

**ANALISIS PERBANDINGAN DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN
FONDASI *BORED PILE* MENGGUNAKAN METODE TEORITIS,
METODE ELEMEN HINGGA DENGAN UJI TEST PDA (*PILE DRIVING
ANALYZER*)
(Studi Kasus Pembangunan Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro)
(Skripsi)**

Oleh:

**Friska Handayani
1715011002**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

**COMPARISONAL ANALYSIS OF BORED PILE FOUNDATION
BEARING CAPACITY AND SETTLEMENT USING THEORETICAL
METHOD, FINISHED ELEMENT METHOD WITH PDA TEST (PILE
DRIVING ANALYZER)
(Case Study of Building B Muhammadiyah Metro Hospital)
Oleh
FRISKA HANDAYANI**

Abstract

In general, the planning of a building includes the planning of the upper building (upper structure) and the planning of the lower building (sub structure). The foundation is the part of the sub-structure that is directly related to the ground and has an important role in bearing all the loads of other buildings on it, therefore it is necessary to calculate the bearing capacity and settlement that will occur in the design planning and testing after the foundation work is carried out. In the construction of building B Muhammadiyah Hospital using the foundation type bored pile.

Judging from the investigation of soil types, structural loads, the environment around the project, and field testing with PDA (Pile Driving Analyzer) and CAPWAP tests, the purpose of this research is to calculate the bearing capacity and settlement of foundations bored pile in away static (using the principles of mechanics). soil) using the theoretical method, the finite element method, and the (dynamic) method using the experimental method with field tests of PDA (Pile Driving Analyzer) and CAPWAP tests and can interpret the results of PDA (Pile Driving Analyzer) and CAPWAP data.

Based on the results of the study, it can be said that in calculating the bearing capacity of the results of the comparison of the smallest test results from the use of the L. Decourt method on the results of dynamic testing of CAPWAP results at both test points with a value of 4.55% at point BH-01 and 9.29% at BH -02. And the smallest result in the finite element method with CAPWAP is at point BH-01, which is 9.8%. Where the results of the positive difference in the bearing capacity of the CAPWAP test in the field increased more than the theoretical calculation, the dynamic testing of the bearing capacity in the field can be said to be safe. The result of the smallest difference is the use of the Paul & Davis method on the results of CAPWAP on BH-01 which is -13% and BH-02 which is -23%. The results of the PDA Test on pile No.1 are overstressed because the CSX value is higher than the allowable compressive stress, for EMX pile No.2 exceeds the recommended hammer efficiency, in the CAPWAP result report there is no information from the CAPWAP match quality and there are data that have not been given complete in the report, such as the proportion of foundation damage (BTA) and hammer drop height (STK).

Keywords: Bored Pile, Bearing Capacity and Settlement, PDA (Pile Driving Analyzer) and CAPWAP

**ANALISIS PERBANDINGAN DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN
FONDASI *BORED PILE* MENGGUNAKAN METODE TEORITIS,
METODE ELEMEN HINGGA DENGAN UJI TEST PDA (*PILE DRIVING
ANALYZER*)
(Studi Kasus Pembangunan Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro)**

Oleh

FRISKA HANDAYANI

Abstrak

Pada umumnya perencanaan suatu bangunan meliputi perencanaan bangunan atas (*upper structure*) dan perencanaan bangunan bawah (*sub structure*). Fondasi merupakan bagian bangunan bawah (*sub structure*) yang berhubungan langsung dengan tanah mempunyai peranan penting memikul seluruh beban bangunan lain di atasnya, maka dari itu perlu dilakukan perhitungan daya dukung serta penurunan yang akan terjadi di dalam perencanaan desain dan juga pengujian setelah pelaksanaan pekerjaan fondasi. Pada pembangunan gedung B RSUD Muhammadiyah menggunakan tipe fondasi *bored pile*.

Ditinjau dari penyelidikan jenis tanah, beban struktur, lingkungan sekitar proyek, dan pengujian lapangan dengan test PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan CAPWAP maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile* dengan cara *static* (menggunakan prinsip-prinsip mekanika tanah) menggunakan metode teoritis, metode elemen hingga, dan cara (*dinamic*) menggunakan metode experimental dengan uji lapangan test PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan CAPWAP serta dapat menginterpretasikan hasil data PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan CAPWAP.

Berdasarkan hasil dari penelitian dapat disimpulkan bahwa dalam perhitungan daya dukung hasil perbandingan selisih terkecil pengujian *static* menggunakan metode L. Decourt terhadap hasil pengujian *dinamic* hasil CAPWAP pada kedua titik uji dengan nilai 4,55% pada titik BH-01 dan 9,29% pada BH-02. Dan hasil selisih terkecil pada metode elemen hingga dengan hasil CAPWAP ada pada titik BH-01 yaitu 9,8%. Dimana hasil selisih positif daya dukung CAPWAP uji di lapangan meningkat lebih besar jika dibandingkan dengan perhitungan teori maka pengujian daya dukung di lapangan secara *dinamis* dapat dikatakan aman. Hasil selisih perbandingan terkecil penurunan adalah menggunakan metode Paulus&Davis terhadap hasil CAPWAP pada BH-01 yaitu -13% dan BH-02 yaitu -23%. Hasil PDA Test pada tiang No.1 terjadi *overstressed* karena nilai CSX lebih tinggi dari tegangan ijin tekan, untuk EMX tiang No.2 melebihi efisiensi hammer yang disarankan, pada laporan hasil CAPWAP tidak terdapat keterangan dari CAPWAP *match quality* dan terdapat data yang belum lengkap diberikan dalam laporan, seperti persentase kerusakan fondasi (BTA) dan tinggi jatuh *hammer test* (STK).

Kata Kunci: *Bored Pile, Daya Dukung dan Penurunan, PDA (Pile Driving Analyzer) dan CAPWAP*

**ANALISIS PERBANDINGAN DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN
FONDASI *BORED PILE* MENGGUNAKAN METODE TEORITIS,
METODE ELEMEN HINGGA DENGAN UJI TEST PDA (*PILE DRIVING
ANALYZER*)
(Studi Kasus Pembangunan Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro)**

Oleh

FRISKA HANDAYANI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

Judul Skripsi

: **ANALISIS PERBANDINGAN DAYA DUKUNG
DAN PENURUNAN FONDASI *BORED PILE*
MENGUNAKAN METODE TEORITIS,
METODE ELEMEN HINGGA DENGAN UJI
TEST PDA (*PILE DRIVING ANALYZER*)
(Studi Kasus Pembangunan Gedung B
Rumah Sakit Muhammadiyah Metro)**

Nama Mahasiswa

: **Friska Handayani**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715011002

Program Studi

: Teknik Sipil

Fakultas

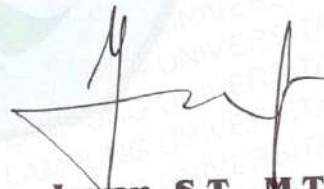
: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

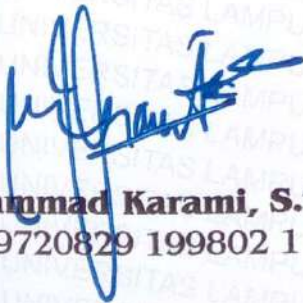


Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.
NIP 19720308 199802 1 004



Iswan, S.T., M.T.
NIP 19720608 200501 1 001

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil



Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil



Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

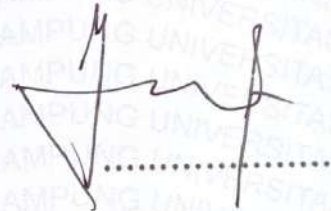
Ketua

: **Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.**



Sekretaris

: **Iswan, S.T., M.T.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Vera Agustriana Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Teknik



 **Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.**
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 01 Oktober 2021

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Friska Handayani**

NPM : 1715011002


Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Judul : Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi
Bored Pile Menggunakan Metode Teoritis, Metode Elemen Hingga
dengan Uji Test PDA (*Pile Driving Analyzer*)

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri.
S sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya yang ditulis atau diterbitkan orang
lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya
ilmiah yang telah ditetapkan.

Rendek Lanyung, 11 Juni 2021



Friska Handayani
NPM 1715011002

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kotagajah Timur 1, Lampung Tengah pada tanggal 08 Desember 1999, sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari Bapak Sutikno dan Ibu Sukawanti.

Pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) diselesaikan di TK PGRI Purwosari, Kec. Batanghari Nuban, Lampung Timur pada tahun 2005, Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SDN 1 Purwosari pada tahun 2011, Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di SMPN 2 Kotagajah, Lampung Tengah pada tahun 2014, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMA N 1 Kotagajah, Lampung Tengah pada tahun 2017.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung pada Tahun 2017 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Lampung, penulis pernah mengikuti Organisasi BEM FT sebagai anggota muda (2017-2018), sekertaris umum HIMATEKS (Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (2019-2020)). Selama menempuh masa pendidikan, penulis pernah mejadi Asisten Dosen mata kuliah Hidrolika, Analisis Statis Tertentu, dan Mekanika Bahan. Pada tahun 2020, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Rejobinangun, selama 40 hari. Kerja Praktik pada Proyek Pembangunan Gedung B RSUD Muhammadiyah Metro. Disana penulis diberikan amanat menjadi Asisten Project Manager disana selama kurang lebih 6 bulan .

MOTTO

*“So begins a new age of knowledge”
{Invoker}*

*“Science is a beacon of knowledge that burns
across the black sea of ignorance”*

“Life is Never Flat”

“Kesabaran adalah kunci kesuksesan”

- “Jangan membandingkan diri Anda dengan siapa pun di dunia ini; jika Anda melakukannya, Anda menghina diri sendiri.” {Bill Gates}*

“Jadilah Orang Yang Tersenyum Diakhir Episode”

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

Ayah dan Ibu tercinta yang telah memberikan semangat, kasih sayang, doa yang tulus, motivasi, kesabaran, yang sulit untuk dinilai semua pengorbanannya hingga saat ini. Terimakasih untuk segalanya yang tak mungkin untukku membalasnya.

Keluarga besar saya, adek, nenek, paman, tante, bude, dan kakak-kakak sepupu yang juga selalu memberikan semangat, motivasi, dan selalu menjadi kebanggaanku. Dan juga cucu-cucu alm. mbah Tukiban adek Aulia anggrainy, Qonita Maulida Artini, Ananda Atha Dhaofullah, Geger Seto Aji, Narisa Dwi Salwalia, dan kakak perempuan Swastika Suryani, Pradita Dwi Ariyani, Ragilia.

Terimakasih sudah menjadi semangat dan dukungan yang diberikan. Sahabat dan Mas Handoko Soepriyanto, yang telah banyak mengajarkan semua ilmunyaa kepada saya, bimbingannya, arahannya, bantuannya selama proses penyusunan sampai akhir semoga semua yang diberikan menjadi berkah dan amalan yang baik untuk Mas Handoko.

Teman-teman Teknik Sipil, yang telah memberikan semangat, ilmu, waktu, dan doa yang diberikan untuk saya hingga sampai saat ini.

Pembaca, semoga untuk kedepannya dapat bermanfaat dan berkembang lagi mengenai pembahasan skripsi saya.

SANWACANA

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah senantiasa memberikan rahmat dan anugrah-Nya. Sehingga diberikan kemudahan dan kelancaran kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi dengan judul “*Analisis Perbandingan Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi Bored Pile Menggunakan Metode Teoritis, Metode Elemen Hingga Dengan Uji Test Pda (Pile Driving Analyzer)*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelas Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Penulis juga menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah berkontribusi dalam penulisan skripsi ini, yaitu:

1. Bapak Prof.Dr.Karomani, M.Si. selaku Rektor Universitas Lampung
2. Bapak Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU, ASEAN Eng selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Lampung dan selaku Dosen Pembimbing Akademik.
4. Ibu Laksmi Irianti S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
5. Bapak Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil., selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Iswan, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II, atas kesediaan memberi bimbingan, pengarahan, dan ilmu yang sangat berharga dalam proses penyelesaian skripsi dan segala bantuan serta saran saran yang diberikan.
6. Ibu Vera Agustriana Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D Selaku Dosen Penguji Skripsi, terimakasih atas segala bantuan dan saran serta arahan yang telah diberikan.
7. Bapak Handoko Supriyanto selaku *Project Manager* dalam Proyek Pembangunan Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro yang

telah memberi izin kepada penulis untuk meminta data-data yang dibutuhkan untuk keperluan skripsi.

8. Keluargaku tercinta terutama orang tua terkasih, Bapak Sutikno dan ibu Sukawanti, Nenek, Adik, Paman, Tante, dan Sepupu-sepupu, yang sangat sabar dalam doanya dan pengertian dalam memberi dukungan, nasehat, dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Bapak dan Ibu Dosen, Staf Administrasi, dan semua pegawai Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
10. Seluruh rekan-rekan Teknik Sipil Angkatan 2017, Terimakasih atas kebersamaan yang telah diberikan selama ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi harapan semoga skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi kita semua, Aamiin.

Bandar Lampung, 24 Agustus 2021

Friska Handayani

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Uraian Umum.....	6
2.2. Pengujian Kapasitas Dukung dan Penurunan Fondasi.....	6
2.3. Pengujian <i>Static</i> dan <i>Dinamic</i>	8
2.4. Pengertian dan Jenis Fondasi.....	9
2.3. Penyelidikan Tanah.....	11
2.4. Kapasitas Dukung Fondasi Tiang	16
2.4.1. Kapasitas Daya Dukung Fondasi Tiang dari Hasil SPT	17
2.4.2. Kapasitas Daya Dukung Fondasi Tiang dari Hasil Sondir	19
2.5. Faktor Keamanan	20
2.6. Penurunan Tiang Tunggal (<i>Settlement</i>).....	22
2.7. Metode Elemen Hingga.....	30
2.7.1. Plaxis	30
2.7.2. Analisis Permodelan Pada Plaxis	30
2.7.3. Sub Program Plaxis	31
2.8. Kontrol Beban Tiang.....	35

III. METODE PENELITIAN.....	36
3.1. Uraian Umum	36
3.2. Data Penelitian.....	36
3.3. Metodologi Penelitian	48
3.4. Diagram Alir Penyelesaian Penelitian.....	53
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	54
4.1 Uraian Umum	54
4.2. Menghitung Kapasitas Daya Dukung Aksial Fondasi <i>Bored Pile</i>	54
Menggunakan Metode Teoritis	54
4.2.1 Perhitungan Daya Dukung Fondasi <i>Bored pile</i> Berdasarkan	54
Data SPT (<i>Standard Penetration Test</i>)	54
4.2.2. Perhitungan Daya Dukung Fondasi Bored pile Berdasarkan Data	
Sondir (<i>Cone Penetration Test</i>)	62
4.3. Menghitung Penurunan Fondasi <i>Bored Pile</i> Menggunakan Metode	66
Teoritis	66
4.3.1. Penurunan Tiang Tunggal Elastis	76
4.3.2. Penurunan Poulos dan Davis	80
4.3.3. Penurunan Konsolidasi.....	81
4.4. Menghitung Kapasitas Daya Dukung Aksial dan Penurunan Fondasi... <i>Bored Pile</i> Menggunakan Elemen Hingga.	85
4.4.1. Parameter tanah	85
4.4.2. Proses Pemodelan pada Program Plaxis	91
4.5. Kontrol Beban Fondasi.....	102
4.6. Menginterpretasikan Hasil Daya Dukung dan Penurunan Uji Test PDA	
dan CAPWAP	106
4.7. Pembahasan	121
4.7.1. Daya Dukung Tiang	121
4.7.2. Penurunan Fondasi	128
V. PENUTUP.....	130
5.1. Kesimpulan.....	130
5.2. Saran	132

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilai Koefisien k menurut L.Decourt.....	19
2. Harga Koefisien α_p	20
3. Faktor Aman.....	22
4. Faktor Aman yang Disarankan oleh Reesse dan O'Neill 1989	22
5. Nilai Koefisien C_p	23
6. Nilai Koefisien Empiris (C_p)	24
7. Modulus Elastis (E_s)	24
8. Dimensi balok.	41
9. Tabel dimensi kolom.	42
10. Tabel dimensi dan tlgan pelat lantai.....	42
11. Nilai SPT pada BH-01.....	43
12. Nilai SPT pada BH-02.....	44
13. Tabel sondir hasil pengujian CPT titik 1.....	45
14. Tabel sondir hasil pengujian CPT titik 2.....	45
15. Hasil uji laboratorium BH-01.....	46
16. Hasil uji laboratorium BH-02.....	46
17. Pendekatan perhitungan daya dukung metode teori	50
18. Pendekatan perhitungan daya dukung metode teori.....	51
19. Pendekatan perhitungan daya dukung dan penurunan	52
20. Data tanah BH-01	57
21. Data tanah BH-02.....	58
22. Tabel gaya aksial.....	72
23. Tabel lanjutan gaya aksial	73
24. Tabel perhitungan S1 BH-01.....	76
25. Tabel perhitungan S2 BH-01.....	76
26. Tabel perhitungan S3 BH-01.....	77

27. Tabel perhitungan penurunan total BH-01	77
28. Tabel perhitungan S1 BH-02.....	78
29. Tabel perhitungan S2 BH-02.....	78
30. Tabel perhitungan S3 BH-02.....	79
31. Tabel perhitungan penurunan total BH-02.....	79
32. Tabel hasil penurunan Poulos dan Davis	81
33. Korelasi N_{spt} dengan Modulus Elastisitas lempung.....	86
34. Hubungan jenis tanah, konsistensi dan Poisson's	87
35. Data tiang bored pile	89
36. Input parameter tanah untuk BH-01	90
37. Input parameter tanah untuk BH-02.....	90
38. Hasil distribusi beban tiang sebelum akibat M_{yi} , dan M_{xi} (P10-C4).....	103
39. Hasil distribusi beban tiang setelah adanya M_{yi} , dan M_{xi} (P10-C4).....	103
40. Hasil distribusi beban tiang sebelum akibat M_{yi} , dan M_{xi} (P5-C1).....	105
41. Hasil distribusi beban tiang sesudah akibat M_{yi} , dan M_{xi} (P5-C1).....	105
42. Energi dan tegangan pada material tiang	107
43. Keterangan kode output PDA Test.....	108
44. Hasil daya dukung dan penurunan PDA dan CAPWAP	108
45. <i>Summary of Allowable Compression and Tension Forces (US</i>	112
46. Hasil CSX dan TSX PDA	112
47. Jenis efisiensi energi dari variasi <i>hammer</i>	113
48. Nilai kerusakan fondasi.....	113
49. Hasil perhitungan Q_u data sondir S-01	121
50. Hasil perhitungan Q_u data sondir S-02	121
51. Hasil daya dukung metode teori terhadap hasil PDA titik BH-01	122
52. Hasil daya dukung metode teori terhadap hasil PDA titik BH-02	122
53. Hasil daya dukung metode teori terhadap hasil CAPWAP titik BH-01	123
54. Hasil daya dukung metode teori terhadap hasil CAPWAP titik BH-02	123
55. Rasio daya dukung selimut dan ujung rata-rata BH-01	125
56. Rasio daya dukung selimut dan ujung rata-rata BH-02	125
57. Hasil daya dukung metode elemen hingga terhadap hasil PDA	126
58. Hasil daya dukung metode elemen hingga terhadap hasil	126

59. Hasil daya dukung metode elemen hingga terhadap hasil	126
60. Hasil daya dukung metode elemen hingga terhadap hasil	126
61. Hasil daya dukung ijin (Qall) BH-01	127
62. Hasil daya dukung ijin (Qall) BH-02	127
63. Perbandingan hasil penurunan data sondir.....	128
64. Hasil penurunan metode teoritis, elemen hingga, dan PDA	128
65. Hasil penurunan metode teoritis, elemen hingga, dan PDA	129
66. Hasil penurunan konsolidasi	129
67. Perbandingan daya dukung teori (N-SPT) dan elemen hingga dengan CAPWAP	131

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tampak depan Gedung B RSUD Muhammadiyah Metro.	1
2. Macam-macam tipe fondasi (a) Fondasi memanjang (b)Fondasi telapak (c) Fondasi rakit (d) Fondasi sumuran (e) Fondasi tiang.	10
3. Tiang bor kelompok dengan tiang bor tunggal.	11
4. Kurva CPT/sondir RSUD Muhammadiyah Metro.	12
5. Pengujian sondir.	13
6. Pengujian SPT.	14
7. Pengujian dengan alat PDA (Pile Driving Analyzer).	15
8. Kapasitas dukung fondasi.	17
9. Keterangan letak N1 dan N2.	18
10. Faktor penurunan I_o (Poulos dan Davis, 1980).	26
11. Faktor penurunan R_u (Poulos dan Davis, 1980).	26
12. Faktor penurunan R_k (Poulos dan Davis, 1980).	27
13. Faktor penurunan R_h (Poulos dan Davis, 1980).	27
14. Faktor penurunan R_b (Poulos dan Davis, 1980).	28
15. Lokasi penelitian RSUD Muhammadiyah Metro.	37
16. Siteplan RSUD Muhammadiyah Metro.	37
17. Tampak depan gedung.	38
18. Tampak belakang gedung.	39
19. Letak titik uji SPT, sondir, dan PDA.	51
20. Diagram alir penelitian.	53
21. Sket situasi letak titik pengujian SPT, CPT, dan PDA.	55
22. Penampang kondisi tanah data SPT.	56
23. Respon spektrum desain tanah lokasi bangunan.	69
24. Gambar diagram alir perhitungan gaya aksial.	70
25. Pemodelan Gedung B menggunakan Etabs V.18.	71
26. Titik uji PDA (P10 dan P5) dan gaya aksial terbesar (PL1).	74
27. Shop drawing denah kolom dan fondasi.	75

28. Penampang lapisan BH-01.	81
29. Penampang lapisan BH-02.	83
30. Gambar detail fondasi.	88
31. Lembar General Setting pada metode elemen hingga.	91
32. Pemodelan lapisan tanah.	92
33. Pemodelan fondasi.	92
34. Penggambaran beban terpusat.	93
35. <i>Input data Material Set (a)General (b) Parameters (c) Interfaces.</i>	94
36. Data material dimasukkan ke pemodelan.	95
37. <i>General Mesh.</i>	95
38. Initial Condition.	96
39. K0-Procedure.	97
40. Calculation untuk menghitung penurunan dan daya dukung.	98
41. Hasil <i>Output</i> Plaxis BH-01 (a) <i>Displacement</i> (b) Σ -Msf.	99
42. Hasil <i>Output</i> Plaxis BH-02 (a) <i>Displacement</i> (b) Σ -Msf.	101
43. Tipe susunan tiang P10C-4.	102
44. Tipe susunan tiang P5C-1.	104
45. Grafik hasil PDA Test.	107
46. Contoh kurva hasil uji PDA.	110
47. Grafik antaran F dan V pada tiang No.1 dan tiang No.2.	110
48. Lokasi dari T1 dan T2 tiang No.1.	111
49. Lokasi dari T1 dan T2 tiang No.2.	111
50. Contoh kerusakan fondasi tiang No.2.	114
51. Titik WD dan WU grafik PDA.	115
52. Contoh grafik fondasi utuh.	116
53. Grafik F, V dan WU, WD fondasi tiang No.1 dan tiang No.2.	117
54. Grafik gaya dan kecepatan PDA dan CAPWAP.	119
55. Grafik hubungan <i>load</i> dan <i>displacement</i>	119
56. Gambar tabel CAPWAP <i>summary results</i>	120
57. Grafik daya dukung tiang dan <i>shaft resistance distribution</i>	120

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada umumnya perencanaan suatu bangunan meliputi perencanaan bangunan atas (*upper structure*) dan perencanaan bangunan bawah (*sub structure*). Sebelum melaksanakan suatu pembangunan konstruksi pertama-tama yang dilakukan adalah pekerjaan fondasi. Fondasi merupakan bagian bangunan bawah (*sub structure*) yang berhubungan langsung dengan tanah mempunyai peranan penting memikul seluruh beban bangunan lain di atasnya, maka dari itu perlu dilakukan perhitungan daya dukung serta penurunan yang akan terjadi di dalam perencanaan desain dan juga pengujian setelah pelaksanaan pekerjaan *bored pile*. Penelitian ini dilakukan pada pembangunan gedung B RSUD Muhammadiyah direncanakan terdiri dari 7 lantai yang beralamat di Jalan Soekarno Hatta No.42, Mulyojati, Kec. Metro Barat, Kota Metro, Lampung.



Gambar 1. Tampak depan Gedung B RSUD Muhammadiyah Metro.

Kemudian untuk penyelidikan geoteknik pada pembangunan Gedung B RSUD Muhammadiyah Metro yang dilakukan adalah penyelidikan lapangan terdiri dari Uji Sondir atau *Cone Penetration Test (CPT)*, *Standart Penetration Test (SPT)* dan data laboratorium. Uji sondir dilakukan pada dua titik, dan uji SPT dilakukan pada dua titik. Dari hasil penyelidikan lapangan tersebut dijelaskan bahwa sistem pelapisan tanah di lokasi tersebut hampir seragam yaitu tanah lempung, dengan kondisi tanah seperti ini dipilih fondasi tiang *bored pile* karena bangunan berada di daerah yang padat pemukiman yang tidak memungkinkan dilakukan pemancangan dengan alat berat karena akan menimbulkan getaran yang akan berpengaruh terhadap struktur di sekitarnya.

Akan menjadi sangat penting untuk melakukan pengujian daya dukung dan penurunan fondasi dikarenakan jika sebuah fondasi mengalami kegagalan maka akan terjadi kerusakan total pada bangunan tersebut terutama untuk bangunan bertingkat yang akan sangatlah berbahaya dan merugikan. Tidak lupa mengingat dari fungsi bangunan rumah sakit yang sangat penting sebagai salah satu sarana dan prasarana kesehatan yang memberikan pelayanan kesehatan kepada masyarakat. Pada pembangunan Gedung B RSUD Muhammadiyah Metro melakukan pengujian lapangan dengan menggunakan test PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan dianalisis kembali dengan *software* CAPWAP. Namun apakah pengujian di lapangan dengan test PDA dan CAPWAP ini sudah cukup dan dapat meyakinkan untuk mengetahui kekuatan daya dukung dan penurunan. Maka dari itu perlu dilakukan analisis perbandingan dengan menggunakan metode lain untuk mengetahui bagaimana keakuratan pengujian menggunakan test PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan CAPWAP.

Dari tinjauan latar belakang di atas seperti jenis tanah, beban struktur, lingkungan sekitar proyek, dan pengujian lapangan dengan test PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan CAPWAP maka penulis mencoba untuk menganalisis dan membandingkan hasil penyelidikan menghitung daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile* dengan cara *static* (menggunakan

prinsip-prinsip mekanika tanah) menggunakan metode teoritis, metode elemen hingga, dan cara (*dynamic men*) menggunakan metode experimental dengan uji lapangan test PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan CAPWAP. Hasil Interpretasi uji test PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan CAPWAP akan dibandingkan dengan hasil dari metode teoritis dan metode elemen hingga. Sehingga akan diperoleh perbedaan dan membandingkan dari metode teoritis dan elemen hingga yang paling mendekati dengan hasil uji experimental dengan test PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan CAPWAP.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana cara menghitung daya dukung fondasi *bored pile* menggunakan cara *static* dengan metode teoritis dan metode elemen hingga ?
- b. Bagaimana cara menghitung penurunan fondasi *bored pile* menggunakan cara *static* dengan metode teoritis dan metode elemen hingga?
- c. Bagaimana cara menginterpretasikan hasil daya dukung dan penurunan uji test PDA dan CAPWAP?
- d. Bagaimana hasil perbandingan perhitungan daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile* dari metode teoritis, metode elemen hingga dan hasil uji test PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan CAPWAP?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah;

- a. Menghitung daya dukung fondasi *bored pile* menggunakan metode *static* dari hasil SPT, CPT, atau dengan metode teoritis dan data laboratorium atau dengan metode elemen hingga.
- b. Menghitung penurunan fondasi *bored pile* menggunakan metode *static* (metode teoritis dan metode elemen hingga).

- c. Menginterpretasikan hasil daya dukung dan penurunan uji test PDA dan CAPWAP.
- d. Membandingkan hasil daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile* dari hasil penyelidikan dengan metode teoritis, metode elemen hingga dan hasil uji lapangan test PDA (*Pile Driving Analyzer*) dan CAPWAP.

1.4. Batasan Masalah

- a. Penelitian daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile* ini dilakukan pada pembangunan Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro.
- b. Pada penelitian ini penyusun menganalisis daya dukung fondasi *bored pile* tiang tunggal, perhitungan diambil berdasarkan data SPT, CPT.
- c. Perhitungan daya dukung metode teoritis menggunakan metode *Briaud, et al, Meyerhoff, L. Decourt* dari hasil SPT dan menggunakan metode *Mayerhoff, Philipponant, Andina* dari hasil CPT.
- d. Pada perhitungan gaya aksial menggunakan aplikasi ETABS V.18 menggunakan beban hidup (*Dead Load*), beban mati (*Live Load*), beban gempa (*Earthquake Load*).
- e. Pada perhitungan metode elemen hingga dihitung menggunakan beban statis.

1.5. Manfaat Penelitian

- a. Diharapkan dapat memilih alternatif metode untuk mencari nilai daya dukung dan penurunan pada fondasi *bored pile* dengan berbagai variasi data antara menggunakan cara *static* dan cara *dynamic*.
- b. Dapat memberikan pemahaman mengenai kapasitas daya dukung dan penurunan tiang pancang baik secara teori maupun program metode elemen hingga dan test PDA serta hasil CAPWAP .

1.6. Sistematika Penulisan

Rencana sistematika penulisan penelitian ini terdiri dari 5 (lima) bab, yang diuraikan sebagai berikut:

Bab I: Pendahuluan

Berisi latar belakang penulisan, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat dan sistematika penulisan.

Bab II: Tinjau Pustaka

Berisi dasar teori, rumus, dan segala sesuatu yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini, yang diperoleh dari buku literatur, tulisan ilmiah, website /search engine, dan hasil penelitian sebelumnya.

Bab III: Metode Penelitian

Berisi metode penelitian berupa pengumpulan data dan metodologi analisis.

Bab IV: Hasil dan Pembahasan

Berisi perhitungan kapasitas daya dukung ultimit dan penurunan tiang pancang dengan mengolah data-data yang diperoleh sesuai metode digunakan.

Bab V: Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dari hasil analisis dan saran berdasarkan kajian yang telah dikumpulkan pada penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Uraian Umum

Pada umumnya permasalahan fondasi lebih rumit dari pada struktur bangunan lain. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu perencanaan yang matang untuk menghitung kuat daya dukung fondasi. Daya dukung fondasi pada tanah perlu dianalisis agar dapat menahan beban konstruksi yang direncanakan sehingga tidak mengalami penurunan yang berlebih dengan menggunakan data-data yang ada dari hasil uji penyelidikan di lapangan dengan hasil analisis *static* dan dengan analisis *dinamic* dengan menggunakan uji PDA test dan CAPWAP. Pada bab ini untuk mengetahui penelitian terdahulu dari beberapa tinjauan pustaka, teori, konsep, dan metode yang akan digunakan dalam penelitian.

2.2. Pengujian Kapasitas Dukung dan Penurunan Fondasi

Dari kajian pustaka yang telah dilakukan oleh penulis, perlu dilakukan perbandingan untuk kontrol antara penelitian penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan. Perencanaan dan penelitian tersebut dengan variabel yang sama yaitu diameter fondasi dan metode yang dipakai. Berikut ini adalah beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai perhitungan analisis kapasitas daya dukung fondasi dan penurunannya sebagai berikut:

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Santoso dan Hartono (2020). Daya dukung fondasi diameter 60 cm total rerata menggunakan 4 (empat) metode pendekatan empiris berdasar nilai N-SPT diperoleh sebesar 430,7 ton. Daya dukung rerata hasil uji PDA sebesar 432,4ton atau lebih besar 0,4% bila dibandingkan daya dukung rerata hasil pendekatan empiris (430,7 ton).

Dengan persentase selisih di bawah 1% terhadap pendekatan empiris, uji PDA dapat dikatakan cukup handal untuk mengonfirmasikan besaran daya dukung fondasi tiang yang telah terpasang di lapangan. Daya dukung tiang rerata berdasar analisis CAPWAP sebesar 401,0ton atau lebih kecil 7,3% jika dibandingkan dengan hasil uji PDA. Penelitian ini tidak melihat masing-masing metode yang digunakan, hanya merata-ratakan dari metode teori dibandingkan dengan hasil uji PDA dan CAPWAP.

Sedangkan penelitian fondasi *bore pile* juga dilakukan oleh Hardiyanti (2016). Berdasarkan data Sondir nilai daya dukung ultimit diameter 60 cm pada titik S-2 adalah 416,3ton dan titik S-5 sebesar 440,86 ton. Hasil data SPT nilai daya dukung tiang tunggal pada Bore Hole II diameter 60 cm sebesar 275,20 ton. Penurunan Poulos dan Davis yang dihasilkan 13,79 mm sedangkan dengan penurunan elastis sebesar 11,50 mm. Nilai daya dukung dan penurunan berdasarkan program metode elemen hingga sebesar 285,46ton dan 11,42 mm nilai ini tidak jauh berbeda dengan secara analitis. Analisis pada penelitian ini tidak menyimpulkan metode mana yang mendekati perhitungannya satu dengan yang lainnya.

Penelitian lain dilakukan oleh Indryana (2014). Metode Meyerhoff diameter 60 cm memiliki daya dukung ultimit sebesar 2600,9667 kN, PDA Test kapasitas dukung ultimit sebesar 3792 kN. Perhitungan masih memenuhi syarat batas toleransi dan fondasi aman untuk konstruksi bangunan. Fondasi *bored pile* tidak mengalami penurunan yang besar yaitu 4,9 mm. Hasil aman hanya dilihat dari hasil daya dukung yang tidak melebihi daya dukung batas saja, belum dilakukan kontrol terhadap pembagian beban pada masing-masing tiang dan dengan daya dukung yang diijinkan.

Kemudian penelitian oleh Simanjuntak and Suita (2017). Berdasarkan hasil CAPWAP untuk uji PDA daya dukung tertinggi 177ton dan daya dukung terendah 111ton lebih besar dari rencana daya dukung tiang 60,9 ton. Hasil analisis perangkat lunak CAPWAP untuk uji PDA menyatakan bahwa daya dukung tiang pancang aman untuk menahan beban dari daya dukung perencanaan, $R_u > Q_u$. Menjelaskan hasil yang dipakai dalam hasil PDA

dan CAPWAP adalah hasil CAPWAP sebagai perbandingan dengan daya dukung rencana. Perbandingan ini hanya dengan pengujian *dynamic* dengan Qu.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Rozeli (2020). Hasil dari penelitian ini didapatkan perbandingan hasil daya dukung tiang pancang dengan hasil PDA adalah 84,4 ton, hasil HJS adalah 78,65 ton, dan hasil metode Schmertmann 102,33 ton, Philipphonant 54,89 ton, dan Andina 82,86 ton. Perbandingan hanya menggunakan data sondir dengan hasil PDA, tanpa adanya perbandingan dengan hasil CAPWAP dimana hasil CAPWAP adalah hasil yang dapat dipertimbangkan dikarenakan hasil pencocokan dari uji di lapangan menggunakan *software*.

Dari hasil penelitian sebelumnya ini penulis ingin menjelaskan dan melengkapi hasil analisa pada daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile* dengan membandingkan pengujian *satic* dengan pengujian *dynamic* kemudian dilakukan kontrol beban masing-masing distribusi tiang.

2.3. Pengujian *Static* dan *Dinamic*

Pengujian *static* adalah pengujian terhadap suatu bagian struktur tanpa melakukan eksekusi terhadap struktur tersebut. Contoh pengujian *static* adalah menggunakan prinsip-prinsip mekanika tanah dengan parameter tanah yang didapat. Dalam perencanaan dan pelaksanaannya tidak hanya dengan perhitungan secara teori tetapi perlu dilakukan pengujian *dynamic* juga berdasarkan keadaan di lapangan.

Pengujian *dynamic* adalah pengujian terhadap satu suatu bagian struktur dengan melakukan eksekusi terhadap struktur tersebut. Metode *dynamic* terbaru salah satunya dengan menggunakan *wave analysis*. Pada tahun 1972 Profesor George G. Goble, Frank Rausche, dan Garland Likins ketiganya mendirikan sebuah perusahaan Pile Dynamics Inc, (PDI) di Cleveland, Ohio AS. PDI mempunyai banyak teknologi berbasis gelombang getaran untuk pengujian kontrol fondasi selain PDA dan CAPWAP diantaranya *Pile*

Integrity Tester (PIT) untuk menganalisis retakan, necking, dan kecacatan pada fondasi, *Cross-Hole Analyzer (CHAMP-Q)* untuk evaluasi kualitas beton oleh metode (CSL), *Shaft Quantitative Inspection Device (SQUID)* untuk mengetahui kebersihan dari bagian bawah poros yang di bor.

Pada penelitian ini menggunakan PDA dan CAPWAP dapat menghasilkan daya dukung dan penurunan yang optimal untuk membuktikan akurasi perhitungan desain kapasitas daya dukung tiang di lapangan dari yang direncanakan. Dari banyak studi yang dilakukan, prediksi daya dukung batas (*ultimate*) tiang hasil dari test PDA memperlihatkan korelasi yang positif dengan daya dukung batas (*ultimate*) tiang hasil *Static Load Test* (Likins dan Rausche, 2004). Dengan korelasi yang positif ini, pada proyek-proyek besar dan pada proyek-proyek menengah dan kecil, PDA test dapat digunakan sebagai pengganti *Static Load Test* (Likins dan Rausche, 2008).

Maka dari itu pengujian PDA sangat cocok untuk menggantikan pengujian *dynamic* dengan *loading test* karena tidak membutuhkan lahan yang sangat luas, biaya yang lebih ekonomis, waktu yang lebih cepat, dan tidak merusak komponen yang diuji.

2.4. Pengertian dan Jenis Fondasi

Fondasi adalah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang di topang oleh fondasi dan beratnya sendiri kepada dan kedalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya (Bowles,1997). Pada umumnya fondasi suatu bangunan dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu:

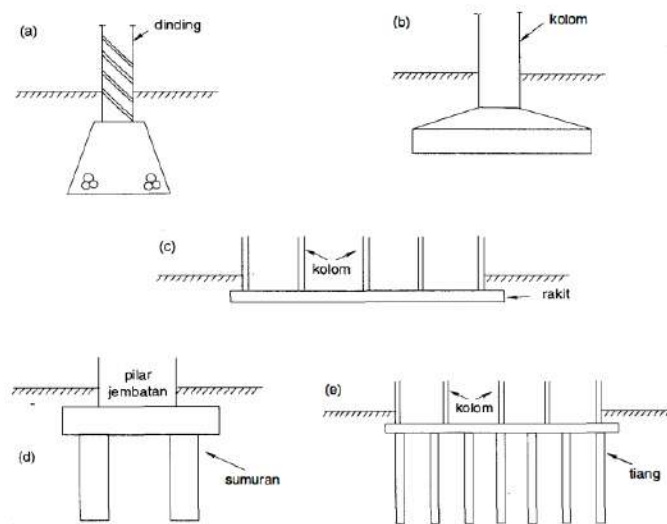
a. Fondasi dangkal

Fondasi dangkal didefinisikan sebagai fondasi bebannya secara langsung seperti fondasi telapak, fondasi memanjang, dan fondasi rakit.

b. Fondasi dalam

Fondasi dalam didefinisikan sebagai fondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak relative jauh dari permukaan, contohnya fondasi sumuran dan fondasi tiang (Hardiyatmo

1969). Fondasi yang digunakan dalam pembangunan Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro menggunakan fondasi *bored pile*. Fondasi *bored pile* dipergunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Menurut Hardiyatmo (1969), ada beberapa keuntungan dalam pemakaian fondasi *bored pile* dibandingkan tiang pancang, yaitu pemasangannya tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya, kedalaman tiang dapat divariasikan, tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium, tiang bor dapat dipasang menembus batuan, sedang tiang pancang akan kesulitan bila pemancangan menembus lapisan batu.



Gambar 2. Macam-macam tipe fondasi (a) Fondasi memanjang
(b)Fondasi telapak (c) Fondasi rakit (d) Fondasi sumuran
(e) Fondasi tiang.

c. Fondasi Tiang Kelompok dan Tiang Tunggal

Penggunaan kelompok tiang bor harus dipertimbangkan dalam kasus dimana beban fondasi membuat fondasi tiang tunggal sangat besar dan sangat mahal. Tiang tunggal dapat digunakan jika beban fondasi tidak terlalu berat dan tanah keras berada dikedalaman yang sangat jauh. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3, momen yang besar paling efektif dilawan dengan menggunakan kelompok tiang karena efisiensi tahanan momen yang dihasilkan oleh ketahanan aksial tiang yang

berjarak jauh dalam kelompok. Kelompok tiang yang berdiameter lebih kecil dapat lebih hemat biaya dalam banyak situasi sebagai fondasi tiang bor kelompok dengan konstruksi *pile cap*. Dengan menghitung jumlah tiang dalam satu *pile cap* dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

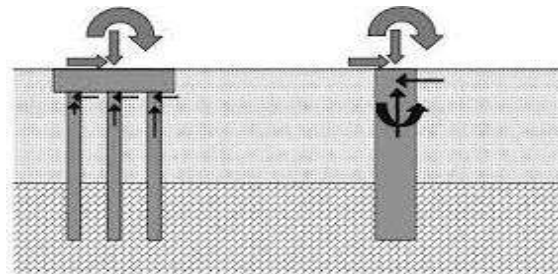
$$n = \frac{P_u}{Q_a} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan:

n = Jumlah tiang yang dibutuhkan dalam satu *pile cap*

P_u = Gaya aksial (kN)

Q_a = Daya dukung tiang tunggal yang diizinkan (kN)



Gambar 3. Tiang bor kelompok dengan tiang bor tunggal.

2.5. Penyelidikan Lapangan

Penyelidikan di lapangan dibutuhkan untuk data perancangan fondasi bangunan-bangunan. Bergantung pada maksud dan tujuannya, penyelidikan dapat dilakukan dengan cara-cara menggali lubang-cobaan (*trial-pit*), pengeboran, dan pengujian langsung di lapangan (*in-situ test*). Dari data yang diperoleh, sifat-sifat teknis tanah dipelajari, kemudian digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menganalisis daya dukung dan penurunan (Hardiyatmo, 1996).

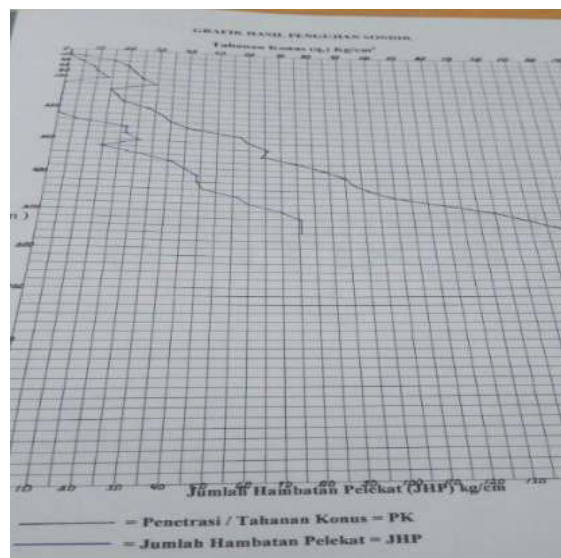
Menurut Hardiyatmo (1996) tujuan penyelidikan tanah, antara lain:

- (1) Menentukan daya dukung tanah menurut tipe fondasi yang dipilih.
- (2) Menentukan tipe dan kedalaman fondasi.
- (3) Untuk mengetahui posisi muka air tanah.
- (4) Untuk meramalkan besarnya penurunan.

- (5) Menentukan besarnya tekanan n tanah terhadap dinding penahan tanah atau pangkal jembatan.

a. Pengujian dengan Sondir (*Cone Penetration Test*)

Uji sondir (*Cone Penetration Test*) digunakan untuk pendugaan profil atau pelapisan (stratifikasi) tanah, karena jenis perilaku tanah telah diidentifikasi dari kombinasi hasil pembacaan tahanan ujung (q_c) dan gesekan selimut (f_s). Tujuan dilakukan pengujian dengan bor mesin ini adalah untuk mengetahui kondisi lapisan tanah. Pengujian ini berguna untuk menentukan lapisan-lapisan tanah berdasarkan tahanan ujung konus dan daya lekat tanah setiap kedalaman pada alat sondir. Dari hasil test Sondir ini didapatkan nilai jumlah perlawanan (JP) dan nilai perlawanan konus (PK), sehingga hambatan lekat (HL) didapatkan. Hasil penyelidikan dengan Sondir ini digambarkan dalam bentuk grafik yang menyatakan hubungan antara kedalaman setiap lapisan tanah dengan perlawanan penetrasi konus atau perlawanan tanah terhadap konus yang dinyatakan dalam gaya persatuan panjang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 4. Kurva CPT/sondir RSU Muhammadiyah Metro.

Pengujian dengan sondir pada lokasi pembangunan ini dilakukan sebanyak dua titik. Pengujian ini dilakukan oleh Universitas Muhammadiyah Metro.



Gambar 5. Pengujian sondir.

b. Pengujian dengan Alat SPT (*Standard Penetration Test*)

Pengujian (SPT) *Standard Penetration Test* dilaksanakan bersamaan dengan pengujian Bor Mesin. Pengujian SPT ini dilakukan untuk setiap interval kedalaman 2 meter. Hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) disajikan dalam bentuk grafik pada *Boring Log* pengujian ini dilakukan oleh laboratorium mekanika tanah Universitas Lampung sebanyak dua titik. Tujuan pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) yaitu untuk menentukan kepadatan relatif dan sudut geser lapisan tanah tersebut dari pengambilan contoh tanah dengan tabung, dapat diketahui jenis tanah dan ketebalan dari setiap lapisan tanah tersebut, untuk memperoleh data yang kumulatif pada perlawanan penetrasi tanah dan menetapkan kepadatan dari tanah yang tidak berkohesi yang biasanya sulit diambil sampelnya.



Gambar 6. Pengujian SPT.

c. Pengujian dengan Alat PDA (*Pile Driving Analyzer*)

PDA (*Pile Driving Analyze*) adalah suatu sistem yang terdiri dari suatu perangkat elektronik computer dan dilengkapi dengan sensor *Accelerometer* dan *Strain Transducer* yang berfungsi untuk mengetahui percepatan dan gaya tiang pada saat ditumbuk menggunakan *hammer* dengan berat tertentu. Menurut Nji (2012), PDA (*Pile Driving Analyze*) merupakan pengujian dilapangan untuk mendapatkan data *force* (F) dan *velocity* (v) pada fondasi dalam, seperti tiang pancang dan *bored pile*, yang kemudian akan dianalisis lebih lanjut dengan komputasi. Hasil-hasil yang didapat dari pengujian dengan PDA ini adalah kapasitas tiang, transfer energi *hammer* ke tiang, tegangan tekan dan tarik yang bekerja pada tiang akibat tumbukan, serta integritas (keutuhan) tiang. Pelaksanaan pengujian ini dengan menjatuhkan sebuah massa *hammer* ke kepala tiang untuk membangkitkan gelombang tegangan yang nantinya akan ditangkap atau direkam oleh sensor-sensor yang telah dilekatkan di sisi tiang, pengujian dilaksanakan setelah tiang *bored pile* mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan tumbukan palu. Di bawah ini gambar pengujian dengan alat PDA dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 7. Pengujian dengan alat PDA (Pile Driving Analyzer).

Pengujian PDA pada proyek pembangunan gedung B RSUD Muhammadiyah Metro dilakukan sebanyak 2 titik yang dilakukan oleh PT. Panduan Dinamika Testing Indonesia. ASTM (2017) dalam standarnya D4945-17 (*Standard Test Method for High Strain Dynamic Testing of Deep Foundation*) karena PDA Test termasuk salah satu dari uji *High Strain Dynamic Testing* (HSDT) yang memberikan penjelasan mengenai cara menginterpretasikan dan memahami hasil PDA test. *Safety factor* yang digunakan untuk pengujian PDA pada umumnya adalah 2,0 oleh karena itu pada pengujian PDA biasanya akan dicapai hasil 200% dari Qult (kapasitas daya dukung batas) untuk mencapai *safety factor*. Pada umumnya jumlah tiang yang diuji adalah 1% dari jumlah titik fondasi, dan untuk beban palu adalah 1%-2% dari kapasitas desain fondasi.

Tahapan pelaksanaan pengujian PDA meliputi:

a. Pemasangan Instrumen

Regangan dan percepatan gelombang akibat tumbukan alat pancang diukur memakai *strain transducer* dan *accelerometer*. Jumlah *strain transducer* dan *accelerometer* untuk diameter fondasi <1000mm dipasang pada bagian atas tiang dengan jarak $(1,5D - 2D)$ masing masing adalag 2 buah.

b. Pengujian

Sebelum melakukan pengujian, data nomor tiang yang akan diuji, tanggal pengecoran untuk *bore pile* umur beton mencapai mutu

rencana, bentuk dan dimensi tiang, panjang total tiang, panjang tertanam fondasi, dan data *hammer* yang digunakan untuk melaksanakan pengujian. Selanjutnya melakukan *survey* tiang yang akan diuji, menentukan lokasi pemasangan sensor disiapkan dua lokasi pemasangan sensor yang saling berhadapan. Lalu meratakan tempat pemasangan sensor dengan menggunakan alat grinda tangan dan membuat tanda yang akan dilubangi yang disesuaikan dengan lubang pada sensor. Kemudian pasang sensor dan pastikan sensor telah terpasang dengan benar dan kencang. Karena akan sangat berpengaruh pada data yang akan di monitor, dan sambungkan sensor ke *main cable* yang telah tersambung ke komputer PDA.

2.6. Kapasitas Dukung Fondasi Tiang

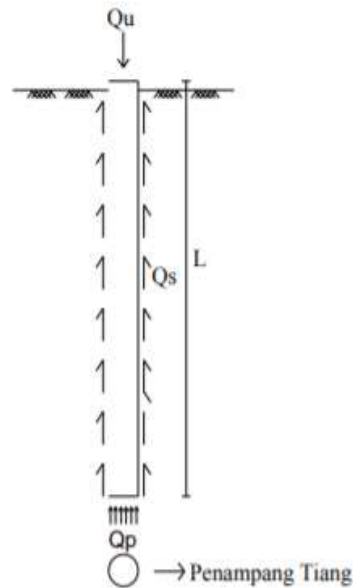
Kapasitas dukung tiang adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban (Hardiyatmo, 2010). Kapasitas dukung tiang *bored pile* diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung geser atau selimut (*friction bearing capacity*) yang diperoleh dari daya dukung gesek atau gaya adhesi antara *bored pile* dan tanah di sekelilingnya. *Bored pile* berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas. Untuk merencanakan fondasi yang akan digunakan perlu dihitung daya dukung fondasi tersebut serta penurunan yang diijinkan, untuk menanggulangi kegagalan pembangunan struktur bawah yang berfungsi menyalurkan beban struktur atas menuju tanah keras. Kapasitas daya dukung ultimit tiang (Q_u) adalah jumlah dari tahanan ujung ultimit tiang (Q_b) dan tahanan gesek dinding tiang (Q_s) antara sisi tiang dan tanah di sekitarnya dinyatakan dalam persamaan berikut ini (Hardiyatmo, 2010):

$$Q_u = Q_b + Q_s \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

Q_b = Tahanan ujung ultimit tiang

Q_s = Tahanan gesek dinding tiang



Gambar 8. Kapasitas dukung fondasi.

2.6.1. Kapasitas Daya Dukung Fondasi Tiang dari Hasil SPT

Untuk menghitung daya dukung ultimit fondasi *bored pile* berdasarkan data SPT dapat digunakan beberapa metode, dalam (Santoso dan Hartono, 2020).

Briaud, et al (1985) dalam persamaan:

$$Q_u = (f_p \cdot A_p) + (f_s \cdot A_s) \dots \dots \dots (3)$$

$$= (19,7 \times (N_p)^{0,36} \times \sigma_r \times A_p) + (0,224 \times (N_s)^{0,29} \times \sigma_r \times A_s) \dots \dots \dots (4)$$

Dengan:

A_p = Luas penampang ujung bawah tiang (m^2)

A_s = Luas selimut tiang (m^2).

$N_p = \frac{N_1 + N_2}{2}$ (nilai N-spt terkoreksi pada elevasi dasar tiang)

N_2 = Nilai SPT 2D dibawah lokasi ujung *bored pile*

N_1 = Nilai SPT 10D diatas lokasi ujung *bored pile*

σ_r = Tegangan referensi ($10 \text{ ton}/m^2$)

N_s = Harga N-Spt Rata-Rata

Meyerhoff (1976) dalam persamaan:

$$Q_u = (f_p \cdot A_p) + (f_s \cdot A_s) \\ = (0,4 \times N_p \times (L/d) \times A_p) + (0,5 \bar{N} \times A_s) \dots \dots \dots (5)$$

Dengan:

$$N_p = \frac{N_1 + N_2}{2} \text{ (nilai } N\text{-spt terkoreksi pada elevasi dasar tiang)}$$

N_2 = Nilai SPT 2D dibawah lokasi ujung *bored pile*

N_1 = Nilai SPT 10D diatas lokasi ujung *bored pile*

A_p = Luas permukaan *bored pile* (m²)

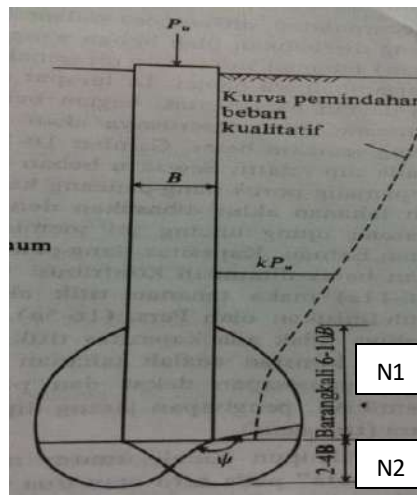
\bar{N} = Rata-rata nilai SPT sampai dengan kedalaman *bored pile*

A_s = Luas selimut tiang pancang (m²) = $\pi \cdot D \cdot L$

L = Panjang Tiang (m)

d = Diameter tiang (m)

f_s = 0,2 N untuk tanah pasir dan 0,5 N untuk tanah lempung.



Gambar 9. Keterangan letak N1 dan N2.

L.Decourt (1989) dalam persamaan:

$$Q_u = (f_p \cdot A_p) + (f_s \cdot A_s) \\ = (k \times N_p \times A_p) + (0,224 \times (N_s/3 + 1) \times \sigma_r \times A_s) \dots \dots \dots (6)$$

Dengan:

A_p = Luas penampang ujung bawah tiang (m²)

A_s = Luas selimut tiang (m²).

$$N_p = \frac{N_1 + N_2}{2} \text{ (nilai } N\text{-spt terkoreksi pada elevasi dasar tiang)}$$

N_2 = Nilai SPT 4D dibawah lokasi ujung *bored pile*

N_1 = Nilai SPT 4D diatas lokasi ujung *bored pile*

N_s = Harga N-Spt Rata-Rata

k = Koefisien dari jenis tanah (lihat Tabel 2.2)

Tabel 1. Nilai Koefisien k menurut L.Decourt

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

2.6.2. Kapasitas Daya Dukung Fondasi Tiang dari Hasil CPT

Untuk menghitung daya dukung ultimit fondasi *bored pile* berdasarkan data sondir dapat digunakan beberapa metode:

Mayerhoff dalam (Hardianty,2016) dalam persamaan:

$$Q_{ult} = (q_c \times A_p) + (JHP \times K) \dots\dots\dots(7)$$

Dengan:

Q_{ult} = Kapasitas daya dukung ultimit tiang pancang tunggal (kg)

q_c = Tahanan ujung sondir (kg/cm²)

A_p = Luas penampang tiang (cm²)

JHP = Jumlah Hambatan Pelekat (kg/cm)

K = Keliling tiang (cm)

Philipponant dalam (Rozeli,2020) dalam persamaan:

$$Q_{ult} = (Q_p + Q_s) \dots\dots\dots(8)$$

$$Q_p = \frac{q_p \times A_p}{2} \dots\dots\dots(9)$$

$$q_p = \alpha_p \cdot q_c, \text{ dengan } q_c = \frac{1}{6B} \int_{3B}^{3B} q_c(z) dz$$

Dengan :

q_c = Nilai konus rata-rata sepanjang 3B di atas tiang dan 3B di bawah tiang

α_p = Koefisien

B = Diameter tiang

A_p = Luas penampang tiang (cm²)

$$Q_s = \frac{P}{2} \times JHP \dots \dots \dots (10)$$

Dengan:

P = Keliling Tiang

Tabel 2. Harga Koefisien α_p

Jenis Tanah	α_p
Lempung dan Kapur	0,5
Lanau	0,45
Pasir	0,4
Kerikil	0,35

Sumber: Herman 1999

Andina dalam (Rozeli,2020) dalam persamaan:

$$Q_{ult} = \frac{Q_p + Q_s}{F} \dots \dots \dots (11)$$

$$Q_p = \frac{\frac{qc1 + qc2}{2} + qc3}{2} \times A_p \dots \dots \dots (12)$$

Q_s = JHL x P

Dengan:

Q_p = Daya dukung ujung tiang

$qc1$ = Nilai rata-rata qc pada kedalaman 4D di bawah ujung tiang

$qc2$ = Nilai rata-rata qc minimum pada kedalaman 4D di bawah ujung tiang

$qc3$ = Nilai rata-rata qc minimum 8D di atas ujung tiang

A_p = Luasan ujung tiang

P = Keliling Tiang

JHL = Jumlah Hambatan Lekat (kg/cm)

2.7. Faktor Keamanan

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit tiang dengan faktor aman tertentu. Fungsi faktor aman adalah:

1. Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian dari nilai kuat geser dan kompresibilitas yang mewakili kondisi lapisan tanah.
2. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam di antara tiang-tiang masih dalam batas-batas toleransi.
3. Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
4. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas-batas toleransi.
5. Untuk mengantisipasi adanya ketidakpastian metode hitungan yang digunakan (Hardiyatmo, 2010).

Menurut Tomlinson (1977), dalam buku Analisis dan Perencanaan Fondasi 2 faktor aman dinyatakan:

Untuk dasar tiang yang dibesarkan dengan diameter < 2 m:

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \dots\dots\dots (13)$$

Untuk tiang tanpa pembesaran di bagian bawahnya:

$$Q_a = \frac{Q_u}{2} \dots\dots\dots (14)$$

Faktor aman (F) untuk tiang bor juga bergantung terutama pada informasi dari hasil uji beban statis, keseragaman kondisi tanah, dan ketelitian program penyelidikan tanah. Nilai-nilai tipikal faktor aman untuk tiang bor yang disarankan, ditunjukkan dalam Tabel 3. Nilai-nilai dalam tabel tersebut berlaku untuk bangunan-bangunan pada umumnya. Untuk bangunan-bangunan yang khusus, maka nilai-nilai faktor amannya dapat ditambah atau dikurangi.

Tabel 3. Faktor Aman

Informasi dalam perancangan			Faktor Aman (F)	
Uji Beban statis	Kondisi tanah	Program Penyelidikan lokasi	Beban Ke Bawah (Tiang Tekan)	Beban Ke Atas (Tiang Tarik)
Ya	Seragam	Teliti	2,0*	3,0*
Ya	Tak teratur	Rata-rata	2,5	4,0
Tidak	Seragam	Teliti	2,5	5,0
Tidak	Seragam	Rata-rata	3,0	6,0
Tidak	Tak teratur	Teliti	3,0	6,0
Tidak	Tak teratur	Rata-rata	3,5	6,0

* Jika uji beban statis sangat teliti dan kondisi sifat-sifat tanah dapat didefinisikan dengan baik, faktor aman beban kebawah dapat direduksi 1,7 kalinya dan beban ke 2,5 kalinya.

Sumber: Hardiyatmo, 2010

Tabel 4. Faktor Aman yang Disarankan oleh Reesse dan O'Neill 1989

Klasifikasi Struktur	Faktor Aman (F)			
	Kontrol Baik	Kontrol Normal	Kontrol Jelek	Kontrol Sangat Jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2	2,3	2,8

Sumber: Hardiyatmo, 2010

2.8. Penurunan Tiang Tunggal (*Settlement*)

2.8.1. Penurunan Tiang Tunggal Elastis

Penurunan biasanya terjadi dalam tanah disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun oleh pengurangan rongga pori atau air di dalam tanah tersebut.

Perhitungan penurunan tiang tunggal ini menggunakan rumus menurut Sholeh (2008) dalam (Indryana, 2014):

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \dots \dots \dots (15)$$

Dengan:

S = Penurunan total fondasi tiang

S_1 = Penurunan akibat deformasi axial tiang tunggal

S_2 = Penurunan akibat beban pada ujung tiang

S_3 = Penurunan akibat beban sepanjang tiang

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \alpha Q_{ws})L}{A_p E_p} \dots\dots\dots(16)$$

Dengan:

Q_{wp} = Daya dukung ujung tiang dikurangi daya dukung *friction*

Q_{ws} = Daya dukung selimut (*friction*) tiang

A_p = Luas ujung tiang bawah

L = Panjang tiang

E_p = Modulus elastisitas material tiang

α = 0,5 jika distribusi gesekan berbentuk parabola atau 0,67 jika berbentuk segitiga.

$$S_2 = \frac{C_p \times Q_{wp}}{d \times q_p} \dots\dots\dots(17)$$

Dengan:

C_p = Koefisien empiris

d = Diameter tiang

q_p = Daya dukung ultimit

Tabel 5. Nilai Koefisien C_p

Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir	0,02 – 0,04	0,09 – 0,18
Lempung	0,02 – 0,03	0,03 – 0,06
Lanau	0,03 – 0,05	0,09 – 0,12

Sumber: Sholeh, 2008

$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws} C_s}{L \times q_p} \right) \dots\dots\dots(18)$$

Dengan:

L = Panjang tiang

C_s = Modulus elastisitas tanah

q_p = Angka poisson

Q_{ws} = Daya dukung selimut (*friction*) tiang

$$C_s = 0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{L}{D}} \cdot C_p \dots\dots\dots(19)$$

Tabel 6. Nilai Koefisien Empiris (C_p)

Tipe Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Sand (dense to loose)	0,02 - 0,04	0,09 - 0,18
Clay (stiff to soft)	0,02 - 0,03	0,03 - 0,06
Silt (dense to loose)	0,03 - 0,05	0,09 - 0,12

Sumber: Braja M. Das, 1995.

Menurut Bowles, 1977 memberikan persamaan yang dihasilkan dari pengumpulan data sodir, adalah:

$$E_s = 3 q_c \text{ (Untuk Pasir)} \dots\dots\dots (20)$$

$$E_s = 2-8 q_c \text{ (Untuk Lempung)} \dots\dots\dots (21)$$

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

Tabel 7. Modulus Elastis (E_s)

Jenis Tanah	E_s (kN/m ²)
Lempung	
Sangat Lunak	300-3000
Lunak	2000-4000
Sedang	4500-9000
Keras	7000-20000
Berpasir	30000-42500
Pasir	
Berlanau	5000-20000
Tidak padat	10000-25000
Padat	50000-100000
Pasir dan Kerikil	
Padat	80000-200000
Tidak Padat	50000-140000
Lanau	2000-20000
Loess	15000-60000
Serpih	140000-1400000

Sumber: Hardiyatmo, 2010.

2.8.2. Penurunan Tiang Tunggal Menurut Poulos dan Davis

Menurut Poulos dan Davis (1980) penurunan jangka panjang untuk fondasi tiang tunggal tidak perlu ditinjau karena penurunan tiang akibat konsolidasi dari tanah relatif kecil. Ini dikarenakan fondasi tiang direncanakan terhadap kuat dukung ujung dan kuat dukung friksinya atau penjumlahan dari keduanya.

- a. Untuk tiang apung atau tiang friksi

$$s = \frac{QI}{E_s d} \dots\dots\dots(22)$$

$$I = I_0 R_k R_h R \mu \dots\dots\dots(23)$$

- b. Untuk tiang dukung ujung (*end bearing*)

$$s = \frac{QI}{E_s d} \dots\dots\dots(24)$$

$$I = I_0 R_k R_b R \mu \dots\dots\dots(25)$$

Dengan:

S = Penurunan untuk tiang tunggal (cm)

Q = Beban yang bekerja (kg)

I_0 = Faktor pengaruh penurunan tiang yang tidak mudah mampat

R_k = Faktor koreksi kemudah mampatan tiang

R_h = Faktor koreksi untuk ketebalan lapisan yang terletak pada tanah

R_b = Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung

$R \mu$ = Faktor koreksi angka poisson $\mu=0.30$

K adalah suatu ukuran kompressibilitas relatif dari tiang dan tanah yang dinyatakan oleh persamaan

$$R_a = \frac{A_p}{1/4 \pi \times D^2} \dots\dots\dots(26)$$

$$K = \frac{E_p \cdot R_a}{E_s} \dots\dots\dots(27)$$

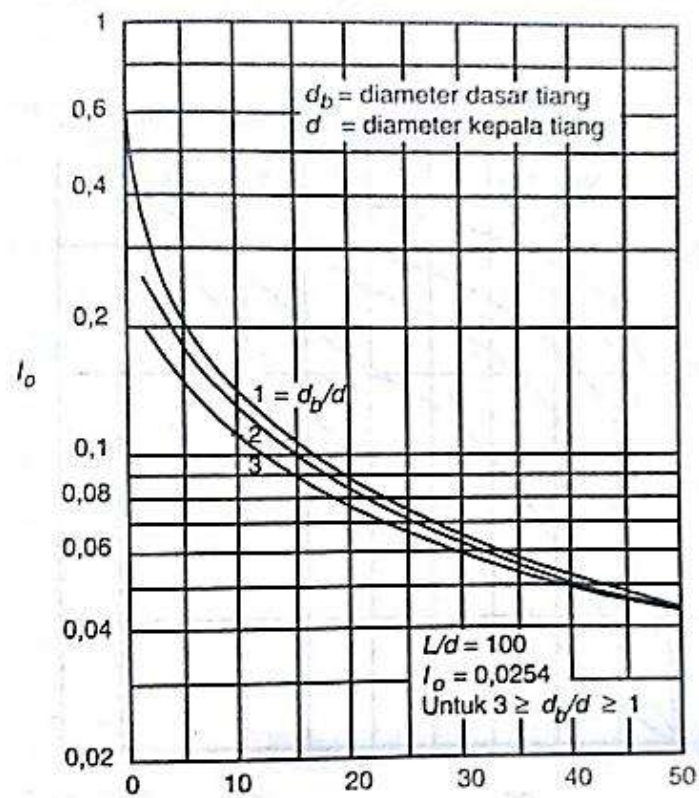
Dengan:

K = Faktor kekakuan tiang

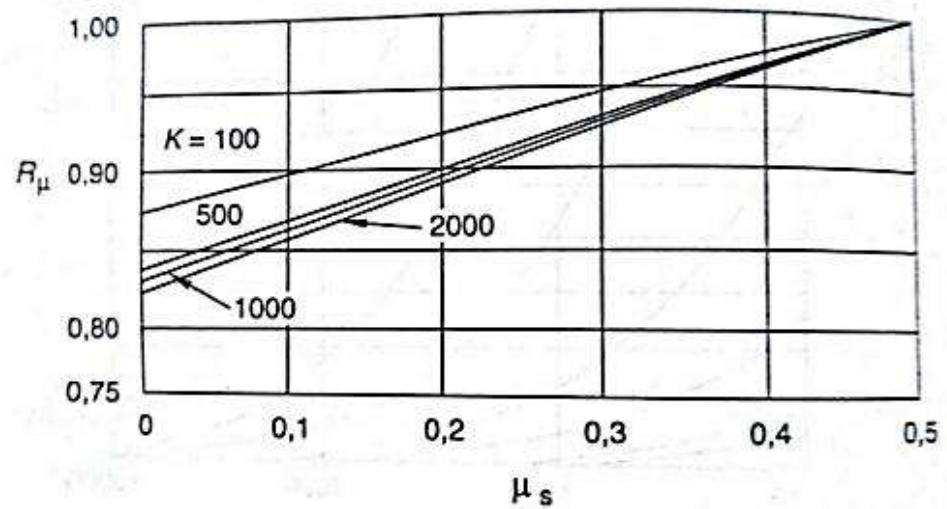
E_p = Modulus elastisitas dari bahan tiang

E_s = Modulus elastisitas tanah di sekitar tiang

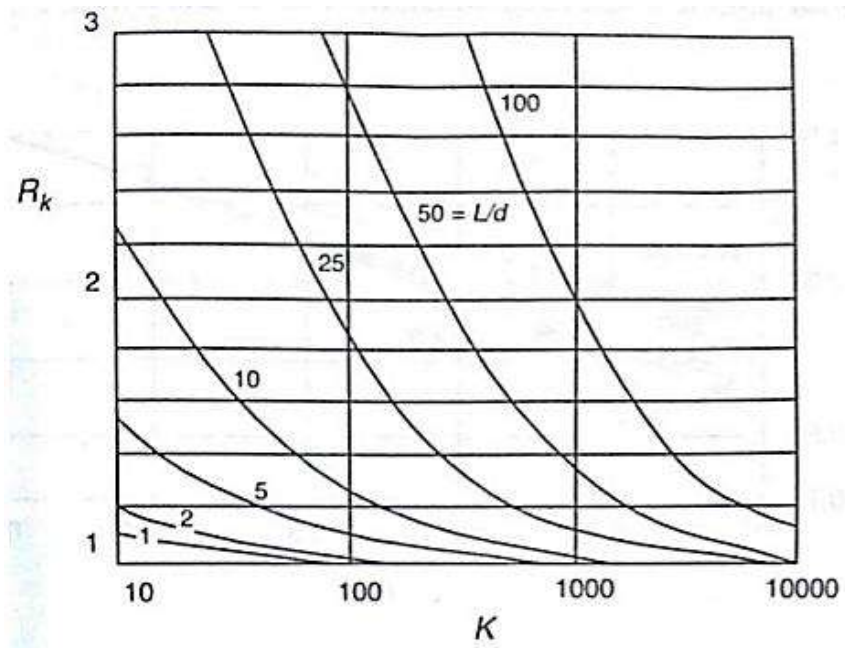
E_b = Modulus elastisitas tanah di dasar tiang



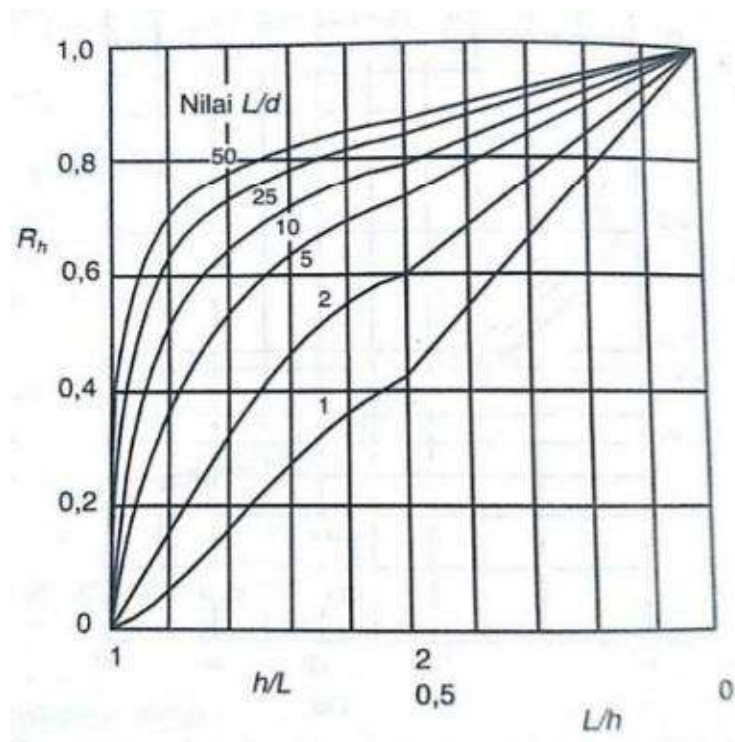
Gambar 10. Faktor penurunan I_o (Poulos dan Davis, 1980).



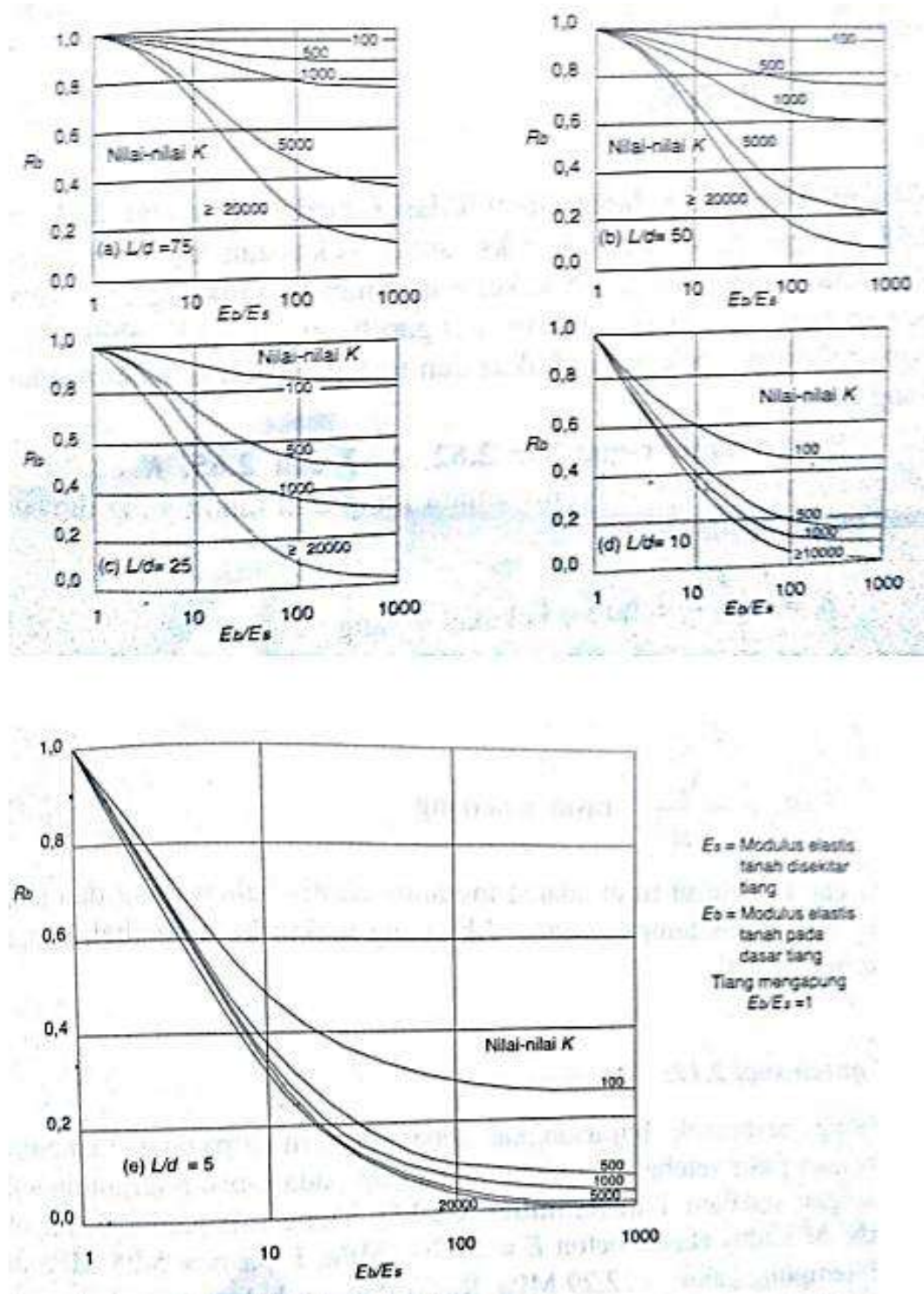
Gambar 11. Faktor penurunan R_μ (Poulos dan Davis, 1980).



Gambar 12. Faktor penurunan R_k (Poulos dan Davis, 1980).



Gambar 13. Faktor penurunan R_h (Poulos dan Davis, 1980).



Gambar 14. Faktor penurunan R_b (Poulos dan Davis, 1980).

2.8.3. Penurunan Konsolidasi

Penurunan pada tanah berbutir halus seperti tanah lempung akan menghabiskan waktu yang lama, hal ini disebabkan karena permeabilitas yang rendah. Proses konsolidasi pada tanah berbutir halus sebagai konsolidasi primer. Sedangkan untuk tanah berbutir kasar, penurunannya akan berlangsung cepat saat pembebanannya selesai penurunannya juga sudah selesai, yang dinamakan penurunan seketika.

Penambahan beban diatas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan dibawahnya mengalami pemampatan, deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara di dalam pori. Pada proyek pembangunan gedung BRSU Muhammadiyah Metro ini, ujung tiang bor jatuh di tanah lempung, sehingga diperhitungkan penurunan konsolidasi.

Lempung merupakan *normally consolidated* dimana $P_0' = P_c'$. *Normally consolidated* mempunyai nilai OCR (*overconsolidated ratio*) yaitu sama dengan satu, $OCR = 1$ artinya tegangan yang pernah terjadi = tegangan yang dialami sekarang. Tidak ada terjadi tegangan tabahan akibat erosi, penggalian, longsor, dan pengeringan lapisan permukaan tanah.

$$S_c = C_c \frac{H}{1+e_0} \log \frac{P_0' + \Delta P}{P_0'} \dots\dots\dots(28)$$

Dengan:

C_c = Indeks pemampatan

H = Tebal lapisan tanah

e_0 = Angka pori awal

P_0' = Tekanan overburden efektif awal sebelum dibebani

ΔP = Tambahan tegangan akibat beban fondasi

2.8.4. Penurunan Ijin

Penurunan tiang tunggal ijin dalam jurnal Azizi A, dkk., (2020), $S < S_{ijin}$, dimana S_{ijin} yaitu $10\%D$, D adalah diameter fondasi. Berdasarkan (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik) pasal 9.2.4.3. Penurunan total izin $< 15 \text{ cm} + b/600$ (b dalam satuan cm) untuk bangunan tinggi dan bisa dibuktikan struktur atas masih aman.

2.9. Metode Elemen Hingga

Elemen hingga merupakan suatu cara untuk menyelesaikan permasalahan *engineering* dengan cara membagi objek analisa menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing* (Pustek, 2021). Program ini melakukan perhitungan berdasarkan metode elemen hingga yang digunakan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang Geoteknik. Program ini menerapkan metode antar muka grafis yang mudah digunakan sehingga pengguna dapat dengan cepat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri dari empat buah sub-program yaitu masukan, perhitungan, keluaran, dan kurva.

1.9.1. Plaxis

Plaxis adalah sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam bidang Geoteknik (Plaxis, 2012).

1.9.2. Analisis Permodelan Pada Plaxis

Di dalam program Plaxis ada beberapa jenis pemodelan tanah beberapa diantaranya adalah model *Linier Elastic*, *Soft Soil*, *Hardening*

soil, Mohr-Coulomb. Namun penelitian ini hanya menggunakan permodelan *Mohr-Coulomb*. Pemodelan ini digunakan sebagai perkiraan awal dari tingkah laku tanah secara umum. Pemodelan ini meliputi lima parameter yaitu modulus Young (E), Poisson ratio, kohesi, sudut geser, dan sudut dilatasi.

Nilai kohesi c dan sudut geser ϕ diperoleh dari uji Geser Triaxial, atau diperoleh dari hubungan empiris berdasarkan data uji lapangan. Sementara sudut dilatasi (ψ) digunakan untuk memodelkan regangan volumetrik plastik yang bernilai positif. Pada tanah lempung (NC), umumnya tidak terjadi dilatasi ($\psi = 0$), sementara pada tanah pasir dilatasi tergantung dari kerapatan dan sudut geser (ϕ) dimana $\psi = \phi - 30^\circ$. Jika $\phi < 30^\circ$ maka $\psi = 0$. Sudut dilatasi (ψ) bernilai negatif hanya bersifat realistis jika diaplikasikan pada pasir lepas. Hasil Perhitungan program Plaxisv.8 yang diperoleh dari pemasukan data tanah dan spesifikasi tiang *bored pile* dari Proyek Pembangunan Gedung B RSUD Muhammadiyah Metro didapatkan nilai Σ -Msf dan penurunan. Maka nilai daya dukung ultimit tiang (Q_u) dengan program Plaxis adalah:

$$Q_{all} = P_{all} = \frac{Q_u}{\Sigma -Msf} \dots \dots \dots (29)$$

$$Q_u = P_{all} \times \Sigma -Msf \dots \dots \dots (30)$$

Dengan:

$Q_{all} = P_{all}$ = Daya dukung ijin tiang

Q_u = Daya dukung ultimit (ton)

Σ -Msf = Hasil bagi dari parameter kekuatan sebenarnya terhadap parameter kekuatan yang telah direduksi.

1.9.3. Sub Program Plaxis

Pada Plaxis terdapat 4 sub-program yaitu: *input, calculation, output, dan curve*.

1. Program Input

Untuk membuat nanalisis elemen hingga dengan Plaxis pengguna harus membuat odel elemen hingga dan menentuksn *property*

material dan kondisi batas. Dalam membuat model elemen hingga, pengguna harus membuat model geometrik dari beberapa tahapan sebagai berikut:

a. General Setting

Pada tahap ini terdapat dua lembar kerja (*tab sheet*) yaitu *project* dan *dimension*. Lembar *Project* berisi nama proyek dan deskripsi, tipe model dan akselerasi. Lembar *dimension* berisi satuan panjang, gaya, waktu dan dimensi area untuk menggambar.

b. Pemodelan secara Geometrik

Tahapan dari permodelan elemen hingga dimulai dengan membuat model geometrik yang akan menggambarkan permasalahan yang terjadi. Permodelan geometrik terdiri dari titik, garis, dan kelompok (*cluster*). Titik dan garis diinput oleh pengguna, sedangkan *cluster* diolah oleh program. Tambahan dari komponen dasar, objek struktur atau kondisi tertentu dapat digunakan permodelan interaksi tanah dan semua komponen geometrik telah memiliki properti masing-masing, maka struktur elemen hingga dapat diolah.

c. *Load dan Boundary Condition*

Menu *load* berisi pilihan yang menjelaskan distribusi beban, apakah beban garis atau beban titik. Kondisi batas menjelaskan *displacement* yang sama dengan nol. Kondisi dapat diterapkan pada garis geometrik dan pada titik.

d. Material Properti

Pada Plaxis, nilai properti tanah dan properti material dari struktur disimpan pada data material. Dimana ada empat macam material, data untuk tanah dan interaksi, plat, geogrid, dan ankur. Semua data disimpan pada data base material. Berdasarkan data base tersebut dapat diterapkan kumpulan tanah atau objek struktur pada permodelan geometrik.

e. *Mesh Generation*

Setelah permodelan geometrik semua sudah ditetapkan dan properti material dipilih untuk semua jenis kumpulan tanah dan objek struktur, permodelan geometrik harus dibagi-bagi menjadi elemen-elemen hingga (*mesh*) dengan tujuan untuk membentuk perhitungan elemen hingga. Komposisi untuk elemen hingga disebut "*mesh*".

f. *Initial Condition*

Setelah permodelan geometrik dibuat dan jaring elemen hingga sudah di-*generate* (diproses), keadaan tegangan awal dan konfigurasi awal yang ditetapkan. Pada *initial condition* terdapat dua model yang berbeda, yaitu model pertama untuk memproses tekanan air awal (*water conditions mode*) dan model kedua untuk persyaratan konfigurasi geometrik awal dan untuk memproses tegangan efektif dasar awal (*geometric configurations mode*).

2. Program Calculation

Setelah proses permodelan elemen hingga dapat dilaksanakan. Perlu ditetapkan tipe dari perhitungan yang akan digunakan dan jenis pembebanan atau tahapan konstruksi yang mana harus diaktifkan selama perhitungan. Semua ini dilakukan oleh program *calculation*. Program ini hanya mempertimbangkan analisis deformasi dan membedakan antara perhitungan *plastic*, analisis *consolidation*, analisis *Phi-c reduction* (faktor keamanan) dan perhitungan *dynamic*. Pengertian tipe perhitungan tersebut secara singkat adalah sebagai berikut:

a. Perhitungan *Plastic*

Perhitungan tipe ini harus dipilih untuk *mendapatkan elastic-plastic deformation analysis* yang mana tidak diperlukan untuk memasukkan kekurangan dan kelebihan tekanan air pori beserta waktu kedalaman perhitungan. Tipe ini sangat cocok pada sebagian besar penerapan di bidang geoteknik.

b. Perhitungan *Consolidation*

Perhitungan ini harus dipilih ketika cukup penting untuk menganalisis perkembangan dari disipasi dari kelebihan air pori pada tipe tanah yang jenuh air dalam fungsi waktu.

c. Perhitungan *Phi-c reduction*

Perhitungan ini digunakan pada Plaxis untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dengan mengurangi parameter kekuatan tanah.

d. Perhitungan *Dynamic*

Perhitungan ini digunakan apabila beban yang bekerja bukan beban statis, tetapi beban bergerak.

Pada proses perhitungan dibagi beberapa tahapan antara lain, pengaktifan beban khusus pada waktu tertentu, simulasi dari tahapan konstruksi, pendahuluan dari waktu konsolidasi, perhitungan faktor keamanan, dan lain sebagainya.

3. Program Output

Hasil utama dari output dari perhitungan elemen hingga adalah *displacement* (perpindahan) pada titik dan perubahan tegangan pada titik yang ditinjau. Beberapa parameter yang diketahui dari hasil program output antara lain: deformasi, perpindahan, regangan, tegangan, *over consolidation ratio* (OCR), titik plastis, tekanan aktif pori, *ground water head*, *flow field*, dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

4. Program Curve

Pada program curve dapat digunakan untuk menggambarkan kurva beban atau waktu tahapan *displacement* (perpindahan), diagram tegangan-regangan dan garis tegangan atau garis regangan dari titik yang sudah dipilih atau dimodelkan secara geometrik. Kurva ini

menggambarkan perkembangan dari beberapa hitungan selama berbagai tahapan perhitungan dan memberikan tanda secara global atau lokal perilaku tanah.

2.10. Kontrol Beban Tiang

Kontrol beban yang diterima satu tiang dalam kelompok tiang adalah sebagai berikut :

$$q_i = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{(M_y + M_{yi}) \cdot x_i}{n_y \sum x^2} \pm \frac{(M_x + M_{xi}) \cdot y_i}{n_x \sum y^2} \dots \dots \dots (31)$$

Dengan :

q_i = Beban yang dipikul oleh tiang ke-i

$\sum V$ = Jumlah total beban normal

n = Jumlah tiang dalam satu pile cap/poer

M_x = Momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu x yang bekerja pada fondasi.

M_y = Momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu y yang bekerja pada fondasi.

M_{xi} = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu x akibat gaya tidak di pusat titik berat pile cap.

M_{yi} = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu y akibat gaya tidak di pusat titik berat pile cap.

x_i = Jarak tiang terhadap sumbu y

y_i = Jarak tiang terhadap sumbu x

$\sum x^2$ = Jumlah kuadrat absis tiang fondasi

$\sum y^2$ = Jumlah kuadrat ordinat tiang fondasi

n_y = Jumlah baris tiang diarah sumbu y

n_x = Jumlah baris tiang diarah sumbu x

III. METODE PENELITIAN

3.1. Uraian Umum

Pada penelitian ini, akan menganalisis daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile*. Dalam penelitian ini akan menggunakan beberapa metode yakni metode teoritis dan metode elemen hingga untuk dibandingkan dari hasil uji experimental di lapangan dengan test PDA (*Pile Driving Analyze*) dan CAPWAP. Pada bab ini akan membahas data umum RSUD Muhammadiyah Metro, metodologi penelitian, dan diagram alir penyelesaian penelitian.

3.2. Data Penelitian

Secara umum data proyek pembangunan Gedung B RSUD Muhammadiyah Metro ini adalah sebagai berikut:

1. Nama Proyek : Pekerjaan Pembangunan Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro
2. Lokasi Proyek : Jl. Soekarno Hatta No.42, Mulyojati, Kec. Metro Barat, Kota Metro, Lampung.
3. Pemilik Proyek : Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro.
4. Nomor Kontrak : 64/D-15/IMB/2020, Tanggal 24 Februari 2020
5. Luas Bangunan : $\pm 7.467 \text{ m}^2$
6. Luas Lahan : $\pm 10.312 \text{ m}$



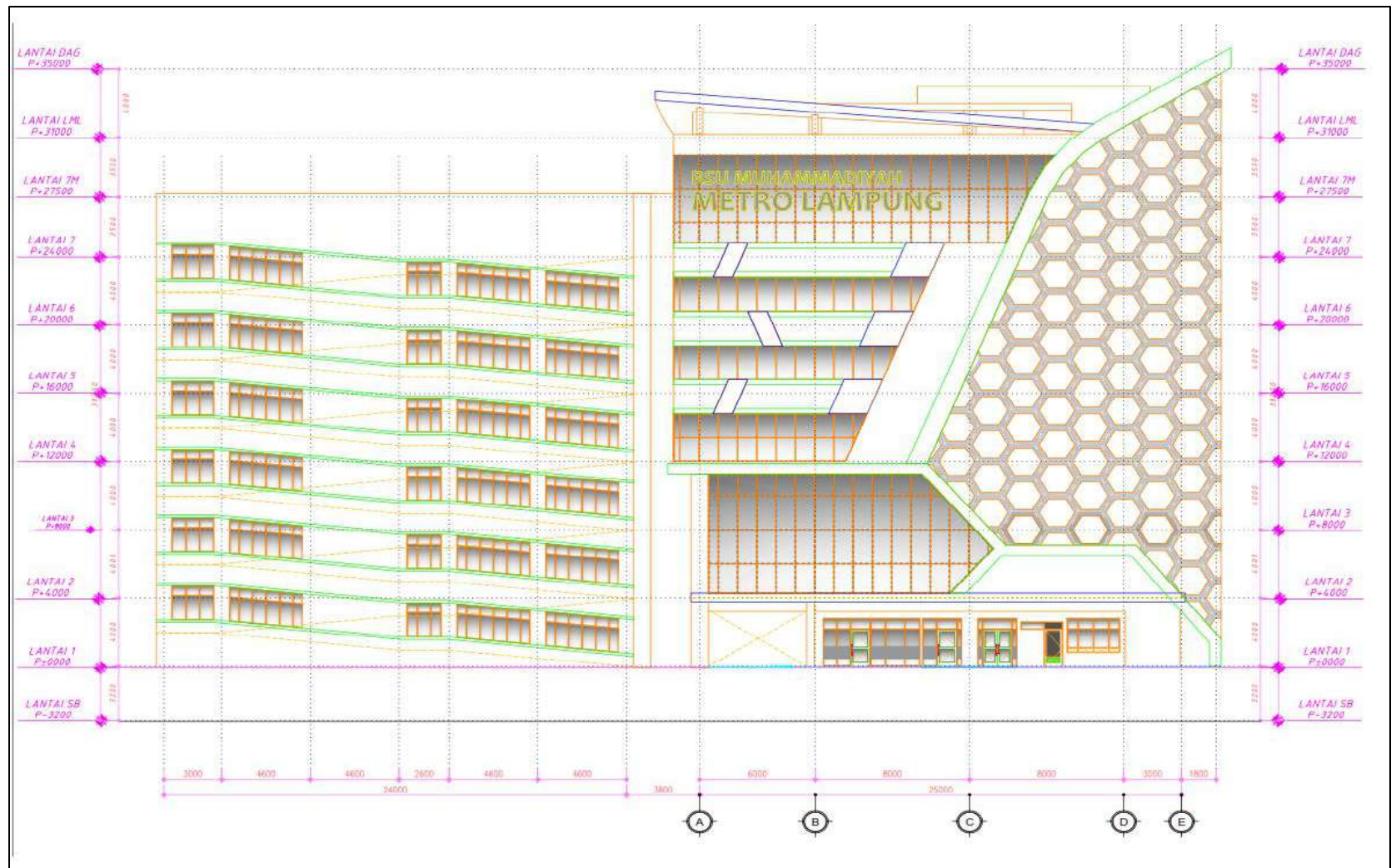
Gambar 15. Lokasi penelitian RSU Muhammadiyah Metro.

Adapun batas-batas proyek Gedung B RSU Muhammadiyah Metro ini adalah sebagai berikut:

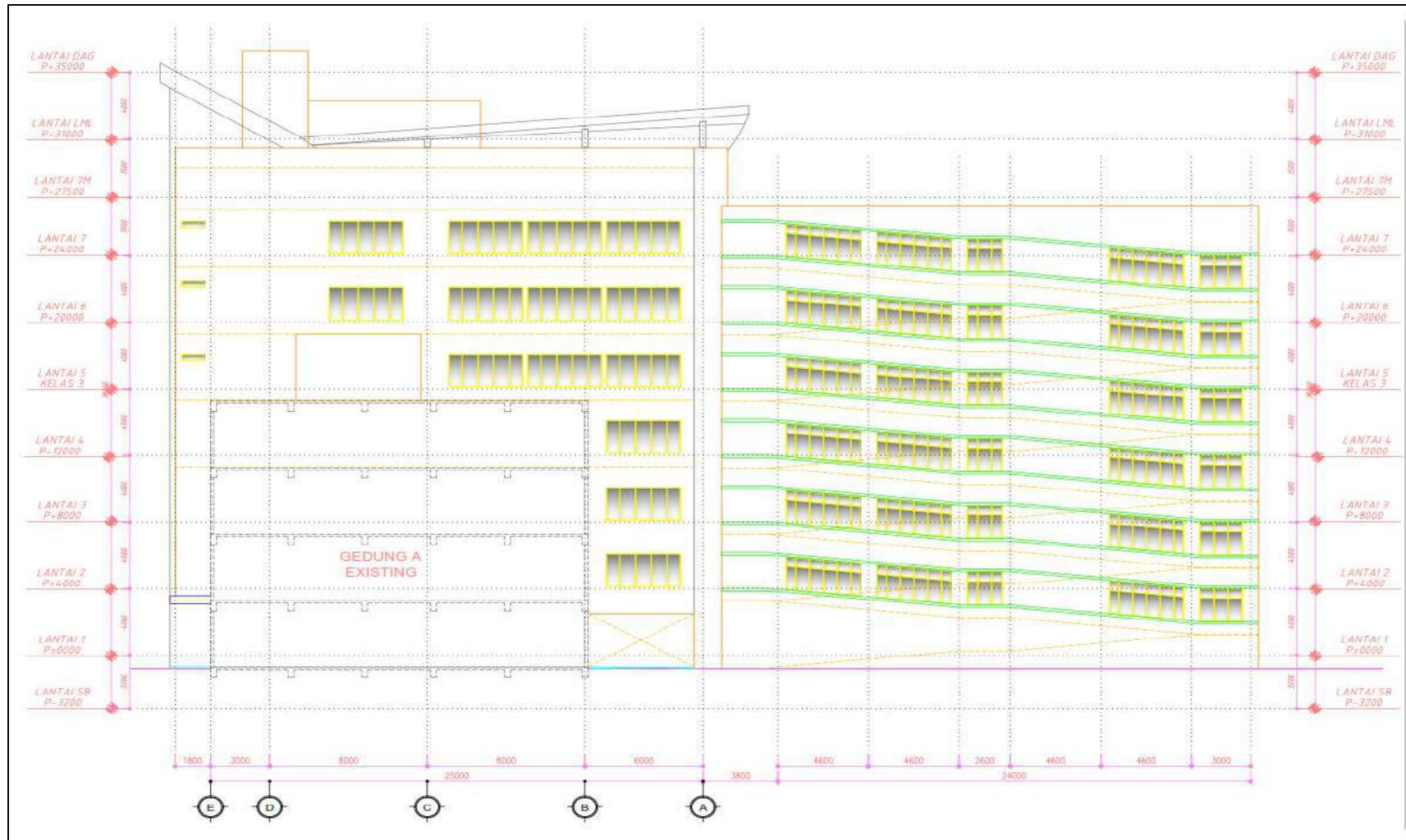
1. Sebelah barat berbatasan dengan rumah masyarakat.
2. Sebelah timur berbatasan dengan MBC (Muhammadiyah Bisnis Center)
3. Sebelah utara berbatasan dengan jl. Soekarno Hatta No.42.
4. Sebelah selatan berbatasan dengan gedung A Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro.



Gambar 16. Siteplan RSU Muhammadiyah Metro.



Gambar 17. Tampak depan gedung.



Gambar 18. Tampak belakang gedung.

a. Luas Bangunan

Luas bangunan pada Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro adalah $\pm 7.413 \text{ m}^2$, dengan luas lahan yaitu $\pm 10.312 \text{ m}^2$. Struktur terdiri dari 7 lantai dengan luas per lantai sebagai berikut:

- a. Luas Basement = $\pm 725 \text{ m}^2$
- b. Luas lantai 1 = $\pm 905 \text{ m}^2$
- c. Luas lantai 2 = $\pm 950 \text{ m}^2$
- d. Luas lantai 3 = $\pm 950 \text{ m}^2$
- e. Luas lantai 4 = $\pm 951 \text{ m}^2$
- f. Luas lantai 5 = $\pm 881 \text{ m}^2$
- g. Luas lantai 6 = $\pm 881 \text{ m}^2$
- h. Luas lantai 7 + MEZ = $\pm 1170 \text{ m}^2$

b. Ketinggian Bangunan

Ketinggian bangunan adalah sebagai berikut:

- a. *Basement* ke lantai 1 = 3.2 meter
- b. Lantai 1 ke lantai 2 = 4 meter
- c. Lantai 2 ke lantai 3 = 4 meter
- d. Lantai 3 ke lantai 4 = 4 meter
- e. Lantai 4 ke lantai 5 = 4 meter
- f. Lantai 5 ke lantai 6 = 4 meter
- g. Lantai 6 ke lantai 7 = 4 meter
- h. Lantai 7 ke lantai 7 MEZ = 3,5 meter
- i. Lantai 7 MEZ ke lantai atap = 3,5 meter

c. Data *Bored Pile*

Dalam pembangunan RSU Muhammadiyah Metro menggunakan fondasi dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Jenis Fondasi : Fondasi *bored pile*
- Diameter *Bored Pile* : $\varnothing 60 \text{ cm}$

Panjangn Tiang Fondasi : 10 m

Mutu Beton : K-350

d. Balok

Pada Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro menggunakan balok struktur dengan dimensi yang berbeda-beda. Terdapat balok anak dan balok induk dalam struktur ini. Mutu beton yang digunakan adalah K-300. Secara umum diameter tulangan utama yang digunakan adalah D13, D16, D25, dengan sengkang D10. Jarak sengkang yang digunakan adalah 100 mm pada daerah tumpuan dan 150 mm pada daerah lapangan.

Tabel 8. Dimensi balok.

No	Tipe Balok	Dimensi (mm)
1.	TB1	400 x 700
2.	TB2	200 x 400
3.	B1	400 x 700
4.	B2	250 x 550
5.	B3	200 x 400
6.	B4	150 x 300

e. Kolom

Pada Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro menggunakan kolom struktur dengan dimensi yang berbeda-beda. Digunakan tulangan baja D25, D19, dan D16 dengan mutu beton yang digunakan adalah K-350, sedangkan diameter tulangan sengkang kolom struktur dan kolom praktis yang digunakan adalah D13-150 dan D13-100.

Tabel 9. Tabel dimensi kolom.

No	Tipe Kolom	Dimensi (mm)
1.	K1	800 x 800
2.	K2	400 x 800
3.	K3	600 x 600
4.	K5	450 x 500
5.	K6	300 x 500

f. Pelat

Pada Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro memiliki tebal 300 mm untuk *groundfloor* (lantai *basement*), 130 mm untuk lantai 1-7 *mazanine*, dan 120 mm untuk lantai atap. Tulangan yang digunakan adalah D16-200 untuk tebal pelat 300 mm, dan D10-150 mm untuk tebal pelat 130 mm dan 120 mm. Mutu beton yang direncanakan untuk pelat lantai adalah K-300.

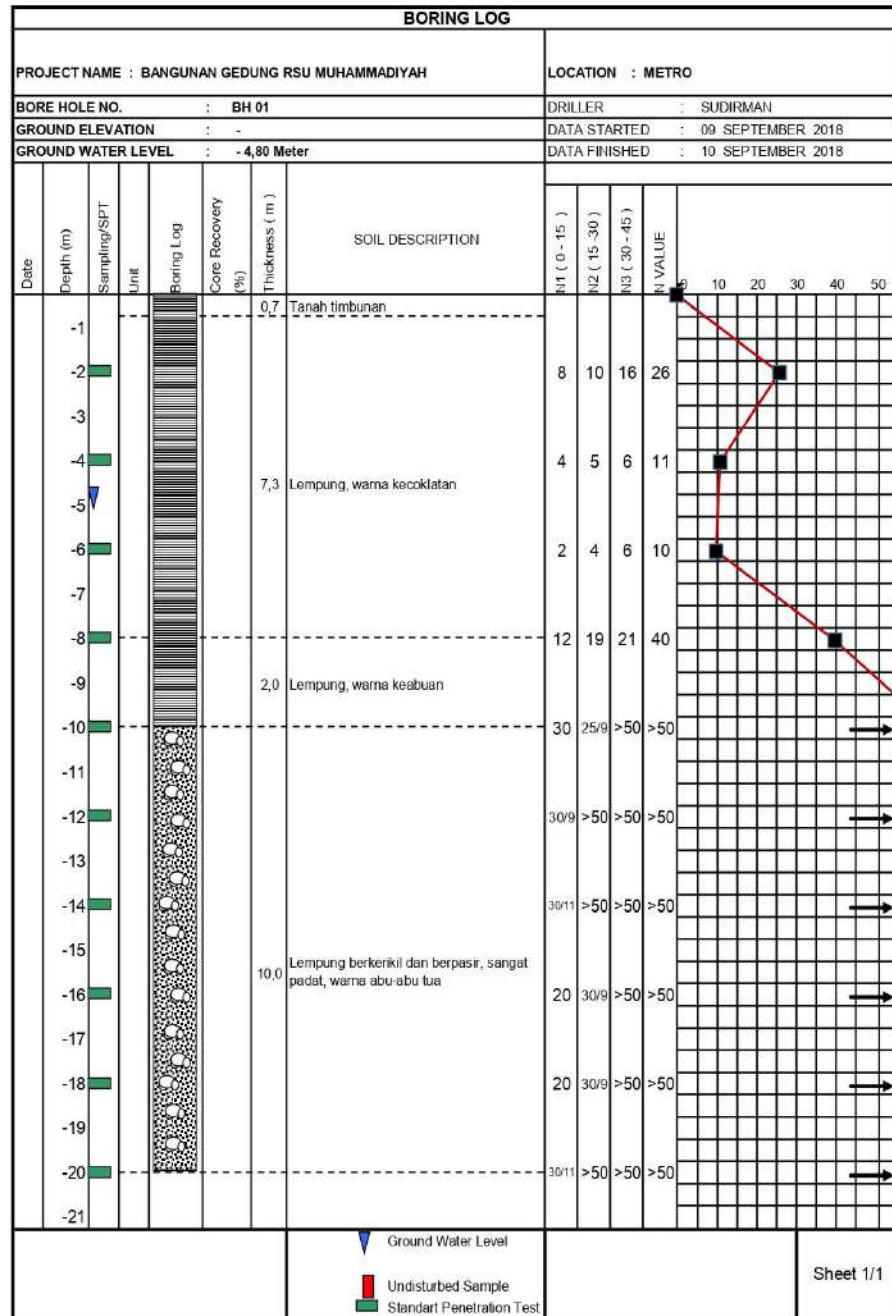
Tabel 10. Tabel dimensi dan tulangan pelat lantai

No	Tipe Pelat	Dimensi (mm)	Tulangan X	Tulangan Y
1.	S1	T = 130	D10-150	D10-150
2.	S2	T = 120	D10-150	D10-150
3.	S2'	T = 120	D10-200	D10-200
4.	S3	T = 150	D10-100	D10-100
5.	S3'	T = 150	D10-150	D10-150
6.	S4	T = 300	D16-200	D16-200

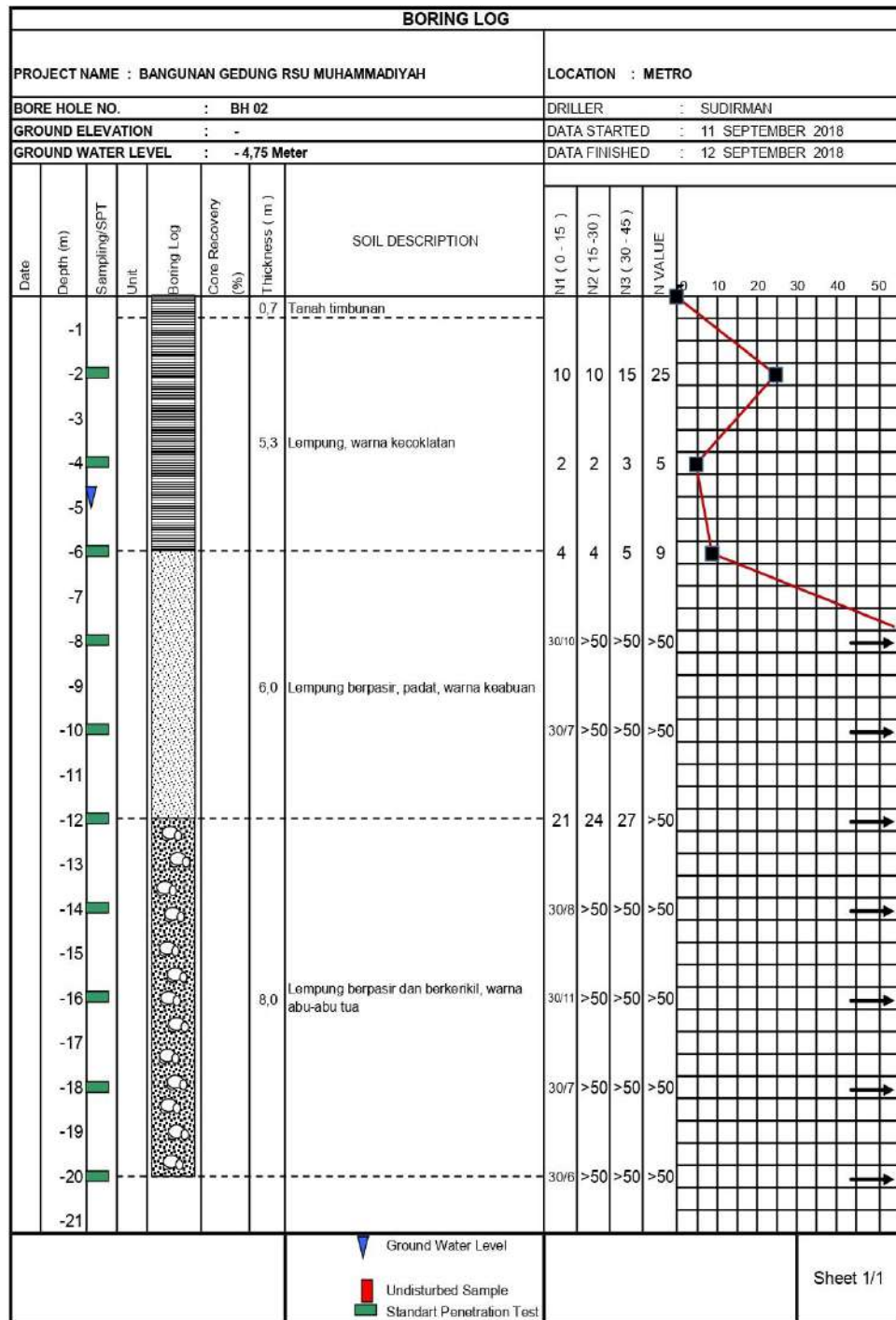
g. Nilai SPT

Pengujian tanah dilakukan dengan bor mesin di dua titik yang berbeda. Pengeboran dilakukan masing-masing dengan kedalaman 20 m. Titik 1 muka air tanah tercatat pada -4,80 m, sedangkan titik 2 muka air tanah yang tercatat pada -4,75 m.

Tabel 11. Nilai SPT pada BH-01



Tabel 12. Nilai SPT pada BH-02



h. Data Hasil Pengujian CPT

Tabel 13. Tabel sondir hasil pengujian CPT titik 1.

<i>Kedalaman (cm)</i>	<i>Penetrasi Konus (Kg/cm²)</i>	<i>Jumlah Perlawanan (Kg/cm²)</i>	<i>Perlawanan Geser (Kg/cm²)</i>	<i>Hambatan Pelekat (Kg/cm)</i>	<i>J.H.P</i>	<i>Hambatan Setempat (Kg/cm)</i>
1	2	3	$4 = 3 - 2$	$5 = 4 \times Cf$	$6 = \sum 5$	$7 = 4/10$
0	0	0	0	0	0	0
20	22	20	8	16	16	0,8
40	35	37	2	4	4	0,2
60	44	50	6	12	16	0,6
80	57	62	5	10	26	0,5
100	74	81	7	14	40	0,7
120	88	90	2	4	44	0,2
140	92	105	13	26	70	1,3
160	114	120	6	12	82	0,6
180	129	131	2	4	86	0,2
200	133	138	5	10	96	0,5
220	145	150	5	10	106	0,5
240	157	160	3	6	112	0,3

Tabel 14. Tabel sondir hasil pengujian CPT titik 2.

<i>Kedalaman (cm)</i>	<i>Penetrasi Konus (Kg/cm²)</i>	<i>Jumlah Perlawanan (Kg/cm²)</i>	<i>Perlawanan Geser (Kg/cm²)</i>	<i>Hambatan Pelekat (Kg/cm)</i>	<i>J.H.P</i>	<i>Hambatan Setempat (Kg/cm)</i>
1	2	3	$4 = 3 - 2$	$5 = 4 \times Cf$	$6 = \sum 5$	$7 = 4/10$
0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
40	0	10	10	20	20	1
60	25	31	6	12	32	0,6
80	40	15	-25	-50	-18	-2,5
100	0	4	4	8	-10	0,4
120	10	20	10	20	10	1
140	55	63	8	16	26	0,8
160	70	72	2	4	30	0,2
180	80	90	10	20	50	1
200	110	113	3	6	56	0,3
220	115	117	2	4	50	0,2
240	125	130	5	10	70	0,5
260	134	138	4	8	78	0,4
280	140	145	5	10	88	0,5
300	155	155	0	0	88	0
320	160	162	2	4	92	0,2

i. Data Uji Laboratorium

Tabel 15. Hasil uji laboratorium BH-01

**TEST RESULT
BANGUNAN GEDUNG RSU MUHAMMADIYAH
METRO**

NO.	DESCRIPTION	BH 01		
		2 - 8 Meter	10 - 12 Meter	14 - 20 Meter
	UNDISTURBED SAMPLE			
1	Water Content %	64,46	33,33	29,36
2	Density gr/cm ³	1,476	1,460	1,484
3	Specific gravity (Gs)	2,681	2,497	2,539
4	Percent Lose No. 200 %	63,31	43,41	53,88
5	Atterberg Limit			
	LL %	62,68	40,17	29,08
	PL %	52,37	29,22	20,21
	PI %	10,31	10,95	8,87
6	Direct Shear Test			
	Cohesion (c) kg/cm ²	0,121	0,197	0,195
	Internal Friction Angle (ϕ) °	21,3	24,2	26,8
7	Consolidation			
	Cv cm ² /s	0,086	0,051	0,115
	Cc	0,188	0,079	0,036

Tabel 16. Hasil uji laboratorium BH-02

TEST RESULT
BANGUNAN GEDUNG RSU MUHAMMADIYAH
METRO

NO.	DESCRIPTION	BH 02		
		2 - 6 Meter	8 - 12 Meter	14 - 20 Meter
	UNDISTURBED SAMPLE			
1	Water Content %	46,15	35,32	40,31
2	Density gr/cm ³	1,472	1,586	1,430
3	Specific gravity (Gs)	2,561	2,449	2,594
4	Percent Lose No. 200 %	59,46	31,32	29,51
5	Atterberg Limit			
	LL %	65,49	N.P.	51,96
	PL %	44,62	N.P.	41,06
	PI %	20,87	N.P.	10,90
6	Direct Shear Test			
	Cohesion (c) kg/cm ²	0,053	0,036	0,175
	Internal Friction Angle (ϕ) °	24,2	26,3	29,2
7	Consolidation			
	Cv cm ² /s	0,033	0,108	0,085
	Cc	0,162	0,036	0,049

3.3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan penelitian deskriptif yaitu penelitian yang dilakukan terfokus pada suatu kasus tertentu untuk diamati dan dianalisis secara cermat sampai tuntas studi literatur yang didapatkan dari berbagai acuan referensi baik berupa data kualitatif ataupun kuantitatif dengan mencari referensi teori-teori yang relevan dan mendukung peneliti dalam menghitung daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile*. Pendekatan penelitian yang digunakan oleh penulis yaitu pendekatan kuantitatif. Pendekatan ini dipilih karena penelitian yang dilakukan melibatkan angka atau bilangan. Penelitian kuantitatif bertujuan untuk menjawab masalah penelitian yang berkaitan dengan data berupa angka dan program statistik (Wahidmurni, 2017). Dalam penelitian ini langkah pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan data baik data primer maupun data sekunder dan melakukan pemahaman dari beberapa referensi berupa buku, jurnal, artikel, dan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile*. Hal ini bertujuan sebagai acuan dalam menganalisis metode yang dipakai dalam penelitian ini. Kemudian dilakukan analisis dengan beberapa metode yaitu metode teoritis, metode elemen hingga, dan metode experimental.

a. Tahap Persiapan

Pada tahapan persiapan yang dilakukan adalah:

1. Mempelajari literatur (studi pustaka) yang berkaitan dengan perencanaan fondasi *bored pile*.
2. Menentukan data sekunder yang diperlukan dari pihak instansi yang terkait

b. Pengumpulan Data

Pengumpulan data berupa data sekunder diperoleh penulis dari Project Manajer Pembangunan Gedung B RSUD Muhammadiyah Metro. Data sekunder yang diperoleh adalah gambar struktur proyek, data penyelidikan tanah yakni hasil Sondir, *Standard Penetration Test* (SPT), dan hasil pengujian lapangan yakni PDA test.

c. Metode Analisis

1. Analisis pembebanan dengan ETABS v.18 dengan menggunakan SNI 1727-2020.
2. Menghitung kapasitas daya dukung desain dan penurunan dengan menggunakan metode teoritis menggunakan data lapangan yang terdiri:
 - a. *Standard Penetration Test* (SPT)
 - b. *Cone Penetration Test* (CPT)
 - c. Laboratorium
2. Menghitung kapasitas daya dukung dengan, menggunakan metode elemen hingga.
3. Menginterpretasikan hasil metode experimental menggunakan data PDA Test.

d. Pembahasan

Melakukan pengecekan dengan membandingkan hasil analisis dengan menggunakan metode teoritis, metode elemen hingga, dan hasil PDA test.

Penelitian ini akan membagi bagian untuk menganalisis data yang digunakan sebagai pembanding dan parameter yang dipakai dengan pertimbangan data terdekat yang mendekati titik uji PDA untuk mencari pendekatan dari semua parameter yang digunakan.

1. Analisis Daya Dukung dan Penurunan Teori

a) Daya Dukung Teori

Menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT), BH-01 dibandingkan dengan titik PDA-01, dan BH-02 dibandingkan dengan titik PDA-02. Data *Cone Penetration Test* (Sondir), S-01 dibandingkan dengan titik PDA-01, dan S-02 dibandingkan dengan titik PDA-02. Seperti pada Tabel 17, dibawah ini.

Tabel 17. Pendekatan perhitungan daya dukung metode teori

No.	Titik Uji	Daya Dukung
1.	ZONA 1	Teori
	BH-01	Data N-SPT
		Metode Briaud, et al
		Metode Mayerhoff SPT
		Metode L. Decourt
	S-01	Data Sondir
		Metode Mayerhoff Sondir
		Metode Philipponant
		Metode Andina
2.	ZONA 2	Teori
	BH-02	Data N-SPT
		Metode Briaud, et al
		Metode Mayerhoff SPT
		Metode L. Decourt
	S-02	Data Sondir
		Metode Mayerhoff Sondir
		Metode Philipponant
		Metode Andina

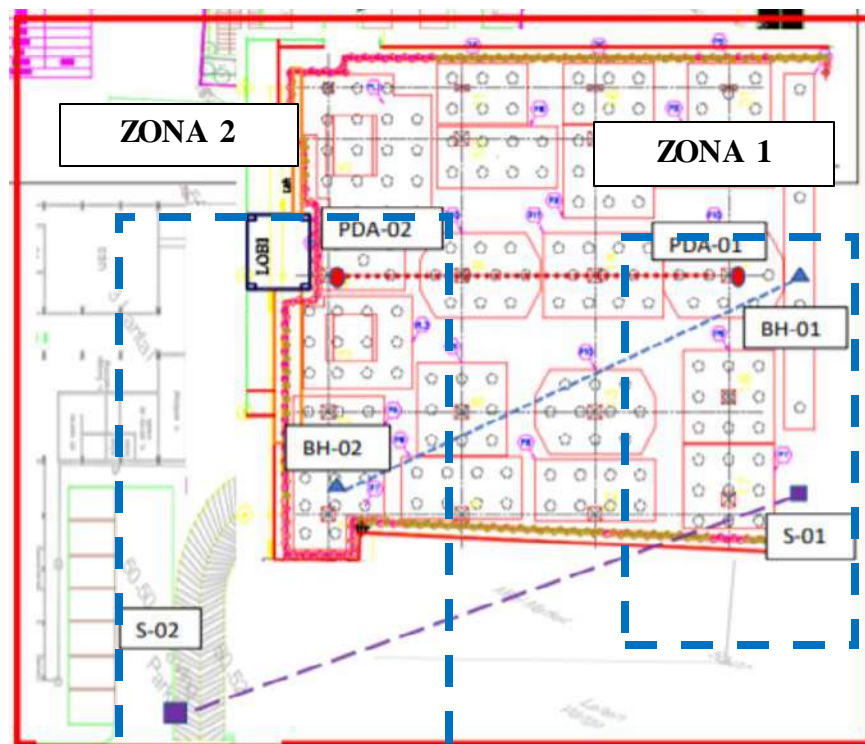
b) Penurunan Teori

Penurunan metode teori menggunakan dua metode yaitu penurunan elastis dan penurunan Poulos dan Davis. Penurunan Elastis menggunakan data Q_s dan Q_p dari perhitungan teori hasil data SPT, Sondir, dan laboratorium.

Penurunan Poulos dan Davis menggunakan parameter data gaya aksial yaitu P_1 , P_2 , dan P_3 . Dimana P_1 adalah gaya aksial titik uji PDA-01, P_2 adalah gaya aksial titik uji PDA-02, dan P_3 adalah hasil gaya aksial terbesar pada etabs. Perhitungan penurunan ditambahkan penurunan konsolidasi untuk membandingkan nilai semua penurunan karena jenis tanah dalam penelitian ini adalah tanah lempung. Data dan pendekatan pembagian perhitungan penurunan seperti yang ada pada Tabel 18, di bawah ini.

Tabel 18. Pendekatan perhitungan daya dukung metode teori

No.	Titik Uji	Penurunan
1.	ZONA 1	Teori
	Penurunan Elastis	Data N-SPT (BH-01)
	Data Q_s, Q_p	Metode Briaud, et al
		Metode Mayerhoff SPT
		Metode L. Decourt
	Data Q_s, Q_p	Data Sondir (S-01)
		Metode Mayerhoff Sondir
		Metode Philipponant
		Metode Andina
	Penurunan Poulos&Davis	
	Beban Aksial	P1
		P3
	Penurunan Konsolidasi	Laboratorium BH-01, Data Fondasi
2.	ZONA 2	Teori
	Penurunan Elastis	Data N-SPT (BH-02)
	Data Q_s, Q_p	Metode Briaud, et al
		Metode Mayerhoff SPT
		Metode L. Decourt
	Data Q_s, Q_p	Data Sondir (S-02)
		Metode Mayerhoff Sondir
		Metode Philipponant
		Metode Andina
	Penurunan Poulos&Davis	
	Beban Aksial	P2
		P3
	Penurunan Konsolidasi	Laboratorium BH-01, Data Fondasi



Gambar 19. Letak titik uji SPT, sondir, dan PDA.

2. Analisis Daya Dukung dan Penurunan Elemen Hingga

Menggunakan data fondasi, dan data tanah yang didapatkan dari uji laboratorium. Penelitian dengan elemen hingga dibagi menjadi dua titik yaitu BH-01 dan BH-02 untuk parameter tanah yang berbeda. Kemudian menggunakan gaya aksial dari perhitungan Etabs pada titik uji PDA-01 dan PDA-02 serta gaya aksial terbesar sebagai pembanding. Pendekatan data perhitungan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 19. di bawah ini.

- a) BH-01 = data fondasi, data laboratorium BH-01, data gaya aksial pada titik C-4 (PDA-01), dan gaya aksial terbesar dari perhitungan Etabs.
- b) BH-02 = data fondasi, data laboratorium BH-02, data gaya aksial pada titik C-1 (PDA-02), dan gaya aksial terbesar dari perhitungan Etabs.

Tabel 19. Pendekatan perhitungan daya dukung dan penurunan

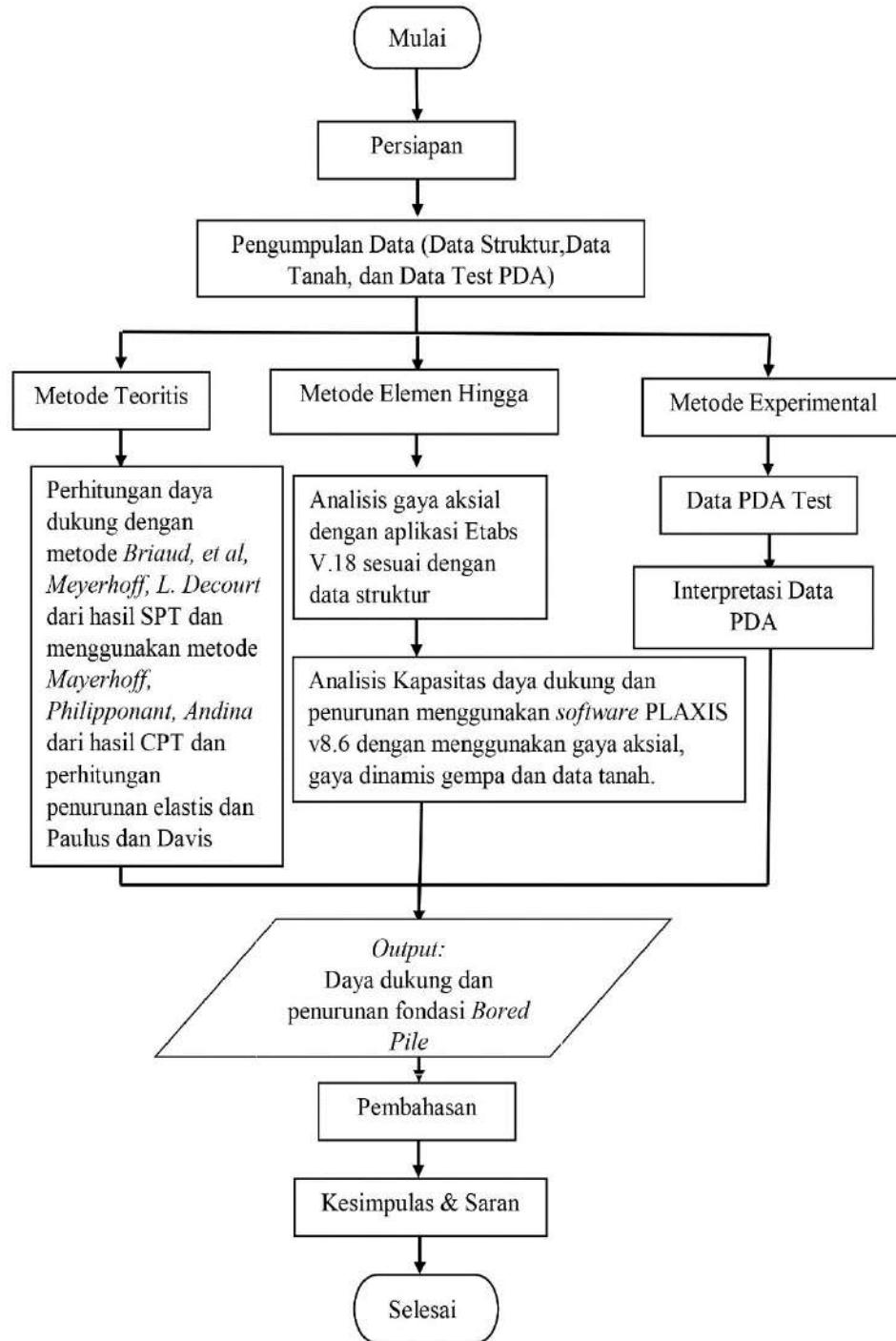
No.	Titik Uji	Daya Dukung&Penurunan
1.	ZONA 1	Elemen Hingga
	Titik BH-01/PDA-01	
	Data Fondasi	Data Sekunder
	Data Tanah	Laboratorium BH-01
	Gaya Aksial	P1
		P3
2.	ZONA 2	
	Titik BH-02/PDA-02	
	Data Fondasi	Data Sekunder
	Data Tanah	Laboratorium BH-01
	Gaya Aksial	P2
		P3

e. Membuat kesimpulan dan saran

Berisi semua hasil jawaban dari rumusan yang dibuat dari penelitian ini, dan saran yang diberikan oleh penulis.

3.4. Diagram Alir Penyelesaian Penelitian

Diagram alir penyelesaian penelitian ini dibuat sesuai dengan tujuan yang akan dicapai, dengan menggunakan beberapa metode dalam menentukan daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile*.



Gambar 20. Diagram alir penelitian.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan Proyek Pembangunan Gedung B RSUD Muhammadiyah Metro, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perbandingan selisih terkecil berdasarkan Tabel 67 dibawah adalah pengujian *static* metode L. Decourt pada kedua titik dengan nilai 4,55% pada titik BH-01 dan 9,29% pada BH-02, dan selisih terkecil elemen hingga adalah 16,6% pada P1 dan 9,8% pada P2. Dimana hasil selisih positif daya dukung CAPWAP uji di lapangan meningkat lebih besar jika dibandingkan dengan perhitungan teori maka pengujian daya dukung di lapangan secara *dinamis* dapat dikatakan aman. Hasil perhitungan menggunakan data sondir tidak dapat digunakan sebagai pembanding hasil daya dukung CAPWAP dikarenakan data yang kurang lengkap. Pada hasil BH-01 nilai $P_{max} < Q_{all}$, (daya dukung ijin) pada ketiga metode maka aman terhadap kontrol beban terbesar fondasi tiang pada pile cap C-4 titik uji PDA-01. Sedangkan pada hasil BH-02 $P_{max} > Q_{all}$ maka tidak aman terhadap kontrol.
2. Hasil penurunan tiang menggunakan metode Elastis dan metode Paulus&Davis metode elemen hingga, dan hasil PDA dan CAPWAP aman terhadap kontrol penurunan ijin 10%D. Hasil selisih perbandingan terkecil dengan hasil CAPWAP adalah metode Paulus&Davis pada BH-01 yaitu -13% dan BH-02 yaitu -23%. Hasil penurunan konsolidasi aman terhadap penurunan total ijin menurut (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik. Penurunan hasil data sondir didapatkan hasil dengan nilai lebih besar, dan tidak dapat dibandingkan dikarenakan data yang kurang lengkap dan titik uji sondir yang sangat jauh dari titik uji.

Tabel 67. Perbandingan daya dukung teori (N-SPT dan elemen hingga) dengan CAPWAP

No.	Nilai Qult		CAPWAP	Selisih Qult	Persentase Selisih Qu	Nilai Qult		CAPWAP	Selisih Qult	Persentase Selisih Qult
	Teori N-SPT (ton)		BH-01 (ton)			Elemen Hingga (ton)		BH-01 (ton)		
1.	Metode Briaud, et al	299,751	329,8	30,049	9,11%	P1	274,905	329,8	54,895	16,6%
2.	Metode Mayerhoff SPT	314,780		15,020	4,55%	P3	297,605		32,195	9,8%
3.	Metode L. Decourt	343,200		-13,400	-4,06%					
No.	Nilai Qult		CAPWAP	Selisih Qult	Persentase Selisih Qu	Nilai Qult		CAPWAP	Selisih Qult	Persentase Selisih Qult
	Teori N-SPT (ton)		BH-02 (ton)			Elemen Hingga (ton)		BH-02 (ton)		
1.	Metode Briaud, et al	294,372	397,1	102,728	25,87%	P2	249,09	397,1	148,009	37,27%
2.	Metode Mayerhoff SPT	313,838		83,262	20,97%	P3	264,237		132,864	33,46%
3.	Metode L. Decourt	360,192		36,908	9,29%					

- Hasil PDA Test pada tiang No.1 terjadi *overstressed* karena nilai CSX lebih tinggi dari tegangan ijin tekan, untuk EMX tiang No.2 melebihi efisiensi hammer yang disarankan, pada laporan hasil CAPWAP tidak terdapat keterangan dari CAPWAP *match quality* dan terdapat data yang belum lengkap diberikan dalam laporan, seperti persentase kerusakan fondasi (BTA) dan tinggi jatuh hammer test (STK).
- Perbedaan yang sangat besar pada hasil penelitian ini dapat disebabkan oleh bedanya titik pengujian pada setiap metode, sehingga jenis dan sifat tanah yang diteliti juga berbeda, cara pelaksanaan dilapangan yang kurang teliti (*human error*), dan perbedaan parameter yang digunakan setiap metode perhitungannya.

5.2. Saran

1. Sebaiknya sebelum melakukan perhitungan hendaknya kita memperoleh data teknis yang lengkap, karena sangat menunjang dalam rencana analisa perhitungan, sesuai dengan standar dan syarat-syaratnya.
2. Pada saat perencanaan penyelidikan tanah, seharusnya titik pengujian uji sondir dan boring dapat berdekatan, karena akan membantu dan memvalidasi hasil satu dengan yang lain.
3. Pengujian yang dilakukan di lapangan saat pengambilan data dan pengujian fondasi sebaiknya dilakukan lebih teliti.
4. Disarankan melakukan pengujian *Pile Integrity Tester (PIT)* jika ingin meyakinkan adanya kerusakan atau tidak pada fondasi.
5. Untuk meyakinkan dan memverifikasi hasil PDA dan CAPWAP dapat digunakan perhitungan analisis daya dukung dengan metode teori.
6. Harus lebih cermat memilih parameter dan metode yang digunakan untuk membandingkan dan meyakinkan hasil dari PDA Test dan harus lebih teliti dalam pemeriksaan laporan hasil PDA Test.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2018. Laporan Hasil Boring Log dan Uji Laboratorium Bagunan Gedung RSUD Muhammadiyah. Metro. Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Lampung.
- _____. 2020. Laporan PDA Test Pembangunan Gedung B RSUD Muhammadiyah. Metro. PT. Panduan Dinamika Testing Indonesia.
- Azizi, A., Salim, M.A., Ramadhon G. 2020. *Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang Proyek Gedung DPRD Kabupaten Pemalang*. Purwokerto: Universitas Muhammadiyah Purwokerto Vol.06 No.02, 2020 Hal (50-).
- Bowles, J.E. 1997. *Anallisis dan Desain pondasi. Edisi Keempat jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Bengt, H.F. 1988, *Variant of CAPWAP Results As a Function Of The operator*, Proceedings of the Third International Conference in the Application of Stress-Wave Theory to Piles. Ottawa pp.814-8825.
- Das, B.M. 1985, *Principle of Geotechnical Engineering*, Terjemahan oleh Noor Endah & Indra Surya Mochtar Jilid I. Jakarta: Erlangga.
- Das, B.M. 1995, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik, Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (1970). Peraturan Muatan untuk Jembatan Jalan Raya, Departemen Pekerjaan Umum, Author, Jakarta
- G&P GOTECHNICS SDN BHD.2009. *Operating Procedure for Interpretation of High Strain Dynamic Pile Tests (HSDPT)*. G&P GOTECHNICS SDN BHD.
- Likins, G., and Rausche, F. (2004). “*Correlation of CAPWAP with Static Load Tests*”. Proceedings of the Seventh International Conference on the Application of Stresswave Theory to Piles: Petaling Jaya, Selangor, Malaysia.

- Likins, G., and Rausche, F., September, (2008), “*What Constitutes a Good PDA Test?*”, Proceedings of the Eighth International Conference on the Application of Stress Wave Theory to Piles 2008: Lisbon, Portugal; 403-407.
- Hamdhan, I.N, Iskandar, F.F. 2019. *Analisa Perkuatan Di Atas Tanah Lunak Menggunakan Dinding Turap dengan Pendekatan Model Numerik*. Bandung: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Bandung. Media Komunikasi Teknik Sipil Vol. 25 No.1 13 Mei 2019, 48-58.
- Hardianty, B. 2016 *Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Tiang Pancang Pada Bore Hole II Dengan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga* Skripsi.FT. Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara.Medan.
- Hardiyatmo, H.C. 1994. *Mekanika Tanah II*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H.C. 1996. *Teknik Fondasi I*. Yogyakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H.C. 2010. *Anlasis dan Perancangan Fondasi Bagian I*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Indryana, E. 2014. *Studi Daya Dukung Pondasi Bored Pile Pada Gedung Bertingkat terpadu Di Pelabuhan Tarahan Bandar Lampung* .Skripsi.FT.Teknik Sipil,Universitas Lampung.Lampung.
- Nji, Lauw Tjun. 2012. PDA Test. <http://lauwtjunnji.weebly.com/pda-test.html>. (Diakses pada 12 Januari 2021).
- Plaxis Version 8 Material Models Manual.
- Rozeli, C.S. 2020. *Analysis Of The Bearing Capacity Of The Pile Foundation Compared To Jacking System & Pile Driving Analyzer (PDA) Test*. Surabaya: Universitas Narotama Surabaya. IJTI (International Journal Of Transportation And Infrastructure) Vol.03 No.02, Maret 2020 (79-98) ISSN: 2597-4769.
- Santoso, H.T, dan Hartono, J. 2020. *Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Uji SPT Dan Pengujian Dinamis*. Semarang: Politeknik Pekerjaan Umum. Jurnal Riset Rekayasa Sipil Vol.4 No.1, September 2020 (31-38) ISSN: 2579-7999.
- Simanjuntak, J.O, and Suita, D 2017. *Analysis Of Bearing Capacity Pile Foundation With Using Capwap Software For Testing Pile Driving Analyzer (Pda) At Fasfel Development Project Parlimbungan Ketek Sikara-Kara Mandailing Natal District (North Sumatera)*. Medan: Universitas HKBP Nommensen Medan. Journal of Physics: Conference Series. Ser.930 012020.

SNI 1727-2018. 2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

SNI 1726-2019. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

SNI 8460-2017. 2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Tomlinson, M. J. 1977. *Pile Design and Construction Practice*. First Edition. London. View Point Publishing.

Vaidya, Ravikiran, (2006),” *Introduction to High Strain Dynamic Pile Testing and Reliability Studies in Southern India*” IGC 2006, India.

Wahidmurni. 2017. *Pemaparan Metode Penelitian Kuantitatif*: UIN Maulana Malik Ibrahim Malang. Jurnal. Juli, 2017.