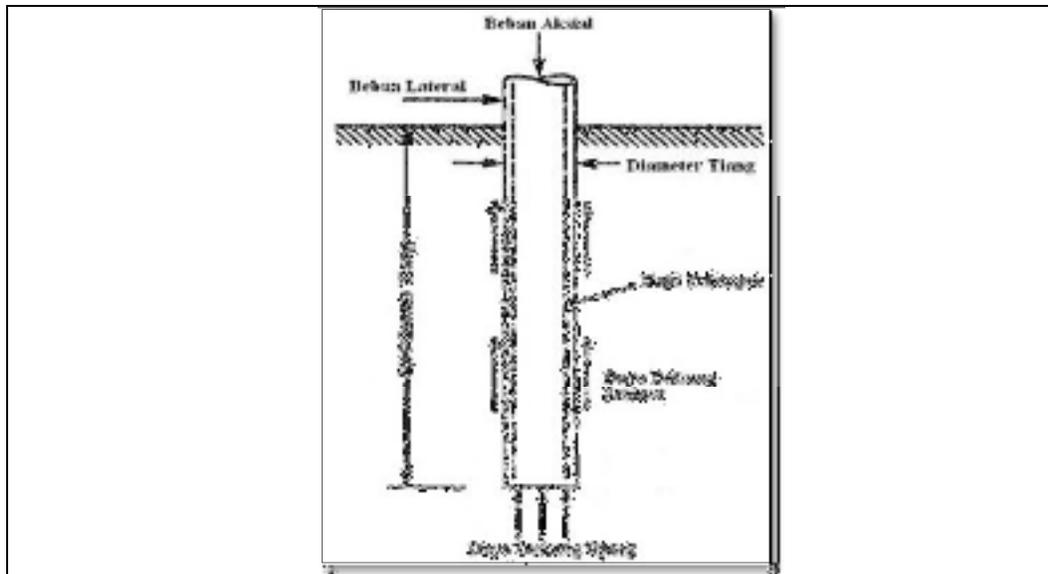
2. Pondasi Sumur Bor (*Bored Pile/In Situ Pile*) Adalah dengan membor tanah lebih dahulu sampai kedalaman rencana, setelah itu diberi cor beton. Sepertiga tinggi dari atas, diberi tulangan baja sekeliling lobang untuk ikatan dengan tulangan kolom di atasnya. Pada pondasi bor tidak dipakai pur, karena di bawah satu kolom hanya dibuat satu tiang bor dengan diameter besar rata-rata 1 m atau lebih, jadi tulangan kolom dapat dimasukkan langsung ke dalam sumur bor dan dicor bersamasama

2.5 Pondasi Tiang

Pondasi tiang adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya vertikal ke sumbu tiang dengan cara menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang terdapat di bawah konstruksi dengan tumpuan pondasi (Sosrodarsono dan Nakazawa, 2000).

2.5.1 Pondasi *bor pile*

Seperti yang dikutip dari Hakim (2013) pondasi *bor pile* adalah suatu pondasi yang dibangun dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi dengan tulangan dan dicor. *Bor pile* dipakai apabila tanah dasar yang kokoh yang mempunyai daya dukung besar terletak sangat dalam, yaitu kurang lebih 15 m serta keadaan sekitar tanah bangunan sudah banyak berdiri bangunan-bangunan besar seperti gedung - gedung bertingkat sehingga dikhawatirkan dapat menimbulkan retak - retak pada bangunan yang sudah ada akibat getaran getaran yang ditimbulkan oleh kegiatan pemancangan apabila dipakai pondasi tiang pancang.



Gambar 2.9 : Skematis tiang bor

Sumber : Hartono, (2006)

Bor pile dipasang kedalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi tulangan dan dicor beton. Tiang ini biasanya 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 ke atas pada waktu pengecoran beton. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan dukung ujung tiang.

Daya dukung *bor pile* diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung geser atau selimut (*friction bearing capacity*) yang diperoleh dari daya dukung gesek atau gaya adhesi antara *bor pile* dan tanah di sekelilingnya. Pada **Gambar 2.9** diperlihatkan bentuk tiang bor secara skematis.

2.5.2 Pondasi tiang pancang

Pondasi tiang pancang merupakan sebuah tiang yang dipancang kedalam tanah sampai kedalaman yang cukup untuk menimbulkan tahanan gesek pada selimutnya atau tahanan ujung. Pempancangan tiang dapat dilakukan dengan memukul kepala tiang dengan menggunakan palu jatuh (*drop hammer*), diesel hammer, dan penekan secara hidrolis (*hydraulic hammer*). Pondasi tiang pancang digunakan sebagai pondasi bangunan apabila tanah yang berada dibawah

bangunan tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban yang bekerja padanya (Sardjono, 1988). Atau apabila tanah yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan seluruh beban yang bekerja berada pada lapisan yang sangat dalam dari permukaan tanah kedalaman (Bowles, 1991). Fungsi dari tiang pancang adalah untuk memindahkan atau mentransfer beban - beban dari konstruksi di atasnya ke lapisan tanah keras yang letaknya sangat dalam.

2.6 Material Tiang Pancang

Pada perencanaan pondasi, pemilihan jenis pondasi tiang pancang untuk berbagai jenis keadaan tergantung pada banyak variabel. Faktor - faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan tiang pancang antara lain adalah tipe dari tanah dasar yang meliputi jenis tanah dasar dan ciri - ciri topografinya. Bowles, 1993 seperti yang dikutip oleh Syarif (2016) menjelaskan jenis - jenis material tiang pancang antara lain sebagai berikut.

2.6.1 Tiang pancang baja

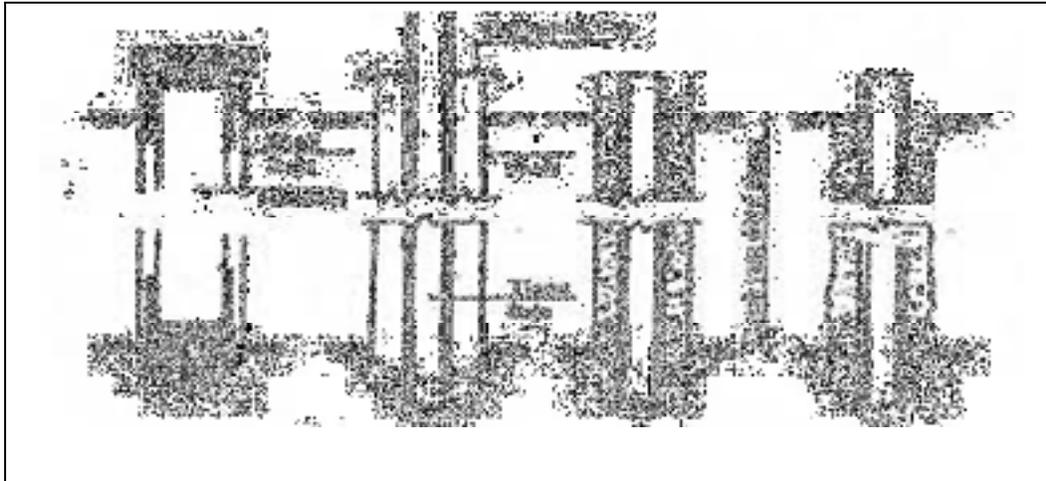
Kebanyakan tiang pancang baja ini berbentuk profil H. Karena terbuat dari baja maka kekuatan dari tiang ini sendiri sangat besar sehingga dalam pengangkutan dan pemancangan tidak menimbulkan bahaya patah seperti halnya pada tiang beton precast. Jadi pemakaian tiang pancang baja ini akan sangat bermanfaat apabila kita memerlukan tiang pancang yang panjang dengan tahanan ujung yang besar. Tingkat karat pada tiang pancang baja sangat berbeda beda terhadap tekstur tanah, panjang tiang yang berada dalam tanah dan keadaan kelembaban tanah.

- a. Pada tanah yang memiliki tekstur tanah yang kasar, maka karat yang terjadi karena adanya sirkulasi air dalam tanah tersebut hampir mendekati keadaan karat yang terjadi pada udara terbuka;
- b. Pada tanah liat (*clay*) yang mana kurang mengandung oksigen maka akan menghasilkan tingkat karat yang mendekati keadaan karat yang terjadi karena terendam air:
- c. Pada lapisan pasir yang dalam letaknya dan terletak dibawah lapisan tanah yang padat akan sedikit sekali mengandung oksigen maka lapisan pasir tersebut juga akan akan menghasilkan karat yang kecil sekali pada tiang pancang baja.

Pada umumnya tiang pancang baja akan berkarat di bagian atas yang dekat dengan permukaan tanah. Hal ini disebabkan karena *Aerated-Condition* (keadaan udara pada pori pori tanah) pada lapisan tanah tersebut dan adanya bahan bahan organis dari air tanah. Hal ini dapat

ditanggulangi dengan memoles tiang baja tersebut dengan ter (coaltar) atau dengan sarung beton sekurang-kurangnya 20" (+ 60 cm) dari muka air tanah terendah.

Karat yang terjadi karena udara (*atmosphere corrosion*) pada bagian tiang yang terletak diatas tanah dapat dicegah dengan pengecatan seperti pada konstruksi baja biasa.



Gambar 2.10 : Tiang pancang baja.

Sumber : Sardjono, 1991

2.7 Bentuk Tiang Pancang

Pada perencanaan pondasi, pemilihan jenis pondasi tiang pancang untuk berbagai jenis keadaan tergantung pada banyak variabel. Pemilihan bentuk - bentuk tiang pancang disesuaikan dengan kebutuhan daya dukung bangunan di atasnya, tentu saja dengan perhitungan teknik yang tepat dan akurat.

a. Tiang pancang bulat (*Presstressed spun pile*)

Spun pile adalah tiang pancang yang paling modern dan paling sering digunakan di dunia sebagai tiang pondasi. *Spun pile* ini dibuat dengan menggunakan proses *spinning* agar bisa menciptakan kepadatan dan homogenitas;

b. Tiang pancang kotak (*Presstressed square pile*)

Square pile adalah jenis tiang pancang paling tua di dunia. Karena tiang pancang ini terisi penuh (*massive*) maka luas penampang akan selalu sama di setiap panjang tiang:

c. Tiang pancang segitiga (*Triangular square pile*)

Triangular pile digunakan untuk bangunan – bangunan bertingkat rendah dan pada tanah yang relatif baik. Ukuran dan kekuatan dari *triangular pile* lebih kecil dari *spun pile* dan *square pile*.

2.8 Pelaksanaan tiang pancang

Pemancangan tiang pancang adalah usaha yang dilakukan untuk menempatkan tiang pancang didalam tanah sehingga berfungsi sesuai perencanaan. Pada umumnya pelaksanaan tiang pancang dapat dibagi dalam tiga tahap. Tahap pertama adalah pengaturan posisi tiang pancang, yang meliputi kegiatan mengangkat dan mendirikan tiang pada pemandu rangka pancang, membawa tiang pada titik pemancangan, mengatur arah dan kemiringan tiang, dan kemudian dilakukan pemancangan.

Tahap kedua adalah pemancangan tiang hingga mencapai kedalaman yang direncanakan. Pada tahap ini dilakukan pencatatan data pemancangan, yaitu jumlah penurunan tiang pada tiap pukulan *hammer* sebesar 1 inch (2,54 cm). Hal ini dimaksudkan untuk memperkirakan apakah tiang telah mencapai tanah keras seperti yang telah direncanakan. Tahap terakhir adalah *final set*, yaitu pengukuran penurunan tiang pancang pada akhir pemancangan. Nilai penurunan ini digunakan untuk menghitung kapasitas dukung tiang.

2.8.1 Alat pemancangan

Bowles (1993) mengatakan bahwa dalam pemasangan tiang kedalam tanah, tiang dipancarkan dengan alat pemukul yang dapat berupa pemukul (*hammer*) mesin uap, pemukul gelar atau pemukul yang dijatuhkan. Tiang dan pemukul dipasang pada peralatan *crane* yang dilengkapi dengan rangka batang baja sebagai pengatur jatuhnya pemukul kekepala tiang yang disebut *lead*.

a. Pemukul aksi tunggal (*single acting hammer*)

Pemukul aksi tunggal berbentuk memanjang dengan ram yang bergerak naik oleh udara atau uap yang terkompresi, sedangkan gerakan turun ram disebabkan oleh beratnya sendiri, dapat dilihat pada **Gambar 2.11** (a):

b. Pemukul aksi ganda (*double acting hammer*)

Pemukul aksi ganda menggunakan uap atau udara untuk mengangkat ram dan untuk mempercepat gerakan ke bawahnya, dapat dilihat pada **Gambar 2.11** (b);

c. Pemukul diesel (*diesel hammer*)

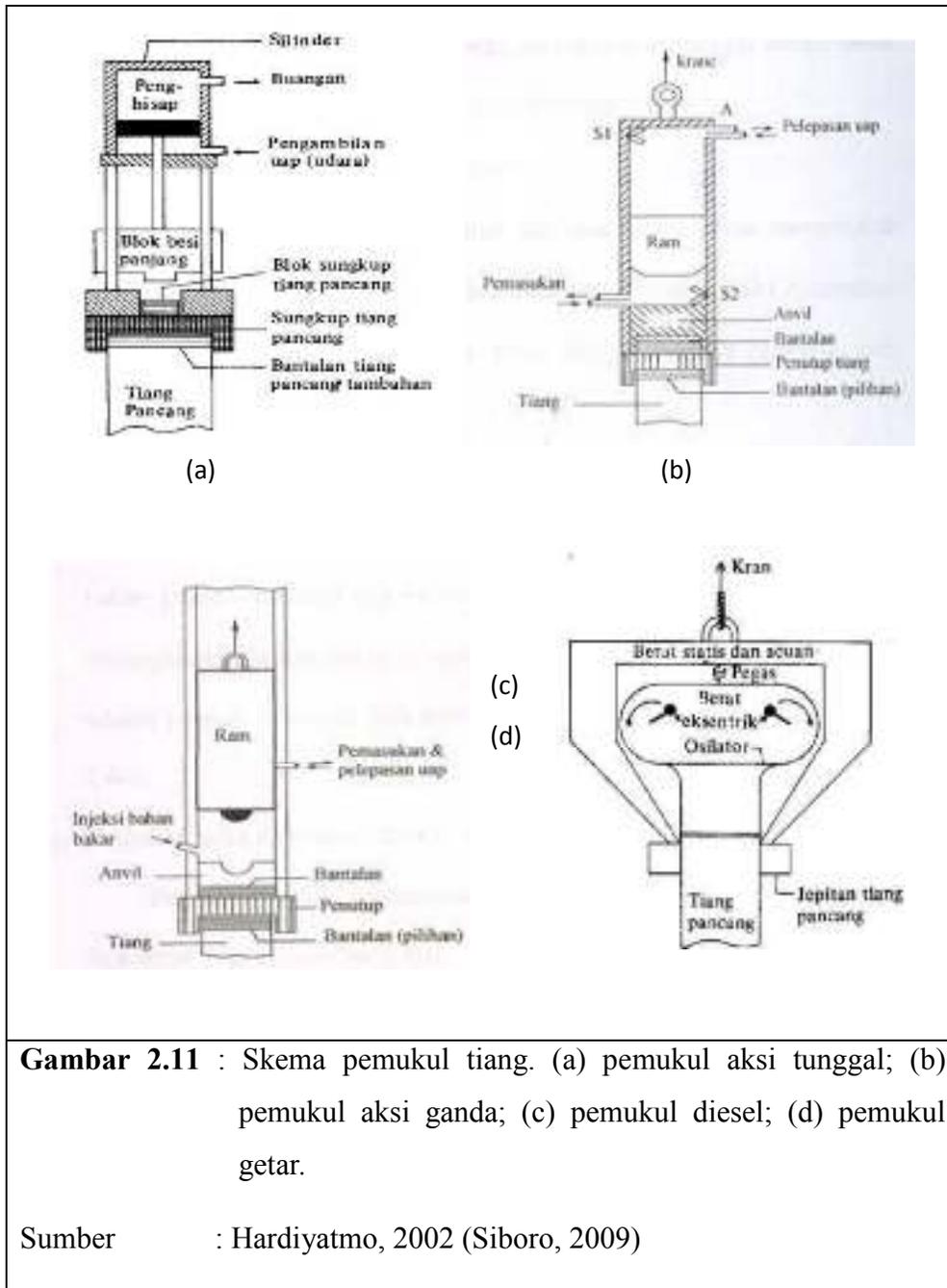
Pemukul tipe ini umumnya kecil, ringan dan dapat digerakan dengan menggunakan bahan bakar minyak, dapat dilihat pada **Gambar 2.11** (c);

d. Pemukul getar (*vibrator hammer*)

Pemukul getaran merupakan unit alat pancang yang bergetar pada frekuensi tinggi. Sumber tenaga palu getar berasal dari motor listrik atau pompa hidrolik yang digerakan listrik, dapat dilihat pada **Gambar 2.11** (d);

e. Pemukul jatuh (*drop hammer*)

Pemakaian alat tipe ini membuat pelaksanaan pemancangan berjalan lambat, sehingga alat ini dipakai pada volume pekerjaan pemancangan yang kecil.



Gambar 2.11 : Skema pemukul tiang. (a) pemukul aksi tunggal; (b) pemukul aksi ganda; (c) pemukul diesel; (d) pemukul getar.

Sumber : Hardiyatmo, 2002 (Siboro, 2009)

2.8.2 Pemancangan Tiang

Pemancangan tiang adalah usaha yang dilakukan untuk menempatkan tiang pancang di dalam tanah sehingga berfungsi sesuai perencanaan. Pada umumnya pelaksanaan pemancangan dapat dibagi dalam tiga tahap, tahap pertama adalah pengaturan posisi tiang pancang. yang meliputi kegiatan mengangkat dan mendirikan tiang pada pemandu rangka pancang, membawa pada titik pemancangan, mengatur arah dan kemiringan tiang dan kemudian percobaan pemancangan. Setelah selesai, tahap kedua adalah pemancangan tiang hingga mencapai

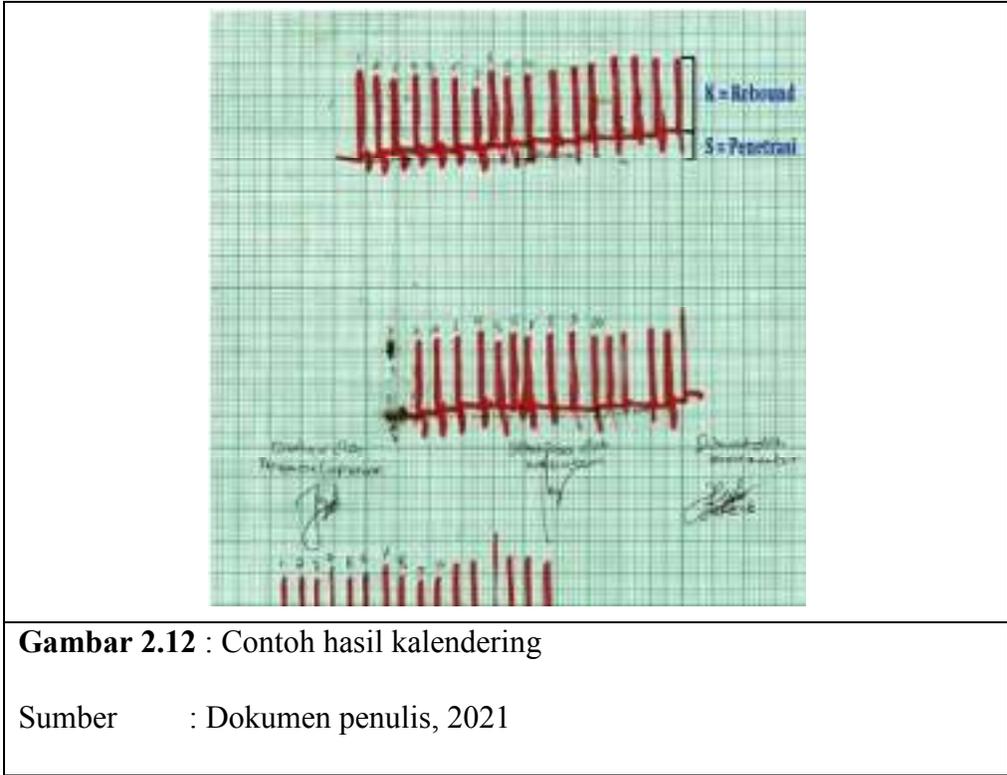
kedalaman yang direncanakan. Tahap terakhir yaitu pengukuran tiang pancang per pukulan pada akhir pemancangan. Penurunan ini kemudian digunakan untuk menentukan kapasitas dukung tiang tersebut.

2.8.3 Final set

Final set adalah pengukuran penurunan tiang pancang pada akhir pemancangan. Nilai penurunan ini digunakan untuk menghitung kapasitas dukung tiang, yaitu kondisi dimana tiang sudah mencapai target daya dukung yang dicantumkan dalam RKS. Parameter yang dilihat kapan akan dilakukan perhitungan *final set* yaitu dengan menetapkan *piling criteria*, yaitu pada saat pemancangan hanya dengan melihat loncatan *hammer* yang terjadi (*ramstroke*) maka kita dapat menentukan tiang tersebut sudah mencapai *refusal* atau belum sehingga kita dapat mengetahui kapan harus melakukan *final set* yang bisa memenuhi target daya dukung yang diinginkan, nilai *final set* yang disyaratkan adalah 1 inch per pukulan (Jamin, 2015). Cara lain untuk mengetahui tiang sudah mencapai tanah keras yaitu dengan melihat *pressure gauge* yang sudah tersedia pada alat pemancangan (*hammer*), yaitu alat pembaca tekanan dengan pengamatan langsung. Pada saat diberikan tumbukan oleh *hammer* pada tiang, *pressure gauge* akan mencatat seberapa besar tekanan yang diberikan oleh tiang.

Tahapan dalam perhitungan *final set* yaitu :

1. Saat kalendering sudah ditentukan, dihentikan pemukulan oleh *hammer*;
2. Memasang kertas millimeter block pada tiang pancang menggunakan selotip atau lem;
3. Satu orang melakukan kalendering dan satu orang mengawasi serta menghitung jumlah pukulan;
4. Menyiapkan spidol yang ditumpu pada papan penopang, kemudian menempelkan ujung spidol pada kertas millimeter;



Gambar 2.12 : Contoh hasil kalendering

Sumber : Dokumen penulis, 2021

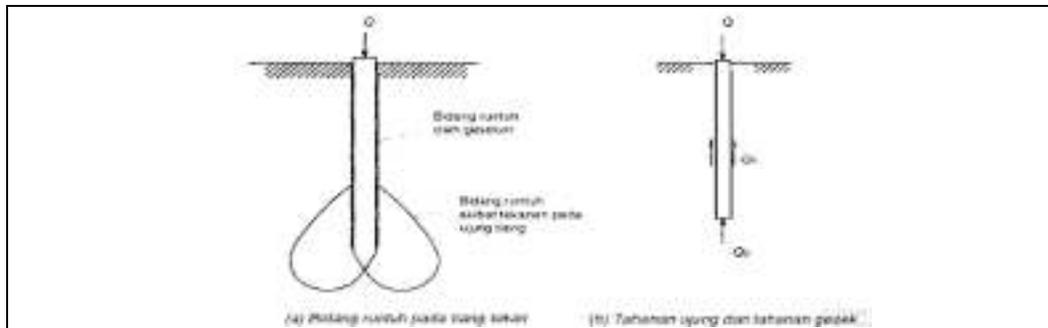
5. Menjalankan pemukulan;
 6. Setelah 10 pukulan kertas millimeter diambil, tahap ini bisa dilakukan 2 sampai 3 kali agar memperoleh grafik yang bagus;

7. Setelah tahapan selesai, dijumlahkan hasil dari keseluruhan penurunan yaitu *final penetration* untuk dihitung hasil rata – rata dari penurunan per pukulan yang akan diperoleh hasil *final set*.

2.9 Kapasitas Daya Dukung Tiang

2.9.1 Menggunakan Metode Statis

Kapasitas dukung tiang cara Statis dihitung dengan menggunakan teori-teori mekanika tanah. Skema bidang runtuh untuk tiang yang mengalami pembebanan tekan dan yang menahan beban dengan menggerakkan tahanan ujung dan tahanan gesek dindingnya diperlihatkan dalam **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13 : Tahan ujung dan tahan gesek dan model bidang keruntuhan

Sumber : Hardiyatmo, 2020

Daya dukung pondasi tiang pancang dengan cara Statis dapat dilakukan dengan cara berikut:

2.9.1.1 Data Sondir

2.9.1.1.1 Dengan Metode *Meyerhof* (1983)

Cara ini digunakan untuk menghitung kapasitas dukung tiang pada tanah pasir. *Meyerhof* (1983) mengusulkan persamaan untuk menentukan kapasitas dukung tiang pada pasir dengan memperhatikan pengaruh skala dan penetrasi tiang sebagai berikut:

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \quad (2.3)$$

Dimana,

Q_u = kapasitas dukung ultimit neto (kN)

Q_b = tahanan ujung bawah ultimit (kN)

Q_s = tahanan gesek ultimit (kN)

W_p = berat sendiri tiang (kN)

- **Tahanan Ujung**

$$Q_b = A_b \times f_b \quad (2.4)$$

Dimana,

Q_u = kapasitas dukung ultimit neto (kN)

A_b = Luas ujung selimut bawah tiang (m²)

f_b = tahanan ujung satuan.

Luas ujung selimut dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$A_b = 1/4 \pi d^2 \quad (2.5)$$

Dimana,

d = diameter tiang (m)

Tahanan ujung satuan dicari dengan rumus sebagai berikut:

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

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

ω_1 = $\{(d + 0,5)/2d\}^2$; koefisien modifikasi pengaruh skala, jika $d > 0,5$ m. jika $d < 0,5$ m,
 $\omega_1 = 1$

ω_2 = $L / 10d$ = koefisien modifikasi untuk penetrasi tiang dalam lapisan pasir padat saat $L < 10d$, jika $L > 10d$, $\omega_2 = 1$

d = diameter tiang (m)

L = kedalaman penetrasi ttian didalam lapisan pasir padat (m)

n = nilai ekponensial

- **Tahanan Gesek**

$$Q_s = \Sigma A_s \times f_s = \Sigma \pi d L f_s \quad (2.7)$$

Dimana,

Q_s = tahanan gesek ultimit (kN)

A_s = Luas selimut tiang(m²)

f_s = tahanan gesek satuan.

Untuk tiang pancang, tahanan gesek satuan diambil salah satu dari:

$$f_s = K_f q_f \quad \text{dengan } K_f = 1 \quad (2.8)$$

Atau, bila tidak dilakukan pengukuran tahanan gesek sisi konus :

$$f_s = K_c q_c \quad \text{dengan } K_c = 0,005 \quad (2.9)$$

Dimana,

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

K_f = koefisien modifikasi tahanan gesek sisi konus

K_c = koefisien modifikasi tahanan konus

2.9.1.1.2 Metode *de Ruiter* dan *Beringen*

- **Tahanan Gesek**

Untuk tiang pada pasir tahanan gesek satuan dipilih nilai terkecil dari nilai gesek satuan sisi konus (q_f) dan $q_c/300$.

Untuk tiang pada tanah kohesif (lempung), tahanan gesek satuan ditentukan dari nilai kohesi tak terdrainase ($c_u = q_c/20 = 0,05 q_c$)

$$f_s = \alpha c_u = \alpha \left(\frac{c_u}{N_k} \right) = 0,05 \alpha q_c \quad (2.10)$$

Dimana,

f_s = tahanan gesek satuan, dengan nilai maksimum $1,2 \text{ kg/cm}^2$ (120 kPa)

c_u = kohesi tak terdrainase (*undrained*)

α = faktor adhesi, diambil 1 untuk lempung terkonsolidasi normal, dan 0,5 untuk lempung terkonsolidasi berlebihan.

N_k = koefisien tak berdimensi, nilainya antara 15 sampai 20, biasanya diambil 20.

- **Tahanan Ujung**

Untuk tiang pada pasir tahanan ujung satuan diperoleh dari nilai rata-rata q_c disepanjang $8d$ diatas tiang dan $4d$ dibawah tiang. Langkah-langkah penentuan tahanan ujung satuan dengan persamaan:

$$f_b = \omega q_{ca} \leq 150 \text{ kg/cm}^2 \quad (2.11)$$

Dimana,

- f_b = tahanan ujung per satuan per satuan luas (kg/cm^2)
 ω = koef korelasi bergantung pada OCR (**Tabel 2.4** halaman 33)
 q_{ca} = $1/2 (q_{c1} + q_{c2})$ (kg/cm^2)
 q_{c1} = qc rata-rata pada zona 0,7d atau 4d dibawah dasar tiang (kg/cm^2)
 q_{c2} = qc rata-rata pada zona 8d diatas dasar tiang (kg/cm^2)

Tabel 2.4 Faktor ω (*de Ruiter dan Beringen*)

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

2.9.1.2 Data SPT

2.9.1.2.1 Dengan Metode *Meyerhof* (1956)

Kapasitas dukung ultimit neto tiang (Q_u), adalah jumlah dari tahanan ujung bawah ultimit (Q_p) dan tahanan gesek ultimit (Q_s). Bila dinyatakan dalam persamaan, maka :

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

Dimana,

Q_u = kapasitas dukung ultimit neto (kN)

Q_p = tahanan ujung bawah ultimit (kN)

Q_s = tahanan gesek ultimit (kN)

- **Tahanan Ujung**

$$Q_p = 40 \times N_p \times A_p \quad (2.13)$$

Dimana,

Q_p = kapasitas dukung ujung tiang (kN)

N_p = Nilai rata-rata N-SPT (N_1 dan N_2).

A_p = Luas ujung selimut bawah tiang(m²)

Nilai rata-rata N-SPT dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$N_p = (N_1 + N_2)/2 \quad (2.14)$$

Dimana,

N_1 = Nspt pada ujung tiang rata-rata 1d dibawah dasar tiang

N_2 = Nspt pada ujung tiang rata-rata 4d dibawah dasar tiang.

Luas ujung selimut dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$A_p = 1/4 \pi d^2 \quad (2.15)$$

Dimana,

d = diameter tiang (m)

- **Tahanan Gesek**

$$Q_s = 0,2 \times \tilde{N} \times A_s \quad (2.16)$$

Dimana,

Q_s = tahanan gesek ultimit (kN)

\tilde{N} = nilai rata-rata N_{spt} sepanjang tiang

A_s = Luas selimut tiang(m^2).

Luas ujung selimut dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$A_s = 1/4 \pi d^2 \quad (2.17)$$

2.9.1.2.2 Dengan Metode *Luciano Decourt* (1982)

Perhitungan Untuk Daya Dukung Tiang Pondasi tiang bor tunggal berdasarkan hasil SPT dengan menggunakan metode Decourt. Pada metode *Decourt* dibutuhkan faktor korelasi yang tergantung dari jenis tanah yang akan dipakai, Daya dukung pondasi tiang bor tunggal merupakan hasil dari tahanan ujung, tahanan geser selimut tiang dan berat sendiri tiang. Persamaanya adalah :

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2.18)$$

$$W_p = (1/4\pi d^2) \times L \quad (2.19)$$

Daya dukung ijin pada pondasi *bored pile* adalah sebagai berikut :

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FK} \quad (2.20)$$

Dimana,

Q_u = Daya dukung tiang ultimit (t)

Q_p = Tahanan ujung (t)

Q_s = Tahanan geser selimut tiang (t)

Q_{all} = Daya dukung ijin (t)

FK = Faktor keamanan

π = 3,14

d = Diameter tiang (m)

L = Panjang tiang (m)

a) Daya Dukung Ujung Tiang Ultimit

Daya dukung ujung tiang pondasi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Q_p = N'_p \times K \times A_p \quad (2.21)$$

Dimana,

K = Koef tanah untuk metode *Decourt* (ton/m²) (**Tabel 2.5** halaman 35)

N'_p = Rata-rata SPT diujung tiang, disekitar 8d diatas hingga 4d dibawah dasar tiang pondasi

A_p = Luas Penampang Ujung tiang (m²)

Tabel 2.5 Koefisien tanah menurut *Decourt* (K)

Jenis Tanah	Nilai K (ton/m ²)
Lempung	12
Lanau berlempung	20
Lanau berpasir	25
Pasir dan Kerikil	40

b) Daya Dukung Selimut Tiang Ultimit

Daya dukung selimut tiang dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_s = \Sigma q_s \times A_s \quad (2.22)$$

$$q_s = (N_s/3) + 1 \quad (2.23)$$

Dimana,

q_s = tahanan selimut persatuan luas (ton/m²)

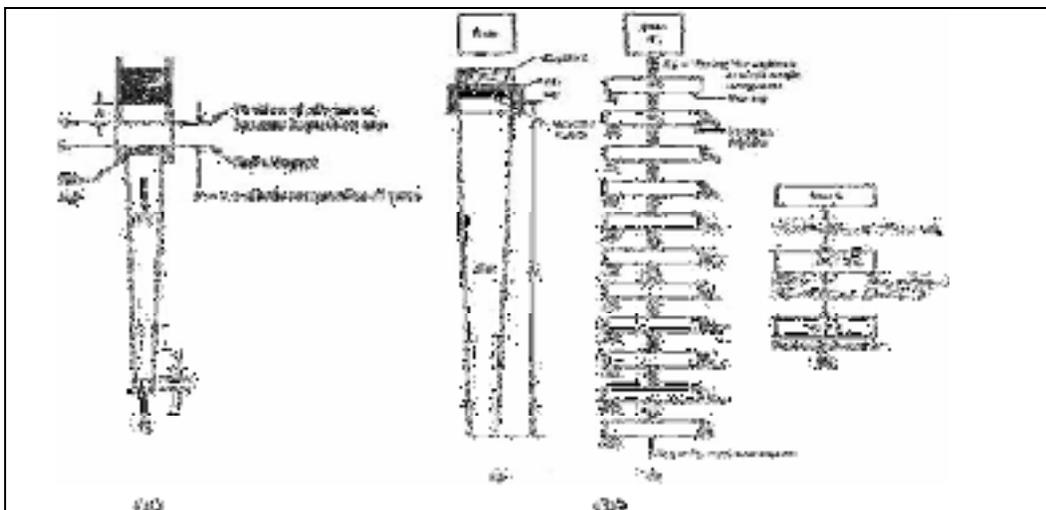
N_s = nilai rata-rata SPT selimut tiang tertanam.

A_s = Keliling penampang tiang bor (m).

2.10 Menggunakan Metode Dinamis

Menurut Mulyono (2015) Kapasitas daya dukung yang diinginkan dalam sebuah tiang pancang harus mampu memberikan daya dukung yang cukup bagus atas beban yang bekerja di atasnya (beban-beban aksial). Tiang pancang harus cukup mampu menembus lapisan tanah padat atau bisa mencapai lapisan batuan atau lapisan tanah keras.

Metode dinamis telah banyak digunakan untuk memperkirakan kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang. Diperlukan suatu cara dilapangan untuk menentukan apakah sebuah tiang pancang telah mencapai nilai dukung yang cukup, salah satunya dengan melihat besarnya penetrasi per pukulan yang diperoleh dari data pemancangan di lapangan. Persamaan umum daya dukung dinamis tergantung pada prinsip-prinsip *impuls-momentum* dapat dilihat pada **Gambar 2.14 (a)**. Persamaan gelombang daya dukung dinamis dapat dilihat pada **Gambar 2.14 (b)**, menjelaskan tiang dibentuk kedalam pasangan dari elemen yang berlainan.



Gambar 2.14: (a) skema yang digunakan dalam persamaan daya dukung dinamis; (b) formulasi dari tiang kedalam model dinamis untuk menyelesaikan.

Sumber : Bowles, (1982)

Cara ini kemudian dianggap dalam

serangkaian selang waktu yang terpisah, diambil dari tekanan gelombang yang cukup kecil, kemudian tekanan gelombang melalui elemen dari satu elemen ke elemen yang lebih rendah selama jangka waktu. Berikut beberapa metode yang akan dipakai oleh penulis dalam analisa perencanaan daya dukung pondasi tiang pancang.

2.10.1.1 Metode *Engineering New Record (ENR)*

Energi yang digunakan sama dengan tahanan tiang waktu pemancangan (*driving resistance*) dikalikan dengan perpindahan tiang. Jika energi yang masuk (*energy input*) telah diketahui, dapat diestimasi besarnya energi yang hilang berdasarkan pada pengalaman. Dengan mengamati gerakan tiang waktu dipancang dapat ditentukan tahanan tiang waktu pemancangan. Energi yang dihasilkan oleh pemukul ditransformasikan sebagai gaya (Q_u) yang menghasilkan penetrasi tiang sebesar s dan energi yang hilang sewaktu pemancangan (ΔE) :

$$E = Q_u s + \Delta E \quad (2.24)$$

Jika $\Delta E = Q_u C$ dan $E = W_r h$, dengan C = konstanta Statis untuk energi hilang sewaktu pemancangan, W_r = berat pemukul, h = tinggi jauh pemukul. Maka persamaan yang terjadi :

$$\begin{aligned} W_r &= Q_u s + Q_u C \\ &= Q_u (s + C) \end{aligned} \quad (2.25)$$

Dari persamaan 2.25 diperoleh :

$$Q_u = \frac{W_r}{s+C} \quad (2.26)$$

Nilai C pada umumnya diambil 0.1” (0,254 cm) untuk pemukul mesin tenaga uap dan 1” (2,54 cm) untuk pemukul yang dijatuhkan (*drop hammer*). Persamaan diatas merupakan formula pemancangan tiang yang disarankan oleh Sander (1851). Setelah bertahun-tahun, rumus *Engineering New Record (ENR)* disempurnakan menjadi :

$$Q_u = \frac{e_h \cdot W \cdot H}{S+C} \cdot \frac{W+(n^2 P)}{W+P} \quad (2.27)$$

Dimana,

- Q_u = kapasitas daya dukung tiang pancang ultimit (ton);
 e_h = efisiensi pemukul (*hammer efficiency*);
 n = koefisien restitusi;
 H = tinggi jatuh *hammer* (mm);
 s = *Final set* penetrasi per sepuluh pukulan terakhir (mm);
 W = berat pemukul (ton);
 P = berat tiang pancang (ton).

Nilai e_h dapat dilihat pada **Tabel 2.6** efisiensi alat yaitu menurut jenis alat yang dipakai, yang dalam penulisan ini dipakai jenis alat *diesel hammer* untuk nilai s merupakan hasil dari penetrasi (*final set*) per sepuluh pukulan terakhir, dan nilai koefisien restitusi n dapat dilihat pada **Tabel 2.7** berdasarkan ASCE (1941).

Tabel 2.6 Efisiensi Faktor

Jenis alat	Efisiensi e_h
Pemukul Jatuh (<i>drop hammer</i>)	0,75 - 1
Pemukul aksi tunggal (<i>Single acting hammer</i>)	0,75 – 0,85
Pemukul aksi dobel (<i>Double acting hammer</i>)	0,85
Pemukul diesel (<i>Diesel acting hammer</i>)	0,85 – 1

Sumber : Fondasi II Edisi 5 (H. C. Hardiyatmo, 2020)

Tabel 2.7 *Representative* nilai koefisien restitusi n untuk persamaan analisis tiang dinamis berdasarkan ASCE (1941)

Material	n	
	Single Acting & Drop Hammer	Double Acting Hammer

Tiang Baja	0,32	0,5
Tiang Beton	0,40	0,50
	0,25	0,4

Sumber : Fondasi II Edisi 5 (H. C. Hardiyatmo, 2020)

2.10.1.2 Metode Eytelwein

Metode Eytelwein merupakan salah satu metode dinamis yang mula mula ditemukan, sehingga penulis kesulitan mendapatkan referensi yang lengkap dari metode ini. Dalam perhitungan daya dukung tiang menggunakan hasil dari kalendering juga bisa memakai metode Eytelwein seperti persamaan berikut :

$$Q_u = \frac{2 \cdot \alpha \cdot W \cdot H}{S + C \cdot \left(\frac{p}{W}\right)} \quad (2.28)$$

Dimana,

Q_u = kapasitas ulttimit tiang pancang (ton)

α = efisiensi alat/ *hammer* (kadang diulis dengan kode e_h)

W = berat *hammer* (ton)

H = tinggi jatuh *hammer* (m)

S = penetrasi pukulan terakhir (rata-rata dari 10 pukulan terakhir) (mm)

C = konstanta *temporary elasic campression*

p = berat tiang pancang. (ton)

Nilai α dapat dilihat pada **Tabel 2.8** efisiensi alat yaitu menurut jenis alat yang dipakai, yang dalam penulisan ini dipakai jenis alat *diesel hammer* untuk nilai s merupakan hasil dari penetrasi (*final set*) per sepuluh pukulan terakhir, dan nilai konstanta C dapat dilihat pada **Tabel 2.9**.

Tabel 2.8 nilai efisiensi alat/ *hammer* (α)

Tipe alat/Hammer	Nilai koefisien
Drop <i>hammer</i> dengan <i>whinch</i> /tali baja dan rel	0,75
Drop <i>hammer</i> tipe <i>trigger release</i> /jatuh bebas	0,85
<i>Single acting hammer</i>	0,85
<i>Diesel hammer</i>	0,85
<i>Double acting hammer</i>	0,95
<i>Steam hammer</i> dan <i>hydraulic hammer</i>	0,95

Sumber : Fondasi II Edisi 5 (H. C. Hardiyatmo, 2020)

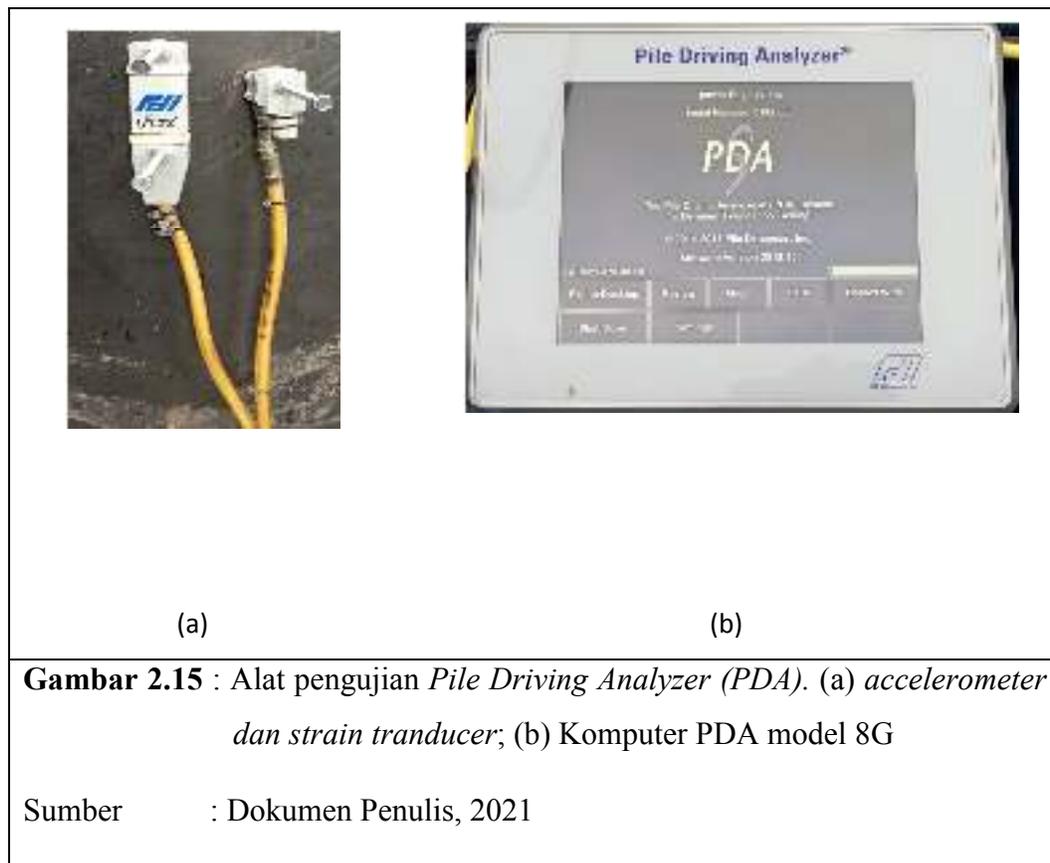
Tabel 2.9 nilai Konstanta alat/ *hammer* (C)

Tipe alat/Hammer	Nilai konstanta C
Drop <i>hammer</i>	25,4 mm
<i>Diesel hammer</i>	
<i>Single acting hammer</i>	
<i>Steam hammer</i>	2,54 mm
<i>Double acting hammer</i>	

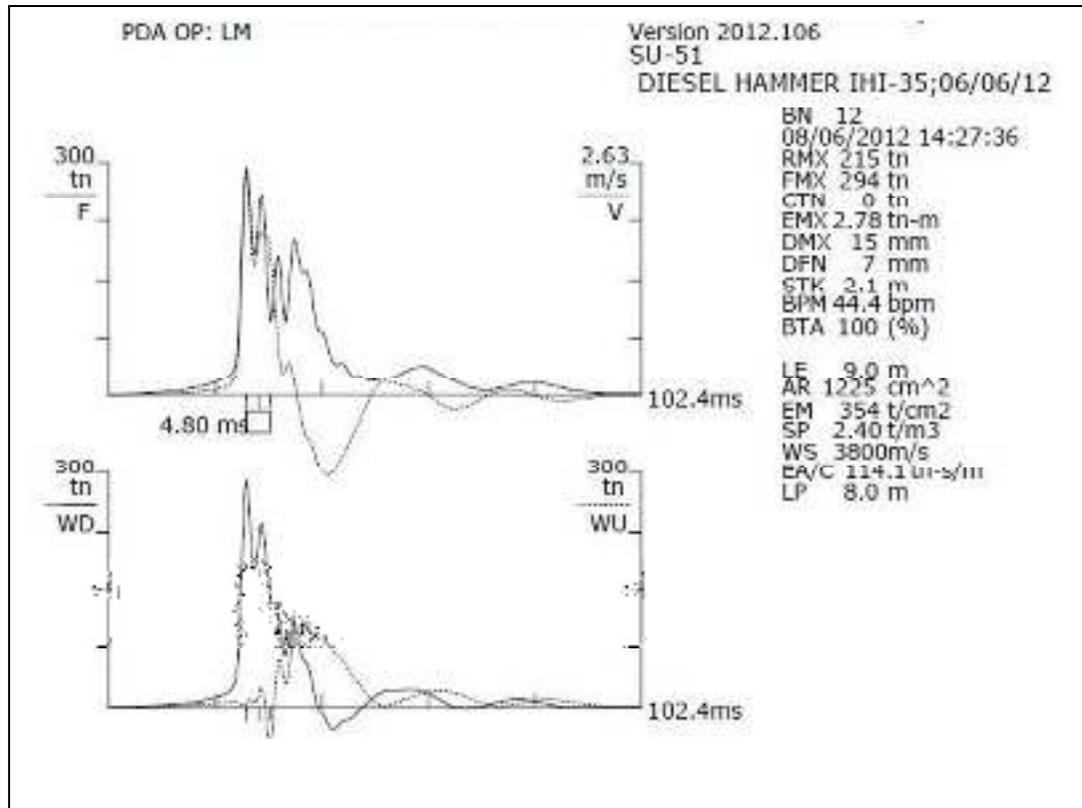
2.11 Pengujian Tiang Dengan *Pile Driving Analyzer* (PDA)

Menurut Indrawan, (1991) pengujian dinamis menggunakan alat *Pile Driving Analyzer* (PDA) dilakukan dengan mengukur regangan dan percepatan yang terjadi selama pondasi tiang dipancangkan (ditumbuk), hasil pengukuran tersebut diperlukan untuk memperkirakan daya dukung tiang bangunan berdasarkan teori gelombang yang terjadi pada pondasi tiang pada waktu dipancangkan atau ditumbuk dapat diartikan sebagai gelombang satu dimensi yaitu gelombang yang ditimbulkan oleh tumbukan palu dan merambat ke bawah. Perambatan gelombang ini akan menimbulkan reaksi dari elemen tanah di sekitar tiang, yang menimbulkan gelombang yang arah rambatnya ke atas. Ketika gelombang yang pertama tiba diujung bawah tiang, gelombang tersebut akan dipantulkan kembali dengan arah perambatan ke atas, gelombang pantulan ini juga akan memperlihatkan reaksi tanah disekitar tiang yang diuji. Seperti yang dikutip oleh Munirwansyah (2003), mengatakan bahwa metode *Pile Driving Analyzer* (PDA) prinsip dasarnya menggunakan aplikasi teori gelombang satu dimensi yang dirambatkan dalam pondasi

tiang yang telah dipancangkan. Pembebanan dilakukan dengan menjatuhkan beban pada ujung tiang, besarnya regangan yang timbul antara tiang dengan tanah akan menimbulkan besar kecilnya gelombang perlawanan tanah yang dapat dianalisa oleh alat *Pile Driving Analyzer* (PDA) dan diinterpretasikan sebagai tinggi rendahnya kekuatan tanah.



Menurut Soedibyo, dkk (1992) regangan yang timbul dalam tiang dan pergerakan relatif (*relative displacement*) antara tiang dengan tanah disekitarnya akan menimbulkan gelombang akibat perlawanan tanah, semakin besar kekuatan tanah semakin kuat gelombang perlawanan timbul. Alat uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) dapat merekam baik gelombang akibat tumbukan maupun gelombang reaksi akibat perlawanan lapisan tanah. Karakteristik gelombang-gelombang ini dapat dianalisa untuk menentukan besarnya daya dukung dinamis pondasi tiang yang diuji.



Gambar 2.16 : Kurva hasil PDA version 2012.106. (atas) kurva keutuhan tiang;
(bawah) kurva gelombang.

Sumber : Lauw Tjun Nji, (2012)

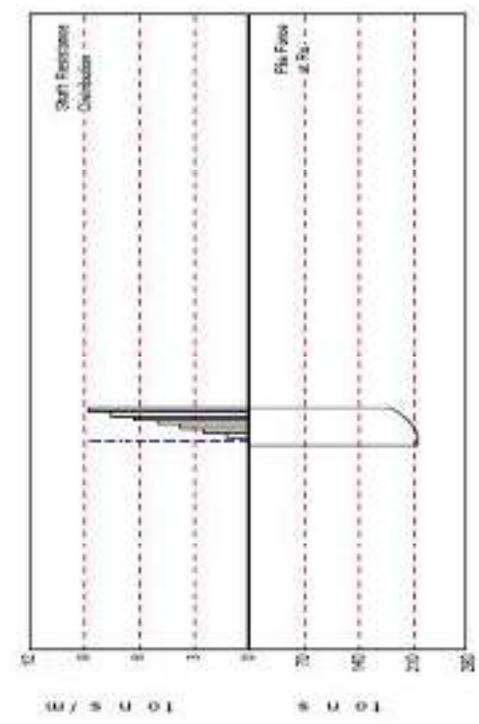
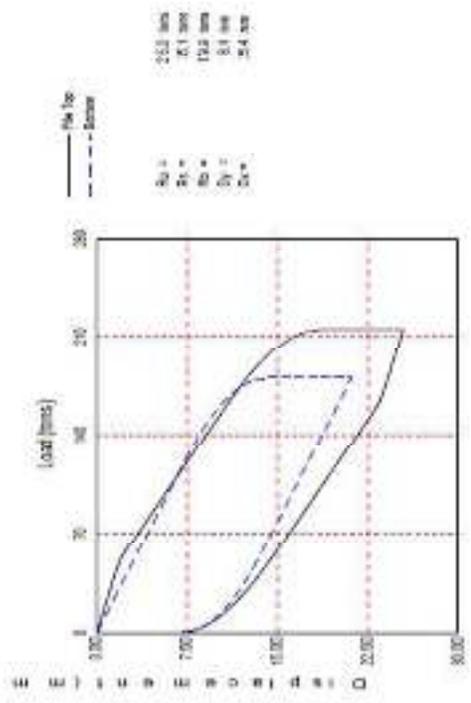
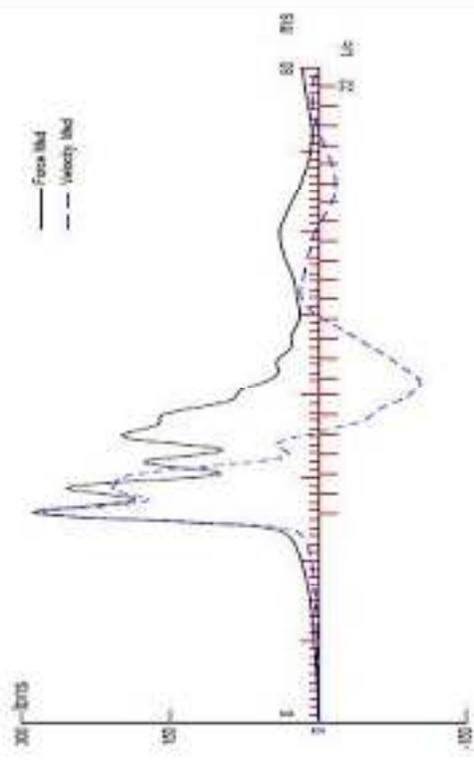
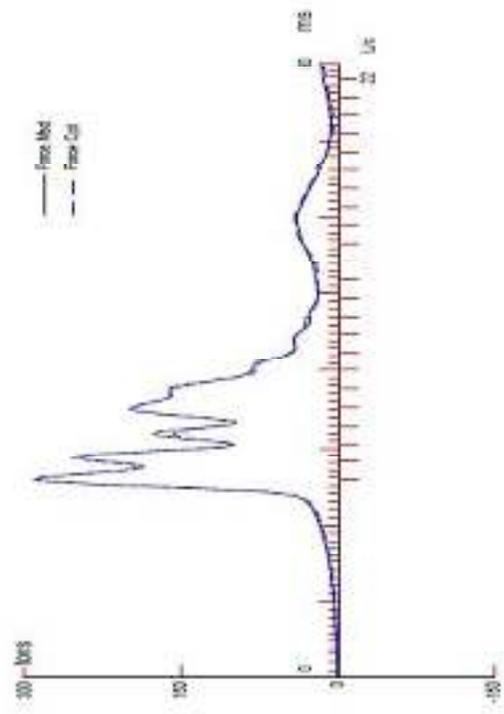
Keterangan **Gambar 2.16** :

- BN : Pukulan;
- RMX : Daya dukung tiang (ton);
- FMX : Gaya tekan maksimum (ton):
- CTN : Gaya tarik maksimum (ton):
- EMX : Energi maksimum yang ditransfer (ton m);
- DMX : Penurunan maksimum;
- DFN : Penurunan permanen;
- STK : Tinggi jatuh palu (m);

- BPM : Pukulan per menit;
BTA : Nilai keutuhan tiang;
LE : Panjang tiang bawah instrumen (m);
LP : Panjang tiang tertanam (m);
AR : Luas penampang tiang (cm^2).

Pengujian dinamis PDA dilakukan dengan menginterpretasikan gelombang satu dimensi (*one dimensional wave*) yang merambat pada media yang diuji, dapat dilihat pada **Gambar 2.17**. Dari beberapa data yang diambil pada waktu pelaksanaan pengujian *PDA*, pada umumnya akan diambil satu grafik dan data yang paling baik dalam mewakili dan menggambarkan kekuatan daya dukung pondasi tiang yang diuji. Penentuan data tersebut pada umumnya diambil dari transfer energi atau energi tersalurkan (RMX) yang paling besar/maksimum selama pelaksanaan pengujian dan terdata dalam program yang digunakan.

Ketika ada impact dari *hammer* ketika tiang ditumbukkan maka akan terjadi gelombang turun (*wave down*) dan gelombang naik (*wave up*) dengan kecepatan yang sama, sehingga dapat diasumsikan bahwa ketika ada perlawanan dari tanah, perubahan kecepatan gelombang, akan mengembalikan gelombang naik (*wave up*). Metode dinamik ini menggunakan *effect* dari refleksi gelombang naik ini pada *velocity* dan *force* yang terukur dekat kepala tiang untuk mengevaluasi kapasitas tiang dan integritas tiang.



Gambar 2.17 : *Case Pile Wave Analysis Program (CAPWAP)*.

Sumber : Lauw Tjun Nji, (2012)

Analisa lanjutan yang dilakukan bersama dengan pengujian *PDA* adalah analisa *CAPWAP* yang merupakan salah satu metode *Signal Matching Analysis (SMA)*. Analisa ini menggunakan data yang diperoleh dari pengujian *PDA* untuk memberikan hasil analisa yang lebih detail. Analisa *CAPWAP* bisa memberikan hasil yang berbeda – beda tergantung data input/parameter, jadi perlu orang yang memang sudah terlatih baik dalam hal ini dan mempunyai pengetahuan dasar yang baik. Dari analisa *CAPWAP* kita dapat mengetahui lebih rinci data yang diperoleh dari pengujian *PDA*, dengan tambahan informasi antara lain tahanan ujung pondasi tiang, tahanan friksi pondasi tiang, dan simulasi Statis *loading test*.

2.11.1 Pelaksanaan Pengujian Dengan *Pile Driving Analyzer (PDA)*

Indrawan, (1991) mengemukakan bahwa pengujian *Pile Driving Analyzer* dilakukan dengan cara memberi beban tumbukan pada ujung tiang pancang sehingga timbul gelombang satu dimensi yaitu reaksi gelombang balik di sekeliling tiang yang arahnya ke atas dan merambat sepanjang tiang pancang. Pada saat gelombang tumbukan *diesel hammer* sampai ke ujung bawah tiang, gelombang tiang tersebut akan dipantulkan kembali ke atas. Pada kondisi tersebut alat uji *PDA* akan merekam kecepatan rambat gelombang dalam regangan yang terjadi akibat tumbukan tadi melalui *accelerometer dan strain transducer* yang terpasang pada ujung atas tiang.

2.12 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.10 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Pengarang	Judul Skripsi	Tujuan	Hasil
-----	----------------	---------------	--------	-------

1	Muhammad Syarif	Analisi Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dengan Metode Dinamic Eytelwein dan ENR Dibandingkan Dengan Hasil PDA	Membandingkan hasil pengujian dari alat uji <i>Pile Driving Analyzer (PDA)</i> dengan rumus dinamis Eytelwein dan <i>Engineering New Record</i> .	Nilai Kapasitas daya dukung yang berbeda antara Metode ENR dan Hasil dari PDA test
2	Dwi Syahputra Simanjuntak	ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG PADA BH 01 DENGAN METODE ELEMEN HINGGA DIVERIFIKASI DENGAN HASIL PDA TEST DAN CAPWAP	Untuk menghitung dan membandingkan nilai daya dukung pondasi tiang pancang tunggal secara analitis berdasarkan data SPT dan pengujian PDA dan secara numeris dengan Metode Elemen Hingga	Hasil perhitungan penurunan Poulus dan Davis bernilai 2,81 mm, untuk penurunan elastis tiang tunggal bernilai 2,175 mm, dengan hasil analisis CAPWAP bernilai 18,82 mm
3	AHMAD FADLI LUBIS	ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG	Menghitung dan membandingkan daya dukung ultimit pondasi tiang pancang	Hasil perhitungan kapasitas daya dukung

		SECARA ANALITIS DAN NUMERIS PADA PROYEK JALAN TOL MEDAN-BINJAI SEKSI IA JEMBATAN SEI DELI STA1+600	secara analitis dan numeris. Secara analitis penulis menggunakan data SPT (<i>Standard Penetration Test</i>), data Kalendering, data PDA (<i>Pile Dynamic Analyzer</i>), dan secara numeris menggunakan program Plaxis.	lateral tiang pancang tunggal dengan metode Broms secara analitis bernilai 41,45 Ton, dan secara grafis bernilai 41,43 Ton
--	--	--	---	--

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada Bab ini akan dijelaskan mengenai langkah perhitungan kapasitas daya dukung tiang pancang dengan menggunakan metode *Meyerhof*, *Luciano Decourt* dan metode *Engineering New Record (ENR)*, *Eytelwein*. Proses analisis penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data pemancangan di lapangan, data SPT, berat *hammer* yang digunakan untuk pemancangan, tinggi jatuh *hammer*, berat tiang pancang dan data hasil pengujian dinamis tiang pancang dengan menggunakan alat *Pile Driving Analyzer*.

3.1 Deskripsi Proyek

Penelitian ini dilakukan pada pembangunan Pelabuhan Sigapiton , Bangunan ini berjarak 9.1 Km dari Lumban Julu, berada dipinggir Danau Toba, Desa Sigapiton, Kabupaten Toba. Lokasi perencanaan dapat dilihat pada **Gambar 3.1**



Gambar 3.1 : Lokasi Proyek

Sumber : Dokumen Penulis, 2021

Untuk deskripsi proyek ini, maka diketahui data-data sebagai berikut:

1. Nama Proyek : Pembangunan Konstruksi Pelabuhan Sigapiton
2. Lokasi Proyek : Sigapiton, Ajibata, Toba, Sumatera Utara
3. Fungsi Bangunan : Sarana Mobilisasi
4. Pemilik Proyek : Kementerian Perhubungan
5. Kontraktor : PT. Ciptama Karya Sukses

6. Konsulan Supervisi : CV. Karya Duta Bersama Consultant

3.2 Pengumpulan Data

Demi mencapai tujuan penulisan dan agar memperoleh data dan informasi yang dibutuhkan dalam pembahasan Tugas Akhir ini, maka penulis melakukan pengambilan data langsung pada proyek pembangunan tersebut.

a. Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh langsung di lapangan untuk dijadikan dasar, namun dapat juga dijadikan pengontrol data yang sudah tersedia pada data pemancangan. Data sekunder yang diperoleh yaitu data Sondir, SPT dan data hasil pengujian dinamis tiang pancang dengan menggunakan alat *Pile Driving Analyzer (PDA)*. Data inilah yang akan dibandingkan dengan hasil dari perhitungan metode Statis dan dinamis. Pengujian *Pile Driving Analyzer (PDA)* ini dilakukan untuk menghitung kapasitas dukung tiang yang sudah terpancang;

b. Data pemancangan

Data pemancangan merupakan data yang diperoleh penulis berupa informasi tertulis atau bentuk dokumen lainnya yang berhubungan dengan rencana proyek. Dalam data pemancangan ini dapat kita lihat nilai yang dibutuhkan dalam perhitungan yaitu berat *hammer*, tinggi jatuh *hammer*, dan nilai penetrasi saat pemancangan. Data pemancangan di lapangan ini diperlukan sebagai pemantauan dari pekerjaan pemancangan, agar proses pemancangan sudah sesuai dengan prosedur pekerjaan.

Data sekunder diperoleh saat penulis melakukan studi literatur pada lokasi Pembangunan tersebut, dengan mengikuti proses uji *Pile Driving Analyzer*. Sedangkan data pemancangan diperoleh dari pengawas lapangan pada proyek pembangunan.

3.3 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Statis

Untuk menghitung kapasitas daya dukung tiang pancang Statis perlu didukung oleh data - data yang akurat dan berhubungan dengan pelaksanaan pemancangan pondasi tiang pancang, seperti data SPT, diameter tiang yang digunakan, Panjang tiang. Perhitungan daya dukung pondasi *steel pipe piles* menggunakan data hasil sondir dan data yang diambil yaitu pada titik S-03, serta data hasil SPT dan data yang diambil yaitu pada titik BH-3

3.4 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Dinamis

Untuk merencanakan kapasitas daya dukung tiang pancang dinamis perlu didukung oleh data - data yang akurat dan berhubungan dengan pelaksanaan pemancangan pondasi tiang pancang, seperti berat *hammer* yang digunakan, tinggi jatuh *hammer*, jenis *hammer* yang digunakan, besarnya penetrasi tiang atau deformasi tiang kedalam tanah akibat tumbukan *hammer*, dan nilai koefisien restitusi (n) dan nilai efisiensi *hammer* yang diambil berdasarkan pada jenis dan kondisi bahan yang digunakan pada pelaksanaan pemancangan. Pada perencanaan ini, tiang pancang yang akan ditinjau adalah jenis *steel pipe piles*, yang terdiri dari empat buah tiang ukuran $\text{Ø}40,6$ cm. Lokasi tinjauan penelitian ini dilakukan pada dua titik. Rumus yang dipakai yaitu dengan metode *Engineering New-Record* dapat dilihat pada Persamaan 2.27 halaman 37 dan *Eytelwein* pada Persamaan 2.28 halaman 38.

3.4.1 Pemancangan tiang

Pemancangan tiang dilakukan untuk memperoleh tahanan ujung sehingga dapat memikul beban yang akan diterima. Pada pembangunan Pelabuhan Sigapiton, alat pemancangan yang digunakan adalah diesel *hammer* dengan berat beban *hammer* 4,3 ton. Untuk nilai koefisien restitusi (n) 0,32 dan nilai efisiensi *hammer* (eh) adalah 0,85. Berat tiang pancang ukuran $\text{Ø}40,6$ cm adalah 1.05 ton (Bowles, 1993).

3.4.2 Laporan pemancangan di lapangan

Akibat pemancangan, maka daya dukung tanah sangat berpengaruh terhadap energi yang dibutuhkan dan tahanan yang dimobilisasi oleh tanah sebagai akibat penetrasi pemancangan. Untuk mendapatkan besarnya penetrasi pemancangan, besarnya deformasi akibat tumbukan *hammer* dibagi dengan jumlah tumbukan *hammer* sehingga didapat besarnya penetrasi akhir rata - rata yang mendukung dalam perhitungan kapasitasnya.. Langkah – langkah untuk menentukan nilai *final set* sudah dijelaskan pada Bab II halaman 30.

3.4.3 Perhitungan *Final Set*

Final set adalah pengukuran penurunan tiang pancang pada akhir pemancangan. Nilai penurunan ini digunakan untuk menghitung kapasitas dukung tiang, yaitu kondisi dimana tiang sudah mencapai target daya dukung yang dicantumkan dalam RKS. Data perhitungan kalendering diperoleh dari data pemancangan. Perhitungan nilai *final set* yaitu dengan

menghitung rata – rata penurunan dalam 10 tumbukan terakhir. Nilai penurunan yang diambil yaitu pada kolom final penetration.

3.5 Data Uji Tiang Menggunakan *Pile Driving Analyzer (PDA)*

Pengujian tiang pancang dinamis dengan menggunakan alat *PDA* dilakukan oleh PT. Batindo Sarana Nusantara. Pengujian tiang dengan cara dinamis didasarkan pada analisis data hasil rekaman getaran gelombang yang terjadi pada waktu tiang dipukul dengan *hammer*. Pengujian dilakukan menggunakan diesel *hammer* yang dilakukan terhadap tiang pancang jenis *steel pipe pile* 900 cm. pengujian dilakukan terhadap tiang dalam keadaan sudah terpancang. Karakteristik tiang pancang dapat dilihat pada **Tabel 3.1** berikut ini.

Tabel 3.1 karakteristik tiang pancang yang diuji PDA

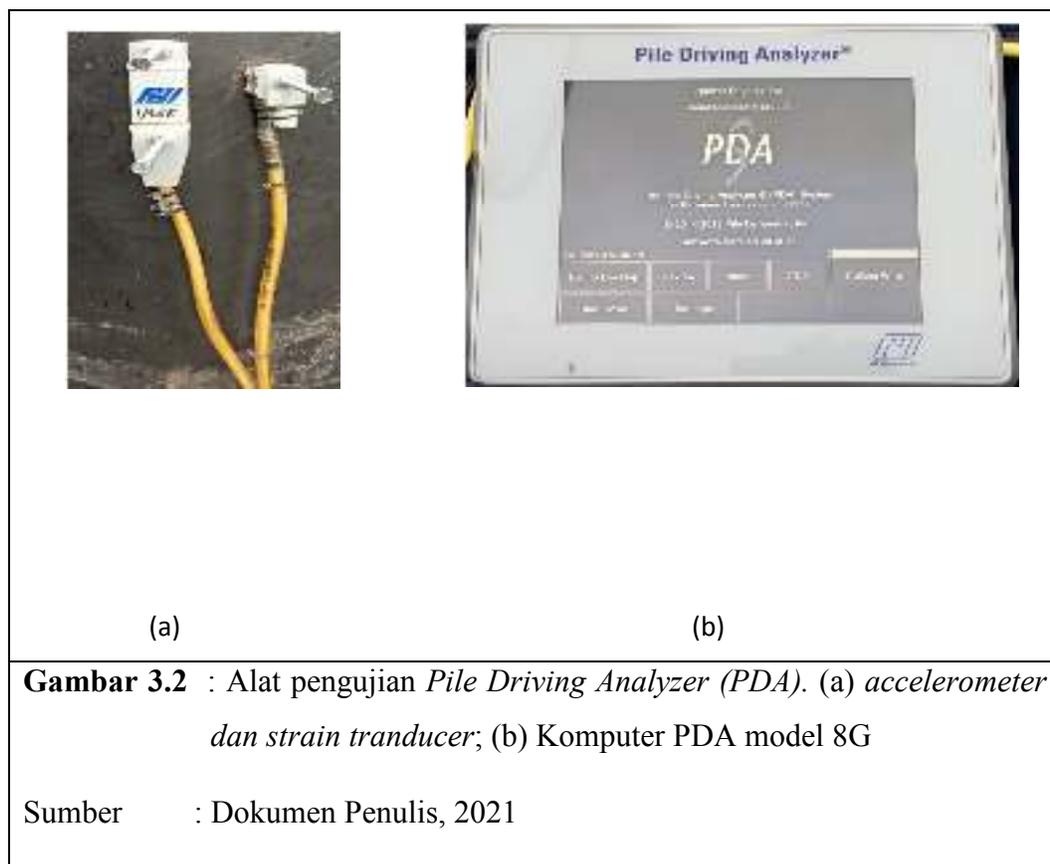
No tiang	Dimensi tiang (cm)	Panjang tiang tertanam (m)	Tanggal Pemancangan	Tanggal Pengujian
Titik No 82	Ø40,6	22	1 Desember 2021	01 Desember 2021
Titik No 97	Ø40,6	23	30 November 2021	01 Desember 2021

3.5.1 Pelaksanaan pengujian menggunakan *pile driving analyzer (PDA)*

Pengujian dinamis menggunakan *Pile Driving Analyzer (PDA)* sesuai dengan ASTM D4945. Tiang pancang yang diuji sudah dalam keadaan terpancang. Pengujian dinamis PDA

dilakukan dengan menginterpretasikan gelombang satu dimensi (*one dimensional wave*) yang merambat pada media yang diuji, sehingga menghasilkan gelombang sesuai dengan kebutuhan pengujian. Pengujian *PDA* tiang pancang menggunakan alat tumbuk diesel *hammer* 4,3 ton. Untuk mengukur regangan dan percepatan selama perambatan gelombang akibat tumbukan yang diberikan pada tiang, diukur dengan menggunakan dua buah *strain transducer* dan dua buah *accelerometer* yang dipasang pada kedua sisi tiang, untuk mendapatkan data yang terbaik disamping sebagai faktor keamanan apabila salah satu instrumen tidak bekerja dengan baik. *strain transducer* dan *accelerometer* dapat dilihat pada **Gambar 3.2** (a) berfungsi untuk merubah regangan dan percepatan menjadi sinyal elektronik melalui kabel penghubung yang akan direkam oleh komputer PDA dapat dilihat pada **Gambar 3.2** (b).

Pada pelaksanaan pengujian, tiang pancang uji diberi beberapa kali tumbukan, penumbukan dihentikan jika telah memperoleh mutu rekaman cukup baik pada komputer PDA dan energi tumbukan (RMX) relative cukup tinggi. Nilai RMX tergantung pada nilai efisiensi *hammer* yang dipakai.



3.5.2 Hasil pengujian menggunakan *pile driving analyzer (PDA)*

Pengujian dinamis menggunakan PDA dapat menyelidiki kapasitas daya dukung tanah dan juga dapat menyelidiki keutuhan tiang pada saat dipancangkan. Analisis mengenai keutuhan tiang berdasarkan hasil rekaman PDA yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Hasil pengujian menggunakan PDA untuk tiang P-82 diperoleh hasil nilai daya dukung tiang 229 ton. Dalam pengujian ini, dilakukan 10 kali tumbukan oleh *hammer* untuk mendapatkan hasil yang baik dan grafik yang bagus. Hasil pengujian untuk tiang P-82 dapat dilihat pada Lampiran B Tabel B.5.2 halaman 76.
2. Hasil pengujian menggunakan PDA untuk tiang P-97 diperoleh hasil nilai daya dukung tiang 323 ton. Dalam pengujian ini, dilakukan 10 kali tumbukan oleh *hammer* untuk mendapatkan hasil yang baik dan grafik yang bagus. Hasil pengujian untuk tiang P-97 dapat dilihat pada Lampiran B Tabel B.5.4 halaman 78.