

**ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG
PADA PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT REGINA MARIS
MEDAN**

SKRIPSI

OLEH:

**BARITA EDWAR
188110045**



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

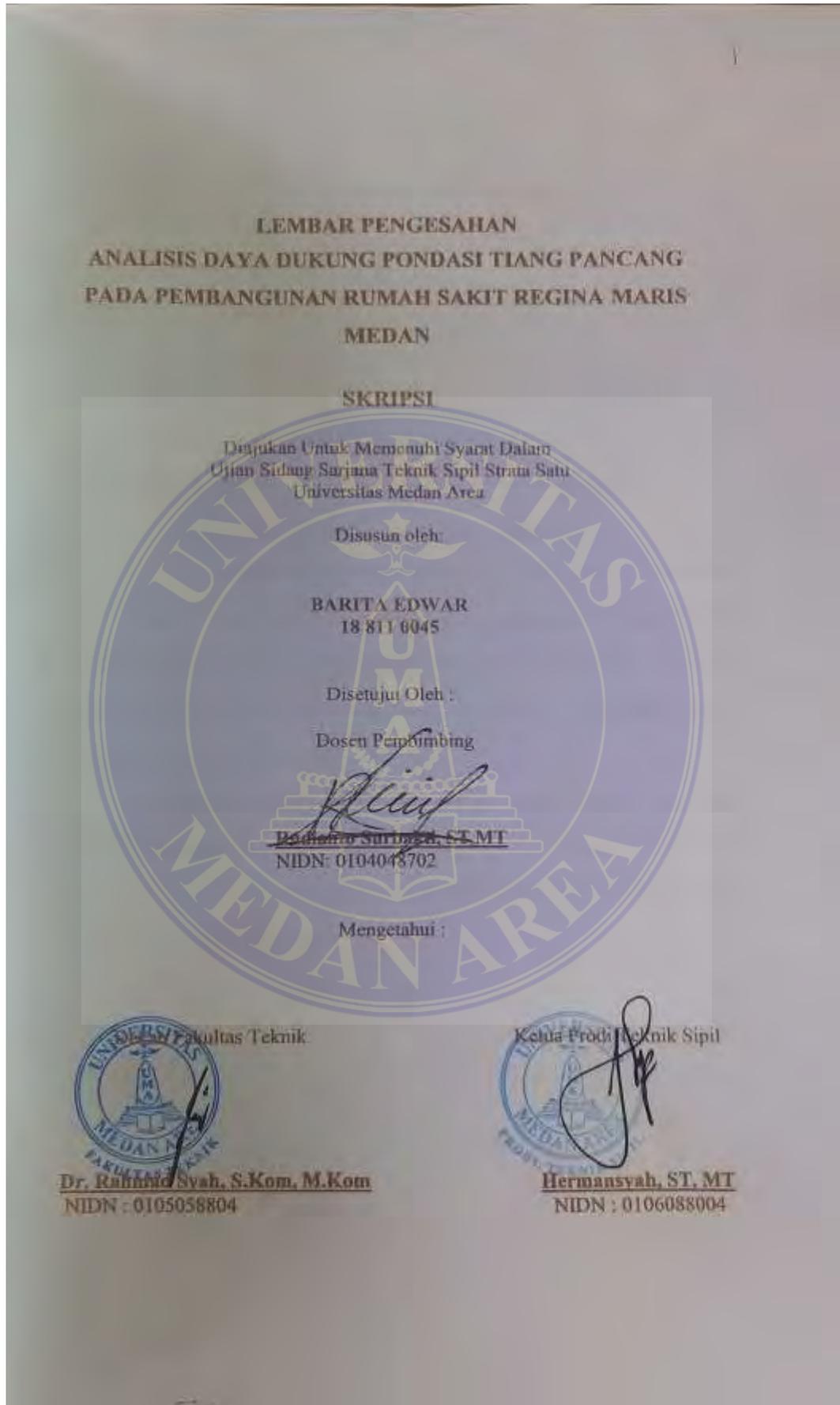
UNIVERSITAS MEDAN AREA

© 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 13/6/23

Access From (repository.uma.ac.id)13/6/23



HALAMAN PERNYATAAN

Yang Bertanda Tangan Dibawah ini :

Nama : Barita Edwar

NPM : 188110045

Jurusan : Teknik Sipil

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada
Pembangunan Rumah Sakit Regina Marts Medan.

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau di terbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan apabila kelak dikemudian hari ternyata pernyataan ini tidak benar (skripsi plagiat) maka saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar kesarjanaan atau sanksi lainnya sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Medan, 26 Februari 2023

Yang Membuat Pernyataan



Barita Edwar
188110045

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama Barita Edwar

NIM 18 811 0045

Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Jenis Karya Tugas Akhir/Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Non eksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas karya saya yang berjudul Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Pembangunan Rumah Sakit Regina Maris Jl. Brigjend Katamso Medan.

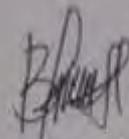
Beserta Perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Nonekklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Medan

Pada Tanggal 26 Februari 2023

Yang Menyatakan



Barita Edwar
188110045

RIWAYAT HIDUP

Barita Edwar, dilahirkan di Sumatera Utara, Kabupaten Mandailing Natal, Desa Huta Godang Muda pada tanggal 07 Mei 1999. Anak ke enam dari tujuh bersaudara dari pasangan Bapak Parluhutan Sianturi dan Ibu Martha Br. Simanjuntak. Penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Dasar di SD N 042 Aek Garut , Kec. Siabu, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara pada tahun 2012.

Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di bangku sekolah SMP N 1 Naga Juang, Kec. Naga Juang, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara dan lulus pada tahun 2015, Kemudian melanjutkan pendidikan di bangku sekolah SMA N 1 Naga Juang, Kec. Naga Juang, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara dan lulus pada tahun 2018. Pada tahun 2018 penulis melanjutkan pendidikan Strata Satu (S-1) di salah satu universitas swasta yang berada di kota Medan, Sumatera Utara yaitu Universitas Medan Area dan terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kepada Tuhan yang maha esa, atas berkat yang diberikan kepada saya, kedua orangtua saya, keluarga beserta teman teman. Sehingga saya dapat menyelesaikan Skripsi saya dengan segala kemampuan dan kesempatan yang baik ini.

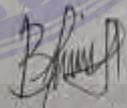
Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area.

Selama penyusunan skripsi ini, banyak rintangan yang penyusun dapatkan, tetapi berkat bantuan, Bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Melalui kesempatan ini, penyusun ingin menyampaikan rasa terima kasih atas kerja sama dan dukungan dari berbagai pihak selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M. Eng, M.Sc selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Dr. Rahmad Syah, S. Kom, M. Kom selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area
3. Bapak Hermansyah, ST. MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Medan Area.
4. Bapak Rudianto Surbakti, ST. MT. selaku Dosen Pembimbing Laporan Skripsi saya yang dengan sabar telah membimbing saya serta memberikan masukan- masukan yang sangat berguna bagi saya.

5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area yang selalu membantu penulisan dalam pengajaran dan segala urusan serta administrasi.
 6. Teristimewa, kepada kedua orang tua saya, Ayah dan Ibunda saya serta kepada seluruh keluarga besar saya yang telah memberikan doa, bantuan, dorongan semangat dan pengertian yang tulus, baik material dan spiritual, sehingga saya dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.
 7. Seluruh rekan-rekan sejawat Mahasiswa/I Teknik Sipil angkatan 2018 Universitas Medan Area dan teman-teman seperjuangan yang telah banyak memberikan energy positif dan semangat kepada saya dan bantuan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
- Akhirnya, setelah segala kemampuan dicurahkan serta di irangi dengan doa untuk menyelesaikan skripsi ini hanya kepada Tuhan yang Maha Esa Semua dikembalikan.

Medan, 26 Februari 2023



Barita Edwar
188110045

ABSTRAK

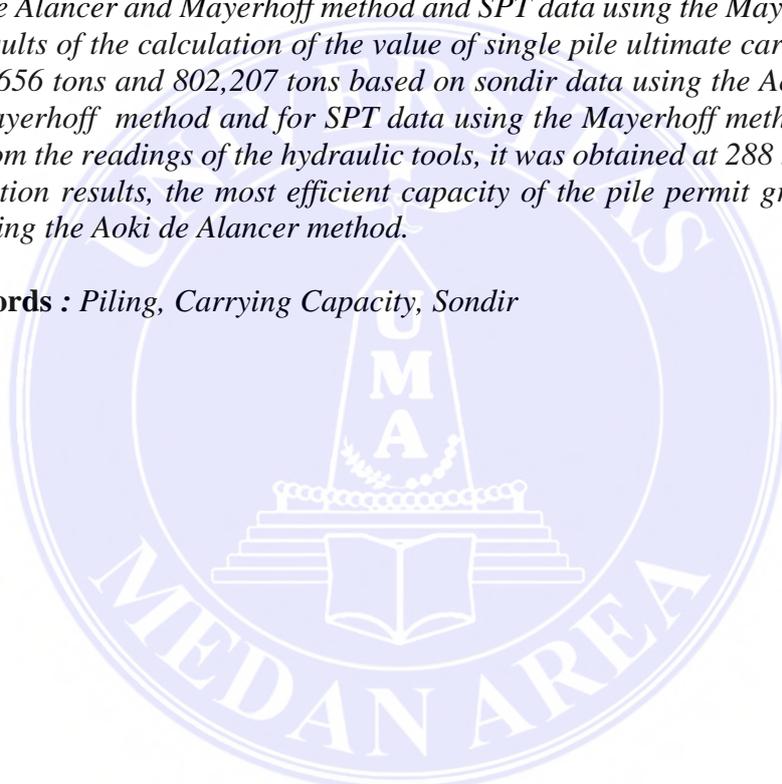
Pondasi adalah bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada dibawahnya (Hardiyatmo, 1996). Dari cara mendukung beban, perhitungan kapasitas dukung tiang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan tiang pancang untuk meneruskan beban yang bekerja terhadap lapisan tanah. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk menghitung dan membandingkan kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal menggunakan data sondir dan Standar Penetrasi Tes (SPT), dan menghitung kapasitas kelompok tiang yang paling efisien. Metodologi pengumpulan data dilakukan dengan cara melakukan observasi, pengambilan data dari pihak proyek serta melakukan studi keperpustakaan. Pada perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal, berdasarkan data sondir menggunakan metode Aoki De Alancer dan Mayerhoff dan data SPT menggunakan metode Mayerhoff. Hasil perhitungan nilai kapasitas daya dukung ultimit tiang tunggal sebesar 647,656 ton dan 802,207 ton berdasarkan data sondir dengan menggunakan metode Aoki de Alancer dan Mayerhoff sedangkan untuk data SPT dengan menggunakan metode Mayerhoff sebesar 173,952 dan dari bacaan alat hydraulic didapat sebesar 288 ton. Dari hasil perhitungan didapat kapasitas kelompok ijin tiang yang paling efisien adalah 647,40 ton dengan menggunakan metode Aoki De Alancer.

Kata Kunci : Tiang Pancang, Kapasitas Daya Dukung, Sondir

ABSTRACT

Abstract Foundation is the lowest part of the building that continues the building load to the ground or rock beneath it (Hardiyatmo, 1996). From the method of supporting the load, the calculation of the pole carrying capacity is carried out to determine the amount of the pile's ability to carry the load acting on the soil layer. The purpose of this paper is to calculate and compare the capacity of a single pile carrying capacity using sondir data and Standard Penetration Test (SPT), and calculate the most efficient pile group capacity. The data collected by conducting observations, retrieving data from the project and doing library studies. In calculating the carrying capacity of a single pile, based on sondir data using the Aoki De Alancer and Mayerhoff method and SPT data using the Mayerhoff method. The results of the calculation of the value of single pile ultimate carrying capacity of 647,656 tons and 802,207 tons based on sondir data using the Aoki de Alancer and Mayerhoff method and for SPT data using the Mayerhoff method of 173,952 tons from the readings of the hydraulic tools, it was obtained at 288 tons. From the calculation results, the most efficient capacity of the pile permit group is 647,40 tons using the Aoki de Alancer method.

Keywords : *Piling, Carrying Capacity, Sondir*



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

HALAMAN PERNYATAAN

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

RIWAYAT HIDUP

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Maksud Dan Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Rumusan Masalah.....	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Peneliti Terdahulu	6
2.2 Dasar Teori	7
2.3 Penyelidikan Tanah (Soil Investigation)	8
2.3.1 Sondering Test/Cone Penetration Test (CPT)	9
2.3.2 Standard Penetration Test (SPT)	12

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 13/6/23

Access From (repository.uma.ac.id)13/6/23

2.4 Defenisi Pondasi	14
2.5 Jenis-jenis Pondasi	15
2.5.1 Pondasi Dangkal	15
2.5.2 Pondasi Dalam	16
2.6 Pondasi Tiang Pancang.....	22
2.7 Metode Pelaksanaan Pondasi Tiang Pancang.....	24
2.8 Kapasitas Daya Dukung Pondasi Dalam Data N-SPT	24
2.8.1 Metode Mayerhoff Untuk Tanah Non-Kohesi	27
2.9 Kapasitas Daya Dukung Pondasi Dalam Dari Data Sondir.....	29
2.9.1 Metode Aoki dan De Alencar	30
2.9.2 Metode Mayerhof	31
2.10 Berdasarkan bacaan manometer alat hydraulic jack	32
2.11 Daya Dukung Kelompok tiang	33
2.11.1 Jumlah Tiang	34
2.11.2 Jarak Tiang.....	34
2.11.3 Susunan Tiang	35
2.11.4 Efisiensi kelompok Tiang	35
2.12 Kapasitas daya dukung kelompok tiang pada tanah pasir	37
2.13 Penurunan Tiang.....	38
2.14 Faktor Keamanan.....	45
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	48
3.1 Lokasi Penelitian.....	48
3.2 Data Teknis Proyek.....	48
3.3 Langkah-Langkah Penelitian	49

3.3.1 Pengumpulan Data	49
3.3.2 Layout Titik Sondir Proyek Rumah Sakit Regina Maris Medan.....	50
3.3.3 Gambar Proyek dan Layout Pondasi Bangunan	51
3.4 Metode Analisi.....	52
3.5 Diagram Alur Peneliti	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Daya Dukung Tanah.....	55
4.2 Menghitung kapasitas daya dukung tiang pancang dari data SPT	60
4.3 Kapasitas daya dukung pondasi tiang pada saat penekanan berdasarkan bacaan manometer pada alat <i>Hydraulic jack</i>	62
4.4 Menghitung Kapasitas Kelompok Tiang Berdasarkan Efisiensi.....	63
4.5 Menghitung Penurunan Tiang Tunggal.....	66
4.6 Hasil Perhitungan Daya Dukung	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	74
5.1 Kesimpulan.....	74
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Dimensi Alat Sondir Mekanis.....	11
Gambar 2.2: Pondasi Tapak.....	16
Gambar 2.3: Pondasi Memanjang.....	17
Gambar 2.4: Pondasi Rakit.....	18
Gambar 2.5: Pondasi Sumuran.....	19
Gambar 2.6: Pondasi Tiang Pancang.....	20
Gambar 2.7: Tiang Pancang Kayu.....	21
Gambar 2.8: Tiang Pancang Baja.....	21
Gambar 2.9: Tiang Pancang Beton.....	22
Gambar 2.10: Susunan Tiang.....	35
Gambar 2.11: Baris Tiang Kelompok.....	29
Gambar 2.12: Kerusakan Bangunan Akibat Penurunan.....	39
Gambar 2.13: Faktor Penurunan I_o	41
Gambar 2.14: Koreksi Kompresi.....	41
Gambar 2.15: Koreksi Kedalaman.....	42
Gambar 2.16: Koreksi Angka Poisson.....	42
Gambar 2.17: Koreksi Kekakuan Lapisan Pendukung.....	43
Gambar 3.1: Lokasi Penelitian.....	48
Gambar 3.2: Layout Titik Sondir.....	51
Gambar 3.3: Gambar Proyek.....	52
Gambar 3.4: Denah Pondasi Tiang Pancang.....	52
Gambar 3.5: Bagan Alir Penelitian.....	54
Gambar 4.1: Perkiraan Nilai Q_{ca}	56

Gambar 4.2 : Nilai qc (side) pada titik sondir 2 (S-2).....	57
Gambar 4.3 : Denah Tiang Pancang 1 Group	64
Gambar 4.4 : Penurunan Tiang Tunggal (Single Pile).....	66



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	: Jurnal Penelitian Terdahulu	6
Tabel 2.2	: Hubungan antara angka penetrasi standar dengan sudut geser dalam dan kepadatan relatif pada tanah pasir	17
Tabel 2.3	: Hubungan antara N dengan berat isi tanah	18
Tabel 2.4	: Faktor empirik F_b dan F_s	23
Tabel 2.5	: Nilai faktor empirik untuk tipe tanah yang berbeda	23
Tabel 2.6	: Perkiraan angka poisson (μ)	36
Tabel 2.7	: Faktor aman yang disarankan	39
Tabel 4.1	: perhitungan daya dukung ultimate dan ijin pondasi tiang (CPT-2).....	52
Tabel 4.2	: Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan data SPT (BH-2)	53
Tabel 4.3	: Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan bacaan manometer.....	54
Tabel 4.4	: Perhitungan daya dukung tiang pada saat pemancangan berdasarkan data.....	55
Tabel 4.5	: Perkiraan penurunan tiang tunggal	61
Tabel 4.6	: Metode Converse Labbare	62
Tabel 4.7	: Metode Los Angeles Group	62
Tabel 4.8	: Kapasitas daya dukung ijin tiang tunggal	63

DAFTAR NOTASI

- τ : Kekuatan geser tanah (kg/cm^2)
- c : Kohesi tanah (kg/cm^2)
- σ : Tegangan normal yang terjadi pada tanah (kg/cm^2)
- ϕ : Sudut geser tanah ($^\circ$)
- L_i : Panjang Lapisan Tanah (m)
- p : Keliling Tiang (m)
- c_u : Kohesi Undrained (kN/m^2)
- α : Koefisien adhesi antara tanah dan tiang
- c_u : Kohesi undrained (kN/m^2)
- p : Keliling tiang (m)
- L_i : Panjang lapisan tanah (m)
- P_a : daya dukung ijin tekan tiang
- st : keliling penampang tiang
- li : panjang segmen tiang yang ditinjau
- fi : gaya geser pada selimut segmen tiang
- Q_u : Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang pancang
- Q_b : Kapasitas tahanan di ujung tiang
- Q_s : Kapasitas tahanan kulit
- q_b : Kapasitas daya dukung di ujung tiang persatuan luas
- A_b : Luas di ujung tiang
- f : Satuan tahanan kulit persatuan luas
- A_s : Luas kulit tiang pancang

q_c : Perlawanan konus rata-rata pada masing lapisan sepanjang tiang.

F_s : Faktor empirik tahanan kulit yang tergantung pada tipe tanah.

F_b : Faktor empirik tahanan ujung tiang yang tergantung pada tipe tanah.

Q_{ult} : Kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal.

A_p : Luas penampang tiang. (cm^2)

JHL : Jumlah hambatan lekat. (kg/cm)

K_{11} : Keliling tiang. (cm)

E_g : Efisiensi kelompok tiang

Θ : $\arctan d/s$, ($^\circ$)

m : Jumlah baris tiang

n : Jumlah tiang dalam satu baris

d : Diameter tiang (m)

s : Jarak pusat ke pusat tiang (m)

S : Penurunan untuk tiang tunggal.

Q : Beban yang bekerja I

R_k : Faktor koreksi kemudah mampatan tiang

R_h : Faktor koreksi untuk ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras

R_μ : Faktor koreksi angka Poisson μ

R_b : Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung

H : Kedalaman total lapisan tanah dari ujung tiang ke muka tanah.

D : Diameter tiang

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu perencanaan pondasi tiang harus dilakukan dengan teliti dan secermat mungkin. Setiap Pondasi harus mampu mendukung beban sampai batas keamanan yang telah ditentukan, termasuk mendukung beban maksimum yang mungkin terjadi. Analisis dilakukan dengan metode statis dan dinamis untuk mengetahui kapasitas daya dukung tiang pancang dan penurunan yang terjadi. Kapasitas dukung tiang pancang dengan metode statis dihitung berdasarkan data- data lapangan (SPT), sedangkan metode dinamis dihitung berdasarkan data lapangan yaitu data kalendering dan PDA yang diperoleh saat pemancangan. (Crsitin R Siregar, 2014).

Pondasi ada dua jenis, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal adalah pondasi yang tidak membutuhkan galian tanah terlalu dalam karena lapisan tanah dangkal sudah cukup keras, apalagi bangunan yang akan dibangun hanya rumah sederhana. Sedangkan pondasi dalam adalah pondasi yang membutuhkan pengeboran atau pemancangan dalam karena lapisan tanah yang keras berada di kedalaman cukup dalam, biasanya digunakan oleh bangunan besar, jembatan, struktur lepas pantai, dan sebagainya. Jenis pondasi dalam terbagi lagi menjadi dua, yaitu pondasi tiang dan pondasi bor. Tiang pancang merupakan salah satu contoh jenis pondasi tiang pada pondasi dalam. Penentuan jenis pondasi yang akan digunakan dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya adalah kedalaman tanah keras, jenis tanah pada lokasi, dan beban

yang akan dipikul oleh pondasi. Jenis tanah empung (clay) dengan tanah keras yang terletak pada kedalaman yang dalam dan apabila beban yang harus dipikul pondasi besar sangat cocok digunakan pondasi tiang pancang sebagai pilihan dalam konstruksi bangunan. (Andi Yusti, 2014).

Tiang pancang akan berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul beban konstruksi di atasnya serta memberikan keamanan pada konstruksi tersebut. Untuk menghasilkan daya dukung yang akurat, maka harus diketahui sifat dan karakteristik tanah. Untuk itu perlu dilakukan penyelidikan geoteknik terhadap tanah. Ada 2 (dua) jenis penyelidikan geoteknik, yaitu penyelidikan lapangan dan penyelidikan laboratorium. Penyelidikan lapangan meliputi penyondiran dan pengeboran. Penyondiran bertujuan untuk mengetahui perlawanan konus dan hambatan lekat tanah yang merupakan indikasi dari kekuatan tanah pada kedalaman tertentu serta dapat digunakan untuk menghitung daya dukung lapisan tanah. Standard Penetration Test (SPT) bertujuan untuk mendapatkan gambaran lapisan tanah berdasarkan jenis dan warna tanah melalui pengamatan secara visual dan untuk pengambilan contoh tanah terganggu dan tidak terganggu untuk penyelidikan di laboratorium mengenai sifat-sifat dan karakteristik tanah yang semuanya dapat digunakan untuk memperoleh daya dukung tanah. Untuk menghitung daya dukung pada tiang pancang, dapat dilakukan dengan beberapa metode dan mungkin akan ditemukan perbedaan dan persamaan. (Darlina Tanjung, 2018).

Penggunaan pondasi tiang pancang sebagai pondasi bangunan apabila tanah yang berada dibawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung (bearing capacity) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban yang bekerja

padanya. Fungsi dan kegunaan dari pondasi tiang pancang adalah untuk memindahkan atau mentransfer beban - beban dari konstruksi di atasnya (super struktur) ke lapisan tanah keras yang letaknya sangat dalam. Dalam pelaksanaan pemancangan pada umumnya dipancangan tegak lurus dalam tanah, tetapi ada juga dipancangan miring (battle pile) untuk dapat menahan gaya-gaya horizontal yang bekerja. Sudut kemiringan yang dapat dicapai oleh tiang tergantung dari alat yang dipergunakan serta disesuaikan pula dengan perencanaannya. (Danipra Setiyo, 2019).

1.2 Maksud Dan Tujuan Penelitian

Adapun Maksud dan Tujuan Penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1.2.1 Maksud Penelitian

- a. Untuk menganalisis daya dukung pondasi tiang pancang pada pembangunan Rumah Sakit Regina Maris Medan berdasarkan hasil uji sondir test, dan data SPT dengan menggunakan Metode Mayerhoff dan Aoki de Alencer.
- b. Untuk menganalisis terhadap daya dukung efisiensi kelompok tiang dengan menggunakan Metode Conversi-Labarre dan Los Angles Group-action Formula.
- c. Untuk Memperoleh penurunan pondasi tiang pancang yang terjadi pada pembangunan rumah sakit Regina Maris Medan.

1.2.2 Tujuan penelitian

- a. Memperoleh kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang pada pembangunan rumah sakit Regina Maris Medan berdasarkan hasil uji

standar penetration test (SPT), dan sondir berdasarkan metode Mayerhoff dan Aoki De Alencar.

- b. Memperoleh perbandingan efisiensi daya dukung ultimit pondasi tiang pancang kelompok dengan menggunakan Metode Conversi-Labarre dan Los Angles Group-action Formula.
- c. Memperoleh penurunan pondasi tiang pancang yang terjadi pada pembangunan rumah sakit regina maris medan.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

- a. Untuk memperoleh kapasitas daya dukung pondasi, maka dilakukan perhitungan menggunakan metode Mayerhoff dan Aoki dan De Alencar, dengan data hasil uji standar penetration test (SPT) dan data sondir
- b. Untuk memperoleh hasil perhitungan efisiensi daya dukung pondasi kelompok tiang, maka dilakukan perhitungan menggunakan teori Conversi-Labarre dan Los Angles Group-Action Formula, dengan data hasil uji standar penetration test (SPT) dan *cone penetration test*.
- c. Untuk memperoleh perhitungan penurunan pondasi tiang pancang.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan sesuai apa yang diharapkan, maka tugas ini dibatasi beberapa hal adalah:

- a. Penelitian ini dilaksanakan pada Proyek Pembangunan Rumah sakit Regina Maris Medan, sehingga data yang digunakan adalah data SPT dan sondir yang berkaitan dengan Metode Mayerhoff dan Aoki De Alencer.
- b. Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan teori Conversi-Labarre dan Los Angles Group-Action Formula.
- c. Titik pondasi tiang pancang yang di analisis terdapat pada titik 205, 206 dan 207.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peneliti Terdahulu

1. Andri Sapora Ginting (2012)

Dengan judul analisa daya dukung tiang pancang dengan sistem *hidrolis* pada proyek pembangunan gedung perpustakaan Universitas Negeri Medan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung tiang dari hasil sondir, standar penetrasi test (SPT) dan bacaan manometer pada alat *hydraulic jack system*, serta membandingkan hasil daya dukung tiang dari beberapa metode penyelidikan yang terjadi pada tiang tunggal. Hasil perhitungan daya dukung pondasi terdapat perbedaan nilai, baik dilihat dari penggunaan metode perhitungan Aoki dan De Alencar, serta metode Mayerhoff. Dari hasil perhitungan daya dukung tiang, lebih aman memakai perhitungan dari hasil data manometer pada alat *hydroulic jack* karena lebih aktual.

2. Raden Ridwan Pratama (2016)

Dengan judul Analisa Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Data Kalendering Pada Proyek Icon City Delta Mas, Cikarang Pusat, Bekasi.

Berdasarkan perhitungan daya dukung dari hasil data kalendering menggunakan metode Hiley, metode Engineering News Record, metode Canandian National Building Code dan metode Wika, ada beberapa tiang yang tidak memenuhi daya dukung Ijin tiang yang direncanakan, hal ini terjadi dikarenakan adanya tiang error.

3. Husnah (2015)

Dengan judul analisa daya dukung pondasi tiang pancang pada proyek pembangunan pondasi tissue block 5 & 6. Berdasarkan data sondir dan SPT yang diperoleh dan dihitung dengan beberapa metode diperoleh hasil perhitungan untuk tiang pancang, yaitu data sondir dengan menggunakan metode Aoki De Alencar, dan dengan metode langsung. Berdasarkan dengan data SPT mrnggunakan metode Mayerhof didapat hasil perhitungan daya dukung pondasi terdapat perbedaan nilai, baik dilihat dari penggunaan metode perhitungan maupun lokasi titik yang ditinjau. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan daya dukung pondasi yang paling baik digunakan adalah daya dukung tiang pancang dari data sondir.

2.2 Dasar Teori

Dalam merencanakan struktur bawah dipertukan data-data mengenai karakteristik tanah tempat struktur tersebut berada dan beban struktur yang bekerja di atas struktur bawah yang direncanakan. Karakteristik tanah meliputi jenis lapisan tanah di bawah permukaan tanah, kadar air, tinggi muka air tanah, dll. Beban struktur yang bekerja tergantung dari jenis material yang digunakan, jumlah tingkat bangunan, jenis-jenis beban yang bekerja pada struktur tersebut, dll.

Seorang structure engineer harus bisa menentukan jenis pondasi yang tepat untuk digunakan pada bangunan yang dirancangnya. Jenis pondasi ditentukan

dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan tempat berdirinya bangunan dan usutan jenis pondasi serta karakteristik tanah yang dilaporkan oleh soil engineer.

Hasil dari penyelidikan tanah yang dilaporkan oleh *soil engineer* antara lain:

1. Kondisi tanah dasar yang menjelaskan jenis lapisan tanah pada beberapa lapisan kedalaman.
2. Analisis daya dukung tanah.
3. Besar nilai SPT (*Standard Penetration Test*) dari beberapa titik bor.
4. Besar tahanan ujung konus dan jumlah hambatan pelekat dari beberapa titik sondir.
5. Hasil tes laboratorium tanah untuk mengetahui berat jenis tanah, dll.
6. Analisis daya dukung tiang pondasi berdasarkan data-data tanah (apabila menggunakan pondasi tiang).
7. Rekomendasi dari soil engineer mengenai jenis pondasi yang digunakan.

2.3 Penyelidikan Tanah (*Soil Investigation*)

Dalam menyusun tumpuan pembangunan gedung, penelitian diharapkan dapat menentukan batas-batas tanah yang akan digunakan dalam menentukan batas dukung tanah pendirian. Daya dukung tanah sangat berpengaruh terhadap bentuk dan aspek kerangka pembentukan dan perbaikan tanah untuk mendapatkan sediaan yang ideal dan produktif.

Pondasi adalah bagian dari substruktur yang menjaga struktur atas tetap berjalan. Itu harus aman dan kuat untuk menangani beban dari struktur atas dan berat pondasi itu sendiri.

Untuk dapat memenuhi hal tersebut di atas, dilakukan penelitian tanah (pemeriksaan tanah) di lapangan dan laboratorium untuk memperoleh batas-batas

tanah sebagai oposisi kerucut dan kisi-kisi kulit yang didapat dari hasil uji sondir, jenis dan sifat tanah dari uji bor pembentukan tanah. serta dari hasil uji lab yang digunakan dalam perhitungan batas dukung pendirian dan teknik perbaikan tanah.

Penyetidikan tanah di lapangan bertujuan untuk mengetahui kondisi tanah dan jenis lapisannya.

Penyelidikan tanah ini dilakukan dengan berbagai cara, seperti:

2.3.1 Sondir Test/Cone Penetration Test (CPT)

Alat sondir jenis Penetrasi Kerucut digunakan untuk uji CPT atau sondir. Memiliki luas kerucut 10 cm^2 , sudut lancip 60° untuk mengukur tahanan ujung, selongsong dengan diameter yang sama dengan kerucut, dan luas selimut 100 cm^2 untuk mengukur gesekan dari lapisan tanah. Sambil mengukur ketahanan tanah terhadap *cone of penetration* (q_c), alat ini ditekan terus menerus ke dalam tanah dengan kecepatan maksimum 1 cm/detik.

Sondir dapat dibagi menjadi dua kategori berdasarkan kapasitasnya: sondir ringan (dua ton) dan sondir berat (10 ton). Untuk penyelidikan tanah yang melibatkan lapisan lempung, lanau, dan pasir halus, sondir ringan digunakan untuk mengukur tekanan kerucut hingga 150 kg/cm^2 atau 30 m di bawah permukaan. Untuk penyelidikan tanah di daerah dengan lempung padat, lanau padat, dan pasir kasar, probe berat dapat mengukur tekanan kerucut 500 kg/cm^2 pada kedalaman maksimum 50 m.

Fakta bahwa tidak perlu mengebor tanah untuk penyelidikan adalah keuntungan utama menggunakan alat ini. Namun, sampel tanah tidak dapat diperoleh dengan sondir untuk penyelidikan langsung atau pengujian laboratorium, tidak seperti pengujian SPT. Ketahanan penetrasi kerucut dan ketahanan ikatan

tanah, yang merupakan indikator kekuatan tanah dan juga dapat digunakan untuk menentukan kedalaman berbagai lapisan tanah, adalah tujuan dari uji sondir ini.

Kebanyakan penetrometer memiliki selubung geser (bikonus) yang dapat bergerak mengikuti kerucut penetrasi, membuatnya berguna untuk sebagian besar aplikasi. Oleh karena itu, harga tahanan geser tanah dan nilai tahanan ujung kerucut dapat dibaca secara terpisah.

Ujung kerucut pada sondir mekanis terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Kerucut standar, yang ketahanannya diukur pada ujungnya, biasanya diterapkan pada tanah dengan butiran kasar dan ketahanan rekat rendah;
2. Bikonus, yang ketahanan adesi dan ketahanan ujung conus diukur, biasanya digunakan pada tanah berbutir halus.

Hubungan antara kedalaman setiap lapisan tanah dan nilai sondir, juga dikenal sebagai tahanan penetrasi kerucut atau tahanan tanah terhadap ujung kerucut yang dinyatakan dalam gaya per satuan luas, biasanya digambarkan secara grafis dalam temuan penyelidikan yang dilakukan dengan alat sondir. Ketahanan geser tanah terhadap selubung bikonus, dinyatakan sebagai gaya per satuan panjang, adalah ketahanan rekat. Nilai besaran tahanan (JP) dan nilai tahanan kerucut (PK) dapat diturunkan dari hasil sondir, memungkinkan perhitungan tahanan lekat (HL) sebagai berikut:

1. Hambatan Lekat

$$HL = (JP - PK) \times \frac{A}{B}$$

2. Jumlah Hambatan Lekat

$$JHL = \sum_{i=0}^n JHL$$

memperoleh gaya gesek total, yang kemudian dapat digunakan untuk menentukan gaya gesek pada kulit tiang pancang.

Daya tahan lekat (JHL) disesuaikan dengan besarnya gaya gesek kumulatif (total friction). Resistansi ujung (q_c), gesekan selimut (f_s), dan rasio gesekan (fR) terhadap kedalaman tanah harus dijelaskan saat melaporkan hasil sondir jika digunakan untuk klasifikasi tanah.

2.3.2 Standard Penetration Test (SPT)

Untuk menentukan daya dukung tanah di tempat, Uji Penetrasi Standar (SPT) sering digunakan. Metode SPT merupakan eksperimen dinamis yang dilakukan di dalam lubang bor dengan cara menjatuhkan massa penggerak (palu) seberat 63,5 kg secara bebas dari ketinggian 760 mm dan memasukkan tabung sampel berdiameter dalam 35 mm ke kedalaman 305 mm. Nilai N adalah jumlah pukulan palu yang diperlukan untuk memasukkan tabung sampel sedalam 305 mm.

Eksperimen SPT ini bertujuan untuk mendapatkan data kualitatif ketahanan penetrasi tanah dan menentukan kerapatan tanah nonkohesif normal dengan menentukan kerapatan relatif lapisan tanah dari pengambilan sampel tanah tabung. Ini akan memungkinkan kita untuk mengidentifikasi jenis tanah dan ketebalan setiap lapisan tanah. Berikut langkah-langkah yang dilakukan selama pengujian SPT:

1. Siapkan peralatan SPT yang dipergunakan seperti : mesin bor, batang bor, split spoon sampler, hammer, dan lain – lain;
2. Letakkan penyangga dengan hati-hati, karena mendukung beban penumbuk;

3. Setelah mengebor lubang hingga kedalaman pengujian, tabung yang langsung menempel di dasar lubang dibersihkan dari kotoran.
4. Tinggalkan jejak pada tiang pengirim masing-masing 15 cm, dengan jumlah 45 cm;
5. Pukul batang bor sedalam itu dengan pukulan palu seberat 63,5 kg dan tinggi jatuh 76 cm dengan menggunakan mesin bor. Catat berapa banyak pukulan yang dibutuhkan untuk menembus setiap 15 cm (nilai value);

Contoh :

$$N1 = 10 \text{ pukulan}/15 \text{ cm}$$

$$N2 = 5 \text{ pukulan}/15 \text{ cm}$$

$$N3 = 8 \text{ pukulan}/15 \text{ cm}$$

Kemudian jumlah pukulan seluruhnya adalah penjumlahan N2 dan N3, yaitu $5 + 8 = 13$ pukulan, atau nilai N. N1 tidak diperhitungkan karena dianggap 15 cm pertama pukulan adalah sisa kotoran pengeboran di dasar lubang bor, yang harus dibersihkan untuk mengurangi efisiensi gangguan;

6. Efek setelah mengambil tes tanah dari silinder dibawa ke permukaan dan dibuka. Taruh contoh berbagai jenis tanah, seperti komposisi, struktur, konsistensi, dan warnanya, dalam botol tanpa kedalaman atau pematatan plastik, lalu masukkan ke dalam kotak inti;
7. Gambarkan grafik hasil percobaan SPT; Catatan : Pengujian dihentikan bila nilai SPT ≥ 50 untuk 4x interval.

2.4 Definisi Pondasi

Pondasi adalah salah satu bagian dari struktur terpenting dalam suatu bangunan yang berfungsi untuk menerima dan menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah baik beban hidup, beban mati, beban gempa, beban angin, yang harus diperhitungkan agar menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri. Maka dari itu, tidak boleh terjadi penurunan level melebihi batas yang di iijinkan. Terdapat dua klasifikasi pondasi, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam (Hardiyatmo, 1996).

Setiap pondasi harus mampu mendukung beban sampai batas keamanan yang telah ditentukan, termasuk mendukung beban maksimum yang mungkin terjadi. Jenis pondasi yang sesuai dengan tanah pendukung yang terletak pada kedalaman 10 meter di bawah permukaan tanah adalah pondasi tiang.

Thamrin (2008), juga menjelaskan bahwa pondasi harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut

1. Bentuk dan konstruksinya harus menunjukkan suatu konstruksi yang kokoh dan kuat untuk mendukung beban bangunan di atasnya.
2. Pondasi harus terletak diatas tanah dasar yang cukup keras sehingga kedudukan pondasi tidak mudah bergerak (berubah), baik bergerak kesamping, kebawah (turun) atau terguling.
3. Tidak boleh mudah terpengaruh oleh keadaan diluar pondasi, seperti keadaan air tanah dan lain-lain.

2.5 Klasifikasi Pondasi

Berdasarkan kedalaman dari permukaan tanah, pondasi terdiri dari pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal terdiri dari pondasi batu kali, pondasi setempat dan pondasi pelat sedangkan pondasi dalam terdiri dari pondasi sumuran, pondasi bored pile dan pondasi tiang pancang.

2.5.1 Pondasi dangkal

Pondasi dangkal adalah pondasi telapak yang mendukung bangunan secara langsung. Menurut Terzhagi pondasi dangkal digunakan untuk pondasi yang mempunyai perbandingan kedalaman dasar pondasi dari permukaan tanah (D) dan lebar pondasi (B) lebih kecil atau sama dengan satu, sehingga $D/B \leq 1$ (Bowles, 1986).

Ada beberapa pondasi dangkal yang dipakai menurut jenis bangunannya yaitu:

A. Pondasi telapak

Pondasi telapak adalah sebuah struktur beton bertulang yang dibuat seperti telapak yang terletak dibawah sebuah kolom. Jenis pondasi ini juga digunakan pada bangunan bertingkat untuk memastikan kekuatan strukturalnya bisa terpenuhi dengan baik. Bentuk dari pondasi tapak sendiri yaitu berbentuk persegi atau berbentuk bulat (*rectangular*). Pondasi ini mempunyai lebar serta ketebalan yang beragam tergantung dari beban yang ditransferkan dari struktur atas. Fungsi dari pondasi tapak sebagai pondasi yang dangkal dapat berubah jika beban yang didukungnya melebihi daya dukung yang biasa digunakan pada pondasi ini. Bahan untuk membuat pondasi ini yaitu berupa beton bertulang.

Kelebihan dari pondasi ini yaitu bisa didesain dengan kapasitas daya dukung yang lebih besar agar bangunan yang akan dibuat bisa lebih tinggi.



Gambar 2.2 : Pondasi Tapak

Sumber: Shafira Chairunnisa, Mengenal Pondasi Tapak, Mulai Dari Pengertian, Jenis, Fungsi, Kelebihan, Dan Kekurangannya 2020

B. Pondasi memanjang

Pondasi memanjang berfungsi untuk mendukung beban bangunan yang berbentuk memanjang, secara umum dibuat berbentuk memanjang baik itu berbentuk persegi panjang maupun trapesium. Pondasi ini dipasang disepanjang dinding bangunan agar beban yang diturunkan dari bangunan atas dapat disebarluaskan keseluruh pondasi.

Pada umumnya pondasi ini digunakan untuk kolom praktis serta pondasi dinding. Bahan untuk pemasangan pondasi ini yaitu berupa beton tanpa tulangan, serta bisa juga menggunakan pasangan batu kali dan pasangan batu bata. Pondasi ini dibangun di sepanjang dinding serta kolom yang akan ditopang oleh pondasi jalur.



Gambar 2.3: pondasi memanjang.
Sumber: Elmi Rahmatika, 2022

C. Pondasi rakit

Pondasi rakit adalah beton yang berbentuk rakit melebar keseluruhan bagian dasar bangunan, yang digunakan untuk meneruskan beban bangunan kelapisan tanah dasar atau batu-batuan dibawahnya. Pondasi Rakit adalah salah satu solusi yang paling dapat diandalkan untuk area tanah yang tidak rata dan sulit. Terkadang tanah memiliki daya dukung yang rendah sementara di lain waktu, membuat pijakan individu tidak layak.

Pondasi Rakit sangat cocok untuk tanah yang mengalami penurunan. Misalnya tanah liat adalah jenis tanah yang terus berkontraksi dan mengembang seiring dengan perubahan suhu, oleh karena itu, membangun struktur langsung di atas tanah dapat membuatnya berbahaya.



Gambar 2.4: pondasi rakit
Sumber: Elmi Rahmatika, 2022

2.5.2 Pondasi Dalam

Pondasi dalam adalah pondasi yang didirikan permukaan tanah dengan kedalaman tertentu dimana daya dukung dasar pondasi dipengaruhi oleh beban struktural dan kondisi permukaan tanah. Pondasi dalam dapat digunakan untuk mentransfer beban ke lapisan yang lebih dalam untuk mencapai ke dalam yang tertentu sampai didapat jenis tanah yang mendukung daya beban struktur bangunan sehingga jenis tanah yang tidak cocok di dekat permukaan tanah dapat dihindari.

Pondasi dalam biasanya dipasang pada kedalaman $B D \geq 4$ (Bowles, 1988), dimana kedalaman dasar pondasi dari permukaan tanah (D) dan lebar pondasi (B). beberapa diantaranya yaitu: pondasi sumuran, pondasi *bore pile* dan pondasi tiang pancang.

A. Pondasi Sumuran

Pondasi sumuran adalah suatu bentuk peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang. Pondasi sumuran digunakan pada tanah kurang baik dan lapisan tanah kerasnya berada pada kedalaman lebih dari tiga meter.

Diameter sumuran biasanya antara 0.80-1.00 m dan ada kemungkinan

dalam satu bangunan diameternya berbeda-beda, ini dikarenakan masing-masing kolom berbeda bebannya.



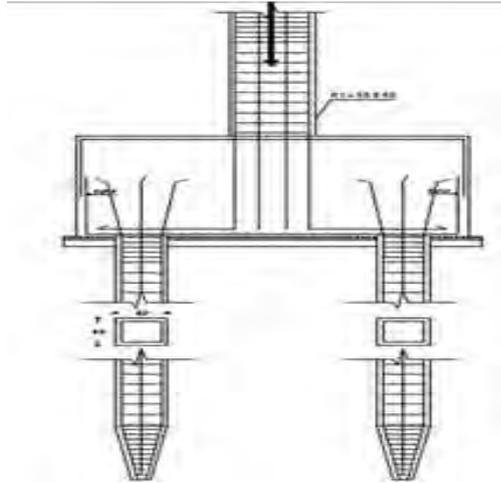
Gambar : 2.5 Pondasi Sumuran
Sumber: Arafuru, 2020

B. Pondasi Bore Pile

Pondasi bore pile adalah bentuk pondasi dalam yang dibangun didalam permukaan tanah dengan kedalaman tertentu. Pondasi ditempatkan sampai kedalam yang dibutuhkan dengan cara membuat lobang yang dibor dengan alat khusus. Setelah mencapai kedalaman yang direncanakan, kemudian dilakukan pemasangan *casing/bekisting* yang terbuat dari pelat besi, kemudian di masuk kan besi yang sudah dirakit sebelumnya, lalu proses pengecoran terhadap lobang yang sudah di bor tersebut.

C. Pondasi Tiang Pancang

Penggunaan pondasi tiang pancang sebagai pondasi bangunan apabila tanah yang berada dibawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban yang bekerja berada pada lapisan yang sangat dalam dari permukaan tanah kedalaman lebih dari 8 m (Sargjoni).



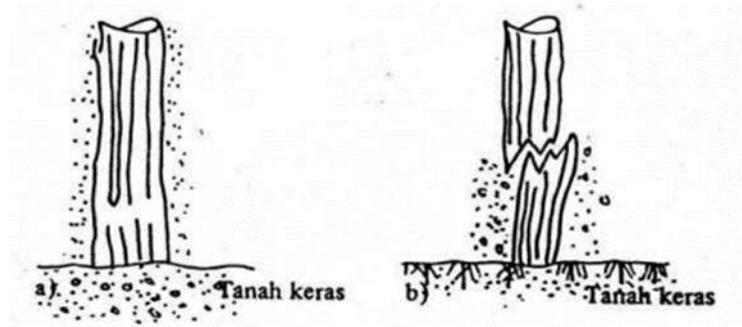
Gambar : 2. 6. Pondasi Tiang Pancang
Sumber: Muhammdirhammi, 2016

Menurut Bowles (1991), tiang pancang dapat dibagi berdasarkan beberapa kategori, antara lain:

1. Tiang Pancang Kayu

Tiang pancang kayu dibuat dari kayu yang diberi pengawet dan dipancang dengan ujungnya yang kecil sebagai bagian yang runcing. Tapi biasanya apabila ujungnya yang besar atau pangkal dari pohon di pancangkan untuk tujuan maksud tertentu, seperti dalam tanah yang sangat lembek dimana tanah tersebut akan kembali memberikan perlawanan dan dengan ujungnya yang tebal terletak pada lapisan yang keras untuk daya dukung yang lebih besar.

Pada pemakaian tiang pancang kayu ini tidak diijinkan untuk menahan muatan lebih tinggi 25 hingga 30 ton untuk satu tiang. (Sardjono 1988).

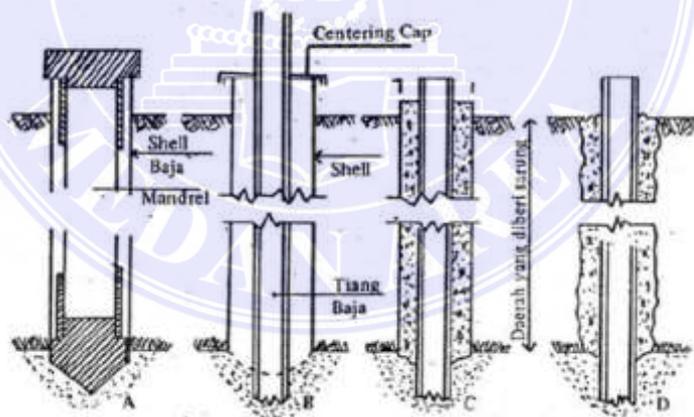


Gambar :2.7 Tiang Pancang Kayu

Sumber: Ksatria Budi,2012

2. Tiang Pancang Baja

Jenis tiang pancang baja ini biasanya berbentuk H yang digulung atau merupakan tiang pancang pipa. Balok yang mempunyai *flens*(*Wide-flange beam*) atau balok I dapat juga digunakan, akan tetapi, bentuk H khususnya dibuat sebanding untuk menahan tahanan pendorong yang keras yang mungkin dialami oleh tiang pancang tersebut.



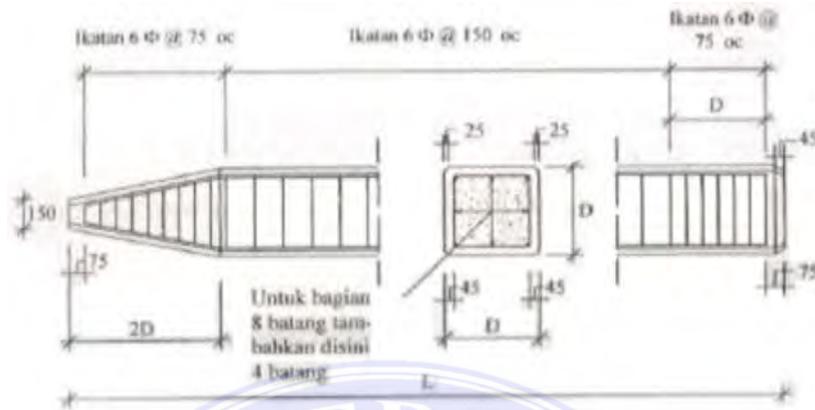
Gambar : 2.8:Tiang Pancang Baja,

Sumber: Sardjono,1991

3. Tiang Pancang Beton

Tiang pancang didalam kategori ini dibentuk ditempat pengecoran sentral sampai panjang tiang pancang yang sudah dibentuk, dan kemudian dikirimkan ke tempat konstruksi. Jika ruangan tersedia dan sejumlah

kwantitas yang cukup diperlukan, maka halaman pengecoran dapat disediakan ditempat proyek untuk mengurangi biaya-biaya transportasi.



Gambar : 2.9. Tiang Pancang Beton
Sumber: Rizaldi, 2012

2.6 Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Pondasi jenis ini dapat juga digunakan untuk mendukung bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin. Tiang-tiang juga digunakan untuk mendukung bangunan dermaga. Pada bangunan ini, tiang-tiang dipengaruhi oleh gaya-gaya benturan kapal dan gelombang air.

Pondasi struktural tiang pancang menjadi sangat diminati dan banyak dipakai karena mempunyai manfaatnya sendiri bagi bangunan.

Ada beberapa kegunaan utama dari pondasi tiang pancang yaitu:

1. Tiang pancang akan menjadi tumpuan beban utama dari bangunan dan akan disalurkan kedalam tanah dalam jumlah yang seimbang.
2. Pondasi tiang pancang beton dapat dibangun secara vertikal dan horizontal sehingga dapat menahan beban bangunan secara merata.

3. Untuk meneruskan beban ke tanah yang relatif lunak sampai kedalaman tertentu sehingga pondasi bangunan mampu memberi dukungan yang cukup untuk mendukung beban tersebut oleh gesekan sisi tiang dengan tanah disekitarnya.
4. Untuk menguatkan bangunan yang dipengaruhi oleh gaya angkat ke atas akibat hidrostatis atau momen penggulingan.

2.6.1 Kelebihan dan Kekurangan Pondasi Tiang Pancang

Tiang pancang yang dibuat mempunyai kelebihannya sendiri. Kemampuan pondasi dalam menahan beban juga akan menjadi berubah apabila pondasi tiang pancang sesuai dengan desain bangunannya.

Ada beberapa kelebihan dan kekurangan dari penggunaan pondasi tiang pancang pada bangunan yaitu:

A. Kelebihan tiang pancang

1. Pondasi tiang pancang sangat cocok apabila tanah terdapat aliran drainase air bertekanan, karena tidak membutuhkan pengeboran yang dalam.
2. Pondasi tiang pancang bisa memperkuat struktur bangunan secara drastis apabila dibangun pada tanah yang labil.
3. Pondasi tiang pancang sangat cocok dipakai pada saat membangun pada daerah tepi pantai karena sangat kuat dan kokoh terhadap erosi air laut.

B. Kekurangan pondasi tiang pancang

1. Tiang pancang membutuhkan kekuatan tambahan dari beton yang sudah dicetak sebelumnya agar tiang bisa berdiri dengan baik dan mampu menahan guncangan apabila sedang dipasangkan ke dalam tanah.

2. Pondasi tiang pancang membutuhkan perencanaan dan penghitungan matematis yang tepat agar tidak terjadi kerusakan struktural yang diakibatkan oleh tidak meratanya pembagian beban pada bangunan.
3. Pemasangan tiang pancang sangat keras dan bisa mempengaruhi kondisi struktur bangunan yang ada di sekitarnya.

2.7 Metode Pelaksanaan Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang adalah beton yang berbentuk bulat yang dimasukkan ke dalam tanah sehingga mencapai kedalaman yang sudah di tentukan dari pengujian sondir (*soil test*). Tiang-tiang tersebut ditancapkan kedalam tanah menggunakan alat pemancang, seperti alat pemancang, *drop hammer*, *disel hammer*, *hydraulic hammer* dan *vibratory pile driver*.

2.8 Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Data N-SPT

Kapasitas daya dukung ultimate tiang cara statis dihitung dengan menggunakan teori mekanika tanah. Daya dukung tanah tergantung pada kuat geser tanah. Hipotesis pertama mengenai kuat geser tanah diuraikan oleh Coulomb yang dinyatakan dengan:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

τ = Kekuatan geser tanah (kg/cm²)

c = Kohesi tanah (kg/cm²)

σ = Tegangan normal yang terjadi pada tanah (kg/cm²)

ϕ = Sudut geser tanah (°)

Untuk mendapatkan sudut geser tanah dari tanah tidak kohesif (pasiran) biasanya dapat dipergunakan rumus Dunham (1962) sebagai berikut:

1. Tanah berpasir berbentuk bulat dengan gradasi seragam, atau butiran pasir bersegi segi dengan gradasi tidak seragam, mempunyai sudut geser sebesar:

$$\phi = \sqrt{12N + 15} \dots \dots \dots (2.2)$$

2. Butiran pasir bersegi dengan gradasi seragam, maka sudut gesernya adalah:

$$\phi = 0.3N + 27 \dots \dots \dots (2.3)$$

Angka penetrasi sangat berguna sebagai pedoman dalam eksplorasi tanah dan untuk memperkirakan kondisi lapisan tanah. Hubungan antara angka penetrasi standart dengan sudut geser tanah dan kepadatan relatif untuk tanah berpasir, secara perkiraan dapat dilihat pada tabel II.1 berikut:

Tabel 2.2 Hubungan antara angka penetrasi standard dengan sudut geser dalam dan kepadatan relatif pada tanah pasir (Das, 1985)

Angka Penetrasi Standar , N	Kepadatan Relatif Dr (%)	Sudut Geser Dalam $\phi(^{\circ})$
0-5	0-5	26-30
5-10	5-30	28-35
10-30	30-60	35-42
30-50	60-65	38-46

Sumber : Das, 1985

Hubungan antara harga N dengan berat isi yang sebenarnya hampir tidak mempunyai arti karena hanya mempunyai partikel kasar (tabel II.5). Harga berat isi yang dimaksud sangat tergantung pada kadar air.

Tabel 2.3 Hubungan antara N dengan Berat Isi Tanah

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

Pada tanah tidak kohesif daya dukung sebanding dengan berat isi tanah, hal ini berarti bahwa tinggi muka air tanah banyak mempengaruhi daya dukung pasir. Tanah dibawah air mempunyai berat isi efektif yang kira-kira setengah berat isi tanah diatas muka air. Tanah dapat dikatakan mempunyai daya dukung yang baik, dapat dinilai dari ketentuan berikut ini :

1. Lapisan kohesif mempunyai nilai SPT, $N > 35$
2. Lapisan kohesif mempunyai harga kuat tekan (q_u) $3 - 4 \text{ kg/cm}^2$ atau harga SPT, $N > 15$

Hasil percobaan pada SPT ini hanya merupakan perkiraan kasar, jadi bukan merupakan nilai yang teliti. Dalam pelaksanaan umumnya hasil sondir lebih dapat dipercaya dari pada percobaan SPT. Perlu menjadi catatan bagi kita bahwa jumlah pukulan untuk 15 cm pertama yang dinilai N_1 tidak dihitung karena permukaan tanah dianggap sudah terganggu.

Untuk menghitung kapasitas daya dukung pondasi dapat menggunakan beberapa metode yaitu antara lain:

2.8.1 Metode Mayerhoff Untuk Tanah Non-Kohesi

$$Q_p = 40 \times N \times l_b / D \times A_p \dots\dots\dots(2.4)$$

1. Tahanan geser selimut tiang pada tanah non kohesif

$$Q_s = 2 \times N \times P \times L_i \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

L_i = Panjang Lapisan Tanah (m)

p = Keliling Tiang (m)

2. Daya dukung pondasi tiang pada tanah kohesif

$$Q_p = 9 \times c_u \times A_p \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

A_p = Luas Penampang Tiang (m²)

c_u = Kohesi Undrained (kN/m²)

$$c_u = N - SPT \times 2/3 \times 10 \dots\dots\dots(2.7)$$

3. Tahanan geser selimut tiang pada tanah kohesif

$$Q_s = \alpha \times c_u \times p \times L_i \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

α = Koefisien adhesi antara tanah dan tiang

c_u = Kohesi undrained (kN/m²)

p = Keliling tiang (m)

L_i = Panjang lapisan tanah (m)

Nilai N-SPT dikoreksi untuk prosedur pengujian lapangan dengan rumus:

$$(N)_{60} = 1.67 N C . b E . m C . r \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan:

(N)₆₀ = Nilai N SPT yang dikoreksi terhadap prosedur pengujian lapangan

E_m = efisiensi hammer, $E_m = 0,60$ untuk hammer yang baik dan $0,45$ untuk *doughnut hammer*.

C_b = korelasi diameter *borelog*.

- $C_b=1$ untuk diameter borehole 65 mm -115 mm
- $C_b = 1,05$ untuk diameter borehole 150 mm
- $C_b =1.15$ untuk diameter borehole 200 mm

C_r = panjang rod

- $C_r=0,75$ untuk panjang rod sampai 4 m
- $C_r=0,85$ untuk panjang rod sampai 4-6 m
- $C_r=0,95$ untuk panjang rod sampai 6- 10 m
- $C_r=1,0$ untuk panjang rod lebih dari 10 m

N = hasil test SPT

Rumus Empiris Mayerhoff:

$$p_a = \frac{q_c \times a_p}{F_{k1}} + \frac{\sum l_i F_i \times A_{st}}{F_{k2}} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

P_a = daya dukung ijin tekan tiang

$q_c = 20$ N, untuk silt/clay

= 40 N, untuk sand

N =Nilai NSPT

A_p = luas penampang tiang A

st = keliling penampang tiang

li = panjang segmen tiang yang ditinjau

f_i = gaya geser pada selimut segmen tiang
= N maksimum 12 ton/m², untuk silt/clay
= N/5 maksimum 10 ton/m², untuk sand
FK1, FK2 = faktor keamanan, 3 dan 5

2.9 Kapasitas Daya Dukung Pondasi Dalam Dari Data Sondir

Kapasitas daya dukung tiang pancang adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban (Hardiyatmo, 2011). Jika dalam kapasitas dukung pondasi dangkal satuannya adalah satuan tekanan (kPa) maka dalam kapasitas dukung tiang satuannya adalah satuan gaya (kN).

Kapasitas ultimit tiang yang dipancang dalam tanah kohesif, ialah jumlah tahanan gesek sisi tiang dan tahanan ujungnya. Besar tahanan gesek tiang tergantung dari bahan dan bentuk tiang. Umumnya, apabila tanah homogen, tahanan gesek dinding yang berupa adhesi antara sisi tiang dan tanah akan berpengaruh besar pada kapasitas ultimitnya.

Pada saat perencanaan pondasi tiang pancang (*pile*), data tanah geser sangat diperlukan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari tiang pancang sebelum pembangunan dimulai, guna menentukan kapasitas ultimit dari tiang pancang.

Kapasitas dukung ultimit tiang (Q_u), dihitung dengan persamaan umum, yaitu:

$$Q_u = Q_b + Q_s = q_b \cdot A_b + f \cdot A_s \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan :

- Q_u = Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang pancang
- Q_b = Kapasitas tahanan di ujung tiang

Q_s = Kapasitas tahanan kulit

Q_b = Kapasitas daya dukung di ujung tiang persatuan luas

A_b = Luas di ujung tiang

F = Satuan tahanan kulit persatuan luas

A_s = Luas kulit tiang pancang

Perencanaan pondasi tiang pancang dengan sondir diklasifikasikan atas beberapa metode diantaranya :

2.9.1 Metode Aoki dan De Alencar

Aoki dan Alencar mengusulkan untuk memperkirakan kapasitas dukung ultimit dari data Sondir. Kapasitas dukung ujung persatuan luas (q_b) diperoleh sebagai berikut :

$$q_p = (q_{ca} (base))/F_b \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

$q_{ca} (base)$ = Perlawanan konus rata-rata 1,5D diatas ujung tiang, 1,5D dibawah ujung tiang dan F_b adalah faktor empirik tergantung pada tipe tanah.

Tahanan kulit persatuan luas (f) diprediksi sebagai berikut:

$$F = q_c(side)(\alpha s)/F_s \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

$q_c (side)$ = Perlawanan konus rata-rata pada masing lapisan sepanjang tiang.

F_s = Faktor empirik tahanan kulit yang tergantung pada tipe tanah.

F_b = Faktor empirik tahanan ujung tiang yang tergantung pada tipe tanah.

Tabel II.4. Faktor emperik F_b dan F_s

Tipe Tiang Pancang	Fb	Fs
Tiang bor	3,5	7,0
Baja	1,75	3,5
Beton Pratekan	1,75	3,5

Sumber. Titi dan Farsakh,1999

Tabel 2.5 Nilai faktor empirik untuk tipe tanah yang berbeda (Titi dan Farsakh, 1999)

Tipe Tanah	$\alpha s(\%)$	Tipe Tanah	$\alpha s(\%)$	Tipe Tanah	$\alpha s(\%)$
pasir	1,4	Pasir berlanau	2,2	Lempung berpasir	2,4
Pasir kelanauan	2,0	Pasir berlanau dengan lempung	2,8	Lempung berpasir dengan lanau	2,8
Pasir kelanauan dengan lempung	2,4	Lanau	3,0	Lempung berlanau dengan pasir	3,0
Pasir berlempung dengan lanau	2,8	Lanau berlempung dengan pasir	3,0	Lempung berlanau	4,0
Pasir berlempung	3,0	Lanau berlempung	3,4	Lempung	6,0

Menghitung faktor empiric untuk tipe tanah (Titi dan Farsakh,1999) Pada umumnya nilai αs untuk pasir = 1,4 persen, nilai αs untuk lanau = 3,0 persen dan nilai αs untuk lempung = 1,4 persen.

2.9.2 Metode Mayerhoff

Metode Mayerhoff (1976) telah menyempurnakan teorinya dengan mempertimbangkan beberapa faktor dalam menentukan daya dukung tanah.

Fektor-faktor tersebut adalah pengaruh kedalaman pondasi, bentuk pondasi, dan kemiringan beban.

Daya dukung ultimate pondasi tiang dinyatakan dengan rumus :

$$Q_{ult} = (q_c \times A_p) + (JHL \times K_{11}) \dots \dots \dots (2.14)$$

dimana :

Q_{ult} = Kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal.

q_c = Tahanan ujung sondir. (kg/cm²)

A_p = Luas penampang tiang. (cm²)

JHL = Jumlah hambatan lekat. (kg/cm)

K_{11} = Keliling tiang. (cm)

Daya dukung ijin pondasi dinyatakan dengan rumus :

$$Q_{ijin} = \frac{q_c \times A_c}{3} + \frac{JHL \times K_{11}}{5} \dots \dots \dots (2.15)$$

dimana :

Q_{ijin} = Kapasitas daya dukung ijin pondasi.

q_c = Tahanan ujung sondir.

A_p = Luas penampang tiang.

JHL = Jumlah hambatan lekat.

K_{11} = Keliling tiang

2.10 Berdasarkan Bacaan Manometer Alat Hydraulic Jack

Kapasitas daya dukung tiang pancang dapat diketahui berdasarkan bacaan manometer yang tersedia pada alat pancang hydraulic jack. Kapasitas daya dukung tiang dapat dihitung dengan rumus :

$$Q = P \times A \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan :

Q = Daya dukung tiang pada saat pemancangan (ton)

P = Bacaan manometer (kg/cm²)

A = Total luas efektif penampang piston (cm²)

Pada setiap mesin mempunyai dua buah piston.

Untuk mesin kapasitas 320 ton:

Diameter piston hydraulic jack (1) = 180 mm

(2) = 220 mm = 22 cm

Luas penampang piston (1) = πr^2
= $\pi \cdot 9^2 \text{ cm} = 254,57 \text{ cm}^2$

Luas penampang piston (2) = $\pi \cdot 11^2 \text{ cm} = 380,28 \text{ cm}^2$

Total luas efektif penampang piston = $(2 \times 254,57) + (2 \times 380,28)$
= $1269,7 \text{ cm}^2$

2.11 Daya Dukung Kelompok Tiang

Kelompok tiang merupakan kumpulan dari beberapa tiang, yang bekerja sebagai satu kesatuan. Kelompok tiang atau bisa dikenal dengan pile group. Diatas pile group biasanya diletakkan suatu poer (footing) yang mempersatukan kelompok tiang tersebut. (sardjono, 1991).

Kapasitas kelompok tiang tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang berada dalam kelompoknya. Hal ini dapat terjadi jika tiang pancang dalam lapisan pendukung yang mudah mampat atau dipancang pada lapisan tanah yang tidak muda mampat, namun dibawahnya terdapat lapisan lunak.

Stabilitas kelompok tiang-tiang tergantung dari dua hal, yaitu:

1. Kemampuan tanah di sekitar cian di bawah kelompok tiang untuk mendukung beban total struktur.
2. Pengaruh konsolidasi tanah yang terletak di bawah kelompok tiang.

Untuk menghitung besarnya kapasitas dukung kelompok tiang, ada beberapa hal yang harus diperhatikan terlebih dahulu, yaitu jumlah tiang dalam satu kelompok, jarak tiang, dan efisiensi kelompok tiang

2.11.1 Jumlah Tiang

Untuk menentukan jumlah tiang yang akan dipasang didasarkan beban yang bekerja pada pondasi dan kapasitas dukung ijin tiang, maka rumus yang dipakai adalah sebagai berikut ini:

$$n = p/Qa.....(2.17)$$

Dimana :

P = beban yang bekerja (kN)

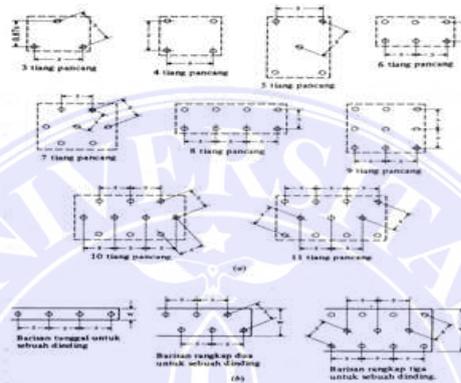
Qa = kapasitas dukung ijin tiang tunggal (kN)

2.11.2 Jarak Tiang (s)

Jarak tiang (s) Jarak antar tiang pancang di dalam kelompok tiang sangat mempengaruhi perhitungan kapasitas dukung dari kelompok tiang tersebut. Untuk bekerja sebagai kelompok tiang, jarak antar tiang yang dipakai adalah menurut peraturan-peraturan bangunan pada daerah masing-masing. Pada prinsipnya jarak tiang (s) makin rapat, ukuran pilecap makin kecil dan secara tidak langsung biaya lebih murah. Tetapi bila pondasi memikul beban momen maka jarak tiang perlu diperbesar yang berarti menambah atau memperbesar tahanan momen (K. Basah Suryolelono 1994).

2.11.3 Susunan Tiang

Susunan tiang sangat berpengaruh terhadap luas denah pilecap, yang secara tidak langsung tergantung dari jarak tiang. Bila jarak tiang kurang teratur atau terlalu lebar, maka luas denah pilecap akan bertambah besar dan berakibat volume beton menjadi bertambah besar sehingga biaya konstruksi membengkak (K. Basah Suryolelono, 1994).



Gambar 2.10: Contoh susunan tiang
Sumber. Bowles, 1991

2.11.4 Kapasitas Kelompok dan Efisiensi Tiang Pancang

Efisiensi kelompok tiang adalah perbandingan kapasitas kelompok terhadap jumlah kapasitas masing – masing tiang dalam satu *pile cap*.

Menurut Coduto (1983), efisiensi tiang bergantung pada beberapa faktor, yaitu :

- a. Jumlah, panjang, diameter, susunan dan jarak tiang.
- b. Model transfer beban (tahanan gesek terhadap tahanan dukung ujung).
- c. Prosedur pelaksanaan pemasangan tiang.
- d. Urutan pemasangan tiang.
- e. Macam tanah.
- f. Waktu setelah pemasangan.
- g. Interaksi antara pelat penutup tiang (*pile cap*) dengan tanah.

h. Arah dari beban yang bekerja.

Kapasitas ultimit kelompok tiang dengan memperlihatkan faktor efisiensi tiang dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_a \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana:

Q_g = Beban maksimum kelompok tiang yang mengakibatkan keruntuhan

E_g = Efisiensi kelompok tiang

n = Jumlah tiang dalam kelompok

Q_a = Beban maksimum tiang tunggal

Persamaan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang adalah sebagai berikut :

A. Converse – Lebarre

$$E_g = 1 - \theta \left((n - 1)m + (m - 1)n \right) / 90mn \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana :

E_g = Efisiensi kelompok tiang

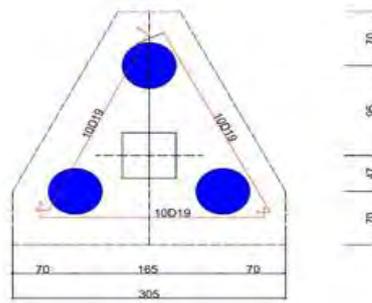
θ = arc tg d/s, (°)

m = Jumlah baris tiang

n = Jumlah tiang dalam satu baris

d = Diameter tiang (m)

s = Jarak pusat ke pusat tiang (m)



Gambar 2.11: Baris Tiang Kelompok,
Sumber: Dokumentasi Lapangan, 2022

B. Los Angeles Group – Action Formula

$$E_g = 1 - D/(\pi \cdot s \cdot m)[m \cdot (n - 1) + s\sqrt{(2(m - 1)(n - 1))}] \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana :

E_g = Efisiensi kelompok tiang

m = jumlah baris tiang

n = jumlah tiang dalam satu baris

D = diameter tiang (m)

s = jarak pusat ke pusat tiang (m)

2.12 Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang Pada Tanah Pasir

Pemancangan tiang ke dalam tanah granuler (pasir dan kerikil) menyebabkan tanah di sekitar tiang pada radius paling sedikit 3 kali diameter tiang memadat. Jika tiang-tiang dipancang berkelompok, tanah yang berada di area kelompok tiang, akan mempunyai kepadatan tinggi. Bila kelompok tiang ini dibebani, tiang-tiang dan tanah yang terletak di antaranya akan bergerak bersama-sama sebagai satu

kesatuan. Jadi, dalam hal ini, kelompok tiang berkelakuan seperti pondasi rakit dengan luas dasar yang sama dengan luas kelompok tiang.

Pada pondasi tiang pancang, tahanan gesek maupun tahanan ujung dengan $s \geq 3d$, maka kapasitas dukung kelompok tiang diambil sama besarnya dengan jumlah kapasitas dukung tiang tunggal ($E_g = 1$). Dengan menggunakan rumus yaitu:

$$Q_g = n \cdot Q_a \dots \dots \dots (2.21)$$

Sedangkan pada pondasi tiang pancang, tahanan gesek dengan $s < 3d$ maka faktor efisiensi ikut menentukan.

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot E \dots \dots \dots (2.22)$$

Dimana :

Q_g = Beban maksimum kelompok tiang (KN)

E_g = efisiensi kelompok tiang

n = jumlah tiang dalam kelompok

Q_a = kapasitas dukung ijin tiang (KN)

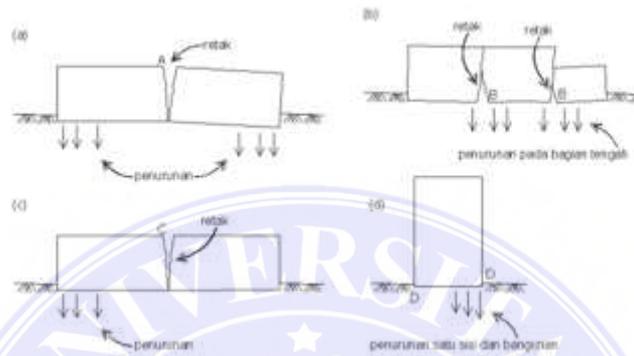
2.13 Penurunan Tiang

Penurunan tiang pada kelompok tiang merupakan jumlah penurunan elastis atau penurunan yang terjadi dalam waktu dekat (*immediate settlement atau elastic settlement*) S_i dan penurunan yang terjadi dalam jangka waktu yang panjang (*long term consolidation settlement*) S_c , (Anugrah Pamungkas dan Erny Harianti, 2002).

Dalam bidang teknik sipil ada dua hal yang perlu diketahui mengenai penurunan, yaitu:

- a. Besarnya penurunan yang akan terjadi.
- b. Kecepatan penurunan.

Istilah penurunan (*settlement*) digunakan untuk menunjukkan gerakan titik tertentu pada bangunan terhadap titik referensi yang tetap. Umumnya, penurunan yang tidak seragam lebih membahayakan bangunan dari pada penurunan totalnya. Contoh-contoh bentuk penurunan dapat dilihat pada Gambar 2.11



Gambar : 2. 12. contoh kerusakan bangunan akibat penurunan

- a. Pada gambar (a), dapat diperhatikan jika tepi bangunan turun lebih besar dari bagian tengahnya, bangunan diperkirakan akan retak-retak pada bagian tengahnya.
- b. Pada gambar (b), jika bagian tengah bangunan turun lebih besar, bagian atas bangunan dalam kondisi tertekan dan bagian bawah tertarik. Bila deformasi yang terjadi sangat besar, tegangan tarik yang berkembang dibawah bangunan dapat mengakibatkan retakan-retakan.
- c. Pada gambar (c), penurunan satu tepi/sisi dapat berakibat keretakan pada bagian c.
- d. Pada gambar (d), penurunan terjadi berangsur-angsur dari salah satu tepi bangunan, yang berakibat miringnya bangunan tanpa terjadi keretakan pada bagian bangunan.

2.13.1 Perkiraan penurunan tiang tunggal

Menurut Poulus dan Davis (1980) penurunan jangka panjang untuk pondasi tiang tunggal tidak perlu ditinjau karena penurunan tiang akibat konsolidasi dari tanah relatif kecil. Hal ini disebabkan karena pondasi tiang direncanakan terhadap kuat dukung ujung dan kuat dukung friksinya atau penjumlahan dari keduanya (Hardiyatmo, 2002).

Perkiraan penurunan tiang tunggal dapat dihitung berdasarkan:

- a. Untuk tiang apung atau tiang friksi

$$S = \frac{Q \cdot l}{E_s \cdot D} \dots \dots \dots (2.24)$$

dimana : $I = I_o \cdot R_k \cdot R_h \cdot R_\mu$

- b. Untuk tiang dukung ujung

$$S = \frac{Q \cdot l}{E_s \cdot D} \dots \dots \dots (2.25)$$

dimana : $I = I_o \cdot R_k \cdot R_b \cdot R_\mu$

dengan :

S = Penurunan untuk tiang tunggal.

Q = Beban yang bekerja I

I_o = Faktor pengaruh penurunan untuk tiang yang tidak mudah mampat (Gambar 2.7).

R_k = Faktor koreksi kemudah mampatan tiang (Gambar 2.8).

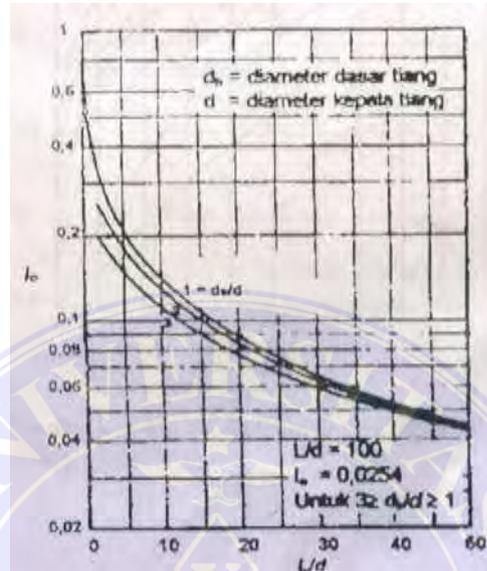
R_h = Faktor koreksi untuk ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras (Gambar 2.9).

R_μ = Faktor koreksi angka Poisson μ (Gambar 2.10).

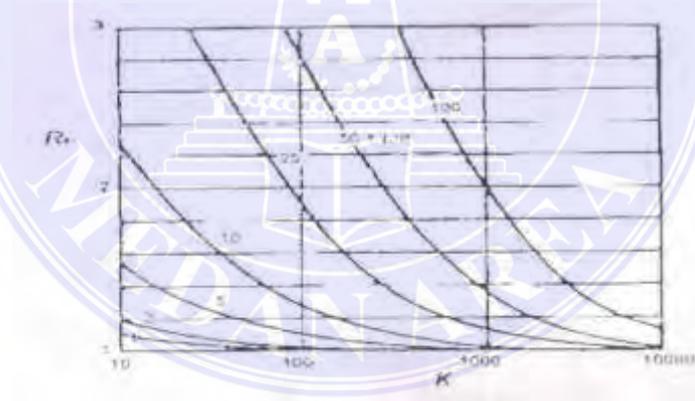
R_b = Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung (Gambar 2.11).

H = Kedalaman total lapisan tanah dari ujung tiang ke muka tanah.

D = Diameter tiang

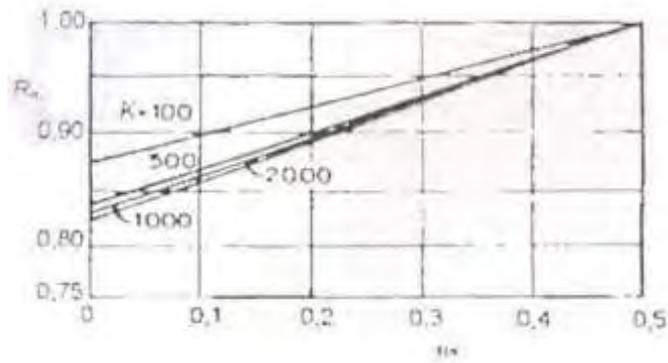


Gambar : 2.13 Faktor penurunan I_o (Poulos dan Davis)



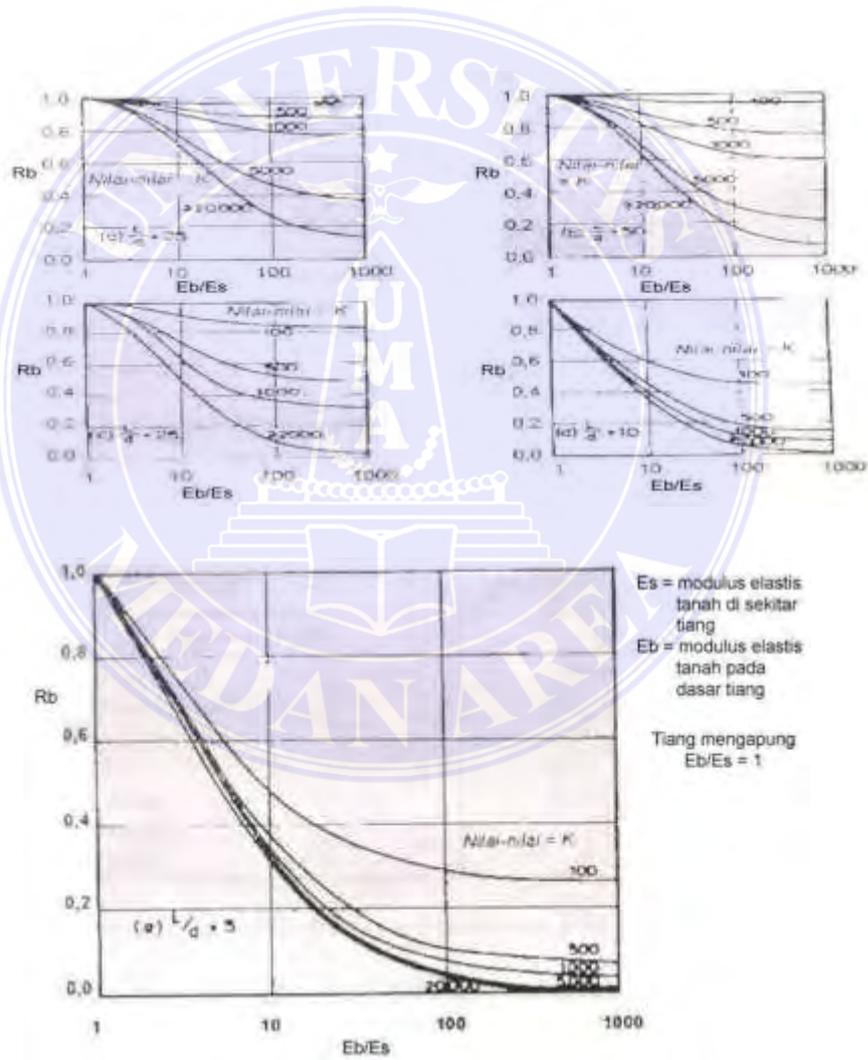
Gambar : 2.14: Koreksi kompresi, R_k

Sumber: Poulos dan Davis



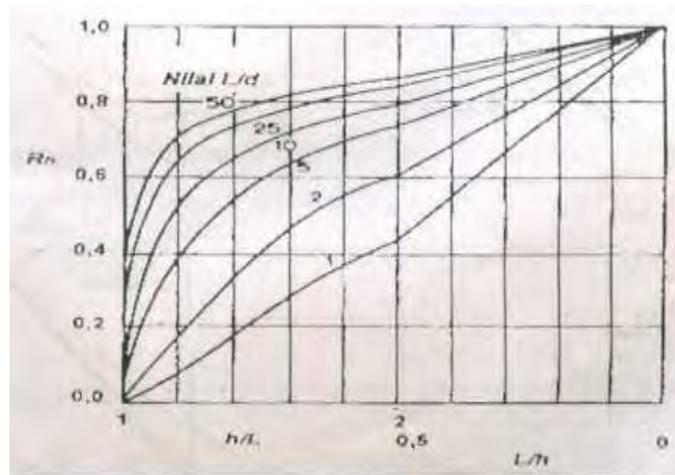
Gambar : 2. 15 Koreksi kedalaman, R_h

Sumber: Poulos dan Davis



Gambar : 2.16 Koreksi kekakuan lapisan pendukung, R_b

Sumber : Poulos dan Davis



Gambar : 2.17 Koreksi angka Poisson, R_{μ}

Sumber : Hardiyatmo, H.C., 2002

Pada Gambar 2.12, 2.13, dan 2.14, K adalah suatu ukuran kompresibilitas relatif dari tiang dan tanah yang dinyatakan oleh persamaan :

$$K = \frac{E_p \cdot RA}{E_s} \dots \dots \dots (2.26)$$

Dimana: $RA = \frac{A_p}{\frac{1}{4\pi} \cdot d^2}$

Dengan:

K = Faktor kekakuan tiang.

E_p = Modulus elastisitas dari bahan tiang.

E_s = Modulus elastisitas tanah disekitar tiang.

E_b = Modulus elastisitas tanah didasar tiang.

Perkiraan angka Poisson (μ) dapat dilihat pada Tabel 2. Terzaghi menyarankan nilai $\mu = 0,3$ untuk tanah pasir, $\mu = 0,4$ sampai $0,43$ untuk tanah lempung.

Umumnya, banyak digunakan $\mu = 0,3$ sampai $0,35$ untuk tanah pasir dan $\mu = 0,4$ sampai $0,5$ untuk tanah lempung.

Tabel 2.6 Perkiraan angka poisson (μ) (Hardiyatmo. H.C., 1996)

Macam Tanah	μ
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir padat	0,2 – 0,4
Pasir kasar	0,15
Pasir halus	0,25

Berbagai metode tersedia untuk menentukan nilai modulus elastisitas tanah (E_s), antara lain dengan percobaan langsung ditempat yaitu dengan menggunakan data hasil pengujian kerucut statis (sondir). Karena nilai laboratorium dari E_s tidak sangat baik dan mahal untuk mendapatkan (Bowles, 1977). Bowles memberikan persamaan yang dihasilkan dari pengumpulan data pengujian kerucut statis (sondir), sebagai berikut:

$$E_s = 3q_c \text{ (untuk pasir)..... (2.27)}$$

$$E_s = 2 \text{ sampai } 8q_c \text{ (untuk lempung)..... (2.28)}$$

Dari analisa yang dilakukan secara mendetail oleh Meyerhoff, untuk nilai modulus elastisitas tanah dibawah ujung tiang (E_b) kira-kira 5-10 kali harga modulus elastisitas tanah di sepanjang tiang (E_s).

Rumus untuk penurunan tiang elastis adalah :

$$S = \frac{(Q + \xi Q_s)L}{A.E.p} \dots\dots\dots(2.29)$$

Dimana:

Q = Beban yang bekerja

Qs = Tahanan gesek

ξ = Koefisien dari skin friction

Ep = Modulus elastisitas

Nilai ξ tergantung kepada unit tahanan friksi (kulit) alami pada sepanjang tiang terpancang di dalam tanah. Nilai $\xi = 0,5$ adalah dimana bentuk unit tahanan friksi (kulit) alaminya berbentuk seragam atau simetris, seperti persegi panjang maupun parabolic seragam, umumnya pada tanah lempung atau lanau. Nilai $\xi = 0,67$ adalah jika bentuk unit tahanan friksi (kulit) alaminya berbentuk segitiga, umumnya pada tanah pasir.

2.14 Faktor Keamanan

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit tiang dengan faktor aman tertentu. Faktor aman ini perlu diberikan dengan maksud:

- A. Untuk memberikan keamanan terhadap ketidak pastian metode hitungan yang digunakan
- B. Untuk memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah.

- C. Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
- D. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas-batas toleransi.
- E. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam di antara tiang-tiang masih dalam batas-batas toleransi.

Sehubungan dengan alasan butir (d), dari hasil banyak pengujian-pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang bor yang berdiameter kecil sampai sedang (600 mm), penurunan akibat beban kerja (*working load*) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2,5 (Tomlinson, 1977).

Besarnya beban bekerja (*working load*) atau kapasitas tiang izin dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimit (Q_u) dibagi dengan faktor aman (F) yang sesuai. Variasi besarnya faktor aman yang telah banyak digunakan untuk perancangan pondasi tiang, tergantung pada jenis tiang dan tanah berdasarkan data laboratorium sebagai berikut:

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \dots \dots \dots (2.30)$$

Beberapa peneliti seperti Reese dan O'Neill (1989) menyarankan faktor keamanan yang tidak sama untuk tahanan gesek dinding dan tahanan ujung. Kapasitas izin dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$Q_a = \frac{Q_b}{3} + \frac{Q_s}{1,5} \dots \dots \dots (2.31)$$

Reese dan O'Neill (1989) menyarankan pemilihan faktor aman (F) untuk perancangan pondasi tiang. Faktor-faktor yang dipertimbangkan sebagai berikut:

- a. Tipe dan kepentingan dari struktur.
- b. Variabilitas tanah (tanah tidak uniform).

- c. Ketelitian penyelidikan tanah.
- d. Tipe dan jumlah uji tanah yang dilakukan.
- e. Ketersediaan data di tempat (uji beban tiang).
- f. Pengawasan/kontrol kualitas di lapangan.
- g. Kemungkinan beban desain aktual yang terjadi selama beban layanan struktur.

Tabel .2.7. Faktor aman yang disarankan (Reese dan O'Neill,1989)

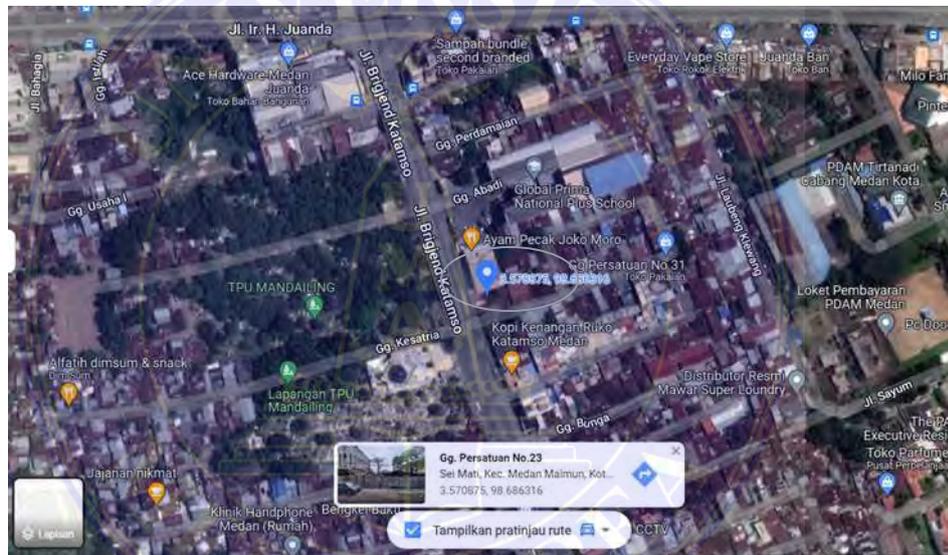
Klasifikasi Struktru	Faktro Aman (F)			
	Kontrol baik	Kontrol normal	Kontrol jelek	Kotnrol sangat jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2,0	2,3	2,8

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Jl. Brigjend Katamso, Kec. Medan Maimun, Kota Medan, Sumatera Utara. Adapun titik penelitian pada proyek Pembangunan Rumah Sakit Regina Medan. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1, dibawah ini:



Gambar 3.1: Lokasi Penelitian.
Sumber: google Maps, 2022

3.2 Data Teknis Proyek

Data Umum

- | | |
|-------------------------|----------------------------------|
| 4. Nama Proyek | : Rumah Sakit Regina Maris Medan |
| 5. Owner | : PT. Regina Mandiri Husada |
| 6. Konsultan Mk | : PT. Cremona Para Mitra |
| 7. Kontraktor Pelaksana | : PT. Prima Abadi Jaya Medan |

8. Lokasi : Jl. Brigjen Katamso No. 403-405, Medan
Maimun
9. Infastruktur : Pembangunan Rumah Sakit Kelas B di
Medan

Data Struktur

1. Jenis Konstruksi : Gedung Rumah Sakit
2. Jumlah Lantai : 10 Lantai
3. Panjang Bangunan : 66,5 meter
4. Lebar Bangunan : 97 meter

3.3 Langkah Penelitian

Untuk meninjau kembali perhitungan perencanaan pondasi tiang pada proyek pembangunan rumah sakit Medan, penulis akan melakukan survei kelapangan langsung untuk memperoleh data-data yang akan digunakan pada saat perhitungan yaitu antara lain:

3.3.1 Pengumpulan data

Pengumpulan data adalah proses peroses tahap awal untuk pengadaan data primer atau sekunder untuk keperluan penelitian. Pengumpulan data merupakan langkah yang amat penting dalam metode ilmiah, karena pada umumnya data yang dikumpulkan digunakan untuk pengujian hipotesis, pengumpulan data merupakan faktor hal penting demi keberhasilan penelitian. Sumber data adalah mengenai asal data diperoleh, ada yang dari sumber langsung (data primer) dan data tidak langsung (data sekunder).

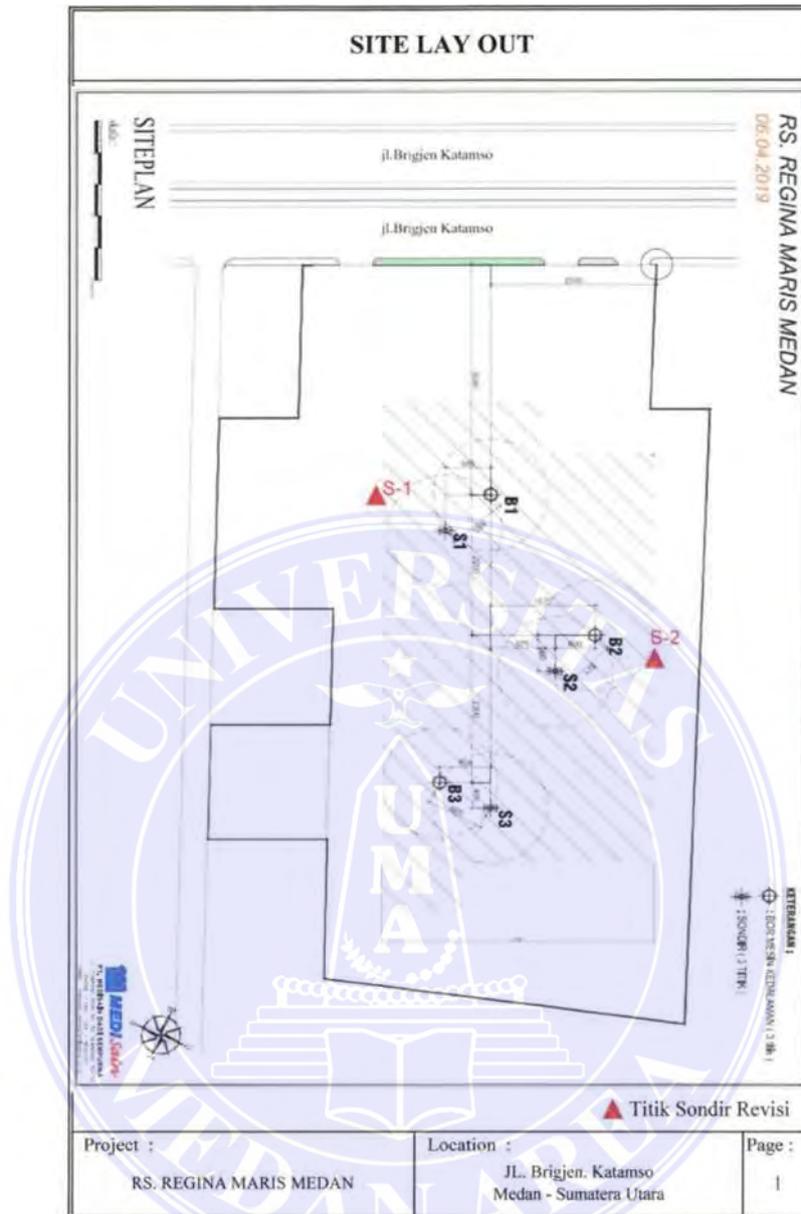
- a. Tahap Pertama adalah melakukan review dan dan study kepustakaan untuk mencari buku dan jurnal-jurnal terkait dengan pondasi tiang, mencari permasalahan pada pondasi tiang, dan pelaksanaan pemancangan tiang.
- b. Tahap kedua adalah meninjau langsung ke lokasi proyek dan menentukan lokasi dimana yang akan dilaksanakan pengambilan data yang dianggap perlu
- c. Tahap ketiga pelaksanaan pengumpulan data-data.

Data yang diperoleh dari proyek adalah:

1. Data hasil sondir
 2. Data *loading test*
 3. Data bacaan manometer dari alat pemancang pondasi.
- d. Tahap keempat adalah mengadakan analisis data dengan menggunakan data-data yang diperoleh berdasarkan metode yang ada.
 - e. Tahap kelima adalah mengadakan analisis terhadap hasil perhitungan yang dilakukan dan membuat kesimpulan.

3.3.2 Layout Titik Sondir Pada Proyek Rumah Sakit Regina Maris Medan

Sondir yang dilaksanakan pada proyek pembangunan rumah sakit regina maris Medan ada 3 (tiga) titik. Adapun titik layout sondir dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawa ini.



Gambar. 3. 2. Site Layout Sondir
Sumber : Dokumentasi Lapangan,2022

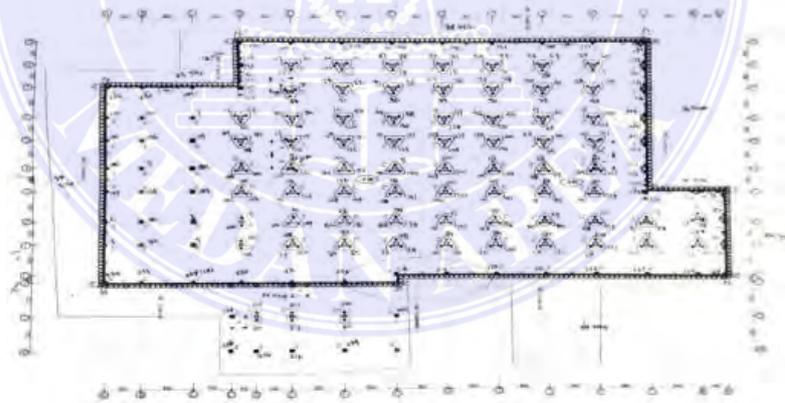
3.3.3 Gambar Proyek Dan Layout Pondasi Bangunan

Gedung rumah sakit regina maris Medan terdiri dari 10 lantai, satu lantai rooftop, dan 2 lantai basement, seperti yang dilihat pada Gambar 3.3, dibawah ini



Gambar 3.3: Gedung Rumah Sakit Regina Maris Medan.
Sumber: Dokumentasi Lapangan,2022

Denah pondasi tiang pancang gedung rumah sakit regina maris Medan, dapat kita lihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4: Layout Pondasi Rumah Sakit Regina Maris Medan.
Sumber : Dokumentasi Lapangan

3.4 Metode Analisi

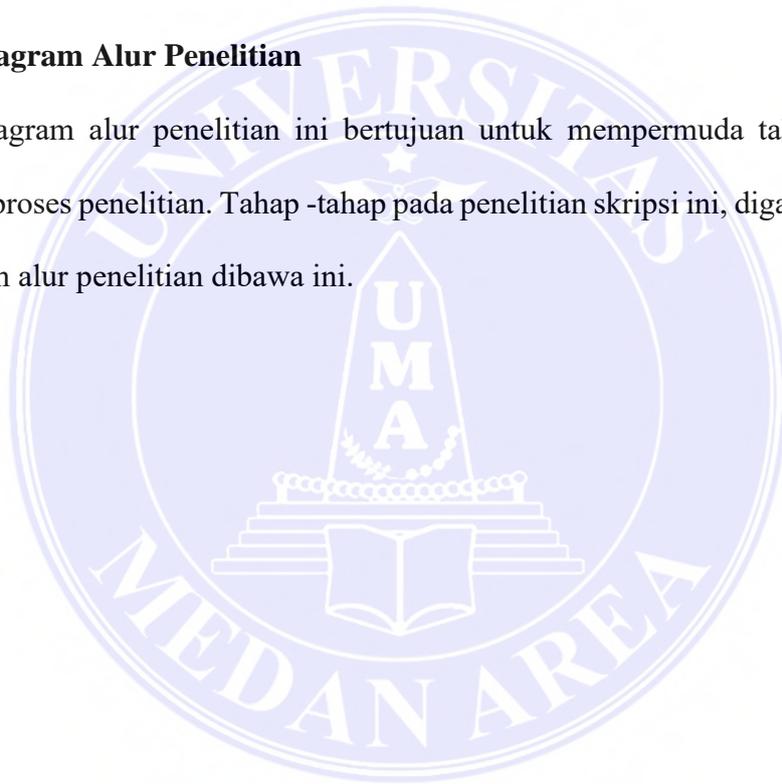
Untuk perhitungan perencanaan daya dukung pondasi tiang pancang ini penulis melakukan langkah-langkah sebagai berikut:

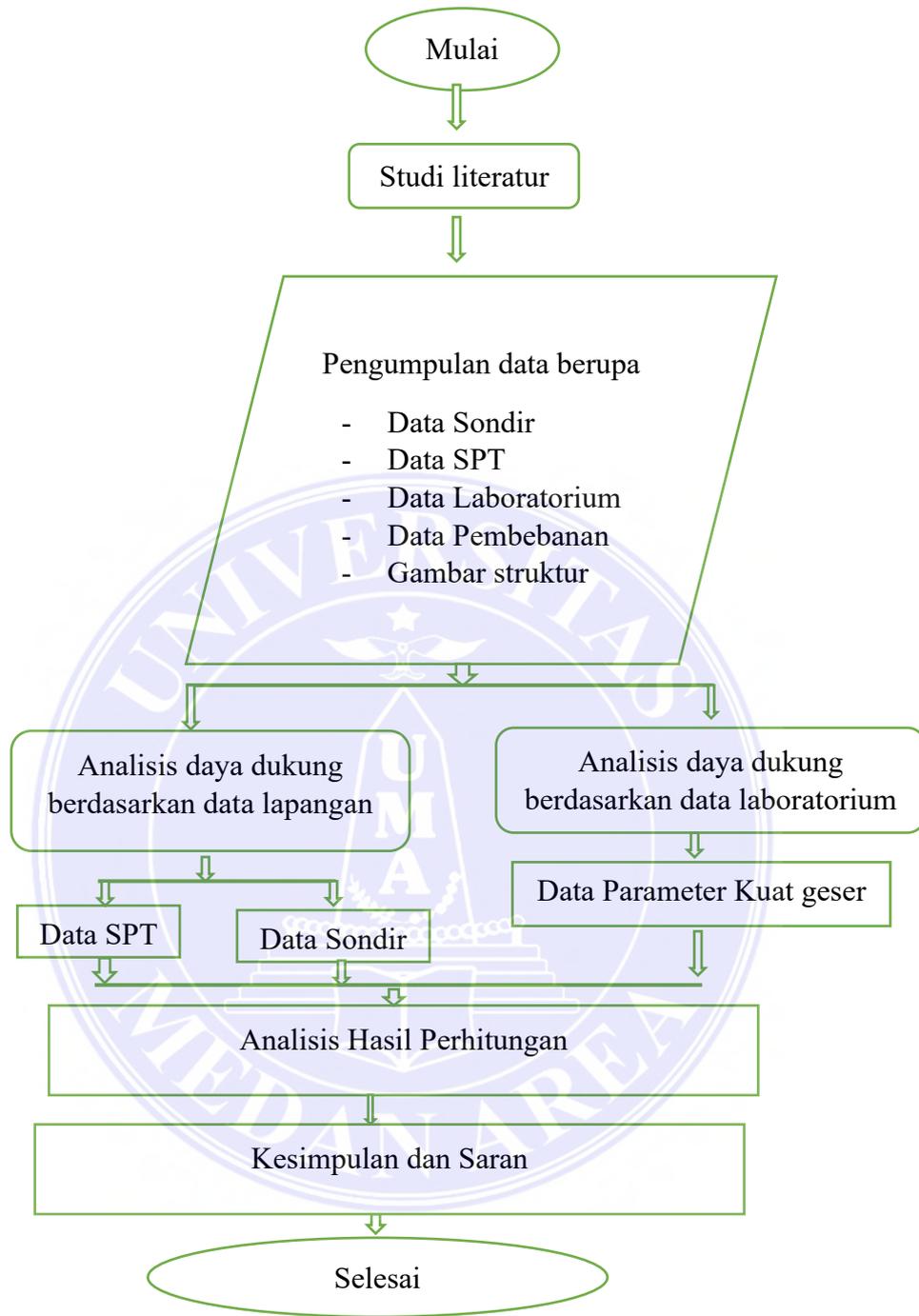
1. Menghitung kapasitas daya dukung tiang pancang antara lain:

- a. Dari data sondir dengan menggunakan metode Aoki dan De Alencar, Mayerhoff.
 - b. Dari data N-SPT dengan menggunakan metode Mayerhoff.
2. Menghitung kapasitas daya dukung pondasi kelompok tiang (*pile grup*) berdasarkan efisiensi dengan metode Converse-Labarre dan metode Los Angeles Group.
 3. Mengitung penurunan pondasi tiang tunggal (*single pile*)

3.5 Diagram Alur Penelitian

Diagram alur penelitian ini bertujuan untuk mempermudah tahapan-tahapan dalam proses penelitian. Tahap -tahap pada penelitian skripsi ini, digambarkan pada diagram alur penelitian dibawa ini.





Gambar 3.5. Bagan Alir Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil perhitungan daya dukung ultimit tiang pada kedalaman 14,00 m berdasarkan data sondir, data SPT, dan data dari bacaan manometer pada saat pemancangan adalah sebagai berikut :

- Dari data sondir Aoki dan De Alencar, $Q_u = 647,56$ ton
- Dari data sondir Mayerhoff, $Q_u = 238,815$ ton
- Dari data SPT, $Q_u = 173,952$ ton
- Dari data bacaan alat hydraulic jack, $Q_u = 288$ ton

Hasil perhitungan daya dukung kapasitas ijin kelompok tiang (*pile group*) berdasarkan efisiensi dengan menggunakan 3 tiang / kelompok :

- Metode Converse Labbare diperoleh kapasitas kelompok ijin tiang ($E_g = 0,761$):
 - Dari data sondir Aoki dan De Alencar, $Q_{ijin} = 647,40$ ton
 - Dari data sondir Mayerhoff, $Q_{ijin} = 596,79$ ton
 - Dari data SPT, $Q_{ijin} = 434,70$ ton
 - Dari data bacaan alat hydraulic jack, $Q_{ijin} = 647,40$ ton
- Metode Los Angeles Group diperoleh kapasitas kelompok ijin tiang ($E_g = 0,565$):
 - Dari data sondir Aoki dan De Alencar, $Q_{ijin} = 394,810$ ton
 - Dari data sondir Mayerhoff, $Q_{ijin} = 363,954$ ton
 - Dari data SPT Mayerhoff, $Q_{ijin} = 265,102$ ton

- Dari data bacaan alat hydraulic jack, $Q_{ijin} = 438,912 \text{ ton}$

Berdasarkan perhitungan daya dukung ultimit tiang pancang tunggal menggunakan hasil data sondir dengan metode Aoki dan De Alencar diperoleh daya dukung pondasi tiang pancang sebesar, $Q_u = 647,56 \text{ ton}$. Berdasarkan perhitungan daya dukung ultimit tiang pancang Group berdasarkan persamaan Converse Labbare dari data sondir menggunakan metode Aoki dan De Alencar sebesar 647,40 Sebab itu pondasi akan dinyatakan aman jika daya dukung pondasi tiang lebih besar dari pada beban-beban yang bekerja pada bangunan Rumah sakit Regina Maris Medan.

5.2 Saran

1. Penyelidikan di lapangan dengan sondir dan SPT untuk perencanaan daya dukung pondasi tiang masih kurang akurat, sehingga masih perlu digunakan alat uji yang lain.
2. Dalam menganalisa daya dukung pondasi lebih baik memakai hasil data manometer karena lebih aktual.

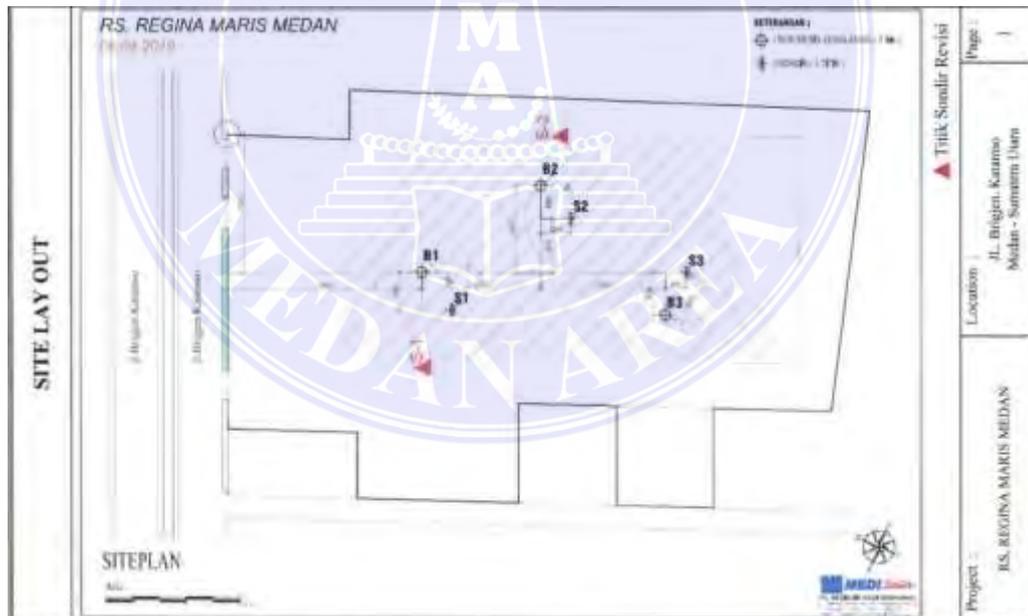
DAFTAR PUSTAKA

- Anggun Riswiyanto. 2019. Study Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Data Sondir Dan Data Kalendering Pada Bangunan Gedung Asrama Blk Provinsi Kalimantan Timur. Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknik Sipil. RISWIYANTO 1:1
- Andi Yusti. 2014. Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diverifikasi Dengan Hasil Uji Pile Driving Analyzer Test Dan Capwap. Jurnal Fropil 2:1
- Bowles J.E., 1991, Analisa dan desain Pondasi, Edisi keempat Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Das M.B., 1991, Principles of Foundation Engineering, Fourth Edition, California State University, Sacramento.
- Braja M Das, Noor Endah Indrasurya, B. Mochtar, Mekanika Tanah Jilid 2.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2003. Teknik Fondasi 2 (Edisi keempat). Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. Mekanika Tanah I (Edisi Ketiga). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2003. Mekanika Tanah II (Edisi Ketiga). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

LAMPIRAN



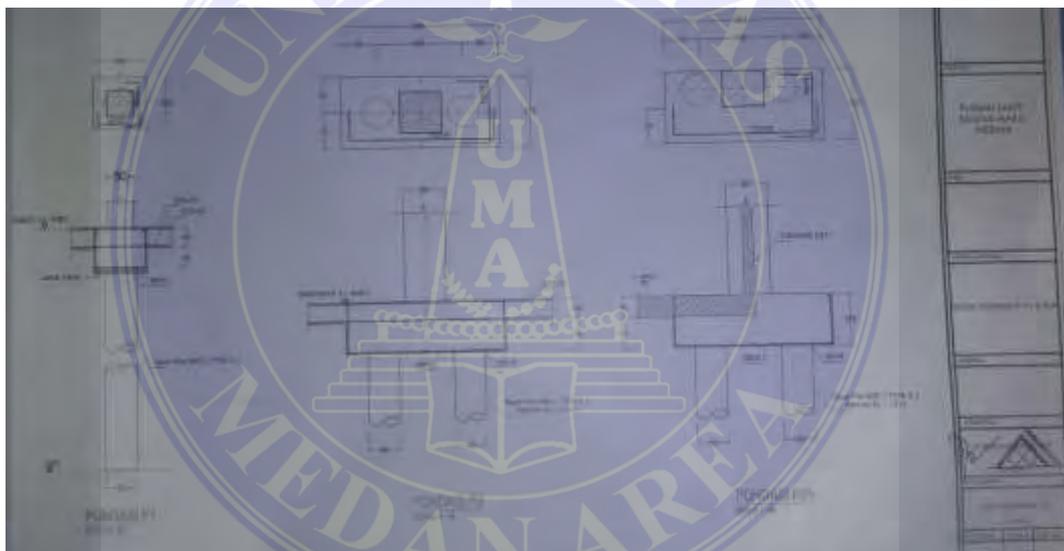
Gambar 1 Potongan Bangunan



Gambar 2 Layout Titik Sondir



Gambar 3 Layout Titik Pondasi Tiang Pancang



Gambar 4 Potongan Pondasi Tiang Pancang



Gambar 5 Dokumentasi Pemancangan Spun Pile



Gambar 6 Dokumentasi Pada Saat Pemancangan Spun Pile

PT. PERCA BUSA WAHANA CONSULTANT					SONDERING TEST (DUTCH CONE PENETRATION TEST)			
Test No : S-2					Capacity : 2.50 ton			
Date : 13 April 2019					Sondering Master : Rianto Manullang			
GWL : - m					Checked By : Ir. Janner Napitupulu			
Coordinate UTM (m) : X = - ; Y = - ; Z = - m								
Depth (m)	Cone Resistant (CR) Kg/Cm ²	Total Resistant (TR) Kg/Cm ²	Skin Friction (SF) Kg/Cm ²	Skin Friction x 20/10 Kg/Cm	Total Skin Friction (TSF) Kg/Cm	Local Skin Friction (LSF) Kg/Cm	Friction Ratio (FR) %	Soil Type (After 1981)
0,00	0	0	0	0	0	0,00	0,00	-
0,20	3	4	1	2	2	0,10	3,33	Clay or Silt
0,40	5	7	2	4	6	0,20	4,00	Clay or Silt
0,60	8	10	2	4	10	0,20	2,50	Clay or Silt
0,80	10	13	3	6	16	0,30	3,00	Clay or Silt
1,00	14	18	4	8	24	0,40	2,86	Clay or Silt
1,20	12	17	5	10	34	0,50	4,17	Clay
1,40	16	23	7	14	48	0,70	4,38	Clay
1,60	19	25	6	12	60	0,60	3,16	Clay or Silt
1,80	15	20	5	10	70	0,50	3,33	Clay or Silt
2,00	9	13	4	8	78	0,40	4,44	Clay
2,20	5	8	3	6	84	0,30	6,00	Clay
2,40	8	12	4	8	92	0,40	5,00	Clay
2,60	6	9	3	6	98	0,30	5,00	Clay
2,80	15	20	5	10	108	0,50	3,33	Clay or Silt
3,00	43	51	8	16	124	0,80	1,86	Sand
3,20	39	46	7	14	138	0,70	1,79	Sand
3,40	34	40	6	12	150	0,60	1,76	Sand
3,60	38	45	7	14	164	0,70	1,84	Sand
3,80	36	43	7	14	178	0,70	1,94	Sand
4,00	39	46	7	14	192	0,70	1,79	Sand
4,20	35	41	6	12	204	0,60	1,71	Sand
4,40	37	44	7	14	218	0,70	1,89	Sand
4,60	32	38	6	12	230	0,60	1,88	Sand
4,80	45	52	7	14	244	0,70	1,56	Sand
5,00	73	83	10	20	264	1,00	1,37	Sand
5,20	78	88	10	20	284	1,00	1,28	Sand
5,40	75	85	10	20	304	1,00	1,33	Sand
5,60	79	89	10	20	324	1,00	1,27	Sand
5,80	87	97	10	20	344	1,00	1,15	Sand
6,00	95	107	12	24	368	1,20	1,26	Sand
6,20	104	115	11	22	390	1,10	1,06	Sand
6,40	112	125	13	26	416	1,30	1,16	Sand
6,60	128	141	13	26	442	1,30	1,02	Sand
Project : RS. REGINA MARIS MEDAN					Location : Jl. Brigjen. Katamso Medan - Sumatera Utara			Page : 6

Gambar 7 Data Sondir Test

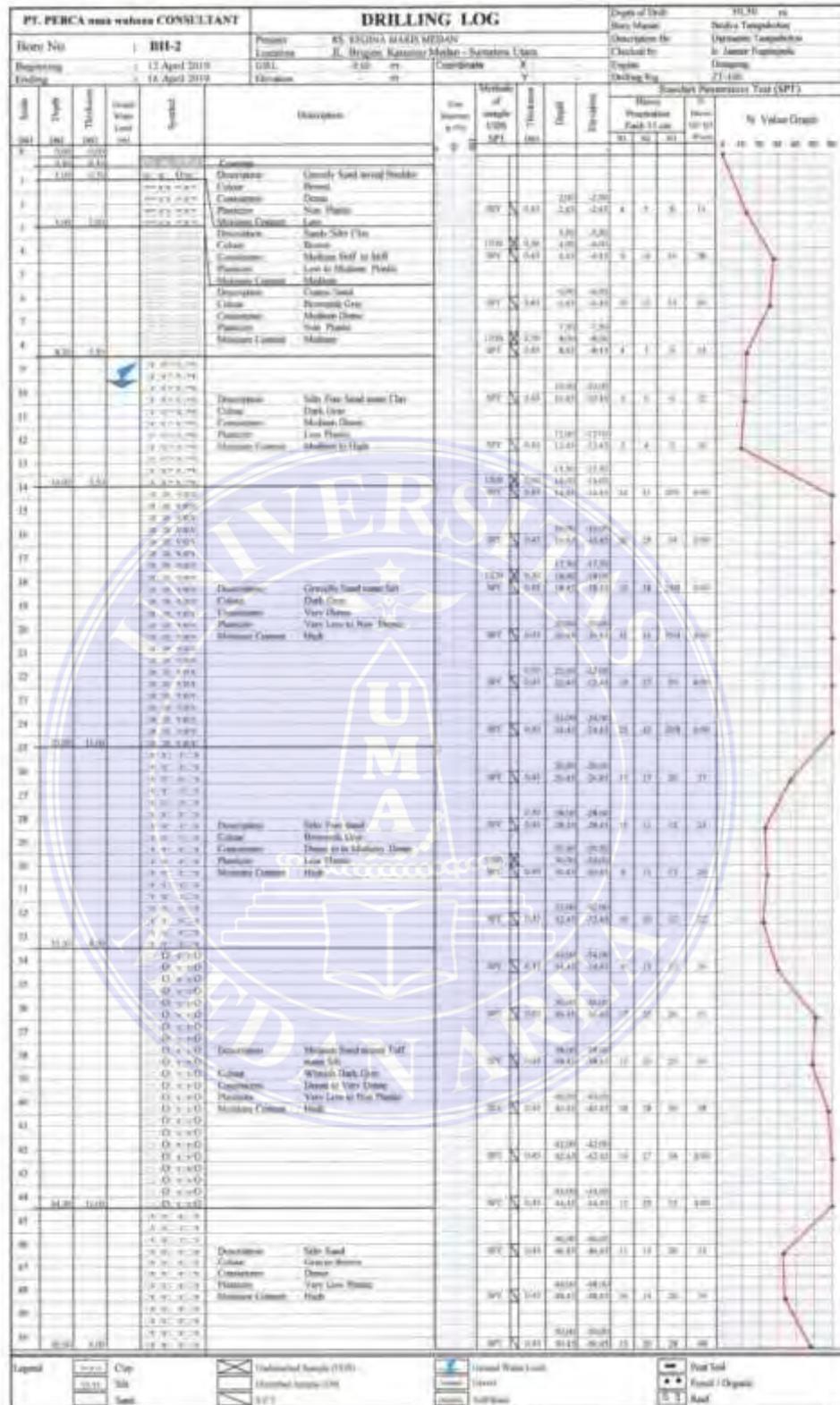
PT. PERCA nusa wahana CONSULTANT				SONDERING TEST (DUTCH CONE PENETRATION TEST)				
Test No : S-2				Capacity : 2.50 ton				
Date : 13 April 2019				Sondering Master : Rianto Manullang				
GWL : - m				Checked By : Ir. Janner Napitupulu				
Coordinate UTM (m) : X = - ; Y = - ; Z = - m								
Depth (m)	Cone Resistant (CR) Kg/Cm ²	Total Resistant (TR) Kg/Cm ²	Skin Friction (SF) Kg/Cm ²	Skin Friction x 20/10 Kg/Cm	Total Skin Friction (TSF) Kg/Cm	Local Skin Friction (LSF) Kg/Cm	Friction Ratio (FR) %	Soil Type (Marr 1981)
6,80	84	94	10	20	462	1,00	1,19	Sand
7,00	72	81	9	18	480	0,90	1,25	Sand
7,20	76	86	10	20	500	1,00	1,32	Sand
7,40	74	83	9	18	518	0,90	1,22	Sand
7,60	79	89	10	20	538	1,00	1,27	Sand
7,80	70	79	9	18	556	0,90	1,29	Sand
8,00	52	59	7	14	570	0,70	1,35	Sand
8,20	57	65	8	16	586	0,80	1,40	Sand
8,40	54	61	7	14	600	0,70	1,30	Sand
8,60	56	63	7	14	614	0,70	1,25	Sand
8,80	59	66	7	14	628	0,70	1,19	Sand
9,00	64	73	9	18	646	0,90	1,41	Sand
9,20	61	70	9	18	664	0,90	1,48	Sand
9,40	67	75	8	16	680	0,80	1,19	Sand
9,60	79	88	9	18	698	0,90	1,14	Sand
9,80	74	82	8	16	714	0,80	1,08	Sand
10,00	76	85	9	18	732	0,90	1,18	Sand
10,20	72	81	9	18	750	0,90	1,25	Sand
10,40	75	85	10	20	770	1,00	1,33	Sand
10,60	81	91	10	20	790	1,00	1,23	Sand
10,80	74	83	9	18	808	0,90	1,22	Sand
11,00	60	68	8	16	824	0,80	1,33	Sand
11,20	63	71	8	16	840	0,80	1,27	Sand
11,40	59	66	7	14	854	0,70	1,19	Sand
11,60	61	70	9	18	872	0,90	1,48	Sand
11,80	58	65	7	14	886	0,70	1,21	Sand
12,00	52	60	8	16	902	0,80	1,54	Sand
12,20	54	62	8	16	918	0,80	1,48	Sand
12,40	49	56	7	14	932	0,70	1,43	Sand
12,60	53	61	8	16	948	0,80	1,51	Sand
12,80	61	70	9	18	966	0,90	1,48	Sand
13,00	74	83	9	18	984	0,90	1,22	Sand
13,20	90	102	12	24	1.008	1,20	1,33	Sand
13,40	122	135	13	26	1.034	1,30	1,07	Sand
Project : RS. REGINA MARIS MEDAN				Location : JL. Brigjen. Katamso Medan - Sumatera Utara				Page : 7

Gambar 8 Data Sondir Test

PT. PERCA nusa wahana CONSULTANT				SONDERING TEST (DUTCH CONE PENETRATION TEST)				
Test No : S-2				Capacity : 2.50 ton				
Date : 13 April 2019				Sondering Master : Rianto Manullang				
GWL : - m				Checked By : Ir. Janner Napitupulu				
Coordinate UTM (m) : X = - ; Y = - ; Z = - m								
Depth (m)	Cone Resistant (CR) Kg/Cm ²	Total Resistant (TR) Kg/Cm ²	Skin Friction (SF) Kg/Cm ²	Skin Friction x 20/10 Kg/Cm	Total Skin Friction (TSF) Kg/Cm	Local Skin Friction (LSF) Kg/Cm	Friction Ratio (FR) %	Soil Type (Marr 1981)
13,60	170	187	17	34	1.068	1,70	1,00	Sand
13,80	192	210	18	36	1.104	1,80	0,94	Sand
14,00	208	225	17	34	1.138	1,70	0,82	Sand
14,20								
14,40								
14,60								
14,80								
15,00								
15,20								
15,40								
15,60								
15,80								
16,00								
16,20								
16,40								
16,60								
16,80								
17,00								
17,20								
17,40								
17,60								
17,80								
18,00								
18,20								
18,40								
18,60								
18,80								
19,00								
19,20								
19,40								
19,60								
19,80								
20,00								
20,20								

Project :	Location :	Page :
RS. REGINA MARIS MEDAN	JL. Brigjen. Katamso Medan - Sumatera Utara	8

Gambar 9 Data Sondir Test



Gambar 10 Data BH 2

Data Bacaan Manometer Pondasi Tiang Pancang D60 cm Pada Saat Pemancangan

No	Tanggal	Pondasi	As Kolom	Terangkat (m)	Kedalaman Tiang Pancang (m)	Dolly	Dolly Kontrak	Daya Dukung (Ton)
1	17 Juli 2020	P3	F'-7(P3-01)	8	8	5	4	260
2	17 Juli 2020	P3	F'-7(P3-02)	8	8	5	4	288
3	17 Juli 2020	P3	F'-7(P3-03)	8	8	5	4	288
4	17 Juli 2020	P3	H-7 (P3-01)	8	8	5	4	288
5	17 Juli 2020	P3	H-7 (P3-02)	8	8	5	4	288
6	17 Juli 2020	P3	H-7 (P3-03)	8	8	5	4	288
7	17 Juli 2020	P3	I-7 (P3-01)	8	8	5	4	288
8	17 Juli 2020	P3	I-7 (P3-02)	8	8	5,2	4	288
9	17 Juli 2020	P3	I-7 (P3-03)	8	8	5	4	288
10	17 Juli 2020	P3	J-7 (P3-01)	10	10	3,5	3,5	288
11	17 Juli 2020	P3	J-7 (P3-02)	10	10	3,2	3,2	288
12	17 Juli 2020	P3	J-7 (P3-03)	10	10	3	3	288
13	17 Juli 2020	P3	K-7 (P3-01)	10	10	4	4	288
14	17 Juli 2020	P3	K-7 (P3-02)	10	10	4,2	4	288
15	17 Juli 2020	P3	K-7 (P3-03)	10	10	3,5	3,5	288
16	18 Juli 2020	P3	I-6 (P3-01)	10	10	3,7	3,7	288
17	18 Juli 2020	P3	I-6 (P3-02)	10	10	3,7	3,7	288
18	18 Juli 2020	P3	H-6 (P3-02)	8	8	5	4	288
19	18 Juli 2020	P3	F'-6 (P3-01)	8	8	5,5	4	288
20	18 Juli 2020	P3	F'-6 (P3-02)	8	8	5	4	288
21	18 Juli 2020	P3	F-6 (P3-01)	8	8	5	4	288
22	18 Juli 2020	P3	F-7 (P3-01)	8	8	5	4	288
23	18 Juli 2020	P3	F-7 (P3-02)	8	8	5	4	288
24	18 Juli 2020	P3	F-7 (P3-03)	8	8	5	4	288
25	18 Juli 2020	P3	I-8 (P3-02)	8	8	5	4	288
26	18 Juli 2020	P3	I-8 (P3-03)	8	8	5	4	288
27	18 Juli 2020	P3	J-8 (P3-01)	10	10	3	3	288
28	18 Juli 2020	P3	J-8 (P3-02)	10	10	3,3	3,3	288
29	19 Juli 2020	P3	J-8 (P3-03)	10	10	3	3	288
30	19 Juli 2020	P3	K-8 (P3-02)	10	10	3,5	3,5	288
31	19 Juli 2020	P3	K-8 (P3-03)	10	10	2,5	2,5	288
32	19 Juli 2020	P3	J-6 (P3-02)	10	10	4,3	4	288
33	19 Juli 2020	P3	J-6 (P3-03)	10	10	4	4	288
34	19 Juli 2020	P3	J-5 (P3-01)	10	10	4,3	4	288
35	19 Juli 2020	P3	J-5 (P3-02)	10	10	3,3	3,3	288
36	20 Juli 2020	P3	J-5 (P3-03)	10	10	4,5	4	288
37	20 Juli 2020	P3	J-4 (P3-01)	10	10	4	4	288
38	20 Juli 2020	P3	J-4 (P3-02)	10	10	4,2	4	288
39	20 Juli 2020	P3	J-4 (P3-03)	10	10	4	4	288
40	20 Juli 2020	P3	J-3(P3-01)	10	10	2,5	2,5	288

41	20 Juli 2020	P3	J-3(P3-02)	10	10	3	3	288
42	20 Juli 2020	P3	J-3(P3-03)	10	10	3	3	288
43	20 Juli 2020	P3	L-2 (P3-02)	10	10	5	4	288
44	20 Juli 2020	P3	L-2 (P3-03)	10	10	5	4	288
45	20 Juli 2020	P3	J-2 (P3-02)	10	10	3,5	3,5	288
46	20 Juli 2020	P3	J-2 (P3-03)	10	10	3,8	3,8	288
47	20 Juli 2020	P3	I-2 (P3-01)	10	10	3	3	288
48	21 Juli 2020	P3	F'-1 (P3-02)	8	8	4,5	4	288
49	21 Juli 2020	P3	F'-1 (P3-03)	8	8	4,7	4	288
50	21 Juli 2020	P3	F'-2 (P3-01)	8	8	5,3	4	288
51	21 Juli 2020	P3	F'-2 (P3-02)	8	8	5,5	4	288
52	21 Juli 2020	P3	F-2 (P3-02)	8	8	5	4	288
53	21 Juli 2020	P3	F-2 (P3-03)	8	8	5	4	288
54	21 Juli 2020	P3	F-1 (P3-01)	8	8	5	4	288
55	21 Juli 2020	P3	F-1 (P3-02)	8	8	4	4	288
56	21 Juli 2020	P3	F-1 (P3-03)	8	8	4,6	4	288
57	29 Juli 2020	P3	F'-8 (P3-02)	8	8	4,7	4	288
58	29 Juli 2020	P3	F'-8 (P3-03)	8	8	4,5	4	288
59	29 Juli 2020	P3	H-8 (P3-02)	8	8	4,5	4	288
60	29 Juli 2020	P3	H-8 (P3-03)	8	8	4,5	4	288
61	29 Juli 2020	P3	E-7 (P3-01)	8	8	5	4	288
62	29 Juli 2020	P3	E-7 (P3-02)	8	8	5	4	288
63	29 Juli 2020	P3	E-7 (P3-03)	8	8	5	4	288
64	29 Juli 2020	P3	E-6 (P3-02)	8	8	5	4	288
65	29 Juli 2020	P3	E-6 (P3-03)	8	8	5,2	4	288
66	29 Juli 2020	P3	D-5 (P3-01)	8	8	5	4	288
67	29 Juli 2020	P3	D-5 (P3-02)	8	8	5	4	288
68	29 Juli 2020	P3	D-4 (P3-03)	8	8	5	4	288
69	29 Juli 2020	P3	D-4 (P3-02)	8	8	5	4	288
70	29 Juli 2020	P3	D-4 (P3-03)	8	8	5	4	288
71	29 Juli 2020	P3	D-3 (P3-01)	8	8	5	4	288
72	29 Juli 2020	P3	D-3 (P3-02)	8	8	5	4	288
73	29 Juli 2020	P3	D-3 (P3-03)	8	8	5	4	288
74	30 Juli 2020	P2	D-2 (P2-02)	8	8	5	4	288
75	30 Juli 2020	P2	D-1 (P2-01)	8	8	5	4	288
76	30 Juli 2020	P2	D-1 (P2-02)	8	8	4,7	4	288
77	30 Juli 2020	P3	E-1 (P3-02)	8	8	4,7	4	288
78	30 Juli 2020	P3	E-1 (P3-03)	8	8	4,5	4	288
79	30 Juli 2020	P3	E-2 (P3-01)	8	8	5	4	288
80	30 Juli 2020	P3	E-2 (P3-02)	8	8	4,5	4	288
81	30 Juli 2020	P3	E-2 (P3-03)	8	8	5	4	288
82	30 Juli 2020	P3	E-3 (P3-01)	8	8	4,7	4	288
83	30 Juli 2020	P3	E-3 (P3-02)	8	8	5	4	288
84	30 Juli 2020	P3	E-3 (P3-03)	8	8	4,5	4	288
85	30 Juli 2020	P3	E-5 (P3-01)	8	8	5	4	288
86	30 Juli 2020	P3	E-5 (P3-02)	8	8	5	4	288

87	30 Juli 2020	P3	D-6 (P3-03)	8	8	5	4	288
88	30 Juli 2020	P3	E-5 (P3-02)	8	8	5	4	288
89	01 Agustus 2020	P3	F-6 (P3-03)	8	8	5	4	288
90	01 Agustus 2020	P3	F-5 (P3-01)	8	8	5	4	288
91	01 Agustus 2020	P3	F-5 (P3-02)	8	8	5	4	288
92	01 Agustus 2020	P3	F-5 (P3-03)	8	8	5	4	288
93	01 Agustus 2020	P3	F-4 (P3-01)	8	8	5	4	288
94	01 Agustus 2020	P3	F-4 (P3-02)	8	8	5	4	288
95	01 Agustus 2020	P3	F-4 (P3-03)	8	8	5	4	288
96	01 Agustus 2020	P3	F-3 (P3-01)	8	8	5	4	288
97	01 Agustus 2020	P3	F-3 (P3-02)	8	8	5	4	288
98	01 Agustus 2020	P3	F-3 (P3-03)	8	8	5	4	288
99	01 Agustus 2020	P3	F'-6 (P3-03)	8	8	5	4	288
100	01 Agustus 2020	P3	F'-5 (P3-01)	8	8	5	4	288
101	01 Agustus 2020	P3	F'-5 (P3-02)	8	8	5	4	288
102	01 Agustus 2020	P3	F'-5 (P3-03)	8	8	5	4	288
103	01 Agustus 2020	P3	F'-4 (P3-02)	8	8	5	4	288
104	01 Agustus 2020	P3	F'-4 (P3-03)	8	8	4,5	4	288
105	01 Agustus 2020	P3	F'-3 (P3-01)	8	8	5	4	288
106	01 Agustus 2020	P3	F'-3 (P3-02)	8	8	5	4	288
107	01 Agustus 2020	P3	F'-3 (P3-03)	8	8	5	4	288
108	02 Agustus 2020	P3	F'-2 (P3-03)	8	8	5	4	288
109	11 Agustus 2020	P3	L/1-P3	10	10	3,5	3,5	288
110	11 Agustus 2020	P3	L/1-P3	10	10	3,5	3,5	288
111	11 Agustus 2020	P3	L/1-P3	10	10	4	4	288
112	11 Agustus 2020	P3	M/1-P3	10	10	5,7	4	288
113	11 Agustus 2020	P3	M/1-P3	10	10	5,5	4	288
114	11 Agustus 2020	P2	N/1-P2	10	10	2,5	2,5	288
115	11 Agustus 2020	P2	N/1-P2	10	10	2,5	2,5	288
116	11 Agustus 2020	P2	N/2-P2	10	10	2,7	2,7	288
117	11 Agustus 2020	P2	N/2-P2	10	10	2,5	2,5	288
118	11 Agustus 2020	P3	M/2-P3	10	10	4,5	4	288
119	11 Agustus 2020	P3	M/2-P3	10	10	3,7	3,7	288
120	11 Agustus 2020	P3	M/2-P3	10	10	4,5	4	288
121	11 Agustus 2020	P2	N/3-P2	10	10	2,5	2,5	288
122	11 Agustus 2020	P2	N/3-P2	10	10	2,5	2,5	288
123	11 Agustus 2020	P2	M/3-P2	10	10	3	3	288
124	11 Agustus 2020	P2	M/3-P2	10	10	2,5	2,5	288
125	11 Agustus 2020	P3	K/2-P3	10	10	5,3	4	288
126	11 Agustus 2020	P3	K/2-P3	10	10	3,5	3,5	288
127	11 Agustus 2020	P3	K/2-P3	10	10	3,5	3,5	288
128	11 Agustus 2020	P3	I/2-P3	10	10	5	4	288
129	12 Agustus 2020	P3	D/6-P3	8	8	5	4	288
130	12 Agustus 2020	P3	D/6-P3	8	8	5	4	288
131	12 Agustus 2020	P3	D/6-P3	8	8	2	2	288
132	12 Agustus 2020	P3	D/7-P3	8	8	5	4	288

133	12 Agustus 2020	P3	D/7-P3	8	8	4,5	4	288
134	12 Agustus 2020	P3	D/7-P3	8	8	4,7	4	288
135	12 Agustus 2020	P3	D/8-P3	8	8	5	4	288
136	12 Agustus 2020	P3	D/8-P3	8	8	5	4	288
137	13 Agustus 2020	P3	D/8-P3	8	8	4,5	4	288
138	13 Agustus 2020	P3	E/8-P3	8	8	4,5	4	288
139	13 Agustus 2020	P3	E/8-P3	8	8	4,5	4	288
140	13 Agustus 2020	P3	F/8-P3	8	8	5	4	288
141	13 Agustus 2020	P3	F/8-P3	8	8	5	4	288
142	13 Agustus 2020	P1	B/6-P1	8	8	4,5	4	288
143	13 Agustus 2020	P1	A/6-P1	8	8	2	2	399
144	13 Agustus 2020	P1	A/5-P1	8	8	2	2	399
145	13 Agustus 2020	P1	B/5-P1	8	8	5	4	288
146	13 Agustus 2020	P1	C/5-P1	8	8	5	4	288
147	13 Agustus 2020	P1	B/3-P1	8	8	5	4	288
148	13 Agustus 2020	P1	A/3-P1	8	8	2	2	399
149	13 Agustus 2020	P1	A/4-P1	8	8	2,5	2,5	299
150	13 Agustus 2020	P1	B/2-P1	8	8	5	4	288
151	14 Agustus 2020	P1	B/1-P1	8	8	5	4	288
152	14 Agustus 2020	P1	C3-P1	8	8	5,2	4	288
153	14 Agustus 2020	P1	C4-P1	8	8	5	4	288
154	14 Agustus 2020	P3	H1-P3	10	10	4,5	4	288
155	14 Agustus 2020	P3	H1-P3	10	10	4	4	288
156	14 Agustus 2020	P3	H1-P3	10	10	3,5	3,5	288
157	14 Agustus 2020	P3	I/1-P3	10	10	4,5	4	288
158	14 Agustus 2020	P3	I/1-P3	10	10	4	4	288
159	14 Agustus 2020	P3	I/2-P3	10	10	6	4	288
160	14 Agustus 2020	P3	H/2-P3	10	10	4	4	288
161	14 Agustus 2020	P3	H/2-P3	10	10	3	3	288
162	14 Agustus 2020	P3	I/3-P3	10	10	3,5	3,5	288
163	14 Agustus 2020	P3	I/3-P3	10	10	3,5	3,5	288
164	14 Agustus 2020	P3	I/3-P3	10	10	3	3	288
165	14 Agustus 2020	P3	I/4-P3	10	10	5,3	4	288
166	14 Agustus 2020	P3	I/4-P3	10	10	4	4	288
167	14 Agustus 2020	P3	I/5-P3	10	10	5,2	4	288
168	15 Agustus 2020	P3	I/5-P3	10	10	4,5	4	288
169	15 Agustus 2020	P3	I/5-P3	10	10	4	4	288
170	15 Agustus 2020	P3	I/6-P3	10	10	3,5	3,5	288
171	15 Agustus 2020	P3	H/3-P3	10	10	3,2	3,2	288
172	15 Agustus 2020	P3	H/3-P3	8	8	5	4	288
173	15 Agustus 2020	P3	H/3-P3	8	8	4,5	4	288
174	15 Agustus 2020	P3	H/4-P3	8	8	5	4	288
175	15 Agustus 2020	P3	H/4-P3	8	8	4,5	4	288
176	15 Agustus 2020	P3	H/4-P3	10	10	3	3	288
177	15 Agustus 2020	P3	H/5-P3	10	10	4	4	288
178	15 Agustus 2020	P3	H/5-P3	8	8	5	4	288

179	15 Agustus 2020	P2	F/3'-P2	14	14	0	0	288
180	15 Agustus 2020	P2	F/3'-P2	14	13,7	0	0	288
181	16 Agustus 2020	P2	E/3'-P2	14	13,5	0	0	288
182	16 Agustus 2020	P2	E/3'-P2	14	13,5	0	0	288
183	16 Agustus 2020	P2	D/3'-P2	14	14	0	4	288
184	16 Agustus 2020	P2	D/3'-P2	14	14	0	4	288
185	16 Agustus 2020	P1	D/4'	14	13,7	0	0	288
186	16 Agustus 2020	P1	E/4'	14	13,5	0	0	288
187	16 Agustus 2020	P1	F/1'	8	8	4,7	4	288
188	16 Agustus 2020	P1	H/1'	10	10	3,3	3,3	288
189	16 Agustus 2020	P1	I/1'	10	10	2,5	2,5	288
190	16 Agustus 2020	P1	J/1'	10	10	4,2	4	288
191	16 Agustus 2020	P1	K/1'	10	10	2	2	288
192	16 Agustus 2020	P1	L/1'	10	10	3,2	3,2	288
193	16 Agustus 2020	P1	M/1'	10	10	3,7	3,7	288
194	16 Agustus 2020	P1	N/1'	10	10	2,7	2,7	288
195	18 Agustus 2020	P3	L/3-P3	10	10	4,5	4	288
196	18 Agustus 2020	P3	H/5-P3	10	10	3,5	3,5	288
197	18 Agustus 2020	P3	H/6-P3	10	10	5	4	288
198	17 September 2020	P1	D-2' P1	8	8	4,5	4	316
199	17 September 2020	P1	E-2' P1	8	8	3	3	343
200	17 September 2020	P1	B-2' P1	8	8	4,5	4	343
201	17 September 2020	P1	B-2' P1	8	8	4,5	4	343
202	17 September 2020	P1	A-2' P1	8	8	5	4	53
203	17 September 2020	P1	B-7 P1	8	8	2,5	2,5	288
204	17 September 2020	P1	A-7 P1	8	8	2	2	343
205	18 September 2020	P1	C'-3 P1	14	14	0	0	288
206	18 September 2020	P1	C'-4' P1	14	14	0	0	288
207	18 September 2020	P1	F-4' P1	14	14	0	0	288
208	18 September 2020	P1	F'-3' P1	14	13,5	0	0	288
209	18 September 2020	P1	E-9 P1	8	8	4,5	4	288
210	18 September 2020	P1	D-9 P1	8	8	3,5	3,5	288
211	18 September 2020	P1	F-9 P1	8	8	5	4	288
212	18 September 2020	P1	C-7 P1	8	8	2,8	2,8	288
213	19 September 2020	P1	F'/9-P1	8	8	4	4	288
214	19 September 2020	P1	H/9-P1	8	8	4,5	4	288
215	19 September 2020	P1	I/9-P1	8	8	2	2	288
216	19 September 2020	P1	J/9-P1	8	8	2,5	2,5	288
217	19 September 2020	P2	L/6-P2	10	10	4	4	288
218	19 September 2020	P2	L/6-P2	10	10	3	3	288
219	19 September 2020	P2	L/5-P2	10	10	3	3	288
220	19 September 2020	P2	L/5-P2	10	10	3,5	3,5	288
221	19 September 2020	P2	L/4-P2	10	10	3,5	3,5	288
222	19 September 2020	P2	L/4-P2	10	10	3,5	3,5	288
223	19 September 2020	P3	L/3-P3	10	10	3,3	3,3	288
224	19 September 2020	P3	L/3-P3	10	10	3,2	3,2	288

225	19 September 2020	P3	K/1-P3	10	10	4	4	288
226	19 September 2020	P3	K/1-P3	10	10	3,7	3,7	288
227	19 September 2020	P3	K/3-P3	10	10	5,5	4	288
228	19 September 2020	P3	K/3-P3	10	10	4,5	4	288
229	19 September 2020	P3	K/3-P3	10	10	4	4	288
230	20 September 2020	P3	K/4-P3	10	10	4,5	4	288
231	20 September 2020	P3	K/4-P3	10	10	4	4	288
232	20 September 2020	P3	K/5-P3	10	10	6	4	288
233	20 September 2020	P3	K/5-P3	10	10	5,3	4	288
234	20 September 2020	P3	K/5-P3	10	10	6	4	288
235	20 September 2020	P3	K/6-P3	10	10	4	4	288
236	20 September 2020	P3	K/6-P3	10	10	3,7	3,7	288
237	20 September 2020	P2	L/7-P2	10	10	3,5	3,5	288
238	20 September 2020	P2	L/7-P2	10	10	2	2	288
239	20 September 2020	P3	L/8-P3	10	10	2	2	288
240	20 September 2020	P3	L/8-P3	10	10	3	3	288
241	20 September 2020	P3	J/1-P3	10	10	5,3	4	288
242	20 September 2020	P3	J/1-P3	10	10	5,5	4	288
243	20 September 2020	P3	J/1-P3	10	10	5	4	288
244	24 September 2020	P1	K/9-P1	10	10	2,5	2,5	288
245	24 September 2020	P3	F/8-P3 (sisip)	8	8	4,3	4	288
246	24 September 2020	P3	E/4-P3	8	8	3,5	3,5	288
247	25 September 2020	P3	E/4-P3	8	8	5	4	288
248	25 September 2020	P1	C/2'-P1	8	8	4,5	4	288
249	25 September 2020	P1	L/9-P1	14	12	0	0	288
						2279,4	1002,7	879,2

Gambar 11 Data Bacaan Manometer