

**EVALUASI PERHITUNGAN TIANG PANCANG DARI DATA
SPT DENGAN HASIL PDA TEST PADA TANGKI AIR
KAPASITAS 5.000 KILO LITER DI SEI SIAK PEKAN BARU**

SKRIPSI

OLEH:

**SYAHRIAN
188110100**



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2023

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 15/1/24

Access From (repository.uma.ac.id)15/1/24

**EVALUASI PERHITUNGAN TIANG PANCANG DARI DATA
SPT DENGAN HASIL PDA TEST PADA TANGKI AIR
KAPASITAS 5.000 KILO LITER DI SEI SIAK PEKAN BARU**

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area



Oleh:

**SYAHRIAN
188110100**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Evaluasi Perhitungan Tiang Pancang Dari Data *SPT* Dengan Hasil *PDA Test* Pada Tangki Air Kapasitas 5.000 Kilo Liter Di Sei Siak Pekanbaru
Nama : Syahrian
NPM : 188110100
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing


Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T

Pembimbing


Dr. Rahmat Syahri, S.Kom., M.Kom

Dekan


Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T

Ka. Program Studi

Tanggal Lulus : 7 Agustus 2023

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima saksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan saksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 7 Agustus 2023



Syahrian

188110100

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Syahrian
NPM : 188110100
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : *Evaluasi Perhitungan Tiang Pancang Dari Data SPT Dengan Hasil PDA Test Pada Tangki Air Kapasitas 5.000 Kilo Liter Di Sei Siak Pekan Baru*. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan

Pada tanggal : 7 Agustus 2023

Yang menyatakan



(Syahrian)

RIWAYAT HIDUP


Penulis dilahirkan di Medan Pada tanggal 12 Januari 1997 dari Ayah Muhammad Said dan Ibu Nurifah Penulis merupakan putra ke 3 dari 3 bersaudara. Tahun 2016 Penulis lulus dari SMA Negeri 1 Brandan Barat dan pada tahun 2018 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Pelabuhan Belawan.



KATA PENGHANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam skripsi ini ialah struktur dengan judul Evaluasi Perhitungan Tiang Pancang Dari Data *SPT* Dengan Hasil *PDA Test* Pada Tangki Air Kapasitas 5.000 Kilo Liter Di Sei Siak Pekanbaru Terima kasih penulis sampaikan kepada Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada Bapak Imbran Azhari S.T., Ibu Atika, Saudari Sadarunnisa yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah, Ibu serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kalangan akademik maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis

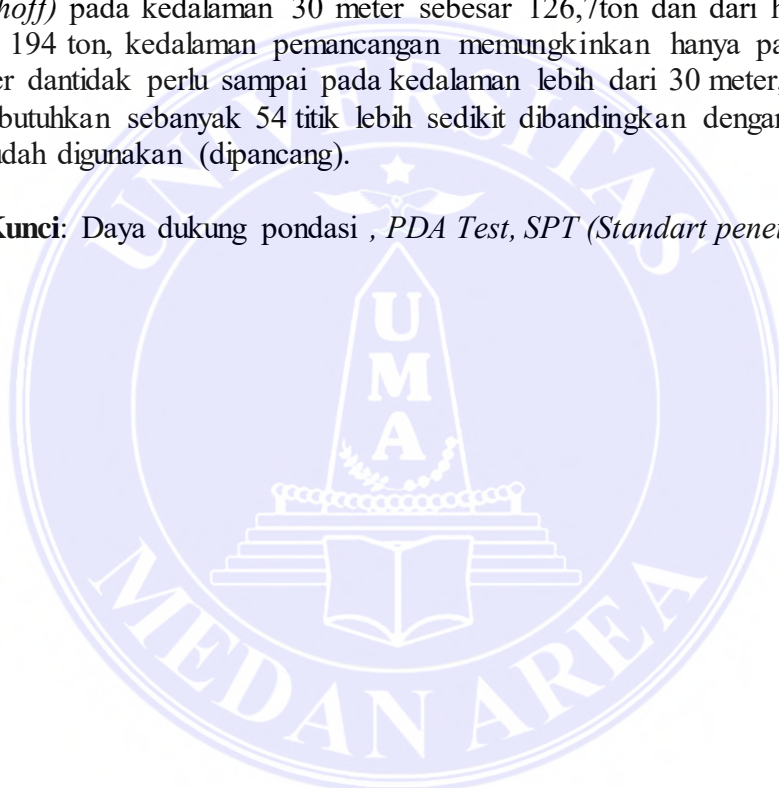


(Syahrian)

ABSTRAK

Pondasi adalah bagian dari suatu sistem struktur bawah (*sub structure*) yang menahan berat sendirinya dan seluruh beban gaya dari struktur atas, kemudian meneruskannya ke lapisan tanah dan batuan yang terletak di bawahnya.. Penelitian ini bertujuan untuk Mengetahui daya dukung pondasi dengan menggunakan metode mayerhoff, Mengetahui efisiensi kelompok tiang pancang menggunakan *formula feld*. Untuk mengetahui perbandingan hasil analitis yang dilakukan dengan hasil data *PDA test* serta mengetahui metode mana yang lebih mendekati data lapangan *PDA test* .. Dari hasil penelitian yang dilakukan penulis menemukan bahwa Hasil perencanaan pondasi tiang pancang setelah dievaluasi dengan *PDA test* dinyatakan aman karena nilai daya dukung yang dihasilkan dari pengujian *PDA test* lebih besar dari nilai perencanaan. Dimana daya dukung tiang tunggal berdasarkan data *SPT (mayerhoff)* pada kedalaman 30 meter sebesar 126,7ton dan dari hasil *PDA test* sebesar 194 ton, kedalaman pemancangan memungkinkan hanya pada kedalaman 30 meter dantidak perlu sampai pada kedalaman lebih dari 30 meter, Jumlah tiang yang dibutuhkan sebanyak 54 titik lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah tiang yang sudah digunakan (dipancang).

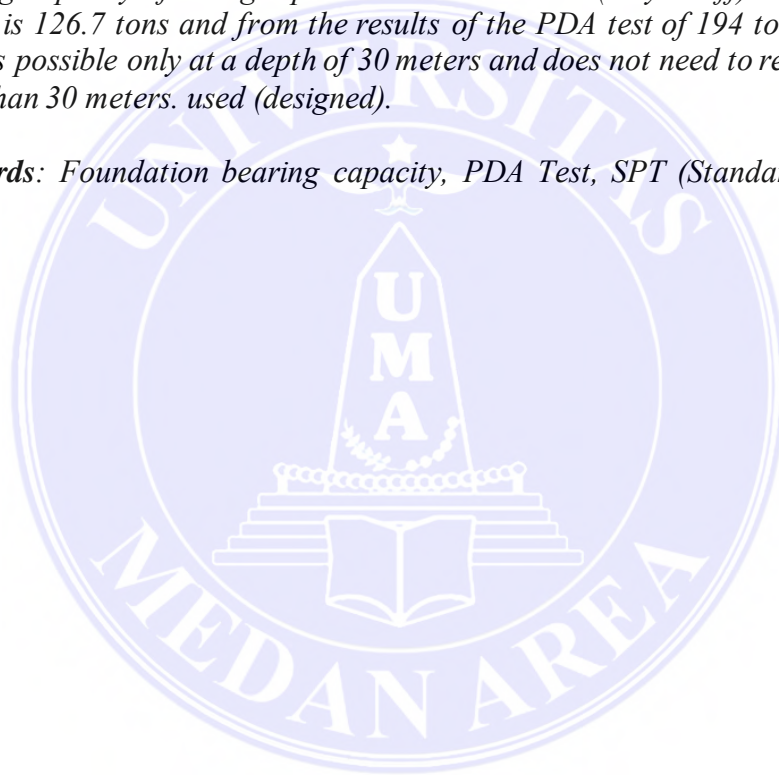
Kata Kunci: Daya dukung pondasi , *PDA Test*, *SPT (Standart penetration test)*



ABSTRACT

The foundation is part of a substructure system (sub structure) which supports its own weight and all the force loads from the superstructure, then passes it on to the layers of soil and rock beneath it. This study aims to determine the bearing capacity of the foundation using the Mayerhoff method, to determine the efficiency of pile groups using formula field. To find out the comparison of the results of the analysis carried out with the results of the data PDA test as well as knowing which method is closer to field data PDA test .. From the results of research conducted by the authors found that the results of the pile foundation planning after being evaluated with the PDA test were stated to be safe because the carrying capacity value resulting from the PDA test was greater than the planning value. Where is the carrying capacity of a single pile based on SPT data (mayerhoff) at a depth of 30 meters is 126.7 tons and from the results of the PDA test of 194 tons, the driving depth is possible only at a depth of 30 meters and does not need to reach a depth of more than 30 meters. used (designed).

Keywords: *Foundation bearing capacity, PDA Test, SPT (Standard penetration test)*



DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGHANTAR	vii
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2 Umum.....	7
2.3 Kemampuan dan Konsolidasi Tanah	11
2.4 Pengeboran dan Pengambilan Contoh Bahan	16
2.5 Pondasi.....	18

2.6	Tiang Pancang.....	22
2.7	Konsep Perencanaan Pondasi Tiang.....	27
2.8	Penyelidikan Tanah Untuk Perencanaan Pondasi Tiang.....	33
2.9	Penentuan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Pengujian SPT.....	37
2.10	Pemancangan Pondasi Tiang Pancang dengan HSPD.....	40
2.11	Pengujian <i>PDA Test</i>	44
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN		49
3.1	Lokasi Penelitian	49
3.2	Data Teknis	50
3.3	Data Penyelidikan Tanah.....	51
3.4	Perhitungan Beban yang Akan Bekerja Pada Pondasi	54
3.5	Analisis Daya Dukung Pondasi	54
3.6	Diagram Alir (<i>Flow chart</i>).....	54
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		56
4.1	Perencanaan Pondasi Tiang Pancang.....	56
4.2	Jenis dan Data Perhitungan	56
4.3	Perhitungan Perencanaan Pondasi Tiang Pancang	57
BAB IV. SIMPULAN DAN SARAN		65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA		66
LAMPIRAN		68

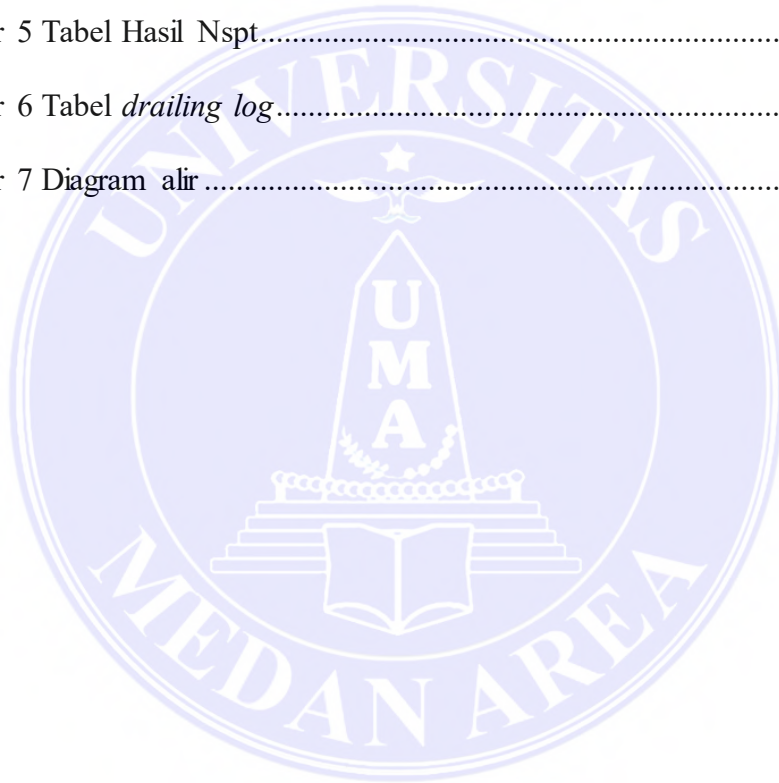
DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Faktor keamanan Pondasi tiang	33
Tabel 2 korelasi derajat kepadatan tanah pasir dengan N_{spt}	36
Tabel 3 Tabel hasil PDA test.....	62



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Beban yang bekerja pada kepala tiang.....	28
Gambar 2 Beban yang bekerja pada tubuh tiang.....	29
Gambar 3 Daya dukung vertikal.....	30
Gambar 4 Peta Lokasi.....	49
Gambar 5 Tabel Hasil N _{spt}	52
Gambar 6 Tabel <i>drailing log</i>	53
Gambar 7 Diagram alir	55



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A_p : Luas penampang dasar tiang (m²)

A_s : Luas selimut tiang (m²)

B : Lebar pondasi

D : Diameter tiang pancang

D_f : Kedalaman pondasi

E_g : Efisiensi Kelompok tiang

FK : *Safety factor* (factor keamanan)

n : Jumlah tiang yang dibutuhkan

N : Harga NSPT rata rata

N_b : Harga NSPT pada elevasi dasar tiang

P : Gaya yang bekerja

Q_a : Daya dukung izin pondasi tiang [kN]

Q_p : Daya dukung ujung [kN]

Q_s : Daya dukung selimut [kN]

Q_u : Daya dukung ultimit tiang [kN]

W_p : Berat tiang tiang [kN]

SPT : *Standart Penetration Test*

CPT : *Cone Penetration Test*

PDA : *Pile Drive Analisis*

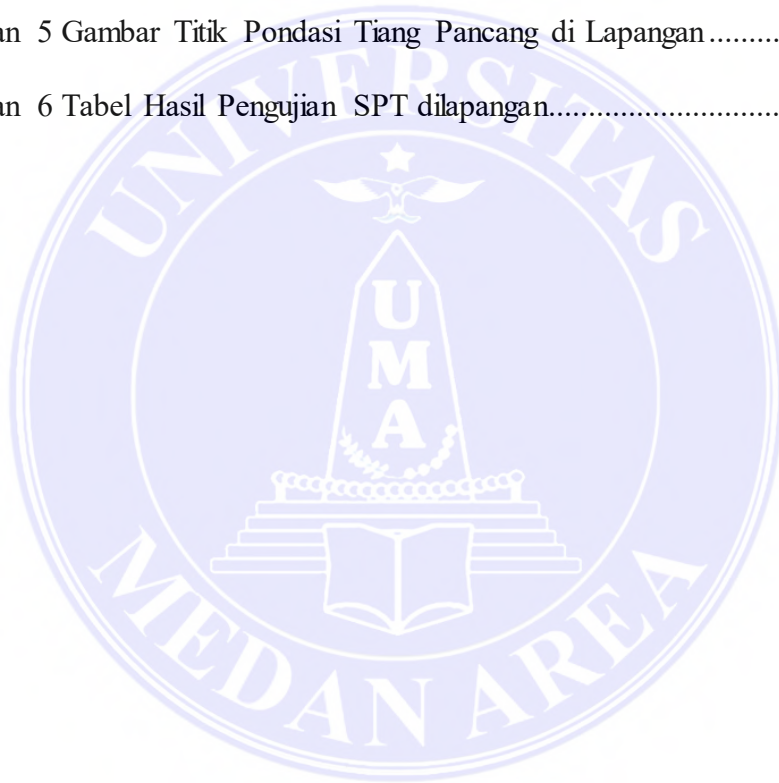
HSPD : *Hydraulic Static Pile Driver*

ASTM : *American Standart for Testing and Material*

CAPWAP : *Case Pile Wave Analysis Program*

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Dokumentasi Pemancangan Dengan HSPD	69
Lampiran 2 Dokumentasi Pelaksanaan PDA Test.....	73
Lampiran 3 Tabel Simulasi Perhitungan Q_u dengan data SPT.....	75
Lampiran 4 <i>Drilling Log</i> Pengujian Tanah BH-1	76
Lampiran 5 Gambar Titik Pondasi Tiang Pancang di Lapangan	77
Lampiran 6 Tabel Hasil Pengujian SPT dilapangan.....	78



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pondasi adalah bagian dari suatu sistem struktur bawah (*sub structure*) yang menahan berat sendirinya dan seluruh beban gaya dari struktur atas, kemudian meneruskannya ke lapisan tanah dan batuan yang terletak di bawahnya. Beban dari kolom yang bekerja pada pondasi ini harus disebar ke permukaan tanah yang cukup luas sehingga tanah dapat memikul beban dengan aman., Menurut kedalaman-nya Pondasi digolongkan menjadi dua antara lain pondasi Dangkal dan Pondasi Dalam, misalnya yang dapat dikategorikan pondasi Dalam adalah Pondasi Tiang Pancang dan Pondasi Tiang Bor. (Muchlisin Riadi,2020).

Sering terjadi hasil perhitungan perencanaan daya dukung pondasi tiang pancang tidak sama persis dengan hasil pengujian *Pile Drive Analysis* di lapangan. Sehingga jumlah tiang pancang yang digunakan terkadang jumlahnya berlebih dan terkadang jumlahnya kurang atau tidak cukup untuk memikul beban yang dipikul oleh pondasi. Ada beberapa data utama yang dapat dipilih untuk perencanaan pondasi tiang pancang yaitu data SPT (*Standart Penetration Test*) dan juga data CPT (*sondir*). Akan tetapi pada tugas akhir ini menggunakan data *standart penetration test* sebagai data untuk perhitungan daya dukung tiang pancang.

Penggunaan alat atau metode pemancangan sangat berpengaruh terhadap metode pengontrolan hasil pemancangan yang dilakukan, sehingga pelaksana pekerjaan harus dapat memilih atau menetapkan metode dan alat apa yang sebaiknya digunakan, seperti penggunaan *disel hammer* maka untuk pengontrolan

hasil pemancangan dapat menggunakan kalendering dan *PDA test*, sedangkan *HSPD* untuk pengontrolan hasil pemancangannya dapat menggunakan manometer yang terdapat pada alat *HSPD* dan juga dapat menggunakan *PDA Test* dan tidak dapat dilakukan pengujian kalendering.

Jenis tanki yang di akan di evaluasi yaitu tanki air dengan kapasitas 5.000 KL, memiliki diameter pondasi 26.24 m, diameter tanki 25.24 m, tinggi tanki 10.92 m.

Berdasarkan pernyataan diatas maka penulis tertarik mengambil judul “Evaluasi perhitungan tiang pancang dari data SPT dengan hasil PDA test pada tanka air kapasitas 5000 kilo liter di sei siak pekan baru”.

I.2 Rumusan Masalah

Setelah memahami dan mempelajari data-data yang didapat dari proyek, ada beberapa permasalahan yang di temukan, antara lain:

- a. Hasil perhitungan perencanaan daya dukung pondasi tiang pancang sering tidak sama persis dengan hasil pengujian *Pile Drive Analisis (PDA)* di lapangan
- b. Hasil perhitungan perencanaan daya dukung pondasi tiang pancang sangat berpengaruh terhadap jumlah tiang pancang yang akan digunakan.
- c. Pemilihan metode pemancangan berpengaruh terhadap metode pengujian hasil pemancangan yang dilakukan. Seperti pengujian kalendering tidak bisa dilakukan pada hasil pemancangan dengan menggunakan *hydraulic static pile drive (HSPD)*

1.3 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini fokus pembahasan yang dilakukan adalah :

- a. Perhitungan tiang pancang dengan menggunakan data *standart penetration test (SPT)*
- b. Evaluasi daya dukung pondasi tiang pancang dari data *SPT* akan dilakukan dengan menggunakan hasil pengujian *PDA test*.
- c. Metode pemancangan yang dilakukan pada saat konstruksi di lapangan adalah dengan menggunakan *hydraulic static pile driver (HSPD)*
- d. Formula yang digunakan untuk analisa perhitungan daya dukung tiang pancang menggunakan *formula Mayerhoff*

1.4 Maksud Dan Tujuan Penelitian

Maksud penelitian ini untuk mengevaluasi Perhitungan Tiang Pancang Dari Data *SPT* Dengan Hasil *PDA Test* Pada Tangki Air Kapasitas 5.000 Kilo Liter Di Sei Siak Pekanbaru

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

- a. Mendapatkan jumlah tiang pancang yang dibutuhkan dari hasil perencanaan dan evaluasi dari hasil *PDA (pile drive analysis) Test*.
- b. Untuk mengevaluasi apakah hasil perencanaan pondasi dengan data *SPT* yang telah dilakukan dalam keadaan aman atau mampu memikul beban sesuai dengan hasil *PDA test*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat dari hasil penyusunan tugas akhir ini adalah:

- a. Meningkatkan pemahaman perencanaan pondasi tiang pancang, sehingga hasil pemancangan di lapangan dapat mendekati hasil perhitungan perencanaan yang dilakukan.
- b. Memberikan pedoman dalam menganalisis perencanaan pondasi tiang pancang dengan menggunakan data *SPT*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan upaya untuk mencari perbandingan dan kemudian untuk menemukan ide baru untuk penelitian selanjutnya, disamping itu kajian terdahulu membantu penelitian dalam memposisikan penelitian serta menunjukkan orisinal dari penelitian.

Pada bab ini peneliti mencantumkan berbagai hasil penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian yang hendak dilakukan. Adapun penelitian terdahulu yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Penelitian yang dilakukan oleh Pratama, *dkk* (2022) dengan judul Komparasi Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data N-SPT, Kalendering, dan PDA Test (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 2: STA 10+690 s.d. 27+000) yang menghasilkan bahwa Penentuan kapasitas daya dukung tiang dapat dilakukan metode empiris: berdasarkan data N-SPT (*Standart Penetration Test*) menggunakan metode Meyerhoff (1976) dan kontrol akhir dengan data kalendering menggunakan metode Hilley (1930) serta PDA Test (*Pile Driving Analyzer*) dengan analisis CAPWAP (*Case Pile Wave Analysis Program*). Berdasarkan penelitian diperoleh daya dukung kalendering terhadap jumlah segmen dari konfigurasi tiang pancang menunjukkan peningkatan secara linear. Perbandingan daya dukung tiang pancang berdasarkan metode empiris yaitu data N-SPT dengan metode Meyerhoff cenderung memiliki nilai daya dukung yang lebih kecil dari hasil pengujian dinamik melalui PDA. Sedangkan berdasarkan

kalendering menggunakan metode Hilley menunjukkan nilai daya dukung yang relatif sama dengan PDA, hal ini karena keduanya merupakan tes dinamik.

Penelitian yang dilakukan oleh Bachtiar (2012) dengan judul Evaluasi Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data *Cone Penetration Test (CPT)* dan *Pile Driven Analyzer (PDA)* Pada Tanah Lunak di Kota Pontianak yang menghasilkan bahwa daya dukung (ujung, selimut dan ultimit) fondasi tiang pancang beton persegi (*precast concrete square driven pile*) dianalisis secara empirik dari data CPT/Sondir. Setelah fondasi tiang pancang selesai dilaksanakan dapat diuji menggunakan uji pembebanan statis maupun dinamis. Pada studi ini, daya dukung pada struktur bangunan bertingkat di lapisan tanah lunak Pontianak dianalisis secara empirik dari data CPT menggunakan metoda Schmertmann dan Nottingham (1975), de Ruiter dan Beringen (1979) serta Bustamante dan Ganeselli (1982). Kemudian dievaluasi terhadap hasil uji pembebanan dinamis menggunakan PDA di beberapa lokasi di Kota Pontianak. Hasil uji PDA dianalisis menggunakan program CAPWAP untuk mendapatkan daya dukung ujung dan selimut tiang pancang. Hasil analisis dari data CPT menunjukkan bahwa daya dukung selimut tiang mendekati hasil dari program CAPWAP.

Penelitian yang dilakukan oleh Nour Haffsah, *dkk* (2021) dengan judul Perbandingan Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Dengan Metode Empiris (*Standart penetration Test*) dan Metode Uji Beban Statik Pada Proyek Pabrik Ammonium Nitrate PT. KALTIM AMMONIUM NITRATE BONTANG yang menghasilkan bahwa Peranan pondasi sangat penting sebagai dasar dari struktur bawah yang berfungsi menahan dan menyalurkan keseluruhan beban atau tegangan dari struktur bangunan di atasnya ke bawah permukaan tanah. Hal yang perlu

dilakukan agar pondasi tersebut aman dan kuat adalah menganalisis daya dukung tiang pondasi yang bertujuan untuk mengetahui hasil perhitungan dan besaran nilai perbandingan dari daya dukung tiang pondasi. Dalam penelitian tugas akhir ini akan ditentukan hasil perbandingan daya dukung ultimit tiang pancang dari hasil perhitungan metode empiris berdasarkan data N-SPT yang dihitung menggunakan metode Meyerhof (1956), metode Shioi & Fukui (1982), dan metode Briaud et al (1985) dengan hasil interpretasi uji beban statik berdasarkan data compression load test yang dihitung menggunakan metode Mazurkiewicz (1972) dan metode Davisson M.T. (1973). Berdasarkan hasil analisa didapatkan metode empiris yang paling mendekati dengan hasil pengujian beban statik pada titik SZ-1 (BH-16) dan titik SZ-2 (BH-01) adalah metode Briaud et al (1985). Daya dukung total rata-rata dari 3 metode empiris berdasarkan data N-SPT dan data pengujian beban statik tiang diperoleh sebesar 560,857 dan 321,672 ton dan data pengujian beban statik tiang diperoleh sebesar 233,5 ton dan 322,25 ton. Sehingga selisih rasio adalah -0,42 % dan +1% . Maka, uji beban statik bisa dijadikan sebagai acuan dalam melakukan pelaksanaan pekerjaan pondasi. Hal ini menjadi alasan karena nilai dari uji beban statik adalah nilai yang lebih real atau langsung dari lapangan.

2.2 Umum

Tanah selalu mempunyai peranan yang penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan, atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri seperti tanggul ataupun bendungan, atau terkadang sebagai sumber penyebab gaya luar pada bangunan. Jadi tanah selalu berperan pada setiap pekerjaan teknik sipil. Tanah adalah bagian dari kerak bumi yang tersusun dari mineral serta bahan-bahan organik. Tanah memiliki peranan

yang sangat vital bagi seluruh kehidupan di bumi, dikarenakan tanah mendukung kehidupan tumbuhan dengan cara menyediakan unsur hara serta air dan sebagai penopang akar tumbuhan. Struktur tanah yang memiliki rongga, menjadikan tanah tempat yang baik untuk akar agar dapat bernapas serta tetap tumbuh dengan subur.

Sebuah struktur tanah juga memiliki jenis-jenisnya yang berbeda, seperti berikut ini:

1. Remah atau *crumb* adalah sebuah kondisi struktural yang dimana tanah akan terlihat sangat berpori dan terasa sedikit lebih kering pada umumnya. Kondisi struktur *crumb* ini bisa terjadi apabila kondisi lingkungan kurang mendapatkan air hujan.
2. Butiran atau *granular* merupakan sebuah struktur yang dimana tanah berbentuk membulat dan memiliki banyak sisi berbeda. Tanah yang *granular* tidak terlalu kering dibandingkan dengan struktur
3. Gumpal membulat adalah sebuah kondisi tanah yang akan terlihat membentuk beberapa sudut membulat yang bisa dilihat dengan mudah.
4. Gumpal bersudut adalah sebuah kondisi struktur tanah yang memiliki sumbu vertikal dan horizontal yang sama panjang dan pada sudutnya tampak seperti membentuk sebuah sudut yang tajam.
5. Struktur tiang atau *columnar* adalah sebuah kondisi struktur tanah yang mempunyai sumbu vertikal yang lebih panjang daripada sumbu horizontal. Sisi atasnya juga akan terlihat seperti memiliki bentuk yang membulat. Struktur prisma atau *prismatic* adalah kondisi struktur tanah memiliki sumbu vertikal yang lebih panjang dari sumbu horizontalnya, namun dari bagian atas tanah akan terlihat berbentuk tidak membulat.

6. Lempeng atau *platy* adalah kondisi tanah yang kondisi sumbu vertikal lebih pendek dari sumbu horizontal dan akan tampak seperti lempengan tanah.

Tanah juga menjadi habitat hidup berbagai macam mikroorganisme, sementara bagi sebagian besar hewan darat, tanah menjadi lahannya untuk bergerak serta hidup. Apabila dilihat dari segi klimatologi, tanah memiliki peranan penting sebagai penyimpan air serta dapat menekan erosi, meskipun tanah juga dapat mengalami erosi. Komposisi tanah berbeda-beda, bergantung pada lokasinya.

Tanah merupakan lapisan teratas lapisan bumi. Tanah memiliki ciri khas dan sifat-sifat yang berbeda antara tanah di suatu lokasi dengan lokasi yang lain. Menurut Dokuchaev (1870) dalam Fauizek dkk (2018), Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami di bawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur dan warna hasil pelapukan. Menurut Das (1995), dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Menurut Hardiyatmo (1992) dalam Apriliyandi (2017), tanah adalah ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun yang lainnya. Menurut Bowles (1989) dalam Fauizek dkk

(2018), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

- a. Berangkal (*boulders*), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).
- b. Kerikil (*gravel*), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm. 7 c. Pasir (*sand*), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm).
- d. Lanau (*silt*), partikel batuan berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai.
- e. Lempung (*clay*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
- f. Koloid (*colloids*), partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Mengingat hampir semua bangunan itu dibuat di atas atau di bawah permukaan tanah, maka harus dibuatkan pondasi yang dapat memikul beban bangunan atau gaya yang bekerja melalui bangunan itu sendiri. Umpamanya jika tanah cukup keras dan mampu untuk memikul suatu pangkal atau kepala jembatan, maka pondasi kepala jembatan itu dapat dibangun langsung di atas tanah itu. Bila dikhawatirkan akibat tanah itu akan rusak atau turun akibat gaya yang bekerja melalui kepala jembatan, maka terkadang diperlukan suatu konstruksi seperti tiang

pancang atau kaison untuk meneruskan gaya tersebut kelapisan tanah yang mampu memikul gaya sepenuhnya.

Masalah-masalah teknik seperti yang disebut di atas yang sering dijumpai oleh ahli-ahli teknik sipil, harus dipertimbangkan sedalam-dalamnya untuk meramal dan menentukan kemampuan daya dukung tanah beserta kemungkinan dalamnya penurunan yang akan terjadi yang disebabkan gaya yang bekerja. Untuk mengadakan peramalan dan penilaian teknis sedemikian diperlukan pengertian yang mendalam mengenai karakteristik mekanis dari tanah.

Perlu dilakukan pengklasifikasian tanah untuk memberikan gambaran sepintas mengenai sifat-sifat tanah dalam menghadapi perencanaan dan pelaksanaan. Untuk menentukan dan mengklasifikasi tanah, diperlukan suatu pengamatan di lapangan dan suatu percobaan lapangan yang sederhana. Tetapi jika mengandalkan pengamatan di lapangan, maka kesalahan-kesalahan yang disebabkan oleh perbedaan pengamatan perorangan akan jadi sangat besar. Untuk memperoleh hasil klasifikasi yang objektif, biasanya tanah itu secara sepintas dibagi dalam tanah berbutir kasar dan berbutir halus berdasarkan suatu hasil analisa mekanis.

2.3 Kemampatan dan Konsolidasi Tanah

Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpemeabilitas rendah akibat pembebanan. Proses ini terjadi jika tanah jenuh berpemeabilitas rendah dibebani, maka tekanan air pori tanah bertambah, akibatnya air mengalir kelapisan tanah dengan tekanan air pori yang rendah yang diikuti dengan penurunan tanah.

Konsolidasi merupakan pengujian laboratorium tanah yang bertujuan untuk menentukan sifat kemampuan tanah dan karakteristik konsolidasinya yang merupakan fungsi dari permeabilitas tanah. Sifat kemampuan tanah dinyatakan dengan koefisien kemampuan volume (m_v), sementara karakter konsolidasi dinyatakan oleh koefisien konsolidasi (C_v).

Tanah mempunyai sifat kemampuan yang sangat besar jika dibandingkan dengan bahan konstruksi seperti baja ataupun beton. Baja dan beton adalah bahan yang tidak mempunyai pori. Itulah sebabnya volume pemampatan baja dan beton sangat kecil, sehingga dalam keadaan tegangan normal baja dan beton tidak mempunyai masalah. Sebaliknya karena tanah mempunyai pori yang besar, maka pembebanan biasa akan mengakibatkan deformasi tanah yang sangat besar. Hal ini tentu akan mengakibatkan penurunan pondasi yang akan merusak konstruksi.

Berlainan dengan bahan konstruksi yang lain, karakteristik tanah itu didominasi oleh karakteristik mekanisnya seperti permeabilitas atau kekuatan geser yang berubah-ubah sesuai pembebanan. Mengingat kemampuan butir-butir tanah atau air itu secara teknis sangat kecil sehingga dapat diabaikan, maka proses deformasi tanah akibat beban luar dapat dipandang sebagai suatu gejala penyusutan pori.

Jika beban yang bekerja pada tanah itu kecil, maka deformasi itu terjadi tanpa pergeseran pada titik-titik sentuh antara butir-butir tanah. Deformasi pemampatan tanah yang terjadi memperlihatkan gejala yang elastis, sehingga bila beban itu diiadakan maka tanah akan kembali pada bentuk semula. Umumnya beban-beban yang bekerja mengakibatkan pergeseran titik-titik sentuh antara butir-butir tanah, yang mengakibatkan perubahan susunan butir-butir tanah sehingga terjadi

deformasi pemampatan. Deformasi sedemikian disebut deformasi plastis, karena bilamana beban diadukan maka tanah itu tidak akan kembali pada bentuk semula.

Air dalam pori pada tanah yang jenuh air perlu dialirkan keluar supaya penyusutan pori itu sesuai dengan deformasi atau sesuai dengan perubahan struktur butir-butir tanah. Bilamana suatu bangunan akan dibangun pada tanah dasar yang lembek, maka sering terjadi tanah dasar itu tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul bangunan tersebut.

Klasifikasi tanah adalah pengelompokan berbagai jenis tanah ke dalam kelompok yang sesuai dengan karakteristiknya. Sistem klasifikasi ini menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi namun tidak ada yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai kemungkinan pemakainya (Das, 1995). Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar. seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989 dalam Adha 2014). Dalam ilmu mekanika tanah terdapat dua sistem klasifikasi yang umum dikelompokkan. kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas Atterberg, sistem-sistem tersebut adalah :

a. Sistem Klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)*

Sistem ini dikembangkan pada tahun 1929 sebagai Public Road Administration Classification System. Sistem ini telah mengalami beberapa perbaikan, yang berlaku saat ini adalah yang 8 diajukan oleh Committee on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway

Research Board pada tahun 1945 (*American Society for Testing and Materials (ASTM) Standar No. D-3282, AASHTO model M105*). Sistem klasifikasi AASHTO bermanfaat untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (subbase) dan tanah dasar (subgrade). Karena sistem ini ditujukan untuk pekerjaan jalan tersebut, maka penggunaan sistem ini dalam prakteknya harus dipertimbangkan terhadap maksud dan tujuan aslinya. Sistem ini membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35 % butirannya tanah lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Adapun sistem klasifikasi AASHTO ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut :Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini :

1. Ukuran Butir Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 10 (2 mm). Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0.075 mm). Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

2 . Plastisitas merupakan kemampuan tanah menyesuaikan perubahan bentuk pada volume konstan tanpa retak – retak atau remuk. Bergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat. Tingkat keplastisan suatu tanah umumnya ditunjukkan dari nilai indeks plastisitas, yaitu selisih nilai batas cair dan batas plastis 9 suatu tanah. Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 10 atau kurang. Nama

berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.

3) Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan dalam sampel tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi persentase tanah yang dikeluarkan harus dicatat.

b. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified Soil Classification System (USCS)*

Klasifikasi ini pada awalnya diperkenalkan oleh Casagrande pada tahun 1942, untuk digunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang (Das, 1995). Pada sistem ini pada garis besarnya membedakan tanah atas tiga kelompok besar, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), kurang dari 50% lolos saringan No. 200, yaitu tanah berkerikil dan berpasir. Simbol kelompok ini dimulai dari huruf awal G untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil dan S untuk pasir (*Sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), lebih dari 50 % lolos saringan No. 200, yaitu tanah berlanau dan berlempung. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau anorganik, C untuk lempung anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol Pt digunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi.
3. Tanah organik (Gambut/Humus), secara laboratorium dapat ditentukan jika perbedaan batas cair tanah contoh yang belum dioven dengan yang telah dioven sebesar > 25%. Simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi adalah W – untuk gradasi baik (*Wells graded*), P – gradasi buruk (*poorly graded*), L – plastisitas tinggi (*low plasticity*) dan H – plastistas tinggi (*high plasticity*).

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam klasifikasi USCS sebagai berikut :

- 1) Persentase lolos ayakan No. 200 dan lolos ayakan No. 4.
- 2) Koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c).
- 3) Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI).

2.4 Pengeboran Dan Pengambilan Contoh Tanah

Indikator yang berhubungan dengan karakteristik mekanik tanah pondasi harus dicari dengan pengujian-pengujian yang sesuai pada letak asli tanah. Untuk maksud ini, biasanya dibuatkan suatu lubang bor kedalam tanah pondasi dan kemudian dilakukan berbagai pengujian.

Pemboran serta pengambilan contoh eksplorasi tanah atau pengujian pada letak asli dapat memberikan informasi yang lebih teliti dan terpercaya mengenai karakteristik-karakteristik dan mekanis tanah pondasi dari pada acara-cara yang lain. Akan tetapi metode ini hanya memberikan informasi dalam arah *vertical* pada titik pemboran, sehingga untuk memperkirakan luas atau penyebaran karakteristik tanah dalam arah mendatar diperlukan suatu rencana survei yang menggabungkan pengujian pemboran dengan metode survei yang lain seperti penyelidikan geofisika atau pendugaan.

Bilaman dibutuhkan contoh tanah yang banyak atau dibutuhkan penyelidikan yang kontiniu dan teliti dari lapisan tanah, maka lebih baik dilakukan penggalian sumur uji. Alat-alat bor yang sering digunakan untuk eksplorasi tanah adalah:

1. Alat bor tangan (*hand auger boring*)

Mesin bor tangan biasanya digunakan untuk melubangi kayu, tembok maupun pelat logam. Khusus Mesin bor ini selain digunakan untuk membuat lubang juga bisa digunakan untuk mengencangkan baut maupun melepas baut karena dilengkapi 2 putaran yaitu kanan dan kiri.

2. Alat bor rotasi tangan (*hand feed rotary drilling*)
3. Alat bor rotasi hidrolik (*hydraulic feed rotary drilling*)

Pemilihan alat untuk pemboran harus disesuaikan dengan tujuan pemboran, fungsinya dan jenis tanah yang bersangkutan.

Pada pengambilan contoh tanah atau pengujian pada tempat aslinya, diperlukan dinding lobang bor yang bersih dan berbentuk baik. Dalam pengambilan contoh tanah dibagi menjadi dua cara pengambilan. Cara pengambilan berupa pengambilan sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed sampling*) dan pengambilan contoh tanah terganggu (*disturbed sampling*). Contoh tanah tidak terganggu diperlukan untuk penentuan berat isi (*unit weight*) atau untuk mendapatkan karakteristik mekanik seperti kekuatan atau penurunan. Untuk keperluan pengujian tanah yang sederhana seperti pengamatan contoh tanah, klasifikasi tanah, pengujian pemadatan untuk bahan timbunan dapat juga digunakan contoh tanah terganggu.

Akan tetapi kondisi pengujian harus sama dengan kondisi pada tempat asli tanah tersebut, terutama mengenai kadar air asli tanah itu. Contoh tanah yang telah diambil harus diberi tanggal dan dalamnya pengambilan dengan tulisan yang jelas. Kadar air tanah contoh harus terjaga supaya tidak berubah sampai diadakan pengujian. Khusus bagi contoh yang tidak terganggu, harus dijaga supaya tidak mengalami benturan dan perubahan suhu. Pengujian contoh tanah sedapat mungkin

dilakukan sesudah contoh diambil, karena bilamana disimpan agak lama, maka tekstur tanah dapat berubah oleh pengaruh perubahan suhu, perubahan kimia ataupun perubahan kadar air.

2.5 Pondasi

Pondasi adalah bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada di bawahnya. Terdapat dua klasifikasi pondasi, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal didefinisikan sebagai pondasi yang mendukung bebannya secara langsung, seperti:

- a. Pondasi Telapak adalah pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom
- b. Pondasi Memanjang adalah pondasi yang digunakan untuk mendukung dinding memanjang atau digunakan untuk mendukung sederetan kolom yang berjarak dekat, sehingga bila dipakai pondasi telapak sisi-sisinya akan berhimpit satu sama lain
- c. Pondasi rakit adalah pondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak

Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak *relative* jauh dari permukaan, seperti:

- a. Pondasi Sumuran adalah merupakan bentuk peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang, digunakan bila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang *relative* dalam. *Peck, dkk. (1953)* membedakan pondasi sumuran dengan pondasi dangkal dari nilai kedalaman (D_f) dibagi lebarnya (B). Untuk pondasi sumuran $D_f/B > 4$, sedangkan untuk pondasi dangkal $D_f/B \leq 1$

b. Pondasi Tiang digunakan bila tanah pondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung beban, dan tanah keras terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Demikian pula, bila pondasi bangunan terletak pada tanah timbunan akan dipengaruhi oleh penurunan yang besar. Bedanya dengan pondasi sumuran adalah pondasi tiang umumnya berdiameter kecil dan lebih panjang.

Sebelum memutuskan membuat suatu pondasi, biasanya Anda harus melakukan sejenis survei untuk mengukur struktur tanah tempat sebuah proyek akan dikerjakan. Setelah hal itu, maka Anda baru bisa menentukan jenis pondasi bangunan seperti apa yang akan dibuat. Di sini akan dibahas dua pondasi yang dapat dijadikan referensi dalam mengerjakan sebuah proyek pembangunan.

1. Pondasi Dalam

Seperti yang sebelumnya telah dikatakan bahwa jenis pondasi yang satu ini biasa digunakan dalam membangun bangunan bertingkat. Pondasi ini adalah yang didirikan di permukaan tanah dengan kedalaman tertentu sehingga beban struktur sebuah bangunan dan kondisi permukaan tanah memengaruhi daya dukung pondasinya. Pondasi ini juga terdiri dari beberapa jenis lagi:

- a) Pondasi Dinding Diafragma (Pondasi *Piers*): pondasi untuk meneruskan beban struktural yang dibuat dengan menggunakan penggalian dalam. Setelah itu, struktur pondasi Piers dipasang bersamaan ke dalam galian.
- b) Pondasi Tiang Pancang: pondasi ini biasanya menggunakan beton sebagai bahan dasarnya. Beton tersebut kemudian ditancapkan langsung ke tanah menggunakan sebuah mesin yang disebut mesin pemancang.
- c) Pondasi Bor Pile (*Caissons*): pondasi caissons biasanya dibangun di dalam tanah, tepatnya di permukaan tanah. Selain itu, pondasi yang satu ini

ditempatkan pada kedalaman sesuai dengan kebutuhan dengan cara membuat sebuah lubang. Untuk membuat pondasi ini, digunakan sistem pengukuran tanah dengan cara pengeboran.

2. Pondasi Dangkal

Sementara itu, membuat pondasi dangkal biasanya digunakan dalam proyek pembangunan bangunan yang lebih sederhana. Selain itu, pondasi yang ini dibuat tak jauh dengan permukaan tanah. Pada umumnya, kedalaman pondasi dibangun kurang dari 1/3 dari lebar pondasi dengan kedalaman kurang dari 3 meter. Sama halnya dengan pondasi dalam, terdapat beberapa jenis pondasi dangkal:

- a) Pondasi Raft: digunakan untuk menyebarkan beban struktur atas area yang luas. Biasanya jenis pondasi yang satu ini sering digunakan di area tanah yang memiliki tekstur yang lebih lunak atau longgar dengan kapasitas daya tahan yang rendah.
- b) Pondasi Tapak: digunakan untuk menggunakan titik individual. Biasanya, pondasi seperti ini dibuat dalam bentuk lingkaran, persegi, maupun persegi panjang. Selain itu, pondasi ini terdiri dari lapisan beton yang sama juga seragam.
- c) Pondasi Memanjang atau Pondasi Jalur: digunakan untuk mendukung beban yang memanjang (beban garis). Pada umumnya, pondasi memanjang dibuat untuk dinding bangunan yang dibuat membentuk persegi, persegi panjang, atau trapesium.

Setelah anda menentukan jenis pondasi apa yang digunakan, perlu dilakukan langkah yang selanjutnya, yaitu memerhatikan material apa saja yang dibutuhkan dan sesuai dengan pondasi yang akan dibuat. Hal itu dikarenakan setiap pondasi memiliki

kebutuhan yang berbeda-beda. Sistem pondasi harus dibuat secara aman terhadap kemungkinan terjadinya korosi dan berbagai kerusakan yang disebabkan oleh berbagai bahan kimia di dalam tanah. Sebuah pondasi haruslah mampu beradaptasi apabila terjadi berbagai perubahan konstruksi dan kondisi lapangan selama proses pem Dalam perencanaan pondasi untuk suatu struktur dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan pondasi berdasarkan fungsi bangunan atas (upper structure) yang akan dipikul oleh pondasi tersebut, besarnya beban dan beratnya bangunan atas, keadaan tanah dimana bangunan tersebut didirikan dan berdasarkan tinjauan dari segi ekonomi. Semua konstruksi yang direncanakan, keberadaan pondasi sangat penting mengingat pondasi merupakan bagian terbawah dari bangunan yang berfungsi mendukung bangunan serta seluruh beban bangunan tersebut dan meneruskan beban bangunan itu, baik beban mati, beban hidup dan beban gempa ke tanah atau batuan yang berada dibawahnya. Bentuk pondasi tergantung dari macam bangunan yang akan dibangun dan keadaan tanah 6 tempat pondasi tersebut akan diletakkan, biasanya pondasi diletakkan pada tanah yang keras. Pemilihan jenis struktur bawah (sub-structure) yaitu pondasi, menurut Suyono (1984) harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut : - Keadaan tanah pondasi Keadaan tanah pondasi kaitannya adalah dalam pemilihan tipe pondasi yang sesuai. Hal tersebut meliputi jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman lapisan tanah keras dan sebagainya. - Batasan-batasan akibat struktur di atasnya Keadaan struktur atas akan sangat mempengaruhi pemilihan tipe pondasi. Hal ini meliputi kondisi beban (besar beban, arah beban dan penyebaran beban) dan sifat dinamis bangunan di atasnya (statis tertentu atau tak tentu, kekakuannya, dll.) - Batasan-batasan keadaan lingkungan di sekitarnya Yang termasuk dalam batasan

ini adalah kondisi lokasi proyek, dimana perlu diingat bahwa pekerjaan pondasi tidak boleh mengganggu ataupun membahayakan bangunan dan lingkungan yang telah ada di sekitarnya. - Biaya dan waktu pelaksanaan pekerjaan Sebuah proyek pembangunan akan sangat memperhatikan aspek waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan, karena hal ini sangat erat hubungannya dengan tujuan pencapaian kondisi yang ekonomis dalam pembangunan.

2.6 Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan cara menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat dibawah konstruksi dengan tumpuan pondasi.

Pondasi tiang pancang berfungsi untuk menyalurkan beban-beban yang diterima dari konstruksi di atasnya (*Super Structure*) kelapisan tanah yang lebih dalam. Teknik pemasangan pondasi tiang pancang dapat dilakukan dengan pemancangan tiang baja atau beton pracetak kedalam tanah hingga pada lapisan tanah keras sesuai dengan kedalaman yang direncanakan.

Pada umumnya, pondasi tiang ditempatkan tegak lurus (*vertical*) didalam tanah, tetapi apabila diperlukan dapat dibuat miring agar dapat menahan gaya-gaya horinzontal. Sudut kemiringan yang dapat dicapai tergantung dari alat yang digunakan serta disesuaikan dengan perencanaan.

Penggunaan pondasi tiang pancang sebagai pondasi bangunan apa bila tanah yang berada di bawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat beban bangunan yang bekerja pada tanah tersebut (*Sarjono HS, 1988*). Atau apabila tanah yang memiliki daya dukung

yang cukup untuk memikul berat bangunan dan seluruh beban yang bekerja berada pada lapisan yang sangat dalam dari permukaan tanah pada kedalaman melebihi 8 meter (*Bowles, 1991*).

Pemilihan pondasi tiang pancang yang akan dipakai untuk mendukung suatu bangunan maka perlu dipertimbangan beberapa hal. Antara lain:

a. Kondisi Tanah

Untuk kondisi tanah yang lunak dan mudah runtuh sebaiknya dipakai jenis pondasi tiang pancang, karena apabila menggunakan pondasi *bored pile* maka akan mengalami kesulitan dalam mempertahankan kondisi lubang tetap stabil dan tanah pada dinding lubang tidak runtuh pada saat pengecoran dan memasukkan besi tulangan.

b. Ketersediaan material atau bahan

Untuk daerah yang sulit mendapatkan material atau apabila ada harganya sangat mahal seperti pasir yang ada di daerah batam dan pulau bintan yg sangat halus dan berlumpur, maka untuk menjaga mutu ataupun kualitas beton pondasi sebaiknya didatangkan material pondasi jadi (*precast*) seperti tiang pancang.

c. Kondisi Lingkungan di Sekitar Pekerjaan

Jika proyek konstruksi terdapat didaerah perkotaan dan belum banyak bangunan pada radius 200 meter bisa digunakan pondasi tiang pancang dengan metode disel hummer. Apabila terdapat bangunan disekitar, maka tidak diperbolehkan menggunakan pondasi tiang pancang dengan metode *disel hammer* karena dapat merusak bangunan-bangunan disekitarnya dan pada kondisi ini sebaiknya

digunakan pondasi *bored pile* atau pemancangan dengan menggunakan metode *jacking pile*.

d. Faktor Teknis Pelaksanaan

Pertimbangan ini berdasarkan kemudahan cara pelaksanaan pondasi. Misalnya didaerah pinggir sungai air selalu merembes sehingga pondasi tiang pancang sering dipakai karena lebih mudah pelaksanaannya.

Semua pertimbangan diatas pada hakikatnya mencari harga pelaksanaan yang paling efisien tanpa mengurangi kualitas dan daya dukung pondasi sehingga efisiensi biaya pelaksanaan merupakan langkah utama dalam pemilihan jenis pondasi.

Adapun keuntungan yang didapat apabila suatu konstruksi memakai pondasi tiang pancang adalah sebagai berikut :

- a. Pondasi tiang pancang pada suatu bangunan dapat digunakan pada jenis tanah dan kondisi alam yg beragam;
- b. Pemancangan pondasi tiang pancang tidak sulit dan membutuhkan waktu yang tidak lama, mudah dan praktis;
- c. Pemancangan pondasi tiang pancang dapat dilaksanakan hingga mencapai kedalaman yang cukup dalam, sesuai dengan daya dukung tanah yang didapat pada proses perencanaannya;
- d. Pelaksanaan tidak dipengaruhi oleh *ground water level*;
- e. Sangat cocok untuk mempertahankan daya dukung *vertical*.

Adapun kekurangan yang didapat apabila suatu konstruksi memakai pondasi tiang pancang adalah sebagai berikut:

- a. Apabila panjang tiang kurang, maka untuk melakukan penyambungan tiang agak sulit dan memerlukan alat bantu penyambungan khusus (*welding set*);
- b. Pelaksanaan pondasi tiang pancang membutuhkan biaya yang cukup besar karena memakai peralatan khusus dengan harga yang sangat mahal dalam proses pelaksanaannya;
- c. Tidak cocok bila digunakan pada pondasi yang berdiameter agak besar
- d. Tingkat kebisingan tinggi bila menggunakan *disel hammer* sebagai alat pemancangan, sehingga tidak cocok diaplikasikan di daerah padat pemukiman dan perlu dilakukan analisa alat pancang apa yang sesuai dengan kondisi seperti ini.
- e. Menghasilkan getaran bila pemancangan dilakukan dengan menggunakan *disel hammer* sehingga dapat merusak stabilitas bangunan yang berada disekitar pemancangan dan perlu dilakukan analisa alat pancang apa yang sesuai dengan kondisi seperti ini.

Dilihat berdasarkan materialnya, Tiang pancang (*pile*) biasanya terbagi kedalam empat jenis yakni:

1. Tiang Pancang Kayu (*Timber Pile*)

Tiang pancang kayu adalah tiang yang terbuat dari kayu, umumnya berdiameter antara 10 -25 cm. Tiang kayu akan tahan lama dan tidak mudah busuk apabila tiang kayu tersebut dalam keadaan selalu terendam penuh dibawah permukaan air tanah.

Adapun, tiang pancang kayu memiliki sejumlah kelebihan, yakni bobotnya yang ringan untuk memudahkan proses pengangkutan, memiliki kekuatan daya tarik besar sehingga membantu pemancangan, dapat dipotong dengan mudah jika tak

dapat masuk ke dalam tanah, serta cocok untuk *friction pile* karena tekanannya yang lebih kecil. Meskipun demikian, penggunaan tiang pancang kayu ternyata memiliki sejumlah kekurangan yang disebabkan oleh sifat alami kayu. Beberapa kekurangannya adalah rentan terhadap pelapukan, tidak tahan cuaca, ataupun mudah terkena rayap.

Karena sifatnya yang rentan terhadap kerusakan, pemilihan kayu untuk tiang pancang pun tak bisa dilakukan asal-asalan. Salah satu pilihan, kamu bisa menggunakan kayu ulin, di mana kayu yang umumnya berasal dari daerah Kalimantan ini memiliki ketahanan yang baik terhadap air laut.

2. Tiang Pancang Baja (*Steel Pile*)

Pada umumnya tiang pancang jenis ini yang sering digunakan adalah tiang pancang Pipa. Namun ada juga tiang pancang baja yang berbentuk persegi panjang untuk keperluan konstruksi tertentu.

3. Tiang Pancang Beton (*Concrete Pile*)

Tiang pancang jenis ini bermaterikan beton dimana terdapat beberapa proses pembuatannya seperti, tiang pancang beton dengan cara cor ditempat (*Cast in place*) dan tiang pancang beton yang dibuat ditempat lain atau dibuat suatu pabrik tertentu (*Precast pile*). Tiang pancang Beton biasanya memiliki beberapa bentuk seperti bulat/ Silinder dan Kotak/ Persegi panjang

4. Tiang Pancang Komposit

Tiang pancang dengan jenis komposit umumnya berdaya tahan tinggi karena menggunakan material campuran yang dirancang agar tahan terhadap perubahan suhu ataupun struktur kimiawi tanah. Tiang pancang berbahan komposit juga

biasanya mempunyai harga yang lebih mahal daripada tiang pancang pada umumnya.

2.7 Konsep Perancangan Pondasi Tiang

Pada tiang, umumnya gaya longitudinal (gaya tekan pemancangan maupun gaya tariknya), dan gaya orthogonal terhadap batang (gaya horizontal pada tiang tegak) dan momen lentur yang bekerja pada ujung tiang, seperti gaya luar yang bekerja pada keliling tiang selain dari kepala tiang yang diperlihatkan pada gambar 2.2, pondasi tiang harus direncanakan sedemikian rupa sehingga daya dukung tanah pondasi, tegangan pada tiang dan pergeseran kepala tiang akan lebih kecil dari batas-batas yang diizinkan.

Gaya luar yang bekerja pada kepala tiang seperti yang terlihat pada gambar 2.1, adalah berat sendiri bangunan di atasnya, beban hidup, tekanan tanah, tekanan air dan gaya luar yang bekerja langsung pada tubuh tiang seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.2 adalah berat sendiri tiang dan gaya gesekan negative pada tubuh tiang dalam arah vertika, dan gaya mendatar akibat getaran ketika tiang tersebut melentur arah mendatar.

Sebaliknya, bagi beban yang disalurkan dari tiang pondasi ke tanah pondasi sama sekali tidak menimbulkan masalah bila beban untuk kedua arah, yaitu vertical dan horizontal akan diperhitungkan. Dalam hal ini perencanaan umumnya dibuat berdasarkan anggapan bahwa beban-beban tersebut semuanya didukung oleh tiang. Pada waktu perencanaan, umumnya diperkirakan pengaturan tiang terlebih dahulu. Dalam hal ini, jarak minimum antara tiang biasanya diambil 2,5 kali dari diameter tiang. Waktu menentukan susunan tiang ini dibuat seperti yang telah disebutkan diatas, agar mampu menahan beban tetap selama mungkin, hal ini juga berguna

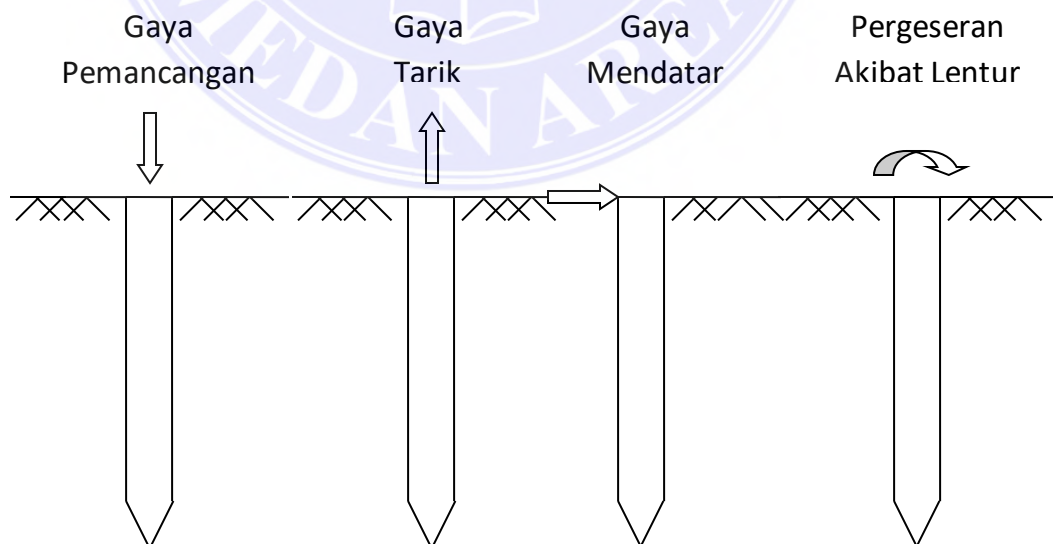
untuk mencegah berbagai kesulitan, misalnya perbedaan penurunan (*differential settlement*) yang tidak terduga.

Pada keadaan sebenarnya jarang sekali kita dapat tiang pancang yang berdiri sendiri (*single pile*), akan tetapi kita sering mendapatkan pondasi tiang kelompok (*pile group*). Di atas *pile group* biasanya kita letakkan suatu konstruksi poer (*footing*) yang mempersatukan kelompok tiang tersebut. Dalam perhitungan-perhitungan, poer dianggap kaku sempurna. Sehingga bila beban-beban yang bekerja pada kelompok tiang menimbulkan penurunan, maka setelah penurunan bidang poer tetap akan merupakan bidang datar..

Daya dukung kelompok tiang dapat dihitung berdasarkan beban yang diijinkan di atas satu tiang.

Gaya-gaya yang bekerja pada tiang pancang:

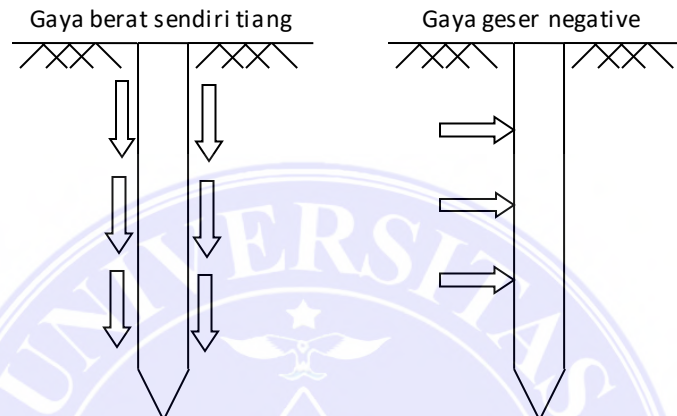
1. Gaya yang bekerja pada kepala tiang meliputi berat sendiri bangunan di atasnya, beban hidup dan beban mati, serta tekanan tanah dan air.



Gambar 1. Beban Yang Bekerja Pada Kepala Tiang (Zainal N, dkk , 1995)

Gaya yang bekerja pada tubuh tiang meliputi berat sendiri tiang, gaya geser negatif pada selimut tiang dan gaya mendatar akibat getaran ketika tiang pancang tersebut melentur.

Gaya yang bekerja pada tubuh tiang seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2. Beban Yang Bekerja Pada Tubuh Tiang (Zainal N, dkk , 1995)

Pada umumnya pondasi tiang pancang diletakkan sampai pada lapisan tanah keras yang mampu memikul beban yang diterimanya. Lapisan tanah ini bisa berupa lapisan lempung sampai pada batu-batuan.

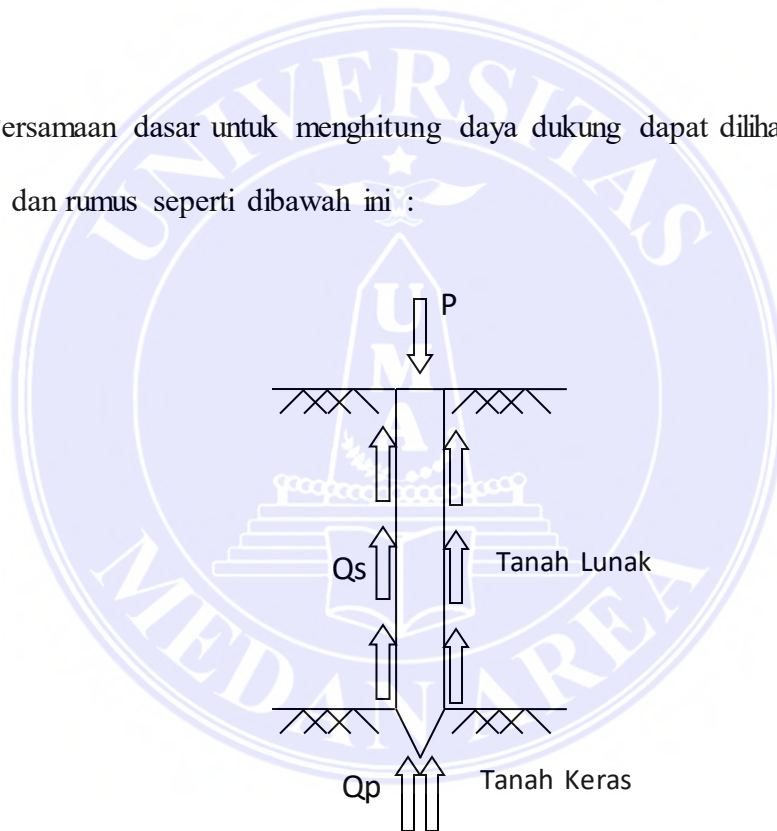
Bila lapisan tanah keras terletak sangat dalam dan terjadi pada lapisan lempung lunak yang tahanan ujung tiang lebih kecil dari pada tahanan geser selimut tiang, sehingga pemancangan tiang sampai lapisan tanah keras sukar dilaksanakan, maka dalam hal ini yang berperan sebagai daya dukung tiang adalah *skin friction* (daya dukung selimut tiang) yang dihitung berdasarkan perlekatan antara selimut tiang dengan tanah.

Untuk menaksir daya dukung tiang, cara yang banyak dilakukan di Indonesia adalah dengan menggunakan alat sondir (*cone penetration test*) dan SPT (*standard*

penetration test). Dengan sondir dan SPT, kita dapat merencanakan kedalaman tiang pancang yang harus ditanam sesuai daya dukung yang telah diperhitungkan.

Pada umumnya perencanaan dilakukan berdasarkan hasil sondir, SPT atau rumus-rumus yang dianjurkan oleh *Terzaghi* dan *Meyerhof* yang daya dukung pondasi tiang pada umumnya diperoleh dari jumlah daya dukung ujung tiang dan tahanan geser pada dinding tiang. Konsep yang memisahkan gesekan selimut dan tahanan ujung pondasi tiang merupakan dasar perhitungan daya dukung tiang cara staktik.

Persamaan dasar untuk menghitung daya dukung dapat dilihat berdasarkan gambar dan rumus seperti dibawah ini :



Gambar 3. Daya Dukung Vertikal (Zainal N, dkk, 1995)

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

Keterangan :

Q_u = Daya dukung ultimit tiang [kN]

Q_p = Daya dukung ujung [kN]

Q_s = Daya dukung selimut [kN]

W_p = Berat tiang tiang [kN]

Q_a = Daya dukung izin pondasi tiang [kN]

FK = Safety factor (factor keamanan)

Komponen Q_p dan Q_s ditunjukkan pada tahap pembebanan akhir. Berat tiang W_p umumnya amat kecil dan dapat diabaikan.

Daya dukung izin pondasi tiang Q_a untuk beban aksial umumnya diperoleh dengan membagi daya dukung ultimit dengan suatu factor keamanan baik secara keseluruhan atau dengan masing-masing factor keamanan pada selimut tiang dan pada tahanan ujung tiang.

$$Q_a = Q_u / FK \dots\dots\dots(2.2)$$

$$Q_a = (Q_p / FK_1) + (Q_s / FK_2) \dots\dots\dots(2.3)$$

Penentuan factor keamanan FK tergantung beberapa hal, diantaranya:

- a. Jenis dan kepentingan struktur
- b. Variasi kondisi tanah
- c. Tingkat keandalan penyelidikan tanah
- d. Banyak dan jenis pengujian tanah
- e. Tingkat pengawasan dan pengendalian mutu pekerjaan pondasi
- f. Probabilitas beban rencana yang akan terjadi sepanjang masa bangunan

Untuk menentukan factor keamanan dapat digunakan klasifikasi struktur menurut *Pugsley (1966)* sebagai berikut:

- a. Bangunan Monumental umumnya memiliki umur rencana melebihi 100 tahun, seperti monas, menara Jakarta, jembatan besar dan lain – lain.
- b. Bangunan permanen, umumnya bangun gedung, jembatan, jalan raya, jalan kereta api memiliki umur rencana 50 tahun
- c. Bangunan sementara umur rencana kurang dari 25 tahun bahkan mungkin hanya beberapa saat selama konstruksi.

Factor – factor lain kemudian ditentukan berdasarkan tingkat pengendaliannya pada saat konstruksi, seperti:

- a. Pengendalian baik: Kondisi tanah cukup homogen dan konstruksi didasarkan pada program penyelidikan tanah dengan tingkat professional, terdapat informasi uji pembebanan di lokasi project dan pengawasan konstruksi dilaksanakan dengan ketat.
- b. Pengendalian normal: Situasi yang paling umum. Hampir sama dengan kondisi di atas hanya saja kondisi tanah bervariasi dan tidak tersedia data pengujian tiang.
- c. Pengendalian kurang: Tidak ada uji pembebanan, kondisi tanah sulit dan bervariasi, tetapi pengujian tanah dilakukan dengan baik
- d. Pengendalian buruk: Kondisi tanah amat buruk dan sukar ditentukan, penyelidikan tanah tidak memadai.

Berdasarkan kriterian-kriteria diatas maka faktor keamanan dapat ditentukan berdasarkan table berikut:

Tabel 1. Faktor keamanan pondasi tiang (Resse,1898)

Klasifikasi Struktur	Bangunan	Bangunan	Bangunan
	Monumental	Permanen	Sementara
Probabilitas kegagalan yang dapat diterima	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}
FK (Pengendalian baik)	2,3	2,0	1,4
FK (Pengendalian normal)	3,0	2,5	2,0
FK (Pengendalian kurang)	3,5	2,8	2,3
FK (Pengendalian buruk)	4,0	3,4	2,8

1.8 Penyelidikan Tanah Untuk Perancangan Pondasi Tiang

penyelidikan tanah sendiri merupakan pekerjaan atau kegiatan untuk mengetahui karakteristik maupun daya dukung tanah beserta kondisi geologinya. Penyelidikan ini bertujuan untuk mengetahui susunan lapisan / sifat tanah beserta kekuatannya.

Penyelidikan tanah diperlukan untuk menentukan stratifikasi (pelapisan) tanah dan karakteristik teknis tanah sehingga perancangan dan konstruksi pondasi dapat dilaksanakan dengan ekonomis. Biasanya informasi dari hasil penyelidikan tanah tidak hanya untuk perancangan pondasi saja, melainkan untuk evaluasi dan rekomendasi pekerjaan yang lain seperti kesetabilan galian dan cara dewatering.

Adapun tujuan penyelidikan tanah antara lain:

- a. Untuk mendapatkan informasi pelapisan tanah dan bebatuan
- b. Untuk mendapatkan informasi muka air tanah
- c. Untuk mendapatkan informasi sifat-sifat fisis dan sifat-sifat mekanis tanah dan bebatuan
- d. Menentukan parameter tanah untuk analisis

2.8.1 Pengujian Lapangan

Pengujian lapangan menjadi populer karena dapat memberikan informasi profil tanah secara continue dan dewasa ini telah dikembangkan untuk perancangan pondasi tiang langsung dengan korelasi empiric.

a. Uji sondir

Test sondir atau *Cone Penetration Test (CPT)* saat ini merupakan salah satu uji lapangan yang telah diterima oleh para praktisi dan pakar geoteknik. Uji sondir ini telah menunjukkan manfaat untuk pendugaan profil atau pelapisan (*stratifikasi*) tanah karena jenis perilaku tanah telah dapat diidentifikasi dari kombinasi hasil pembacaan tahanan ujung dan gesekan selimutnya. Pengujian sondir ini biasanya dilakukan pada tanah-tanah kohesif dan tidak dianjurkan pada tanah berkerikil dan lempung keras.

Penggunaan uji sondir untuk klasifikasi tanah juga berdasarkan data secara empiris, demikian pula untuk kepentingan iterpretasi parameter tanah yang lain seperti kuat geser dan kompresibilitas tanah. Dalam peraktek dianjurkan agar uji sondir didampingi dengan pengujian lain baik uji lapangan maupun uji laboratorium.

Aplikasi design pondasi tiang berdasarkan uji sondir lebih bersifat langsung (*Schmertman & Nottingham, 1975, LCPC method 1991*) tanpa memerlukan perhitungan parameter tanah.

b. Standart penetration test SPT

Standart Penetration Test (SPT) yang dikembangkan pada tahun 1972, dewasa ini merupakan sarana paling populer dan paling ekonomis untuk mendapatkan informasi dari lapisan bawah permukaan (tanah). Diperkirakan bahwa antara 85 persen sampai 90 persen dari rancangan pondasi konvensional di Amerika Utara dan Amerika Selatan direncanakan dengan menggunakan data SPT. Pengujian ini secara luas juga digunakan di daerah geografis lain. Pengujian SPT ini telah dibakukan dalam standart *ASTM D 1586 sejak tahun 1958* dengan revisi-revisi secara berkala sampai saat ini. Pengujian ini terdiri dari:

1. Pemancangan alat pengambil contoh bahan silinder belah standart ke dalam tanah di dasar lubang bor secara tegak.
2. Perhitungan banyaknya pukulan untuk memasukkan tabung sejarak 305 mm yang terakhir untuk mendapatkan bilangan N.
3. Dengan menggunakan palu (massa pendorong) seberat 63,5 kg (140 lb) dan tinggi jatuh bebas hammer adalah 30 inch (76 cm). Menumbuk dan mencatat jumlah tumbukan setiap 15 cm. Nilai tumbukan dicatat 3x (N0, N1, N2) dimana harga $N = N1 + N2$. Hasil pengujian ini di tuangkan dalam drilling log.
4. Selinder belah diangkat keatas dan kemudian dibuka (sampel yang diambil dengan cara ini umumnya sangat terganggu)

5. Sampel yang diperoleh dimasukkan kedalam plastik untuk diuji dilaboratorium. Pada plastic tersebut harus diberikan catatan nama proyek, kedalaman, dan jumlah penetrasinya.

Secara konvensional, pengujian SPT dilakukan dengan interval kedalaman 1,5 meter sampai 3,0 meter dan sampel tanah yang diperoleh dari tabung SPT digunakan untuk klasifikasi. Penting untuk ditegaskan disini bahwa identifikasi dari jenis tanah pada SPT harus dilakukan karena interpretasi dari data SPT hanya dapat dilakukan dengan baik bila dikaitkan dengan kondisi tanah tersebut.

Di Indonesia hal lain yang perlu diperhatikan adalah spesifikasi alat *SPT* yang berbeda, khususnya yang mengacu pada ASTM (*standart USA*) dan JIS (*standart Jepang*) (Makarim 1992). Sebagaimana uji lapangan yang lain, nilai N_{spt} telah digunakan dalam korelasi dengan berat isi, kepadatan relative tanah pasir, sudut geser dalam tanah, dan kuat geser tak terdrainase berdasarkan hubungan empiric. Diantara korelasi empiric yang sering digunakan pada uji ini dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 2. Korelasi Derajat Kepadatan Tanah Pasir Dengan N_{SPT} (Look, 2007)

Korelasi Antara Kepadatan Relatif D_r dan Nilai SPT Untuk Tanah Pasir		
Kepadatan	D_r	N_{SPT}
Sangat Lepas	< 0,15	< 4
Lepas	0,15 - 0,35	4 - 10
Padat Sedang	0,35 - 0,65	10 - 30
Padat	0,65 - 0,85	30 - 50
Sangat Padat	0,85 - 1,00	> 50

2.9 Penentuan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Pengujian SPT

Joseph E. Bowles mengungkapkan bahwa Standart Penetration Test (SPT) merupakan pengujian penembusan tanah yang paling ekonomis dan populer untuk mendapatkan informasi di bawah permukaan tanah. Standart Penetration Test (SPT) juga merupakan salah satu pengujian lapangan yang cukup populer di Indonesia. Pertama kali digunakan pada tahun 1927, setelah itu alat ini rutin digunakan dilapangan. Pengujian SPT ini dilakukan dengan cukup sederhana dan mudah sehingga tidak memerlukan keterampilan khusus dalam pengoperasiannya. j I.S Dunn, L.R. Andersom, F.W. Kiefer dalam bukunya yang diterjemahkan dalam Bahasa Indonesia “Dasar-Dasar Analisis Geoteknik” mengungkapkan bahwa pengujian penetrasi standar paling sering digunakan untuk mengukur kepadatan relatif tanah-tanah granular. Meskipun pengujian ini kadang-kadang digunakan ukuran kuat geser tanah-tanah kohesif, tetapi korelasinya tidak begitu meyakinkan untuk tanah-tanah kohesif. Berbagai faktor dapat mempengaruhi hitungan pukulan yang diperoleh, sehingga perlu sangat berhati-hati dalam mengevaluasi hasil pengujian.

Alat uji SPT merupakan sebuah tabung yang dapat dibelah (split tube, split spoon) yang dilengkapi dengan driving shoe agar tidak mudah rusak pada saat penetrasi. Driving Shoe ini bisa dilepas dan diganti. Pada bagian ujung dilengkapi dengan pengambilan contoh (sampler insert) yang dipasang dibagian untuk mengambil contoh tanah. Prosedur pengujian SPT adalah sebagai berikut :

1. Lubang Bor disiapkan sampai kedalaman uji yang diinginkan.

2. Memasukkan alat split sampler secara tegak lurus.
3. Menumbuk dengan pemukul (berat = 63,5 kgr/140 Ibs, tinggi jatuh = 760 mm) dan mencatat jumlah tumbukan setiap penetrasi 15 cm. hal ini dilakukan 3 kali (I : 0 – 15 cm jumlah pukulan No, II : 15 – 30 cm jumlah pukulan N1, III : 30 – 45 cm jumlah pukulan N2). Nilai N-SPT merupakan jumlah pukulan ke II dan ke III, sehingga $N = N1 + N2$.
4. Spilt sampler diangkat keatas kemudian dibuka. Perlu diperhatikan bahwa sampel yang diperoleh dengan ini dalam keadaan terganggu.
5. Sampel yang diperoleh dimasukkan kedalam plastik untuk diuji dilaboratorium. Pada plastik tersebut harus dicantumkan : nama proyek dan lokasi, kedalaman, dan nilai N.

Menurut *Meyerhof (1956)* beliau menganjurkan formula daya dukung pondasi tiang pancang sebagai berikut:

$$Q_u = 40 N_b \cdot A_p + 0,2 N \cdot A_s \dots\dots\dots$$

(2.4)

Dimana:

Q_u = Daya dukung ultimit pondasi tiang pancang (ton)

N_b = Harga N_{SPT} pada elevasi dasar tiang

A_p = Luas penampang dasar tiang (m^2)

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

N = harga N_{SPT} rata rata

$$Q_a = Q_u / FK \dots\dots\dots$$

(2.5)

Dimana:

Q_a = Daya dukung izin pondasi tiang [kN]

FK = Safety factor (factor keamanan) = 2,5 pengendalian normal & bangunan
Permanen

n = Jumlah beban yang bekerja / Q_a

Dimana:

n = Jumlah tiang yang dibutuhkan

Efisiensi kelompok tiang didefinisikan sebagai

$$Eg = \frac{\text{Daya dukung kelompok tiang}}{\text{jlh tiang} \times \text{daya dukung tiang tunggal}}$$

Meskipun beberapa formula sering dipergunakan untuk menentukan nilai efisiensi ini, tetapi belum ada satu peraturan bangunan yang secara khusus menetapkan cara tertentu untuk menghitungnya. Efisiensi kelompok tiang tergantung pada beberapa faktor:

- a. Jumlah tiang, panjang, diameter, pengaturan dan terutama jarak antara As tiang.
- b. Modus pengalihan beban (*skin friction* atau *end bearing*)
- c. Prosedur pelaksanaan konstruksi tiang pancang atau *bore pile*
- d. Interaksi antara pile cap dan tanah di permukaan

Terdapat beberapa formula perhitungan efisiensi kelompok tiang:

- a. Formula sederhana
- b. Formula converse labare

c. Formula losangeles

d. Formula seiler keeney

e. Formula Feld

Dari beberapa formula efisiensi kelompok tiang diatas, maka untuk perencanaan pondasi tanki yang pantas digunakan adalah formula feld. Dimana pada formula ini kapasitas individual tiang berkurang sebesar 1/16 akibat adanya tiang yang berdampingan dalam arah lurus maupun dalam arah diagonal. Berbeda dengan formula ini kapasitas individual tiang berkurang sebesar 1/16 akibat adanya tiang yang berdampingan dalam arah lurus maupun dalam arah diagonal.

Dari petunjuk umum untuk menentukan efisiensi kelompok tiang pada tanah berpasir dimana pada tiang pancang baik pada tiang tahanan gesek maupun tiang tahanan ujung dengan $S \geq 3 D$, daya dukung kelompok tiang dapat diambil sama besar dengan jumlah daya dukung masing-masing tiang $E_g = 1$. (manual pondasi tiang universitas katolik parahyangan).

2.10 Pemancangan Pondasi Tiang Pancang dengan *Hydraulic Static Pile Drive*

Pelaksanaan pondasi tiang pancang merupakan hal yang sangat penting dan harus dipersiapkan secara matang. Sebelum pelaksanaan dilaksanakan sebaiknya dibuat suatu strategi pelaksanaan pekerjaan sebagai panduan dalam pelaksanaan nantinya. Strategi pelaksanaan pekerjaan dibuat berdasarkan kondisi lapangan yang sebenarnya, sehingga kendala-kendala yang akan dihadapi pada saat pelaksanaan nantinya dapat diketahui. Adapun tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam pelaksanaan pemancangan pondasi tiang pancang dengan menggunakan *Hydraulic Static Pile Drive* adalah sebagai berikut :

a. Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan yang dilakukan adalah peninjauan lapangan, design engineering, mobilisasi (peralatan, material dan tenaga kerja) serta pembersihan dan pematangan lahan. Pada pekerjaan peninjauan lapangan, akan diketahui lokasi pekerjaan yang digunakan serta kendala-kendala apa saja yang mungkin akan didapat dalam pelaksanaan nantinya.

Setelah dilaksanakan peninjauan lapangan, data-data yang didapat akan dibuat suatu *design engineering* berupa *sub drawing* (gambar kerja) dan strategi pelaksanaan proyek yang akan digunakan sebagai panduan pada saat pelaksanaan nantinya. Setelah selesai *design engineering*, selanjutnya akan dilaksanakan pekerjaan mobilisasi peralatan (HSPD, *excavator* untuk pembersihan dan pematangan lahan, mesin las, theodolit, dan lain-lain), material (tiang pancang) dan tenaga kerja (operator alat berat, *surveyor*, pekerja, dan lain-lain). Setelah tenaga kerja dan peralatan sampai ditempat, maka akan dilaksanakan pembersihan dan pematangan lahan lokasi pekerjaan.

b. Pekerjaan Pengukuran

Setelah pekerjaan persiapan siap dilaksanakan, pekerjaan selanjutnya akan dilaksanakan pengukuran lokasi pekerjaan. Pekerjaan pengukuran dapat dilaksanakan secara manual ataupun menggunakan peralatan pengukuran (*theodolit*, *waterpass*, dan lain-lain). Pengukuran yang dilakukan adalah penentuan titik-titik pemancangan yang biasanya ditandai dengan patok yang ditanam didalam tanah dan diikat dengan tali atasnya, maka dari permukaan tanah akan terlihat posisi talinya saja sehingga posisi tali apabila tergilas alat HSPD tidak akan hilang.

c. Pekerjaan Pemancangan

Pemancangan dilaksanakan setelah posisi titik-titik pemancangan sudah ditentukan. Pastikan material tiang pancang dan peralatan pemancangan sudah tiba dilokasi pekerjaan. Tiang pancang yang digunakan jenis *bottom* (pensil) dan upper (penyambung). Secara garis besar pemancangan dengan *hydraulic static pile drive* untuk operasinya menggunakan system jepit kemudian menekan tiang yang dijepit kedalam tanah. Teknis pelaksanaan pemancangan dengan HSPD:

1. *Supervisor* HSPD harus melakukan kordinasi terlebih dahulu kepada site manager ataupun supervisor teknis yang mengawasi pekerjaan pemancangan terkait perizinan kerja dan rencana kerja yang akan dilakukan.
2. Tentukan dan tetapkan penggunaan tanda-tanda yang disepakati yang digunakan dalam pelaksanaan pekerjaan pengukuran dan pematokan agar tidak terjadi kerancuan dalam membedakan titik-titik pemancangan dengan as antara tiang, bangunan atau titik-titik bantu lainnya.
3. Untuk menghindari terjadinya pergeseran as tiang dari kordinat yang telah ditentukan, maka gunakan titik bantu (*reference point*) selama proses penekanan tiang kedalam tanah. Lakukan pengukuran as tiang terhadap titik bantu pada kedalaman 2 meter dengan menggunakan waterpass. Apabila terjadi penyimpangan jarak antara as tiang dengan as titik bantu dan tiang masih bisa diangkat atau dicabut, maka lakukan pencabutan dan *repositioning* sesuai kordinat yang telah ditentukan.
4. Periksa ketegakan tiang pancang setiap mencapai kedalaman 50 cm sampai 200 cm.

5. Posisikan alat HSPD pada kordinat yang ditentukan, cek keadaan HSPD unit dalam keadaan rata dan stabil dengan alat bantu “*nivo*” yang terdapat dalam ruangan kabin operator.
6. Setelah alat HSPD berada di kordinat yang direncanakan, maka tiang pancang dimasukkan kedalam alat penjepit (*clamping-box*) dengan menggunakan crane yang ada pada HSPD. Kemudian posisikan tiang pancang tepat pada kordinat yang direncanakan dan control posisi tiang pada arah tegak dengan bantuan *waterpass*. Setelah semua hal yang prinsip sudah terpenuhi, maka selanjutnya dilakukan penjepitan tiang dengan tekanan maksimum ± 20 Mpa dibaca pada manometer yang terdapat didalam kabin operator.
7. Setelah penjepitan pada uraian 6 dilakukan, kemudian penekanan tiang pancang dilakukan dengan menggunakan 2 *cylinder jack* sampai tekanan tertentu dan dilanjutkan penekanan dengan menggunakan 4 *cylinder jack* sampai mencapai daya dukung yang diinginkan. Dalam proses pemancangan tiang harus dilakukan pencatatan (*pillling record*) tekanan vs kedalaman tiang yang tertanam. Selama proses pemancangan berlangsung, maka lakukan pengukuran kembali posisi as tiang terhadap titik bantu (tiap 2 meter kedalaman tiang tertanam).
8. Penyambungan tiang pancang antara bottom pencil dengan upper. Penyambungan tiang pancang ini akan dilakukan dengan cara pengelasan pada ujung tiang sambungan *bottom* (pensil) dengan *upper* (penyambung) tiang pancang. Tiang pancang pabrikan (*precast*) terdapat casing yang terbuat dari baja pada tiap ujung tiang setinggi 10 - 15 cm. Kawat las yang digunakan adalah jenis RB ataupun LB ukuran 28 dan 32 mm. Penyambungan dengan cara

pengelasan dilaksanakan 3 (tiga) sampai 4 (empat) lapis sesuai dengan diameter tiang pancang.

9. Apabila ketika dalam proses pemancangan ternyata tiang tidak dapat ditekan lagi dan menyebabkan terdapat sisa tiang diatas permukaan tanah, maka sisa tiang tersebut harus dipotong serata dengan tanah agar HSPD dapat bergerak pindah ke posisi titik pemancangan berikutnya (*sumber Brosur HSPD PT. Catur Pile Perkasa*).

2.11 Pengujian *PDA Test (pile drive analysis)*

Suatu perencanaan pondasi dapat dikatakan benar dan aman apabila beban yang di teruskan pondasi ketanah tidak melampaui ketahanan tanah itu sendiri (tanah masih dalam keadaan elastis/yield sewaktu dibebani) untuk memastikan hal ini diperlukan banyak sekali penyelidikan untuk mengetahui sifat-sifat tanah dalam mendistribusikan beban.

Pile Driving Analysis (PDA) merupakan solusi yang tepat sebagai salah satu metode pembebanan untuk mengetahui perilaku tanah lapis per lapisnya sesuai dengan penyelidikan tanah awal sewaktu dibebani. PDA memakai sistem gelombang yang ditimbulkan oleh impact hammer dan reaksi tanah dengan memakai software gelombang PDA-W. PDA tidak memakan waktu yang lama dalam pekerjaannya, hemat dalam biaya dan tingkat keakuratannya yang baik.

Tujuan dari pengujian *PDA* adalah untuk memperoleh kapasitas daya dukung tiang, penurunan dan keutuhan tiang pondasi tiang tunggal yang di uji. *Pile Driving Analyzer Test* atau *PDA Test* merupakan suatu alat pengujian untuk mengukur daya dukung pondasi dalam dengan beban dinamis (hammer dengan berat tertentu yang dijatuhkan ke atas kepala tiang uji). Saat beban dinamis diaplikasikan pada tiang

uji, alat PDA akan menghasilkan data berupa grafik gaya dan kecepatan yang diperoleh dari regangan dan percepatan yang terukur oleh sensor *strain transducer* dan sensor *accelerometer* yang terpasang pada badan tiang uji.

Syarat utama pemasangan sensor *strain transducer* dan *accelerometer* pada badan tiang uji adalah masing masing 2 unit (untuk tiang dengan $D \leq 60\text{cm}$) dan 4 unit (untuk tiang dengan $D \geq 60\text{ cm}$) yang dipasang pada sisi saling berhadapan 180° , dengan tujuan untuk mendapatkan data yang baik (dapat diambil nilai rata-rata) apabila terjadi bending dan juga sebagai factor keamanan dalam pengambilan data apabila salah satu instrument sensor ada yang tidak bekerja dengan baik.

Beban dinamis yang digunakan pada pengujian dapat berupa beban jatuh dengan berat 1% - 2% dari daya dukung ultimate yang direncanakan, atau sesuai dengan yang ditetapkan oleh engineer PDA. Secara umum PDA Test dilaksanakan pada saat tiang uji memiliki kekuatan yang cukup untuk menerima dan menahan beban dinamis pengujian. Untuk meminimalisir tegangan berlebih pada kepala tiang dapat dipakai *cushion* di sisi atas kepala tiang. Adapun beberapa perlengkapan alat PDA test yang lazim digunakan, antara lain:

- a. PDA-8G Ex. PDI (USA)
- b. Dua buah strain transducer untuk tiang ($D \leq 60\text{ cm}$) atau empat strain transducer untuk tiang ($D \geq 60\text{ cm}$)
- c. Dua buah accelerometer untuk tiang ($D \leq 60\text{ cm}$) atau empat accelerometer untuk tiang ($D \geq 60\text{ cm}$)
- d. *Additional equipment*: Gerinda, bor tangan dan alat pekindung diri (APD)

2.11.1 Metode Pelaksanaan *PDA Test*

Pengujian *PDA Test* dilaksanakan berdasarkan ASTM D4945 (*Standart Test Methode for High strain Dynamic Testing of Deep Foundations*).

Pekerjaan persiapan sebelum pengujian yang dilaksanakan antara lain:

- a. Kondisi permukaan kepala tiang harus rata dan level;
- b. Pemasangan strain transducer dan accelerometer pada sisi yang berlawanan 180° dengan jarak 2D (minimal 1,5D) dari kepala tiang;
- c. Pemasangan hammer pada tiang uji dan cushion pada kepala tiang;
- d. Memastikan semua konektivitas instrument peralatan pengujian berfungsi atau berjalan dengan baik;
- e. Memasukkan data tiang uji dan *hammer* pada alat *PDA*;
- f. Melakukan pengecekan kembali untuk memastikan bahwa pengujian tiang ini sudah siap untuk dilaksanakan.

Pengujian dilakukan dengan menjatuhkan hammer dengan ketinggian jatuh pertama sekitar 50 cm, kemudian tinggi jatuh dinaikkan secara bertahap sesuai dengan instruksi engineer *PDA* hingga mencapai daya dukung yang direncanakan. Pada saat pengujian, beberapa variable tiang yang termonitor antara lain berupa kapasitas tiang, energy penurunan dan integritas tiang.

Data-data *PDA Test* tersebut kemudian dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan *CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program)* untuk memperoleh load transfer pada tiang, perilaku tanah disekeliling tiang, daya dukung friksi, daya dukung ujung tiang, tegangan tekan dan tarik sepanjang tiang serta penurunan tiang.

Pengujian dinamis pondasi tiang menggunakan alat PDA dapat memberikan informasi-informasi penting yang berkaitan dengan interaksi pondasi tiang - tanah dibawah beban aksial yang diberikan. Hasil-hasil yang didapat dari pengujian dengan PDA ini adalah kapasitas tiang, transfer energi hammer ke tiang, tegangan tekan dan tarik yang bekerja pada tiang akibat tumbukan, serta integritas (keutuhan) tiang. PDA dilengkapi dengan sensor-untuk mendapatkan parameter-parameter yang diperlukan dalam analisa dengan metode *Case-Goble* (1988) yaitu masing-masing 2 buah accelerometer dan 2 buah strain transducer yang ditempatkan di badan tiang. Strain transducer berfungsi untuk mengukur regangan dalam fungsi waktu, yang kemudian dikonversikan menjadi gaya (F). Sedangkan accelerometer berfungsi untuk mengukur percepatan gerak partikel yang kemudian diintegrasikan terhadap waktu untuk mendapatkan kecepatan partikel (V). Hasil rekaman dari transducer langsung dianalisa, sehingga langsung dapat diketahui outputnya segera setelah tumbukan. Skema sistem PDA.

Jumlah pengujian PDA pada pondasi tiang yang akan diuji pada umumnya sebanyak 1% dari jumlah titik pondasi tiang dalam satu proyek, sedangkan Berat Hammer ideal untuk pengujian PDA adalah 2% dari kapasitas pondasi tiang ultimate. Selain hasil analisis data yang dilakukan PDA dengan prosedur *Case Method* yang meliputi pengukuran data kecepatan (*velocity*) dan gaya (*force*) selama pelaksanaan pengujian (*re-strike*) dan perhitungan variabel dinamik secara real time adalah untuk mendapatkan gambaran tentang daya dukung pondasi tiang tunggal. Dari pengujian PDA dengan menggunakan "Case Method" kita akan dapat mengetahui : daya dukung pondasi tiang tunggal, integritas atau keutuhan tiang dan sambungan serta efisiensi dari transfer energi pukulan hammer atau alat

pancang,dst. Analisis lanjutan yang dilakukan bersama dengan pengujian PDA adalah analisa CAPWAP yang merupakan salah satu metoda signal matching analysis (SMA). Analisa ini menggunakan data yang diperoleh dari pengujian PDA untuk memberikan hasil analisa yang lebih detail. Dari analisis CAPWAP kita akan mengetahui lebih rinci data yang diperoleh dari pengujian PDA, dengan tambahan informasi : tahanan ujung pondasi tiang tunggal, tahanan friksi pondasi tiang tunggal dan simulasi statik *loading test*.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Daerah Sei Siak Pekanbaru. Lokasi di tentukan dengan melakukan peninjauan langsung terlebih dahulu ke lokasi, dengan cara pengamatan visual dan melakukan pengamatan dilokasi.



Gambar 4. Peta lokasi (Google Earth, 2023)

3.2 Data Teknis

1. Jenis Tanki : Tanki Air
2. Kapasitas Tanki : 5.000 KL
3. Pondasi Tanki : Tiang Pancang Beton Bertulang K-600
4. Data Perencanaan : Test Sondir (*cone penetration test*) Dan SPT
(*Standard Penetration Test*)
5. Diameter Pondasi : 26.24 meter
6. Diameter Tanki : 25.24 meter
7. Tinggi Tanki : 10.92 meter
8. Jumlah Titik Pondasi : 89 Titik
9. Lantai Pondasi : Beton Bertulang K – 300
10. Material Tanki : Plat Baja ASTM A. 283 Grid C
11. Kedalaman pancang : 36 m/titik
12. Diameter Tiang Pancang : 400 mm
13. Panjang Tiang Pancang : 12 meter
14. Jenis Tiang : Pensil (*Bottom*) dan Penyambung (*Upper*)

3.3 Data Penyelidikan Tanah

Data hasil pengujian penyelidikan tanah yang dilakukan pada pembanguna pondasi tangki ini adalah penyelidikan SPT (*standart penetration test*) dan di evaluasi dengan pengujian PDA tes (*pile drive analisis*). Data penyelidikan tanah tertuang dalam tabel N SPT pada Gambar. 3.1 dan tabel drilling log pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Tabel 3.3. Nilai Standard Penetration Test (SPT)

Di Lokasi titik pengeboran :

No Bor : BH-1 Kedalaman (m)	N SPT/30 cm
3.00	2
6.00	5
9.00	26
12.00	31
15.00	18
18.00	37
21.00	31
24.00	26
27.00	28
30.00	31
33.00	33
36.00	36
39.00	40
42.00	38
45.00	39
48.00	40
51.00	42

Gambar 5. Tabel hasil N SPT

3.4 Perhitungan Beban yang Akan Bekerja Pada Pondasi

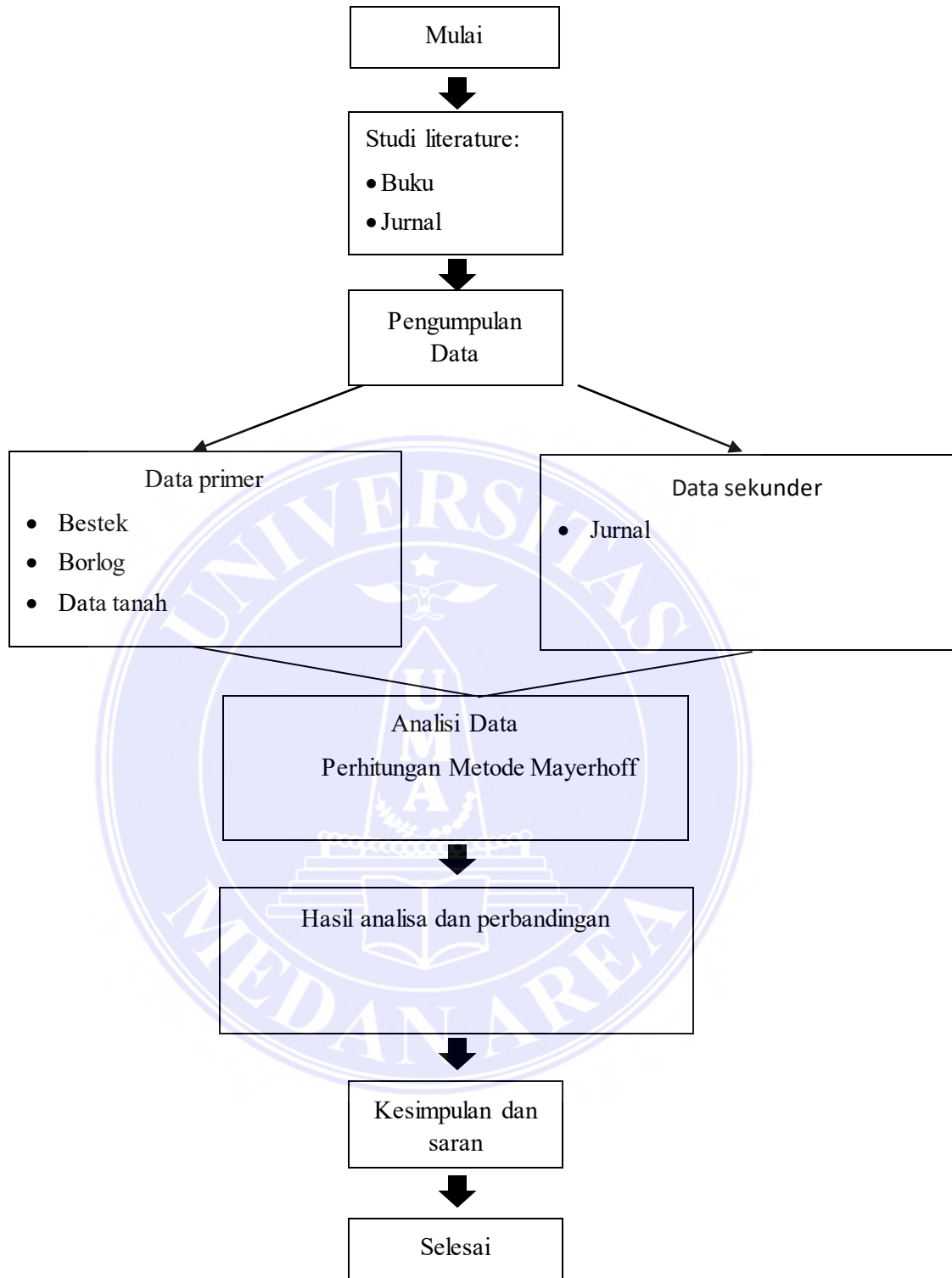
Perhitungan pembanan digunakan untuk mengetahui seberapa besar beban yang akan diterima oleh pondasi. Perhitungan beban yang bekerja dilakukan dengan cara manual.

3.5 Analisa Daya Dukung Pondasi

Apabila beban yang bekerja pada pondasi telah diketahui, maka untuk merencanakan pondasi agar tangki dapat berdiri kokoh dan tidak miring akibat penurunan sebagian pondasi, maka perlu dianalisa kapasitas daya dukung pondasi. Pada tugas akhir ini untuk menganalisa daya dukung pondasi, maka akan menggunakan data N SPT dan menggunakan *formula Mayerhof*.

3.6 Diagram Alir (*Flow chart*)

Evaluasi dalam tugas akhir ini dilakukan dalam beberapa tahapan penting, meliputi: menentukan tujuan evaluasi, mengumpulkan data, studi literatur, penyajian data-data yang dibutuhkan, melakukan analisa perhitungan, membandingkan hasil analisa dengan hasil PDA test dan menyimpulkan hasil dari perbandingan analisa dengan hasil PDA test. Dari tahapan-tahapan penelitian di atas kemudian disusun diagram alir penelitian seperti pada gambar 3.1 berikut di bawah ini.



Gambar 7. Diagram Alir (Analisis peneliti, 2023)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun yang dapat disimpulkan dari evaluasi perhitungan ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil perencanaan pondasi tiang pancang setelah dievaluasi dengan PDA test dinyatakan aman karena nilai daya dukung yang dihasilkan dari pengujian PDA test lebih besar dari nilai perencanaan. Dimana daya dukung tiang tunggal berdasarkan data SPT (*formula mayerhoff*) pada kedalaman 30 meter sebesar 126,7 ton dan dari hasil PDA test sebesar 194 ton.
2. Jumlah tiang yang dibutuhkan sebanyak 54 titik lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah tiang yang sudah digunakan (dipancang)

5.2 Saran

Adapun saran yang didapat pada penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Gunakan efisiensi kelomok tiang $E_g = 1$ apabila dari sampel tanah didapatkan bahwa jenis tanah adalah tanah berpasir dan $S \geq 3 D$.
2. Untuk perhitungan daya dukung izin disarankan menggunakan safety faktor sebesar 2,5 (Bangunan permanen dengan pengendalian normal).

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D 1586, 1958, *Pengujian Standart Penetration Test*.
- ASTM D 4945, (*Standart Test Methode for High Strain Dynamic Testing of Deep Foundations*) Metode Pelaksanaan PDA Test.
- Bowles, Joseph E, 1993, *Analisis dan Disain Pondasi*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- Craig, R. F, 1974, *Mekanika Tanah*, Edisi Keempat.
- Das, Braja M, 1998, *Mekanika Tanah*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M, 1998, *Mekanika Tanah*, Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, 1996, *Teknik pondasi I*, Jakarta, PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, 2008, *Teknik pondasi II*, Edisi ke 4 Jakarta, PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 1992, *Mekanika Tanah 1*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2007, *Mekanika Tanah 2*, Edisi Keempat, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2011, *Analisis dan Perancangan Fondasi I*, Edisi Kedua, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hidayad, R.A, 2011, *Perbandingan Hitungan Daya Dukung Tiang Pancang Secara Manual dengan Hasil Output Pemeriksaan Pile Driving Analyzer (PDA) pada Proyek Pembangunan FKIK UIN*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Negeri.

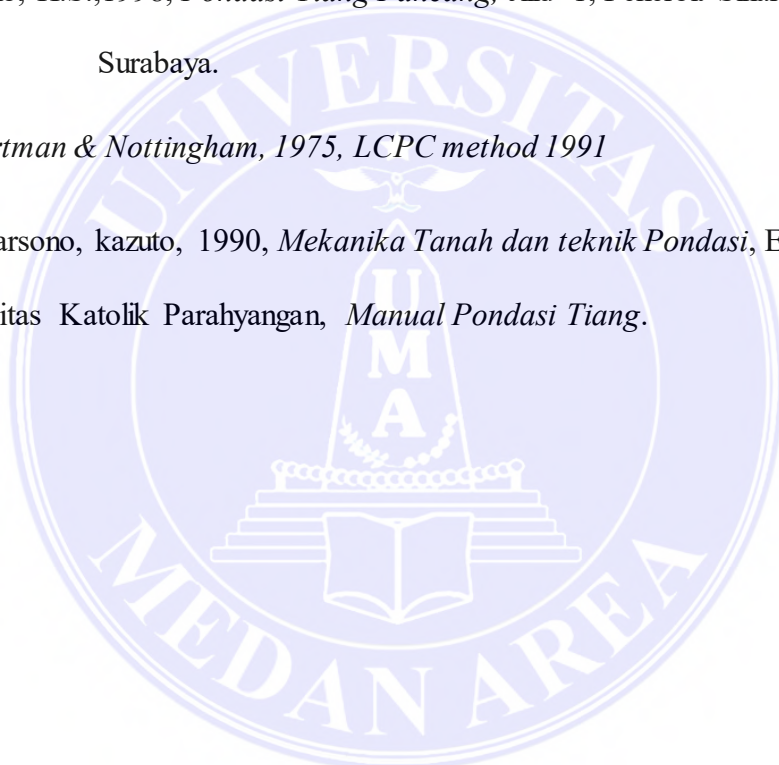
Kasturi, S. dan Iskandar, R. 2012, Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal dengan Metode Analitis dan Elemen Hingga, Jurnal Universitas Sumatera Utara.

Napitupulu, E.D.S. dan Iskandar, R. 2013, Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang dengan Metode Analitis dan Elemen Hingga, Jurnal Universitas Sumatera Utara.

Sardjono, H.S., 1998, *Pondasi Tiang Pancang*, Jilid 1, Penerbit Sinar Jaya Wijaya, Surabaya.

Schmertman & Nottingham, 1975, LCPC method 1991

Sosrodarsono, kazuto, 1990, *Mekanika Tanah dan teknik Pondasi*, Edisi kelima, Universitas Katolik Parahyangan, *Manual Pondasi Tiang*.



LAMPIRAN



Gambar 1. Persiapan pemancangan pondasi dengan menggunakan *Hydraulic Static Pile Drive* yang sudah selesai dirakit



Gambar 2. *Hydraulic Static Pile Drive* berada di posisi titik pemancangan dan tiang pancang sudah siap untuk dipancarkan



Gambar 3. Proses pemancangan dengan *Hydraulic Static Pile Drive* sedang berlangsung pada titik pemancangan yang sudah direncanakan



Gambar 4. Persiapan penyambungan tiang pancang antara upper dengan pencil yang akan dilakukan dengan menggunakan *welding set*



Gambar 5. Hasil pembobokan sisa ketinggian tiang pancang sampai level rencana yang telah ditentukan dengan menggunakan *jack hammer*



Gambar 6. Hasil pemancangan tiang pancang yang rata dengan permukaan tanah, secara kebetulan posisi kepala tiang selevel dengan permukaan elevasi rencana



Gambar 7. Persiapan perakitan rel dan drop hammer untuk pengujian PDA tes

(*pile drive analysis*)



Gambar 8. Pemasangan dua buah *sensor strain transducer* dan dua buah

accelerometer dikarenakan $D \leq 60$ cm



Gambar 9. Pemeriksaan persiapan PDA tes (*pile drive analysis*) setelah semua unit telah terpasang



Gambar 10. Pelaksanaan pengujian PDA test (*pile drive analysis*)



Gambar 11. Tampilan monitor alat PDA ters pada saat melakukan pengujian PDA (*pile drive analysis*)

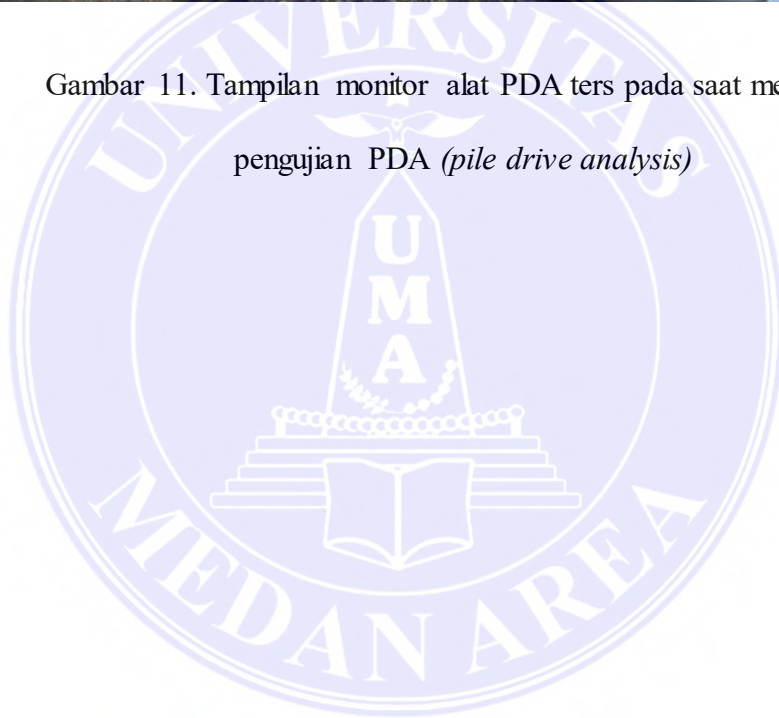


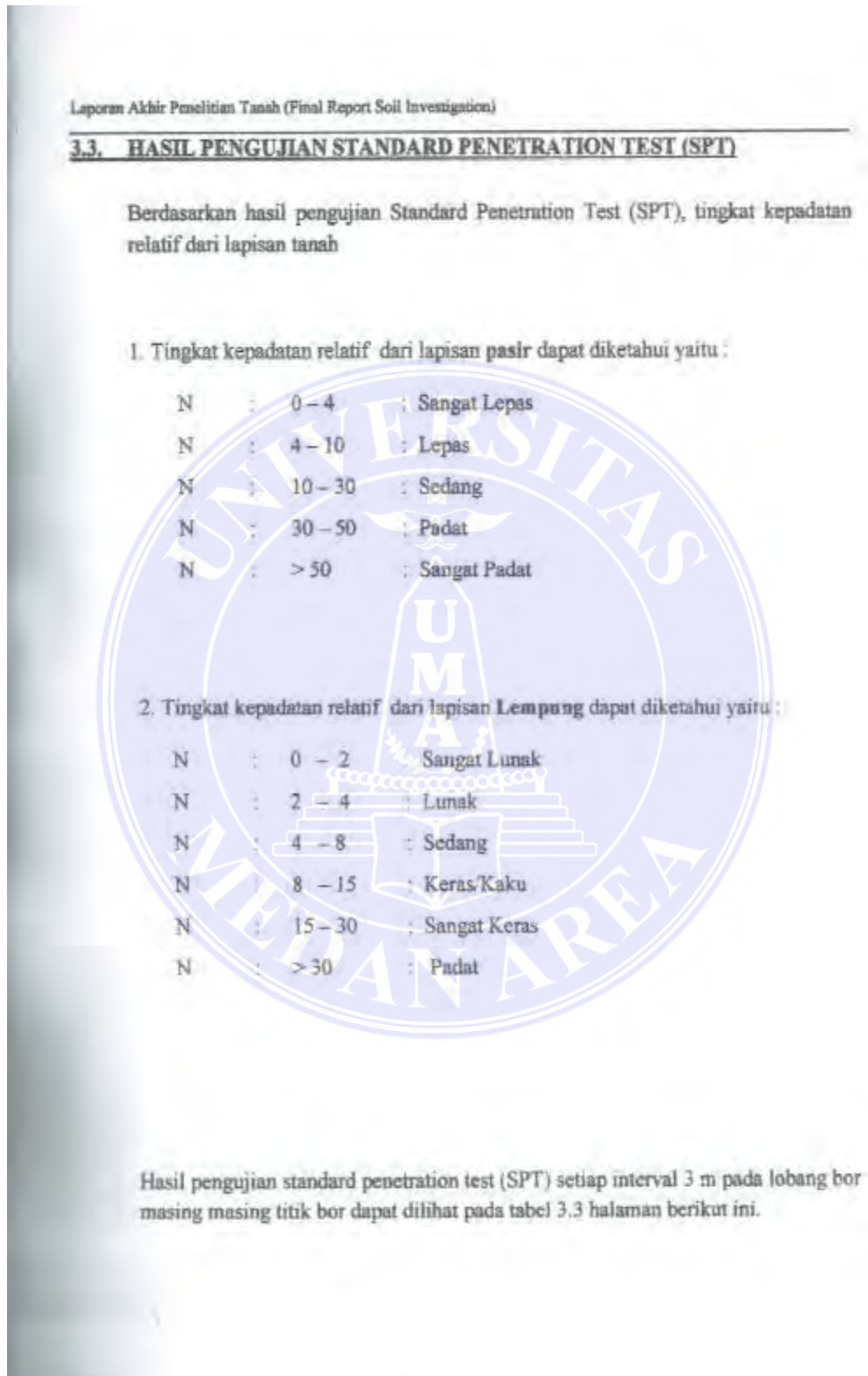
Table. Simulasi perhitungan Q_u dengan data SPT

Kedalaman $= h$ (m)	Nilai SPT N_b Blow	N Blow	$A_p =$ $1/4 \times \pi \times 0,42$ m^2	$A_s =$ $\pi \cdot D \cdot h$ m^2	End bearing Pile $40 N_b \cdot A_p$ (ton)	Skin frictions $0,2 N \cdot A_s$ (ton)	$Q_u =$ End Bearing Pile + Skin Friction (ton)
0,00	0	0	0,13	0	0	0	0
3,00	2	1	0,13	3,77	10,05	0,75	10,80
6,00	5	2,33	0,13	7,54	25,12	3,52	28,64
9,00	26	8,25	0,13	11,30	130,62	18,65	149,28
12,00	31	12,80	0,13	15,07	155,74	38,58	194,33
15,00	18	13,67	0,13	18,84	90,43	51,50	141,93
18,00	37	17,00	0,13	22,61	185,89	76,87	262,76
21,00	31	18,75	0,13	26,38	155,74	98,91	254,65
24,00	26	19,56	0,13	30,14	130,62	117,90	248,52
27,00	28	20,40	0,13	33,91	140,67	138,36	279,03
30,00	31	21,36	0,13	37,68	155,74	161,00	316,74
33,00	33	22,33	0,13	41,45	165,79	185,13	350,93
36,00	36	23,38	0,13	45,22	180,86	211,47	392,34
39,00	40	24,57	0,13	48,98	200,96	240,72	441,68
42,00	38	25,47	0,13	52,75	190,91	268,68	459,60
45,00	39	26,31	0,13	56,52	195,94	297,44	493,37
48,00	40	27,12	0,13	60,29	200,96	326,97	527,93
51,00	42	27,94	0,13	64,06	211,01	358,00	569,01

Tabel. *Drilling Log*

PROJECT : RENCANA PEMBANGUNAN TANGKI BBM - 5000 kl																			
DRILLING LOG																			
Boring No. : BH - 1		PT. PERTAMINA (PERSERO) CV. JAYA CORINDO DESIGN - MEDAN			Location		TERMINAL BBM PERTAMINA - SET SIAK PEKAN BARU			Implement Period		Boring Log		North Altitude					
Client :		CV. JAYA CORINDO DESIGN - MEDAN			Implement Period		03 - 05 - 2016			Boring Log		Iwan Sembiring		North Altitude					
Company's Name :		CV. JAYA CORINDO DESIGN - MEDAN			Chief Engineer		Tarbyahne, MT			Prepared by		SPT Tools Free		Elev. Altitude					
Ground Elevation		51.00 m			Bor Machine		Rorary			Hammer Drop Implement		Fall		Chief Operator					
Boring Depth (m)		51.00 m			Engine		Tone			Pump		Yanmer		Dian Sugiono					
Elevation from Bench Mark		- 1.50 m (From Top Soil)			STANDARD PENETRATION TEST		IN-STTU TEST												
Elevation (m)	Thickness (m)	Symbol	Depth (m)	Description	Depth of SPT (m)	Blows Penetration each 10 cm				N Value					Elevation of SPT (m)	Symbol	Method of Sampling	Date	
						N1	N2	N3	30 cm	10	20	30	40	50					
0			0,00																
1	4,00	[Clay Symbol]	0,00	- Clay - Color : Dark Gray - Plasticity : Low - Depth : 0,00 - 4,00 m	3,00 - 3,60	0	1	1	2						3,60 - 4,05	[Clay Symbol]			
2			4,00		3,60 - 4,05														
3						6,00 - 6,60	0	2	3	5						6,60 - 7,05	[Clay Symbol]		
4						6,60 - 7,05													
5	10,20	[Fine Sandy Clay Symbol]	4,00	- Fine Sandy Clay - Color : Dark Gray - Plasticity : Low - Depth : 4,00 - 14,20 m	9,00 - 9,60	5	11	15	26						9,60 - 10,05	[Fine Sandy Clay Symbol]			
6						9,60 - 10,05													
7						12,00 - 12,60	6	13	18	31						12,60 - 13,05	[Fine Sandy Clay Symbol]		
8						12,60 - 13,05													
9						15,00 - 15,60	3	7	11	18						15,60 - 16,05	[Fine Sand Symbol]		
10						15,60 - 16,05													
11						18,00 - 18,60	9	15	22	37						18,60 - 19,05	[Fine Sand Symbol]		
12						18,60 - 19,05													
13	7,20	[Fine Sandy Clay Symbol]	14,20	- Fine Sandy Clay - Color : Light Gray - Plasticity : High Plastic - Depth : 16,50 - 23,70 m	21,00 - 21,60	8	12	19	31						21,60 - 22,05	[Fine Sandy Clay Symbol]			
14						21,60 - 22,05													
15						24,00 - 24,60	8	11	15	26						24,60 - 25,05	[Fine Sandy Clay Symbol]		
16						24,60 - 25,05													
17	6,30	[Clayey Fine Sand Symbol]	16,50	- Clayey Fine Sand - Color : Dark Gray - Plasticity : Low - Depth : 23,70 - 30,00 m	27,00 - 27,60	8	12	16	28						27,60 - 28,05	[Clayey Fine Sand Symbol]			
18						27,60 - 28,05													
19						30,00 - 30,60	9	13	18	31						30,60 - 31,05	[Clayey Fine Sand Symbol]		
20						30,60 - 31,05													
21	12,60	[Fine Sand Symbol]	23,70	- Fine Sand - Color : Gray - Plasticity : Very Low - Depth : 30,00 - 42,60 m	33,00 - 33,60	10	14	19	33						33,60 - 34,05	[Fine Sand Symbol]			
22						33,60 - 34,05													
23						36,00 - 36,60	10	15	21	38						36,60 - 37,05	[Fine Sand Symbol]		
24						36,60 - 37,05													
25	8,40	[Coarse Sand Symbol]	30,00	- Coarse Sand - Color : Gray - Plasticity : Non Plastic - Depth : 42,60 - 51,00 m	39,00 - 39,60	15	19	21	40						39,60 - 40,05	[Coarse Sand Symbol]			
26						39,60 - 40,05													
27						42,00 - 42,60	14	17	21	38						42,60 - 43,05	[Coarse Sand Symbol]		
28						42,60 - 43,05													
29				45,00 - 45,60	15	18	21	39						45,60 - 46,05	[Coarse Sand Symbol]				
30				45,60 - 46,05															
31				48,00 - 48,60	14	18	22	40						48,60 - 49,05	[Coarse Sand Symbol]				
32				48,60 - 49,05															
33				51,00 - 51,60	14	19	23	42						51,60 - 52,05	[Coarse Sand Symbol]				
34				51,60 - 52,05															

Tabel. Hasil Pengujian SPT di Lapangan



Tabel 3.3. Nilai Standard Penetration Test (SPT)

Di Lokasi titik pengeboran :

No Bor : BH-1 Kedalaman (m)	N SPT/30 cm
3.00	2
6.00	5
9.00	26
12.00	31
15.00	18
18.00	37
21.00	31
24.00	26
27.00	28
30.00	31
33.00	33
36.00	36
39.00	40
42.00	38
45.00	39
48.00	40
51.00	42