**TUGAS AKHIR**

# ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA FONDASI TIANG BOR DAN TIANG PANCANG PADA GEDUNG PENDIDIKAN DI KOTA MALANG

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**


**RAMADENA PATURAHMAN**
**21511210**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL -PROGRAM SARJANA**
**FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI**
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**2026**

**TUGAS AKHIR**

# ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA FONDASI TIANG BOR DAN TIANG PANCANG PADA GEDUNG PENDIDIKAN DI KOTA MALANG


Disusun oleh

**Ramadena Paturahman**

**21511210**


Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 28 Agustus 2026

Oleh Dewan Penguji

**Pembimbing :**
Ir. Muhammad Irfan Marasabessy, S.T., M.T.
NIK : 245110502
Tanggal : 2 September 2026

**Penguji I :**
Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.
NIK : 215111305
Tanggal : 1 September 2026

**Penguji II :**
Aisya Galuh Laksita, S.T., M.Eng.
NIK : 245111201
Tanggal : 2 September 2026

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

**Dr. Eng. Ir. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.**
**NIK : 145110101**



Dipindai dengan CamScanner

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian Program Studi Teknik Sipil - Program Sarjana, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 1 September 2026

Yang me[illegible]




Ramadena Paturahman

21511210



Dipindai dengan CamScanner

# KATA PENGANTAR

*Alhamdulillahirabbil'alamin.* Puji dan syukur kehadirat allah swt yang telah memberikan rahmat dan karunia-nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir yang berjudul "*Analisis Perbandingan Kinerja Fondasi Tiang Bor Dan Tiang Pancang Pada Gedung Pendidikan di Kota Malang*". Tugas Akhir ini disusun sebagai bagian dari pemenuhan persyaratan akademik dalam menyelesaikan pendidikan strata satu pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam proses penyusunannya, penulis menghadapi berbagai tantangan. Namun berkat dukungan dan dorongan dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan tugas ini dengan baik. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada:

1. Ibu Dr. Eng. Ir. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. selaku Ketua Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Irfan Marasabessy, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji 1 yang telah memberikan masukan, kritik dan saran selama proses pengujian, sehingga dapat menyempurnakan penulisan isi tugas akhir ini.
4. Ibu Aisya Galuh Laksita, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji 2 yang telah memberikan masukan, kritik dan saran selama proses pengujian, sehingga dapat menyempurnakan penulisan isi tugas akhir ini.
5. Ibu Munatun dan Bapak Dede Pathurahman, selaku orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk kelancaran dalam penyusunan Tugas Akhir ini, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas akhir dengan baik.
6. Saudari Mega Dwi Nurindah, Saudari Eka Putri Purnamasari dan Saudara Taufik Amjad beserta keluarga, yang telah memotivasi penulis dan mendukung penulis hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

7. Teman-teman seperjuangan yaitu "ES CEH", "Keluarga Humas", "HMTS 2023-2024", dan "Keluarga Karunia" yang telah menemani masa perkuliahan penulis dan tempat berbagi dan bercerita.
8. Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil UII angkatan 2021 yang telah menjadi rekan dan teman selama menjalani masa kuliah.
9. Seluruh pihak yang telah mendukung terselesainya Tugas akhir ini dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Maka, dengan segala kerendahan hati penulis mengaharapkan kritik dan saran yang membangun demi menyempurnakan naskah penelitian ini. Akhirnya penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 1 September 2026



Ramadena Paturahman



Dipindai dengan CamScanner

# DAFTAR ISI


| | | |
|---|---|---|
| TUGAS AKHIR | | i |
| TUGAS AKHIR | | ii |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI | | iii |
| KATA PENGANTAR | | iv |
| DAFTAR ISI | | vi |
| DAFTAR TABEL | | ix |
| DAFTAR GAMBAR | | x |
| DAFTAR LAMPIRAN | | xiii |
| DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN | | xiv |
| ABSTRAK | | xvii |
| *ABSTRACT* | | xviii |
| BAB I PENDAHULUAN | | 1 |
| 1.1. | Latar Belakang | 1 |
| 1.2 | Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 | Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.4. | Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.5. | Batasan Penelitian | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | | 5 |
| 2.1 | Fondasi Tiang | 5 |
| 2.2 | Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor | 5 |
| 2.3 | Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Pancang | 7 |
| 2.4 | Kapasitas Dukung Menggunakan Perangkat Lunak GROUP | 8 |
| 2.5 | Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya | 8 |
| BAB III LANDASAN TEORI | | 13 |
| 3.1 | Tanah | 13 |
| 3.2 | Penyelidikan Tanah Metode *Standard Penetration Test* | 13 |
| 3.3 | Fondasi Tiang Bor | 18 |
| 3.4 | Fondasi Tiang Pancang | 19 |
| 3.5 | Daya Dukung Aksial Fondasi Tiang Tunggal | 21 |

3.5.1 Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang 23
3.5.2 Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Metode O'Neil dan Reese (1989) 24
3.6 Daya Dukung Lateral 26
3.7 Daya Dukung Fondasi Kelompok 31
3.8 Penurunan Fondasi Tiang 32
3.8.1 Penurunan Fondasi Tiang Tunggal 33
3.8.2 Penurunan Fondasi Tiang Kelompok 38
3.9 Perangkat Lunak GROUP 39
BAB IV METODE PENELITIAN 41
4.1. Tinjauan Umum 41
4.2. Persiapan Penelitian 41
4.3. Pengumpulan Data 41
4.4. Analisis Data 47
4.5 Tahap Pembahasan 47
4.6 Tahapan Penelitian 48
BAB V PEMBAHASAN 50
5.1 Parameter Data Tanah 50
5.2 Perhitungan Daya Dukung Aksial Fondasi Tiang Tunggal 51
5.2.1. Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Bor Tunggal 51
5.2.2. Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Pancang Tunggal 55
5.3 Perbandingan Daya Dukung Fondasi Tiang Existing dan Alternatif 59
5.4 Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang Kelompok 61
5.3.1. Perhitungan Jumlah Tiang 62
5.3.2 Efisiensi Kelompok Tiang (Eg) 62
5.3.3 Daya Dukung Tiang Kelompok 64
5.5 Perhitungan Daya Dukung Lateral 67
5.6 Penurunan Fondasi Tiang 70
5.6.1 Penurunan Fondasi Tiang Tunggal 70
5.6.2 Penurunan Fondasi Tiang Kelompok 75
5.7 Analisis Menggunakan Perangkat Lunak Group 77
5.7.1 Pemodelan Tiang Bor Diameter 0,8 m Titik B1 77

5.7.2 Pemodelan Tiang Bor Diameter 0,8 m Titik B2 79
5.7.3 Pemodelan Tiang Pancang Diameter 0,8 m Titik B1 80
5.7.4 Pemodelan Tiang Pancang Diameter 0,8 m Titik B2 83
5.7.5 Pemodelan Tiang Pancang Dimensi 0,5 x 0,5 m Titik B1 86
5.7.6 Pemodelan Tiang Pancang Dimensi 0,5 x 0,5 m Titik B2 88
5.7.7 Pemodelan Tiang Pancang Dimensi 0,3 x 0,3 m Titik B1 90
5.7.8 Pemodelan Tiang Pancang Dimensi 0,3 x 0,3 m Titik B2 92
5.8 Perbandingan Perhitungan Manual dan Perangkat Lunak GROUP 98
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 102
6.1 Kesimpulan 102
6.2 Saran 103
DAFTAR PUSTAKA 104
LAMPIRAN 106

# DAFTAR TABEL


Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya 9
Tabel 3. 1 Nilai Efisiensi Pemukul ($E_f$) 16
Tabel 3. 2 Faktor Nilai Koreksi $C_b$, $C_s$ dan $C_r$ 17
Tabel 3. 3 Hubungan N dengan Kerapatan Relatif ($D_r$) Tanah Pasir 17
Tabel 3. 4 Hubungan N dengan Kerapatan Relatif ($D_r$) Tanah Lempung 18
Tabel 3. 5 Nilai Poisson Ratio ($\mu$) Dengan Jenis Tanah 34
Tabel 5. 1 Parameter Tanah Titik B1 50
Tabel 5. 2 Parameter Tanah Titik B2 50
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Nilai Daya Dukung Gesek Tiang bor ($Q_s$) Titik B1 53
Tabel 5. 4 Hasil Perhitungan Daya dukung Gesek Tiang Pancang ($Q_s$) Titik B1 56
Tabel 5. 5 Rekapitulasi Kapasitas Dukung Ultimit Dan Kapasitas Dukung Izin Aksial Tiang Tunggal 58
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok 66
Tabel 5. 7 Parameter Tanah titik B1 Analisis Penurunan Tanah 70
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Perhitungan Manual Penurunan Fondasi Tiang 76
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Distribusi Beban Dengan Perangkat Lunak GROUP 95
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Penurunan Dengan Perangkat Lunak GROUP 96
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Pergeseran Lateral Dengan Perangkat Lunak GROUP 97
Tabel 5. 12 Perbandingan Penurunan Perhitungan Manual dan Analisis Perangkat Lunak GROUP 99

# DAFTAR GAMBAR


Gambar 3. 1 Skema Urutan Uji Penetrasi Standar SPT 15
Gambar 3. 2 Langkah-langkah Pelaksanaan Tiang Bor Dalam Metode Kering 18
Gambar 3. 3 Tiang Ditinjau Dari Cara Mendukung Beban 21
Gambar 3. 4 Tiang Ujung Bebas 27
Gambar 3. 5 Tiang Ujung Bebas 27
Gambar 3. 6 Tiang Ujung Jepit Dalam Tanah Granuler 29
Gambar 3. 7 Tahanan Lateral Ultimit Tiang Dalam Tanah Granuler 30
Gambar 3. 8 Faktor Penurunan $I_o$ 35
Gambar 3. 9 Koreksi Kompresi, $R_k$ 35
Gambar 3. 10 Koreksi Angka Poisson, $R\mu$ 36
Gambar 3. 11 Koreksi Kekakuan Lapisan Pendukung, $R_b$ 37
Gambar 3. 12 Contoh Tampilan Perangkat lunak GROUP 40
Gambar 4. 1 Pemodelan Gedung Pendidikan Di Kota Malang Pada Perangkat Lunak ETABS 44
Gambar 4. 2 Grid F1 Tinjauan 46
Gambar 4. 3 Potongan P2 46
Gambar 4. 4 Tampak Atas P2 47
Gambar 4. 5 Bagan Alir Penelitian 48
Gambar 5. 1 Perbandingan Fondasi Tiang Existing dan Alternatif pada Beban Layan 59
Gambar 5. 2 Perbandingan Fondasi Tiang Existing dan Alternatif pada Beban Gempa Rencana 60
Gambar 5. 3 Perbandingan Fondasi Tiang Existing dan Alternatif pada Beban Gempa Kuat 61
Gambar 5. 4 Nilai $Hu/K_p\ \gamma\ d^3$ 69
Gambar 5. 5 Hasil Hubungan L/d dan $I_0$ 71
Gambar 5. 6 Hasil Hubungan K dan Rk 72
Gambar 5. 7 Hasil Hubungan μ dan R μ 73
Gambar 5. 8 Hasil Hubungan Eb/Es dan Rb 74
Gambar 5. 9 Acuan Arah Pada Perangkat Lunak GROUP 77
Gambar 5. 10 Pemodelan Fondasi Tiang Bor Diameter 0,8 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP 78
Gambar 5. 11 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi Tiang Bor Diameter 0,8 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP 78
Gambar 5. 12 Pemodelan Fondasi Tiang Bor Diameter 0,8 m Titik B2 Pada Perangkat Lunak GROUP 79
Gambar 5. 13 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi Tiang Bor Diameter 0,8 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP 80

Gambar 5. 14 Output Pemodelan Fondasi Tiang Pancang 4 Tiang Diameter 0,8 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP 80
Gambar 5. 15 Pemodelan Fondasi Tiang Pancang 5 Tiang Diameter 0,8 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP 81
Gambar 5. 16 Pemodelan Fondasi Tiang Pancang 6 Tiang Diameter 0,8 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP 81
Gambar 5. 17 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi Pancang 4 Tiang Diameter 0,8 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP 82
Gambar 5. 18 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi Tiang Pancang 5 Tiang Diameter 0,8 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP 82
Gambar 5. 19 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi Tiang Pancang 6 Tiang Diameter 0,8 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP 83
Gambar 5. 20 Pemodelan Fondasi Tiang Pancang 2 Tiang Diameter 0,8 m Titik B2 Pada Perangkat Lunak GROUP 84
Gambar 5. 21 Pemodelan Fondasi Tiang Pancang 3 Tiang Diameter 0,8 m Titik B2 Pada Perangkat Lunak GROUP 84
Gambar 5. 22 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi Tiang Pancang 2 Tiang Diameter 0,8 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP 85
Gambar 5. 23 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi Tiang Pancang 3 Tiang Diameter 0,8 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP 85
Gambar 5. 24 Pemodelan Fondasi 4 Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m Titik B1 Pada Perangkat Lunak GROUP 86
Gambar 5. 25 Pemodelan Fondasi 7 Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m Titik B1 Pada Perangkat Lunak GROUP 86
Gambar 5. 26 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi 4 Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP 87
Gambar 5. 27 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi 7 Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP 87
Gambar 5. 28 Pemodelan Fondasi 4 Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m Titik B2 Pada Perangkat Lunak GROUP 88
Gambar 5. 29 Pemodelan Fondasi 6 Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m Titik B2 Pada Perangkat Lunak GROUP 88
Gambar 5. 30 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi 4 Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP 89
Gambar 5. 31 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi 6 Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP 89
Gambar 5. 32 Pemodelan Fondasi 8 Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m Titik B1 Pada Perangkat Lunak GROUP 90
Gambar 5. 33 Pemodelan Fondasi 6 Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m Titik B1 Pada Perangkat Lunak GROUP 90

Gambar 5. 34 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi 8 Tiang Pancang Dimensi 0,3 x 0,3 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP 91
Gambar 5. 35 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi 6 Tiang Pancang Dimensi 0,3 x 0,3 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP 91
Gambar 5. 36 Pemodelan Fondasi 6 Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m Titik B2 Pada Perangkat Lunak GROUP 92
Gambar 5. 37 Pemodelan Fondasi 7 Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m Titik B2 Pada Perangkat Lunak GROUP 92
Gambar 5. 38 Pemodelan Fondasi 8 Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m Titik B2 Pada Perangkat Lunak GROUP 93
Gambar 5. 38 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi Tiang Bor Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP 93
Gambar 5. 39 Grafik Perbandingan Penurunan Perhitungan Manual dan Analisis Perangkat Lunak GROUP Pada Beban Layan 100
Gambar 5. 40 Grafik Perbandingan Penurunan Perhitungan Manual dan Analisis Perangkat Lunak GROUP Pada Beban Gempa Rencana 100
Gambar 5. 41 Grafik Perbandingan Penurunan Perhitungan Manual dan Analisis Perangkat Lunak GROUP Pada Beban Gempa Kuat 101

# DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Bore Log Titik B1 107
Lampiran 2 Data Bore Log Titik B2 108
Lampiran 3 Detail Engineering Design Fondasi Titik P2 Gedung Pendidikan Di Kota Malang 109
Lampiran 4 Waktu Penelitian Tugas Akhir 112

# DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

| | |
|---|---|
| $\gamma w$ | = Berat volume air (kN/m³) |
| $\gamma d$ | = Berat volume tanah kering (kN/m³) |
| $\gamma b$ | = Berat volume tanah basah (kN/m³) |
| $\gamma beton$ | = Berat jenis beton (kN/m³) |
| $\gamma$ | = Berat volume tanah (kN/m³) |
| N-SPT | = Nilai SPT hasil uji lapangan |
| N60 | = Nilai N-SPT terkoreksi (efisiensi energi 60%) |
| Ef | = Efisiensi pemukul |
| Cb | = Koreksi diameter lubang bor |
| Cs | = Koreksi tipe tabung sampler SPT |
| Cr | = Koreksi panjang batang bor |
| Dr | = Kerapatan relatif tanah |
| Qu | = Daya dukung aksial tekan / ultimit tiang (kN) |
| Tu | = Daya dukung aksial tarik tiang (kN) |
| Qb | = Tahanan/daya dukung ujung tiang (kN) |
| Qs | = Tahanan/daya dukung gesek (selimut) tiang (kN) |
| Qall | = Daya dukung izin fondasi (kN) |
| Wp' | = Berat efektif tiang (kN) |
| Wp | = Berat fondasi/tiang (kN) |
| U | = Gaya angkat (uplift) fondasi |
| L | = Panjang tiang (m) |
| Hw | = Tinggi muka air (m) |
| SF | = *Safety factor* / faktor keamanan |
| Ab | = Luas penampang ujung tiang (m²) |

| | |
|---|---|
| As | = Luas selimut tiang ($m^2$) |
| d | = Diameter tiang (m) |
| db | = Diameter ujung bawah tiang bor (m) |
| fs | = Gesekan selimut tanah ($kN/m^2$) |
| α | = Faktor adhesi |
| Cu | = Nilai kohesi undrained tanah ($kN/m^2$) |
| fb | = Tahanan ujung tiang ($kN/m^2$) |
| σr | = Tegangan referensi (100 $kN/m^2$) |
| po' | = Tekanan overburden efektif ($kN/m^2$) |
| β | = Koefisien gesekan selimut (metode Reese & O'Neill) |
| z | = Kedalaman di tengah lapisan tanah (m) |
| T | = Faktor kekakuan tiang |
| Ep | = Modulus elastisitas tiang |
| Ip | = Momen inersia tiang ($m^4$) |
| nh | = Koefisien variasi modulus tanah ($kN/m^3$) |
| Hu | = Beban/daya dukung lateral ultimit (kN) |
| Kp | = Koefisien tekanan tanah pasif |
| φ | = Sudut geser dalam tanah |
| Mmak, My | = Momen maksimum/momen leleh tiang |
| Hizin | = Daya dukung lateral izin tiang |
| n | = Jumlah tiang |
| P | = Beban fondasi |
| Eg | = Efisiensi kelompok tiang |
| m | = Jumlah baris tiang |
| n' | = Jumlah tiang dalam satu baris |
| θ | = Sudut arc tan (d/s), dalam derajat |
| s | = Jarak pusat ke pusat antar tiang (m) |

| | |
|---|---|
| Qg | = Kapasitas/beban maksimum kelompok tiang |
| S | = Penurunan tiang tunggal |
| Q | = Beban kerja |
| Es | = Modulus elastisitas tanah |
| Io | = Faktor pengaruh penurunan |
| Rk | = Faktor koreksi kemampatan tiang |
| Rb | = Faktor koreksi kekakuan lapisan pendukung |
| Rμ | = Faktor koreksi angka poisson (μ) |
| K | = Kompresibilitas relatif tiang-tanah |
| Ra | = Rasio area tiang |
| Ap | = Luas tampang tiang ($m^2$) |
| Sg | = Penurunan kelompok tiang (m) |
| Bg | = Lebar kelompok tiang (m) |
| S izin | = Penurunan izin |
| DED | = *Detail engineering design* |

# ABSTRAK

Fondasi tiang bor yang digunakan pada salah satu proyek gedung pendidikan di Kota Malang memiliki beberapa kekurangan, seperti proses pengerjaan yang rumit (cast in situ), waktu pelaksanaan yang lama, serta rentan terhadap pengaruh tanah, lumpur, dan air dalam lubang bor. Fondasi tiang pancang menjadi alternatif dengan proses yang lebih praktis, cepat, dan mutu beton yang lebih terjamin karena diproduksi di pabrik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis dan membandingkan daya dukung lateral, aksial (tarik dan tekan), serta penurunan antara fondasi tiang bor *existing* dengan fondasi tiang pancang menggunakan perhitungan manual dan numerik dengan software GROUP.

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis data hasil penyelidikan tanah berupa Standard Penetration Test (N-SPT) pada lokasi studi. Daya dukung aksial fondasi tiang tunggal dihitung menggunakan metode Meyerhof (1976) untuk tiang pancang dengan variasi dimensi 30×30 cm, 50×50 cm, dan diameter 80 cm, serta metode Reese & O'Neill (1988) untuk tiang bor diameter 80 cm. Analisis daya dukung kelompok tiang dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi kelompok, sedangkan penurunan (settlement) tiang tunggal dihitung menggunakan metode elastis Poulos & Davis (1980), dan penurunan kelompok tiang dihitung menggunakan metode Vesic (1977). Hasil perhitungan manual tersebut selanjutnya dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan perangkat lunak GROUP.

Hasil analisis menunjukkan seluruh daya dukung fondasi, baik tiang bor existing maupun tiang pancang alternatif, dalam kondisi aman terhadap beban layan, gempa rencana, maupun gempa kuat. Fondasi existing (4 tiang bor) mengalami overestimate jumlah tiang dibanding kebutuhan minimum, sedangkan fondasi alternatif tiang pancang dimensi diameter 0,8 m sudah cukup dengan jumlah tiang 2-5 tiang, dimensi 0,5×0,5 m membutuhkan 4-6 tiang, sedangkan dimensi 0,3×0,3 m membutuhkan lebih banyak tiang 5-8 tiang. Perbandingan dengan perangkat lunak GROUP menunjukkan penurunan hasil software cenderung lebih besar dibanding perhitungan manual, namun keduanya masih berada dalam batas penurunan izin.

**Kata Kunci:** Daya dukung, Penurunan, Fondasi tiang, GROUP, SPT

# *ABSTRACT*

*The bored pile foundation used in Malang City educational building project has several drawbacks, including a complicated construction process (cast in situ), a long execution time, and its susceptibility to soil, mud, and water conditions inside the bored hole. Driven pile foundations offer an alternative with a more practical and faster construction process, as well as more reliable concrete quality because they are manufactured in a factory. Therefore, this study aims to analyze and compare the lateral and axial bearing capacities (tension and compression), as well as the settlement of the existing bored pile foundation and the proposed driven pile foundation, using manual calculations and numerical analysis with GROUP software.*

*This study was conducted by analyzing soil investigation data in the form of Standard Penetration Test (N-SPT) results obtained at the study location. The axial bearing capacity of single piles was calculated using the Meyerhof (1976) method for driven piles with dimensions of 30 × 30 cm and 50 × 50 cm, as well as a diameter of 80 cm, while the Reese and O'Neill (1988) method was used for bored piles with a diameter of 80 cm. The bearing capacity of pile groups was analyzed by considering group efficiency. Settlement of single piles was calculated using the elastic method proposed by Poulos and Davis (1980), while pile-group settlement was calculated using the Vesic (1977) method. The results of the manual calculations were then compared with the results of the analysis using GROUP software.*

*Analysis results indicate that the load-bearing capacity of all foundation types whether the existing bored piles or the alternative driven piles is adequate to withstand service loads, design earthquakes, and strong earthquakes. The existing foundation (4 bored piles) involves an overestimation of the number of piles relative to minimum requirements; conversely, for the alternative driven piles, a configuration of 2–5 piles suffices for 0.8 m diameter piles, 4–6 piles are required for 0.5 × 0.5 m piles, and 5–8 piles are needed for 0.3 × 0.3 m piles. A comparison with the GROUP software reveals that settlement values predicted by the software tend to be higher than those from manual calculations, yet both remain within permissible settlement limits.*

***Keywords:*** *Bearing capacity, Settlement, Pile foundation, GROUP, SPT*

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Pembangunan dalam proyek konstruksi gedung dibagi menjadi 2 bagian yaitu struktur atas dan struktur bawah. Struktur atas adalah struktur yang berada di atas muka tanah seperti pelat, balok, kolom dan sebagainya. Sedangkan struktur bawah adalah struktur yang berada di bawah muka tanah seperti fondasi. Fondasi adalah bagian terendah dari bangunan yang mendistribusikan beban dari bangunan ke tanah atau batuan yang ada di bawahnya. Fondasi dapat diklasifikasikan menjadi fondasi dangkal yang mendukung bebannya secara langsung, contohnya fondasi telapak, fondasi memanjang, fondasi rakit dan fondasi sumuran. Sedangkan fondasi dalam adalah fondasi yang meneruskan bangunan ke tanah atau batuan yang jauh dari permukaan seperti fondasi tiang (Hardiyatmo, 2014).

Fondasi tiang dapat diklasifikasikan berdasarkan metode pelaksanannya di lapangan, yaitu tiang pancang yang dilaksanakan dengan cara tiang dipasang membentuk memanjang yang dicetak lebih dulu dan kemudian dipancang atau ditekan ke dalam tanah, sedangkan tiang bor dilaksanakan dengan cara tiang dipasang dengan cara mengebor tanah lebih dulu sampai kedalaman tertentu, kemudian tulangan baja dimasukkan dalam lubang bor dan kemudian diisi/dicor dengan beton (Hardiyatmo, 2015).

Penelitian ini mengambil studi kasus di gedung pendidikan di Kota Malang, dalam pembangunan ini memakai struktur pendukung fondasi berupa tiang bor. Namun, dalam pelaksanaannya terdapat beberapa kekurangan seperti pekerjaan yang rumit karena *cast in situ*, waktu pengerjaan yang relatif lebih panjang dan rentan terhadap pengaruh tanah, lumpur dan air dalam lubang. Beberapa kekurangan pada fondasi tiang bor dapat relatif diselesaikan dengan pekerjaan fondasi tiang pancang, yang memiliki pekerjaan yang mudah dan praktis, sehingga pekerjaan relatif lebih cepat,

mutu yang terjamin karena dibuat di pabrik dengan kontrol yang baik dan kualitas tidak terpengaruhi kontaminasi tanah, lumpur dan air dalam tanah.

Berdasarkan pada uraian yang telah diberikan, maka penelitian ini akan dilakukan analisis kinerja fondasi yang meliputi daya dukung lateral, daya dukung aksial tarik dan tekan serta penurunan fondasi tiang bor (*existing*) yang akan dibandingkan dengan daya dukung fondasi tiang pancang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat perbandingan daya dukung tiang pancang pada salah satu proyek gedung pendidikan di Kota Malang dibandingkan dengan fondasi *existing* yaitu tiang bor. Untuk menghitung daya dukung dilakukan dengan perhitungan manual dan perhitungan numerik menggunakan perangkat lunak GROUP yaitu program perhitungan daya dukung fondasi tiang.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana evaluasi daya dukung pada fondasi *existing* tiang tunggal bor?
2. Berapa kapasitas daya dukung fondasi tiang tunggal pancang dengan alternatif dimensi 30 x 30 cm, 50 x 50 cm dan diameter 80 cm?
3. Bagaimana evaluasi daya dukung pada fondasi *existing* tiang kelompok bor?
4. Berapa kapasitas daya dukung fondasi tiang kelompok pancang dengan alternatif dimensi 30 x 30 cm, 50 x 50 cm dan diameter 80 cm?
5. Bagaimana perbandingan hasil daya dukung pada alternatif fondasi tiang pancang dan fondasi tiang bor?
6. Bagaimana hasil analisis perangakat lunak GROUP berupa gaya aksial, penurunan aksial dan *lateral displacement*?
7. Bagaimana perbandingan penurunan dari perhitungan manual dan analisis perangkat lunak GROUP?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka didapatkan tujuan penelitian sebagai berikut.

1. Mengevaluasi daya dukung pada fondasi tiang tunggal bor.
2. Menentukan kapasitas daya dukung fondasi tiang tunggal pancang dengan alternatif dimensi 30 x 30 cm, 50 x 50 cm dan diameter 80 cm.
3. Mengevaluasi daya dukung pada fondasi tiang kelompok bor.
4. Menentukan kapasitas daya dukung fondasi tiang kelompok pancang dengan alternatif dimensi 30 x 30 cm, 50 x 50 cm dan diameter 80 cm.
5. Membandingkan hasil daya dukung pada fondasi *existing* tiang bor dan alternatif fondasi tiang pancang.
6. Mengetahui hasil hasil analisis perangkat lunak GROUP berupa gaya aksial, penurunan aksial dan *lateral displacement*.
7. Membandingkan penurunan dari perhitungan manual dan analisis perangkat lunak GROUP.

## 1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk memperdalam pemahaman menegenai analisis daya dukung dan penurunan fondasi tiang bor dan fondasi tiang pancang.
2. Untuk memberikan pemahaman penggunaan software geoteknik terutama *software* GROUP.
3. Untuk dijadikan referensi bagi penelitian selanjutnya.

## 1.5. Batasan Penelitian

Berdasarkan uraian yang diberikan di atas, maka batasan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder berupa data tanah (N-SPT) dan data pembebanan gedung yang keduanya didapatkan dari konsultan perencana PT. Pola Data Consultant, melalui uji lapangan proyek pembangunan pada salah satu gedung pendidikan di Kota Malang.
2. Pada kondisi tanah yang datanya tidak tersedia maka digunakan korelasi NSPT.

3. Penelitian ini hanya membahas fondasi tiang sebagai fondasi dalam yang berada pada proyek pembangunan pada salah satu gedung pendidikan di Kota malang.
4. Alternatif dimensi yang akan digunakan pada tiang pancang adalah tipe *square pile* 30 x 30 cm, 40 x 40 cm dan tipe *spun pile* diameter 80 cm.
5. Perangkat lunak yang digunakan untuk pemodelan numerik adalah perangkat lunak GROUP.
6. Analisis dan perencanaan struktur atas tidak dibahas karena tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian. Beban yang bekerja pada fondasi diperoleh dari data joint reaction titik B1 dan B2 hasil analisis struktur atas dan digunakan sebagai data sekunder dalam analisis geoteknik.

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Fondasi Tiang

Hardiyatmo (2015) menjelaskan, fondasi tiang memiliki fungsi untuk mendukung beban bangunan ke dalam lapisan tanah kuat yang terletak sangat dalam. Fondasi tiang juga dapat berfungsi untuk menahan bangunan tinggi yang berat untuk mendukung beban dari gesekan dinding tiang dengan tanah di sekitarnya. Fondasi tiang memiliki beberapa jenis seperti fondasi tiang bor dan tiang pancang.

Fondasi tiang bor mulanya dilakukan pengeboran tanah dengan kedalaman dan diameter tertentu, kemudian tulangan dimasukkan pada tanah yang sudah di bor, lalu di cor beton. Fondasi tiang bor dilakukan pada tanah yang yang kaku, sehingga dapat membentuk lubang yang stabil. Fondasi tiang dapat mengurangi getaran tanah sehingga tidak berakibat pada lingkungan disekitarnya.

Fondasi tiang pancang memiliki dua jenis yaitu tiang pancang pracetak dan tiang pancang cetak di tempat. Tiang pancang pracetak adalah yang sudah di fabrikasi untuk dipancang ke kedalaman tertentu, sementara tiang pancang cetak di tempat melalui proses untuk dipancang, kemudain masukkan pipa baja lalu dicor beton dan umumnya pipa baja akan ditarik keluar setelah proses pengecoran.

## 2.2 Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor

Mutiarasella (2022) melakukan penelitian di pembangunan Hajjah Mesjid Yulianna Kampus Madrasah Muhammadiyah Mualimin Yogyakarta, dengan tujuan melakukan perancangan pedulang dengan fondasi tiang bor dari fondasi *existing* (telapak). Hasil kapasitas daya dukung fondasi telapak dengan ukuran pondasi 3,5 m x 3,5 m x 0,5 m, dianalisis dengan menggunakan metode Terzaghi didapatkan, nilai daya dukung ultimit (Qu) sebesar 3303,349 kN dan daya dukung izin fondasi

(Qall) sebesar 1321,34 kN. Fondasi tiang bor menggunakan dimensi 0,6 m dengan kedalaman 13 m. Perhitungan dilakukan dengan pendekatan metode *Meyerhoff,* metode numerik menggunakan *software* SAP2000, metode Poulos Davis, dan metode *Vesic.* Perhitungan kapasitas dukung tiang tunggal menggunakan metode *Meyerhoff* didapatkan hasil analisis kapasitas dukung ultimit (Qu) tiang bor dengan menggunakan data hasil laboratorium diperoleh sebesar 6744,230 kN, dan nilai kapasitas dukung ijin tiang tunggal (Qall) sebesar 2967,692 kN. Kemudian pada tiang bor kelompok didapatkan hasil analisi kapasitas dukung kelompok tiang (Qg) sebesar 5395,384 kN dan dikatakan memenuhi syarat karena lebih besar dari pada beban (P) yang diberikan ke fondasi yaitu besar 3304,229 kN menggunakan program SAP2000. Penurunan fondasi telapak didapatkan sebesar 12,2 cm. fondasi tiang tunggal menggunakan metode *Poluos* dan *Davis* (1980) didapatkan penurunan sebesar 3,6 cm, penurunan fondasi tiang bor kelompok menggunakan metode *Vesic* didapatkan penurunan sebesar 6,4 cm. Fondasi dinyatakan memenuhi syarat menurut SNI 8460-2017 yaitu penurunan yang terjadi(S) < penurunan ijin (S ijin) yaitu sebesar 15,1 cm.

Sa'da (2023) melakukan penelitian di Gedung Fakultas Ilmu Komputer Universitas Muhammadiyah Metro Lampung. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kapasitas dukung fondasi bore pile dengan kapasitas dukung fondasi *existing* (*foot plat*) dan penurunan pada *bore pile*. Perhitungan daya dukung menggunakan metode Reese & Wright. Hasil dari perhitungan kapasitas daya dukung tiang kelompok sebesar 184,4 T (>Pu) dan memiliki efisiensi kelompok tiang Eq sebesar 0,875. Gaya lateral dari variasi fondasi diameter 40 cm memiliki gaya lateral 53,24 kN $\leq$ $\phi$Hn, fondasi dengan diameter 60 cm memiliki gaya lateral 53,24 kN $\leq$ $\phi$Hn dan fondasi dengan diameter 80 cm memiliki gaya lateral 58,60 kN $\leq$ $\phi$Hn. Terdapat penurunan elastik tiang sebesar 2,03 mm yang disebabkan oleh beban ujung tiang sebanyak 37,80 mm, sedangkan penurunan yang disebabkan oleh beban sepanjang selimut tiang adalah sebesar 2,26 mm. Dengan total penurunan total 42,09 mm dengan penurunan tiap grup sebesar 100,20 mm.

## 2.3 Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Pancang

Alviani (2024) melakukan penelitian pada struktur bangunan Rumah Susun Tenaga Pendidik UGM Yogyakarta, dengan tujuan mengetahui perbandingan kapasitas dukung fondasi tiang pancang dengan variasi diameter. Kapasitas dukung tiang kelompok (Qg) menggunakan metode *Poulos & Davis* dengan diameter 0,45 m dengan nilai sebesar 3.214,506 kN, diameter 0,5 dengan kekuatan 4.033,615 kN, dan diameter 0,6 dengan kekuatan 4.803,383 kN. Kemudian menggunakan metode *meyerhoff* diperoleh kapasitas dukung fondasi kelompok (Qg) dari diameter 0,45 m sebesar 3.588,638 kN, lalu diameter 0,5 m sebesar 4.286,948 kN, dan diameter 0,6 m sebesar 4.533,659 kN. menunjukkan bahwa semakin besar diameter fondasi tiang maka semakin besar pula kapasitas dukung tiang kelompok. .Adapun analisis penurunan tiang kelompok (Sg) yang terjadi pada tiang pancang menurut metode *Poulos & Davis* dan *Meyerhoff* didapatkan pada diameter 0,45 m sebesar 1,397 cm, lalu 0,5 m sebesar 1,246 cm dan diameter 0,6 m sebesar 0,547 cm. Penurunan tiang kelompok mengalami kenaikan namun masih dalam batas penurunan yang diizinkan.

Sari dkk. (2023) melakukan penelitian dengan studi kasus dari Proyek pembangunan jalan tol Semarang-Demak paket 2 STA 16 + 075 dengan 3 titik pada STA tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk melihat hasil kapasitas dukung tiang pancang dengan metode empirik menggunakan Meyerhoff dan Schmertmann dan metode numerik menggunakan *software* MIDAS GTS NX, dibandingkan dengan hasil dari pengujian Pile Driving Analyzer (PDA). Berdasarkan analisis yang telah dilakukan terdapat deviasi nilai dari kapasitas dukung dan nilai pengujian PDA, pada tiang pancang P 13L STA 15+873 dengan metode mayerhoff nilai deviasi 0,18, metode schmertmann nilai deviasi 0,56, dan dengan software MIDAS nilai deviasi 0,09. Pada tiang pancang P 133F STA 16+711 dengan metode mayerhoff nilai deviasi 0,38, metode schmertmann nilai deviasi 0,59, dan dengan software MIDAS nilai deviasi 0,03. Pada tiang pancang P1 48 STA 17+080 dengan metode mayerhoff nilai deviasi 0,28, metode schmertmann nilai deviasi 0,46, dan dengan software MIDAS nilai deviasi 0,39. Nilai deviasi terbesar ketika dibandingkan dengan

pengujian PDA adalah metode schmertmann dengan 0,59 dan nilai deviasi terkecil adalah software MIDAS dengan 0,03.

## 2.4 Kapasitas Dukung Menggunakan Perangkat Lunak GROUP

Supriyadi dkk. (2018) Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya dukung tiang pancang tunggal dan kelompok pada tanah lunak di wilayah Pontianak dengan menggunakan perangkat lunak Ensoft (APILE dan GROUP). Metode yang digunakan melibatkan perhitungan simulasi komputer melalui Metode Lambda dan API RP 2A, yang kemudian hasilnya dibandingkan dengan data sekunder uji pembebanan lapangan (*loading test*) yang diinterpretasikan menggunakan metode Chin, Elastis Plastis, dan Mazurkiewich. Hasil kajian menunjukkan bahwa Metode API RP 2A pada program APILE memiliki akurasi tertinggi untuk tiang tunggal dengan selisih hanya 5,38% terhadap metode Chin di lapangan. Selain itu, pada perhitungan efisiensi kelompok tiang konfigurasi 2x2, Metode Lambda menghasilkan nilai yang identik (selisih 0%) dengan hasil metode Chin di lapangan. Secara keseluruhan, penggunaan perangkat lunak ini terbukti efektif karena memiliki selisih penurunan yang kecil dibandingkan hasil lapangan, yaitu berkisar ±0,5 cm untuk tiang tunggal dan ±1 cm untuk tiang kelompok.

## 2.5 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

Perbedaan antara penelitian sebelumnya dan penelitian yang dilakukan oleh penulis dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya**

| **Penelitian Terdahulu** | | | | | | **Penelitian yang dilakukan** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Peneliti** | **Sapriyadi dkk. (2018)** | **Mutiarasella (2022)** | **Sa'da (2023)** | **Sari dkk. (2023)** | **Alviani (2024)** | **Paturahman (2025)** |
| Judul | Kajian Daya Dukung Tiang Pancang Di Tanah Lunak Dengan Menggunakan *Ensoft* | Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor Pada Gedung Masjid Hajjah Yuliani | Perencanaan Ulang Dengan Pondasi Tiang Bor Pada Bangunan Gedung Fakultas Ilmu Komputer Dengan Variasi Dimensi Menggunakan Metode Reese & Wright | *The Bearing Capacity Analysis of Deep Foundation based on In-situ Dynamic Penetration Test Compared to Pile Driving Analyzer* (PDA) | Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang Dengan Variasi Diameter Pada Bangunan Rumah Susun | Analisis perbandingan kinerja fondasi tiang bor dan tiang pancang pada gedung pendidikan di kota malang |
| Tujuan | Menganalisis daya dukung tiang pancang memanfaatkan perangkat lunak *Ensoft* dan membandingkan hasil perhitungan komputer tersebut dengan data sekunder hasil pengujian di lapangan. | Mengetahui daya dukung dan penurunan pondasi tiang bor yang akan dibandingkan pondasi *existing* (telapak). | Mengetahui kapasitas dukung fondasi bore pile dengan kapasitas dukung fondasi *existing*(*foot plat*) dan penurunan yang terjadi pada fondasi *bore pile*. | Penelitian ini bertujuan untuk melihat hasil kapasitas dukung tiang pancang dengan metode empirik dan metode numerik pada fondasi tiang pancang. | Membandingkan kapasitas dukung dan penurunan fondasi *existing* berupa tiang bor dengan fondasi tiang pancang dengan diameter yang bervariasi. | Membandingkan daya dukung aksial dan daya dukung lateral fondasi *existing* yaitu tiang bor dan tiang pancang beserta variasi dimensi, serta penurunannya. |

**Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya**

| Penelitian Terdahulu | | | | | | Penelitian yang dilakukan |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Peneliti** | **Sapriyadi dkk. (2018)** | **Mutiarasella (2022)** | **Sa'da (2023)** | **Sari dkk. (2023)** | **Alviani (2024)** | **Paturahman (2025)** |
| **Metode** | Metode grafis (Metode elastis plastis dan metode Mazurkiewich). Metode Analitis (Metode Chin). Menggunakan *Software Ensoft* (Apile dan GROUP). | Metode meyerhoff, metode numerik, metode poulus Davis (1980), Penurunan dengan Metode Vesic. Dengan pembebanan menggunakan aplikasi (SAP 2000). | Perhitungan tiang tunggal dengan Metode Reese & Wright dan penurunan dengan metode empiris. | Pembebanan dengan *software* ETABS. Metode empirik yaitu meyerhoff dan schertmann, metode numerik menggunakan software MIDAS GTS NX. | Tiang bor dihitung dengan metode meyerhoff dan Reese & Wright. Tiang pancang dihitung dengan Meotde Meyerhoff dan Metode Poulus & Davis. Dan juga menghitung penurunan fondasi tiang dengan Metode Poulus & Davis. | Menghitung daya dukung aksial pada tiang pancang dengan metode meyerhoff, tiang bor menggunakan metode Reese & O'Neil. beserta penurunnya menggunakan metode Vesic. Dibandingkan juga dengan menggunakan perangkat lunak GROUP. |

**Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya**

| Penelitian Terdahulu | | | | | | Penelitian yang dilakukan |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Peneliti** | **Sapriyadi dkk. (2018)** | **Mutiarasella (2022)** | **Sa'da (2023)** | **Sari dkk. (2023)** | **Alviani (2024)** | **Paturahman (2025)** |
| **Hasil** | Perhitungan dengan program APILE pada metode Lambda memiliki selisih terhadap metode Elastis Plastis yaitu 33,17%, metode Chin yaitu 13,15%, metode Mazurkiewich yaitu 58,86 %. Sedangkan metode API RP 2A memiliki selisih terhadap metode Elastis Plastis yaitu 18,67%, metode Chin yaitu 5,38% dan Mazurkiewich | Nilai daya dukung ultimit (Qu) dan daya dukung ijin (Qall) pada pondasi *existing* (telapak) sebesar 3303,349 kN dan 1321,340 kN, Nilai daya dukung ultimit tiang (Qu), daya dukung ijin tiang (Qall) dan daya dukung kelompok tiang (Qg) pada pondasi tiang bor sebesar 6744,230 kN, 2697,692 kN dan 5395,384 kN, Nilai | gaya aksial maksimum pada tiang 658,23 kN ≤ 702,49 ϕPn (Aman), gaya leteral kombinasi dua arah 53,24 kN ≤ 684,00ϕHn (Aman) dan menghasilkan penurunan elastik tiang grup sebesar 100,20 mm. Gaya lateral pada tiang dengan ukuran diameter 40 cm memiliki gaya lateral 53,24 kN ≤ ϕHn, tiang dengan diameter | Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, ditemukan bahwa terdapat perbedaan nilai kapasitas daya dukung yang dianalisis menggunakan metode empiris, Meyerhof dan Schmertmann, dan MIDAS GTS NX yang dibandingkan dengan uji PDA. Secara umum, nilai deviasi terbesar bila dibandingkan dengan uji PDA adalah | fondasi tiang pancang dengan diameter 0,45 m, 0,5 m, dan 0,6 m berturut-turut pada perhitungan menggunakan metode Poulos & Davis yaitu 3.214,506 kN, 4.033,615 kN, dan 4.803,383 kN. Adapun pada perhitungan menggunakan metode Meyerhof diperoleh kapasitas dukung fondasi kelompok (Qg) masing masing | Fondasi bor existing memiliki daya dukung yang aman namun jumlah tiang (overestimate). Sebagai alternatif, tiang pancang dengan diameter lebih besar (0,8 m) memberikan daya dukung tunggal tertinggi dan membutuhkan jumlah tiang paling sedikit, sedangkan dimensi lebih kecil membutuhkan lebih banyak tiang untuk |

**Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya**

| Penelitian Terdahulu | | | | | | Penelitian yang dilakukan |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Peneliti** | **Sapriyadi dkk. (2018)** | **Mutiarasella (2022)** | **Sa'da (2023)** | **Sari dkk. (2023)** | **Alviani (2024)** | **Paturahman (2025)** |
| Hasil | metode yaitu 28,9%, menggunakan program GROUP pada konfigurasi 2 x 2, metode Elastis Plastis yaitu 32,99%, metode Chin yaitu 13,16% dan metode Mazurkiewich yaitu 37,76%. Sedangkan konfigurasi 3 x 3, metode Elastis Plastis yaitu 28,90%, metode Chin yaitu 12,77% dan metode Mazurkiewich yaitu 30,36%. | penurunan pondasi *existing* (telapak) dan alternatif (tiang bor) sebesar 12,2 cm, 3,6 cm untuk tiang tunggal, dan 6,4 cm untuk tiang kelompok. Nilai dari kedua pondasi tersebut telah memenuhi syarat menurut SNI 8460 – 2017 yaitu kurang dari 0,15 + $\left(\frac{D}{600}\right)$ sebesar 15,1 cm. | 60 cm memiliki gaya lateral 53,24 kN ≤ ϕHn dan tiang dengan diameter 80 cm memiliki gaya lateral 58,60 kN ≤ ϕHn. Penurunan elastik total yang terjadi pada pondasi tiang (Se) sebesar 42,09 mm dan penurunan elastik oleh tiang kelompok (Se(g)) sebesar 100,20 mm. Maka dianggap aman. | menggunakan metode Schmertmann, yaitu 0,59 dan deviasi terkecil menggunakan MIDAS adalah 0,03 pada P 133F STA 16+711. Perbedaan ini disebabkan metode empiris hanya menganalisis berdasarkan sifat-sifat tanah asli. | kN, dan 4.533,659 kN. Kedua hasil perhitungan kapasitas dukung fondasi kelompok (Qg) tersebut sudah lebih besar sehingga dapat dinyatakan aman dan memenuhi syarat. Perhitungan penurunan fondasi metode Poulos & Davis dan Meyerhof diperoleh hasil yang sama berturut-turut yaitu 1,397 cm, 1,246 cm, dan 0,547 cm. | menopang beban yang sama. Analisis menggunakan perangkat lunak GROUP menunjukkan tiang berpenampang besar lebih stabil terhadap deformasi aksial dan lateral, serta penurunan yang dihasilkan GROUP secara konsisten lebih besar dibanding perhitungan manual namun tetap dalam batas izin. |

# BAB III
# LANDASAN TEORI

## 3.1 Tanah

Tanah dalam bidang teknik sipil adalah gabungan antara mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose)*, yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat zat organik, atau sejumlah oksida yang mengendap di antara partikel. Ruang antara partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Umumnya. pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbon dioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka tanah ini disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (*transported soil*) (Hardiyatmo, 2015).

## 3.2 Penyelidikan Tanah Metode *Standard Penetration Test*

Penyelidikan tanah merupakan tahapan dalam konstruksi yang dilakukan pada pembangunan gedung bertingkat dan jembatan. Penyelidikan dapat dilakukan dengan cara-cara menggali lubang uji (*test-pit*), pengeboran, dan uji secara langsung di lapangan (*in-situ test*). Menurut Hardiyatmo (2014) tujuan penyelidikan tanah sebagai berikut.

1. Menentukan sifat-sifat tanah yang terkait dengan perancangan struktur yang akan dibangun diatasnya.

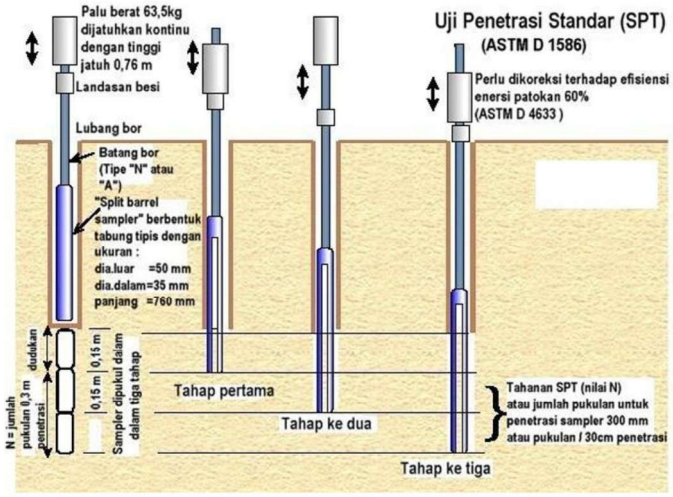
2. Menentukan kapasitas dukung tanah menurut tipe fondasi yang dipilih.
3. Menentukan tipe dan kedalaman fondasi.
4. Untuk memprediksi besarnya penurunan.
5. Untuk mengetahui posisi muka air tanah.
6. Menentukan besarnya tekanan tanah terhadap dinding penahan tanah atau pangkal jembatan (*abutment*).
7. Menyelidiki keamanan suatu struktur bila penyelidikan dilakukan pada bangunan yang telah ada sebelumnya.
8. Menentukan letak-letak saluran, gorong-gorong, penentuan lokasi dan macam bahan timbunan pada proyek jalan raya dan irigasi.

Beberapa jenis tanah yang sulit untuk didapatkan adalah kondisi tanah yang tidak terganggu dalam proses pengambilannya, untuk itu dibutuhkan pengujian yang memungkinkan dilakukan di lapangan, contoh pengujiannya seperti uji penetrasi standar atau uji SPT.

Pengujian SPT adalah pengujian langsung di lapangan (*in-situ*), dilakukan berdampingan bersama proses pengeboran setiap 2 m. Lapisan tanah keras ditandai dengan nilai SPT di atas 50 pukulan/30 cm sebanyak 3 kali pada 3 kedalaman berturut turut. Prinsip pelaksanaan SPT yaitu dengan memukul sebuah tabung standar kedalam lubang bor sedalam 450 mm menggunakan palu 65,3 kg yang jatuh pada ketinggian 760 mm. Yang dihitung adalah jumlah pukulan untuk melakukan penetrasi sedalam 150 mm. Jumlah yang digunakan adalah penetrasi sedalam 300 mm terakhir.

Prosedur pengujian SPT menurut buku Manual Petunjuk Teknis Pengujian Tanah mengacu pada SNI 4153:2008 dan ASTM D-1586-67 dilakukan dalam beberapa tahapan. Pertama mempersiapkan lubang bor hingga kedalaman uji, lalu memasukkan alat *split spoon sampler* secara tegak, pastikan *hammer* jatuh dengan *free falling* (terjun bebas), dilanjutkan dengan menumbuk dengan *hammer* dan mencatat jumlah tumbukan 15 cm penetrasi dengan dijatuhkan secara bebas pada ketinggian 760 mm, nilai tumbukkan dicatat 3 kali (N0, N1, N2) dimana nilai N-SPT = N1+N2. *Split spoon sampler* diangkat ke atas dan kemudian dibuka. Sampel yang diperoleh dengan cara ini merupakan sampel yang sangat terganggu, dan

tahapan terakhir, sampel yang diperoleh dimasukkan ke dalam plastik untuk diuji di laboratorium. Pada plastik diberikan catatan nama proyek , kedalaman dan nilai N. Skema urutan uji dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.




**Gambar 3. 1 Skema Urutan Uji Penetrasi Standar SPT**

(Sumber : SNI 4153:2008)

Menurut Skempton (1983) dalam Hardiyatmo (2014) menyimpulkan, bahwa N-SPT harus dikoreksi terhadap cara jatuhnya pemukul, tipe landasan (anvil) dan panjang total pipa bor. Nilai standar yang digunakan bervariasi antara 35-85%, bila digunakan pemukul donat atau pemukul aman. Di amerika dan inggris rata-rata digunakan efisiensi energi 60%, untuk panjang batang bor lebih dari 10 m.pada model pemukul otomatis terbaru, efisiensi energi bisa mencapai 80-100% bergantung pada tipe alat. Saat ini, dalam perancangan fondasi telah banyak digunakan korelasi-korelasi yang didasarkan pada N-SPT dengan mengubah N terukur menjadi $N_{60}$ menyatakan efisiensi energi 60%. Persamaan untuk mengoreksi N dari lapangan dengan memperhatikan pengaruh prosedur pengujian, diameter lubang bor dan panjang batang bor, dapat dilihat pada persamaan 3.1 berikut.

$$N60 = E_f \times C_b \times C_s \times C_r \times NSPT \quad (3.1)$$

Dengan :

$N60$ = N-SPT terkoreksi.

$E_f$ = Efisiensi Pemukul.

$C_b$ = Koreksi diameter lubang.

$C_s$ = Koreksi oleh tipe Tabung sampler SPT.

$C_r$ = koreksi untuk panjang batang bor.

N-SPT = Nilai SPT hasil uji lapangan.

Nilai efisiensi pemukul ($E_f$) pada persamaan 3.1 dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

**Tabel 3. 1 Nilai Efisiensi Pemukul ($E_f$)**

| Negara | Tipe Pemukul | Mekanisme | Efisiensi Pemukul, $E_f$ |
|---|---|---|---|
| Argentina | Donat | *Cathead* | 0,45 |
| Brasilia | *Pin weight* | Dilepas tangan | 0,72 |
| China | Otomatis | Trip | 0,60 |
| | Donat | Dilepas tangan | 0,55 |
| | Donat | *Cathead* | 0,50 |
| Columbia | Donat | *Cathead* | 0,50 |
| Jepang | Donat | *Tombi trigger* | 0,78-0,85 |
| | Donat | *Cathead* 2 *turn* + pelepas spesial | 0,65-0,67 |
| Inggris | Otomatis | *Trip* | 0,73 |
| Amerika | Aman | 2 *turn on cathead* | 0,55-0,60 |
| | Donat | 2 *turn on cathead* | 0,45 |
| Venezuela | Donat | *Cathead* | 0,43 |

(Sumber : Clayton, 1990)

Faktor koreksi akibat pengaruh lubang bor, tabung sampler dan batang bor pada persamaan 3.1 dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

**Tabel 3. 2 Faktor Nilai Koreksi $C_b$, $C_s$ dan $C_r$**

| Faktor | Variasi alat | Nilai Koreksi |
|---|---|---|
| Diameter Lubang Bor ($C_b$) | 65-115 mm | 1,00 |
| | 150 mm | 1,05 |
| | 200 mm | 1,15 |
| Tabung Sampler ($C_s$) | Tabung Sampler standar | 1,00 |
| | Tabung sampler tanpa liner | 1,20 |
| Panjang Batang Bor ($C_r$) | 3 – 4 m | 0,75 |
| | 4 – 6 m | 0,85 |
| | 6 – 10 m | 0,95 |
| | >10 m | 1,00 |

(Sumber : Skempton, 1986 dalam Hardiyatmo, 2015)

Menurut Terzaghi dan peck (1948) dalam Hardiyatmo (2014), nilai N dapat dipakai sebagai indikasi kemungkinan model keruntuhan fondasi. Keruntuhan geser lokal dapat dianggap terjadi apabila nilai N < 5, dan keruntuhan geser umum dapat terjadi apabila nilai N > 30. Kerapatan relatif ($D_r$) dalam tiap lapisan tanah diperlukan untuk mengetahui karakteristik tanah. Hubungan nilai N dengan kerapatan relatif ($D_r$) yang diusulkan oleh terzaghi dan peck (1948), untuk tanah pasir dan tanah lempung, disajikan dalam secara berurutan pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3. 3 Hubungan N dengan Kerapatan Relatif ($D_r$) Tanah Pasir**

| Nilai N | Kerapatan relatif ($D_r$) |
|---|---|
| <4 | Sangat tidak padat |
| 4 – 10 | Tidak padat |
| 10 – 30 | Kepadatan sedang |
| 30 – 50 | Padat |
| >50 | Sangat padat |

(Sumber : Terzaghi dan Peck, 1948)

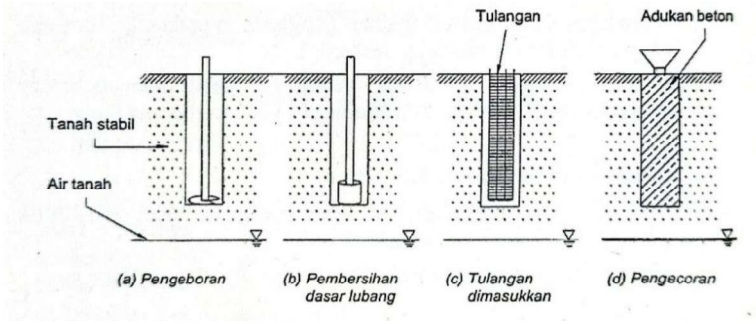
**Tabel 3. 4 Hubungan N dengan Kerapatan Relatif ($D_r$) Tanah Lempung**

| Nilai N | Kerapatan relatif ($D_r$) |
|---|---|
| <2 | Sangat lunak |
| 2 – 4 | Lunak |
| 4 – 8 | Sedang |
| 8 – 15 | Kaku |
| 15 – 30 | Sangat Kaku |
| >30 | Keras |

(Sumber : Terzaghi dan Peck, 1948 dalam Hardiyatmo, 2015)

### 3.3 Fondasi Tiang Bor

Fondasi tiang bor merupakan salah satu jenis fondasi tiang yang mulanya dilaksanakan dengan pengeboran tanah. Pelaksanaan tiang bor bisa dilakukan dengan beberapa metode tergantung pada kondisi di lapangan setelah dilakukan pengujian tanah di lapangan, yaitu metode kering, metode basah, dan metode casing. Menyesuikan dengan objek penelitian maka digunakan metode kering. Metode ini digunakan pada tanah di atas muka air tanah yang dinding lubangnya tidak longsor. Pada metode kering, lubang dibuat dengan menggunakan mesin bor tanpa *casing.* Setelah itu, dasar lubang bor yang kotor oleh rontokan tanah dibersihkan. Tulangan yang telah dirangkai dimasukkan ke dalam lubang cor dan kemudian di cor. Ilustrasi pelaksanaan tiang bor metode kering dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.




**Gambar 3. 2 Langkah-langkah Pelaksanaan Tiang Bor Dalam Metode Kering**

(Sumber: Fleming dkk., 2009 dalam Hardiyatmo, 2015)

Fondasi tiang bor menurut Hardiyatmo (2015) memiliki beberapa keunggulan sebagai berikut:

1. Pemasangannya tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan
2. Mengurangi kebutuhan beton dan tulangan *dowel* pada pelat penutup tiang (*pile cap)*. Kolom dapat secara langsug di letakkan di puncak tiang bor.
3. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
4. Tanah dapat diperiksa dan dicocokan dengan data laboratorium.
5. Tiang bor dapat dipasang menembus batuan.
6. Diameter tiang memungkinkan dibuat besar, bila perlu ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya
7. Tidak ada resiko kenaikan muka tanah
8. Penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkatan dan pemancangan

Fondasi tiang bor menurut Hardiyatmo (2015) memiliki beberapa kelemahan sebagai berikut:

1. Pengecoran tiang bor dipengaruhi kondisi cuaca
2. Pengecoran beton agak sulit bila dipegaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik
3. Mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragamannyadi sepanjang badan tiang bor mengurangi kapasitas dukung tiang bor, terutama bila tiang bor cukup dalam
4. Pengeboran dapat mengakibatkangangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah berkerikil.
5. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat menimbulkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tiang.

### 3.4 Fondasi Tiang Pancang

Fondasi tiang pancang merupakan salah satu fondasi dalam yang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak di dalam menggunakan

metode pemancangan pada tiang yang dicetak terlebih dahulu kemudian dpancang atau ditekan ke dalam tanah. Fondasi ini digunakan dengan maksud untuk meneruskan beban bangunan ke tanah yang relatif lunak sampai kedalaman tertentu sehingga fondasi bangunan mampu memberikan dukungan yang cukup untuk mendukung beban tersebut oleh gesekan sisi tiang dengan tanah di sekitarnya.

Pekerjaan fondasi tiang pancang dimulai dengan penentuan titik lokasi berdasarkan hasil penyelidikan tanah, dilanjutkan dengan pengangkatan tiang beton secara vertikal menggunakan crane alat pancang, lalu pemancangan dengan *hammer* hingga mencapai kedalaman tanah keras , kemudian dilakukan dengan pemotongan sisa tiang sesuai elevasi rencana untuk disambungkan ke struktur *pile cap,* jika panjang tiang kurang, maka dilakukan penyambungan agar mencapai kedalaman yang diinginkan.

Tiang pancang umumnya dilaksanakan dengan tiga metode yaitu pancang langsung, yaitu tiang dihantam masuk ke tanah menggunakan hammer hingga mencapai titik tinjauan, namun menimbulkan getaran dan kebisingan tinggi. Kemudian metode *pre-boring*, yaitu tanah dibor lebih dulu untuk menembus lapisan keras di permukaan sebelum tiang dimasukkan dan dipancang lanjut. Dan metode HSPD (*Hydraulic Static Pile Drive*), yaitu tiang ditekan masuk ke tanah dengan tekanan hidrolik tanpa tumbukan sehingga minim getaran dan cocok untuk area padat penduduk. Pemilihan metode disesuaikan dengan kondisi tanah, lokasi proyek, dan batasan lingkungan sekitar.

Fondasi tiang pancang menurut Hardiyatmo (2015) memiliki beberapa keunggulan sebagai berikut:

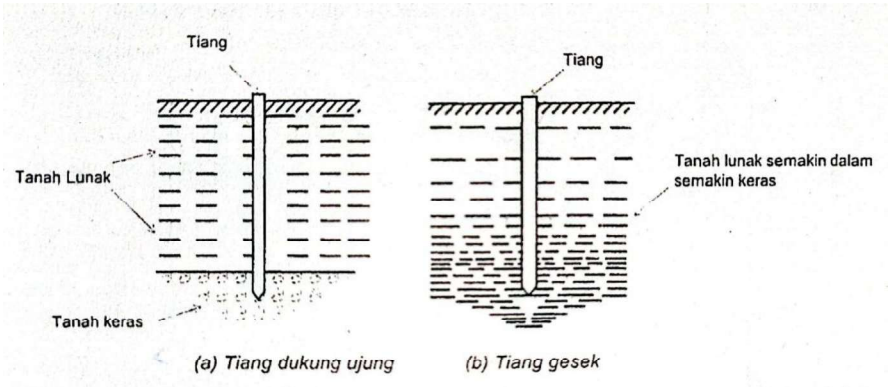
1. Tiang pancang yang dilakukan pracetak akan mudah dalam pemeriksaan.
2. Prosedur dilakukan tanpa memperhatikan muka air tanah.
3. Tiang daapt dipancang sampai kedalaman yang dalam
4. Pemancangan tiang dapat menambah kepadatan tanah granuler

Fondasi tiang pancang menurut Hardiyatmo (2015) memiliki beberapa kelemahan sebagai berikut:

1. Tanah akibat pemancangan dapat menimbulkan penggembungan dan dapat menimbulkan masalah.
2. Diameter yang terlalu besar akan menyebabkan pemancangan yang sulit.
3. Pemancangan menimbulkan gangguan suara, getaran dan deformasi tanah yang dapat menimbulkan kerusakan bangunan di sekitarnya.
4. Kepala tiang kadang-kadang pecah akibat pemancangan
5. Banyaknya tulangan dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi pada waktu pengangkutan dan pemancangan tiang.

### 3.5 Daya Dukung Aksial Fondasi Tiang Tunggal

Menurut Hardiyatmo (2015), berdasarkan cara mendukung beban ke tanah, terdapat 2 macam tiang, yaitu tiang dukung ujung dan tiang dukung gesek. Tiang dukung ujung (*end bearing pile*), adalah tiang yang kapasitas dukungnya dilihat dari ujung tiang. Tiang dukung ujung umumnya berada pada tanah lunak dan mencapai batuan dasar atau lapisan keras, sehingga dapat menahan beban tanpa adanya penurunan yang berlebihan. Tiang dukung gesek (*friction pile*), adalah tiang yang kapasitas dukungnya dilihat dari perlawanan antara sisi tiang dan tanah yang saling bergesekan. Tiang ditinjau dari cara mendukung beban dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.




**Gambar 3. 3 Tiang Ditinjau Dari Cara Mendukung Beban**

(Sumber: Tomlinson, 1977 dalam Hardiyatmo, 2015)

Perhitungan daya dukung aksial adalah tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebean aksial, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah di sepanjang bidang gesernya (Hardiyatmo, 2018). Daya dukung aksial dapat dilihat dari reaksinya terhadap pembebanan vertikal, yaitu daya dukung aksial tekan dan daya dukung aksial tarik. Perhitungan dapat dilihat pada persamaan 3.2 dan 3.3 berikut.

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p' \quad (3.2)$$

$$T_u = Q_s + W_{p'} \quad (3.3)$$

Berat efektif ($W_p$') dapat didapatkan dari persamaan 3.4 hingga 3.6 berikut.

$$Wp' = Wp + U \quad (3.4)$$

$$Wp = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times L \times \gamma_{beton} \quad (3.5)$$

$$U = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times (L\text{-}H_w) \times \gamma_w \quad (3.6)$$

Keterangan :

$Q_u$ = Daya dukung aksial tekan (kN)

$T_u$ = Daya dukung aksial Tarik (kN)

$Q_b$ = Tahanan ujung bawah tiang (kN)

$Q_s$ = Tahanan gesek tiang (kN)

$W_p$' = Berat efektif (kN)

$W_p$ = Berat fondasi (kN)

U = Gaya angkat fondasi

L = Panjang tiang (m)

$H_w$ = Tinggi muka air (m)

$\gamma_w$ = berat volume air (kN/m$^2$)

$\gamma_{beton}$ = Berat jenis beton (kN/m$^2$)

Setelah adanya kapasitas daya dukung maka harus ditinjau rasio berdasarkan faktor keamanan atau *safety factor* (SF), yang disarankan adalah 2,5. Rasio tersebut

dinamakan dengan daya dukung izin fondasi ($Q_{all}$). Persamaan daya dukung izin fondasi dapat dilihat pada persamaan 3.7 berikut.

$$Qall = \frac{Q_u}{SF} \tag{3.7}$$

Dengan:

$Qall$ = Daya dukung izin fondasi (kN)

$Qu$ = Daya dukung ultimit (kN)

$SF$ = *Safety factor* (2,5)

Perhitungan daya dukung ultimit dapat dilakukan dengan beberapa pendekatan, contohnya adalah menggunakan data tanah dari uji laboratorium, ataupun data dari uji lapangan seperti sondir, *cone penetration test* (CPT) atau *standard penetration test* (SPT). Dalam penelitian ini perhitungan dilakuakn berdasarkan data SPT. Metode perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang dan tiang bor dapat dilihat sebagai berikut.

### 3.5.1 Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang

1. Daya dukung ujung tiang

   Persamaan yang diusulkan oleh Meyerhoff (1976) dapat dilihat pada persamaan 3.8 berikut.

$$Qb = A_b \times (40\ N_{60}') \times (L_b/d) \leq (400\ N_{60}') \times A_b \tag{3.8}$$

   dengan:

   $Qb$ = Daya dukung ujung tiang (kN)

   $Ab$ = Luas penampang ujung tiang (m)

   $N60'$ = Nilai SPT rata-rata pada tiang yang telah dikoreksi

   $L_b$ = Panjang tiang (m)

   $d$ = Diameter tiang (m)

2. Daya dukung gesek tiang

   Persamaan yang diusulkan untuk tanah pasir oleh Meyerhoff (1976) dapat dilihat pada persamaan 3.9 dan 3.10 berikut.

$$Qs = fi \times A_s \quad (3.9)$$

$$fi = 2 \times N_{60} \quad (3.10)$$

dengan:

$Qs$ = Tahanan gesek tiang (kN)

$fi$ = Gesekan selimut rata-rata (kN/m$^2$)

$A_s$ = Luas selimut tiang (m$^2$)

$N_{60}$ = Nilai NSPT terkoreksi

Persamaan yang diusulkan pada tanah lempung dapat dilihat pada Persamaan 3.11 hingga 3.14 berikut.

$$Qs = \sum fs \times A_s \quad (3.11)$$

$$fs = \alpha \times Cu \quad (3.12)$$

$$Cu = \frac{2}{3} \times NSPT \times 10 \quad (3.13)$$

$$\alpha = 0{,}21 + 0{,}26 \frac{pa}{Cu} < 1 \quad (3.14)$$

dengan:

$\alpha$ = Faktor adhesi

$fs$ = Gesekan selimut satuan (kN/m$^2$)

NSPT = Nilai SPT

$Cu$ = Nilai kohesi tiang rencana (kN/m$^2$)

### 3.5.2 Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Metode O'Neil dan Reese (1989)

Pada perhitungan kapasitas daya dukung tiang bor yang berdasarkan data N-SPT dengan metode Reese & O'Neil dapat dilihat sebagai berikut.

1. Daya dukung ujung tiang

Persamaan yang diusulkan oleh Reese dan O'Neil untuk daya dukung ujung tiang bor pada penurunan 5% dari diameter dasar tiang pada pasir, dapat dilihat pada persamaan 3.15 dan 3.16 berikut.

$$Q_b = A_b \times f_b \quad (3.15)$$

$$f_b = 0{,}6 \times \sigma_r \times N_{60} \leq 4500 \text{ kN/m}^2 \quad (3.16)$$

Dengan:

$Qb$ = Daya dukung ujung tiang (kN)

$A_b$ = Luas ujung tiang ($m^2$)

$f_b$ = Tahanan ujung tiang ($kN/m^2$)

$\sigma_r$ = Tegangan referensi =100 $kN/m^2$

$N_{60}$ = Nilai N-SPT rata-rata dari ujung tiang sampai $2d_b$ di bawahnya.

$d_b$ = diameter ujung bawah tiang bor (m)

2. Daya dukung gesek tiang

Persamaan yang diusulkan oleh Reese dan O'Neil untuk daya dukung gesek tiang dan tahanan gesek satuan tiang bor dalam pasir dinyatakan dalam Persamaan 3.17 dan 3.20 sebagai berikut.

$$Qs = As \times fs \quad (3.17)$$

$$f_s = \beta \times p_o' \quad (3.18)$$

$$p_o' = \gamma_b \times z \quad (3.19)$$

$$Qs = As \times fs \quad (3.20)$$

dengan :

Qs = Daya dukung gesek tiang (kN)

$A_s$ = Luas selimut tiang ($m^2$)

$f_s$ = Tahanan gesek tiang ($kN/m^2$)

$p_o'$ = tekanan *overburden* di tengah-tengah lapisan tanah ($kN/m^2$)

$\gamma_b$ = Berat volume basah

Dalam menghitung $\beta$, Reese dan O'Neill (1989) menyarankan persamaan dalam dua kondisi. Kondisi pertama untuk nilai $N_{60} \leq 15$ dapat dilihat pada Persamaan 3.21 dan persamaan untuk $N_{60} > 15$ diusulkan pada Persamaan 3.22 sebagai berikut.

$$\beta = \frac{N60}{15} \times (1{,}5 - 0{,}245\sqrt{z}) \quad (3.21)$$

$$\beta = 1{,}5 - 0{,}245\sqrt{z} \quad (3.22)$$

dengan:

$N_{60}$ = N-SPT terkoreksi oleh prosedur pelaksanaan

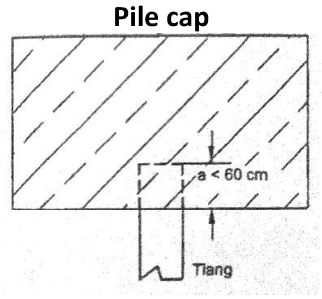
z = kedalaman di tengah-tengah lapisan tanah (m)

Pada tanah yang lempung dapat menggunakan persamaan 3.11, 3.12 dan 3.13 dengan faktor adhesi (α) sebesar 0,45.

### 3.6 Daya Dukung Lateral

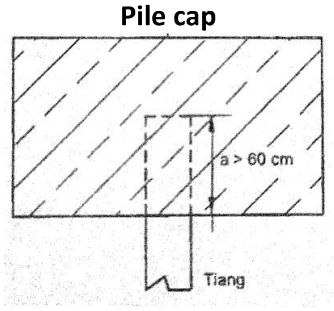
Fondasi tiang dalam perancangannya harus memperhatikan gaya vertikal (Aksial) dan horisontal (lateral). Beban lateral pada fondasi tiang terjadi karena beban angin, tekanan tanah lateral, beban gelombang air, benturan kapal dan lain-lain. Dalam melakukan analisis daya dukung lateral, fondasi tiang dapat dibedakan berdasarkan pelat penutup kepala tiang (*pile* cap), menjadi tiang ujung jepit dan tiang ujung bebas.

Menurut McNulty (1956), tiang ujung jepit sebagai tiang yang ujung atasnya terjepit dalam *pile cap* sedalam paling sedikit 60 cm (24 in.). Kemudian tiang ujung bebas yaitu tiang yang ujung atasnya tertutup dengan *pile cap* kurang dari 60 cm (24 in.). Tiang ujung bebas dan tiang ujung jepit dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5 secara berurutan sebagai berikut.




**Gambar 3. 4 Tiang Ujung Bebas**

(Sumber: McNulty, 1956 dalam Hardiyatmo, 2015)




**Gambar 3. 5 Tiang Ujung Bebas**

(Sumber: McNulty, 1956 dalam Hardiyatmo, 2015)

Untuk menghitung daya dukung lateral dapat menggunakan metode broms (1964). Untuk menentukan kriteria jenis tanah berpasir akubat beban lateral dapat diuraikan pada persamaan 3.23 berikut.

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \times I_p}{nh}} \tag{3.23}$$

Dengan :

T = faktor kekakuan

$E_p$ = Modulus elastisitas tiang ($m^4$)

$I_p$ = Momen Inersia tiang ($m^4$)

nh = Koefisien variasi modulus ($kN/m^3$)

Dengan L sebagai panjang tiang maka jika nilai L > 2T maka tiang dapat dikategorikan sebagai tiang kaku atau pendek sedangkan nilai dengan L > 4T maka dianggap sebagai tiang tidak kaku atau panjang. Pada penilitian ini digunakan tiang ujung jepit karena tiang ujung pada *pile cap* lebih besar dari 60 cm yaitu 75 cm. Maka untuk perhitungan daya dukung lateral maksimum berdasarkan tiang ujung jepit yang kaku, keruntuhan tiang dapat didefinisikan beban lateral ultimit dinyatakan pada persamaan 3.24 berikut.

$$H_u = \frac{3}{2} \times \gamma \times d \times L^2 \times K_p \quad (3.24)$$

Dengan:

$H_u$ = Beban lateral ultimit (kN)

$\gamma$ = Berat volume tanah (kN/m$^3$)

d = Diameter tiang (m)

L = Panjang tiang (m)

$K_p$ = Koefisien tekanan pasif

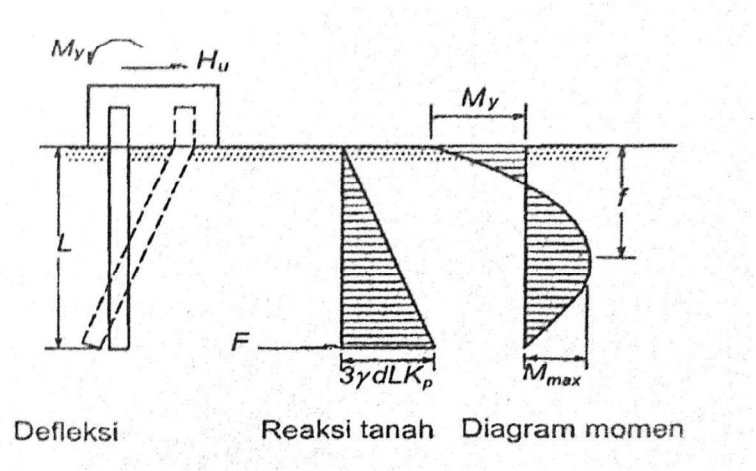
Perhitungan untuk koefisien tekanan pasif ($K_p$) dapat dilihat pada persamaan 3.25. berikut.

$$K_p = tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (3.25)$$

Kemudian untuk mengetahui apakah persamaan 3.24 dapat diplot, maka tahanan momen yang terjadi pada kepala tiang dapat dihitung pada persamaan 3.26 berikut.

$$M_{mak} = \gamma \times d \times L^3 \times K_p \quad (3.26)$$

Jika $M_{mak} > M_y$, maka keruntuhan tiang dapat diilustrasikan pada Gambar 3.6 berikut.




**Gambar 3. 6 Tiang Ujung Jepit Dalam Tanah Granuler**

(Sumber: Broms, 1964 dalam Hardiyatmo, 2015)

Dengan memperhatikan keseimbangan horisontal tiang pada Gambar 3.6. Momen yang terjadi pada kepala tiang, dihitung dengan persamaan berikut 3.27 berikut.

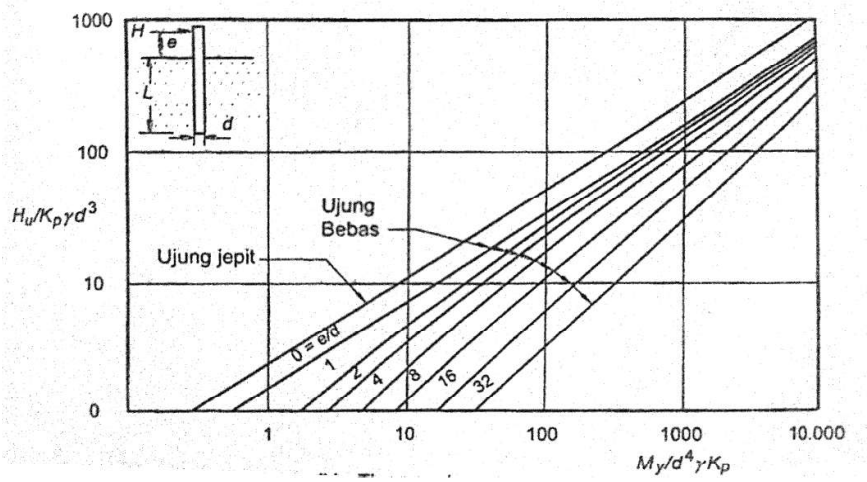
$$F = \frac{3}{2} \times \gamma \times d \times L^2 \times K_p - H_u \quad (3.27)$$

Dengan mengambil momen terhadap kepala tiang dan mensubstitusikan F pada persamaan 3.28 berikut.

$$\mathrm{M_y} = \frac{1}{2} \times \gamma \times d \times L^3 \times K_p - H_u \times L \quad (3.28)$$

Perhitungan untuk mendapatkan nilai kapasitas dukung lateral maksimum pada tiang dapat menggunakan persamaan 3.29 terlebih dahulu untuk di plot pada Gambar 3.7.

$$F = 0.82 \times \sqrt{\frac{H_u}{d \times K_p \times \gamma}} \quad (3.29)$$




**Gambar 3. 7 Tahanan Lateral Ultimit Tiang Dalam Tanah Granuler**

(Sumber: Broms, 1964 dalam Hardiyatmo, 2015)

Perhitungan lateral maksimum dapat dilihat pada persamaan 3.30 berikut.

$$H_u = \frac{2 \times M_y}{e + \frac{2f}{3}} \quad (3.30)$$

Penilaian dengan daya dukung lateral pada fondasi tiang, dapat menggunakan grafik pada Gambar 3.7 diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.31 berikut.

$$H_u = \frac{M_y}{d^4 \times \gamma \times K_p} \quad (3.31)$$

Perhitungan untuk memperoleh nilai dukung lateral izin dapat menggunakan persamaan 3.32 berikut.

$$H_{izin} = \frac{H_u}{SF} \quad (3.32)$$

Dengan:

$H_{izin}$ = Daya dukung lateral izin tiang

SF = *Safety factor* (faktor keamanan = 3)

### 3.7 Daya Dukung Fondasi Kelompok

Menurut Hardiyatmo (2015), kapasitas daya dukung kelompok tiang tidak selalu sama dengan jumlah daya dukung tiang tunggal. Hal ini terjadi jika tiang dipancang dalam lapisan tanah yang tidak mudah menyumpat, namun lapisan lunak yang berada di bawahnya. Stabilitas kelompok tiang bergantung dari daya dukung tanah disekitar dan dibawah kelompok tiang dalam mendukung beban total struktur, serta pengaruh penurunan konsolidasi tanah yang terletak di bawah kelompok tiang.

Dalam menghitung daya dukung fondasi kelompok tiang, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan.

1. Jumlah Tiang

   Menentukan jumlah tiang yang digunakan dapat dilihat pada perbandingan antara beban yang diberikan dengan kapasitas daya dukung izin tiang tunggal. Dapat dilihat pada persamaan 3.33 sebagai berikut.

$$n = \frac{p}{Q_{all}} \tag{3.33}$$

   dengan :

   P = beban fondasi

   $Q_{all}$ = kapasitas daya dukung izin tiang tunggal

2. Efisiensi Tiang

   a. *Converse-Labbarre formula*

      Menurut efisiensi kelompok tiang dapat dihitung pada persamaan 3.34 sebagai berikut.

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90 \times m \times n'} \tag{3.34}$$

      dengan :

      $E_g$ = efisiensi kelompok tiang

      m = jumlah baris tiang

      $n'$ = jumlah tiang dalam satu baris

$\theta$ = arc tg d/s, dalam derajat

s = jarak pusat ke titik tengah tiang (m)

d = diameter tiang (m)

Metode ini bisa digunakan apabila kondisi baris dan tiang dalam satu baris sejajar.

b. Metode Feld

Metode ini dilakukan apabila kondisi baris dan tiang dalam satu baris tidak sejajar. Persamaan dapat dilihat pada persamaan 3.34 berikut.

$$E_g = 1 - \frac{ki}{16}$$

Dengan :

$E_g$ = efisiensi kelompok tiang

ki = jumlah tiang segaris lurus atau diagonal yang berdekatan langsung dengan tiang ke-i

3. Kapasitas tiang kelompok

Berdasarkan faktor efisiensi tiang maka kapasitas dukung ultimit kelompok tiang dapat dinyatakan pada persamaan 3.35 berikut.

$$Q_g = E_g \times n \times Q_u \quad (3.35)$$

Dengan :

$Q_g$ = beban maksimum kelompok tiang

$E_g$ = efisiensi kelompok tiang

N = jumlah tiang dalam kelompok

$Q_u$ = daya dukung izin tiang tunggal

## 3.8 Penurunan Fondasi Tiang

Penurunan merupakan istilah yang digunakan untuk menunjukkan gerakan titik tertentu pada bangunan terhadap titik referensi yang tetap. Jika seluruh permukaan

tanah di bawah dan di sekitar bangunan turun secara seragam dan penurunan terjadi maka tidak akan terlihat secara langsung perubahannya dan tidak menyebabkan kerusakan pada bangunan. Namun jika penurunan terjadi secara berlebihan maka kerusakan akan terjadi dan akan terlihat perubahannya secara langsung. Umumnya penurunan tak seragam akan lebih berbahaya terhadap bangunan daripada penurunan total (Hardiyatmo, 2014).

Pada konteks fondasi tiang, penurunan tanah dapat terjadi ketika tiang dibebani. Tiang yang diberikan beban juga akan mengalami pemendekan dan penurunan yang terjadi akan berpengaruh pada tanah di sekitarnya. Penurunan pada fondasi tiang dapat dibedakan menjadi penurunan fondasi tiang tunggal dan fondasi tiang kelompok.

### 3.8.1 Penurunan Fondasi Tiang Tunggal

Menurut Poulus dan Davis (1980) penurunan tiang terjadi akibat perubahan atau defleksi tanah di sekitar tiang dan di bawah tiang, hal ini disebabkan oleh respons dari beban yang diberikan kepada tiang. Poulus dan Davis juga menyatakan dapat menggunakan persamaan empiris untuk menghitung penurunan tiang. Perhitungan yang diusulkan dapat dilihat pada persamaan (3.36) dan (3.37) berikut.

$$S = \frac{Q \times I}{E_s \times d} \tag{3.36}$$

$$I = I_o \times R_k \times R_b \times R_\mu \tag{3.37}$$

Dengan :

S = Penurunan kepala tiang

Q = Beban yang kerja

$I_o$ = Faktor pengaruh penurunan untuk tiang yang tidak mudah mampat (*incompressible*) dalam massa semi tak terhingga.

$R_k$ = Faktor koreksi kemampatan tiang untuk $\mu$ = 0,5

$R_b$ = Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung

$R_\mu$ = Faktor koreksi angka poisson $\mu$

$E_s$ = Modulus elastisitas tanah

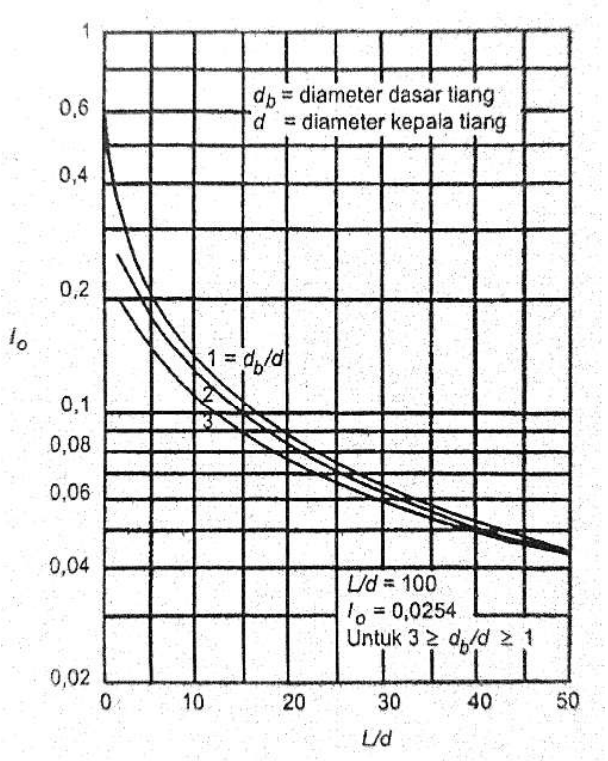
d = diameter tiang

Untuk nilai *poisson ratio* dapat menggunakan Tabel 3.5 sebagai berikut.

**Tabel 3. 5 Nilai *Poisson Ratio* ($\mu$) Dengan Jenis Tanah**

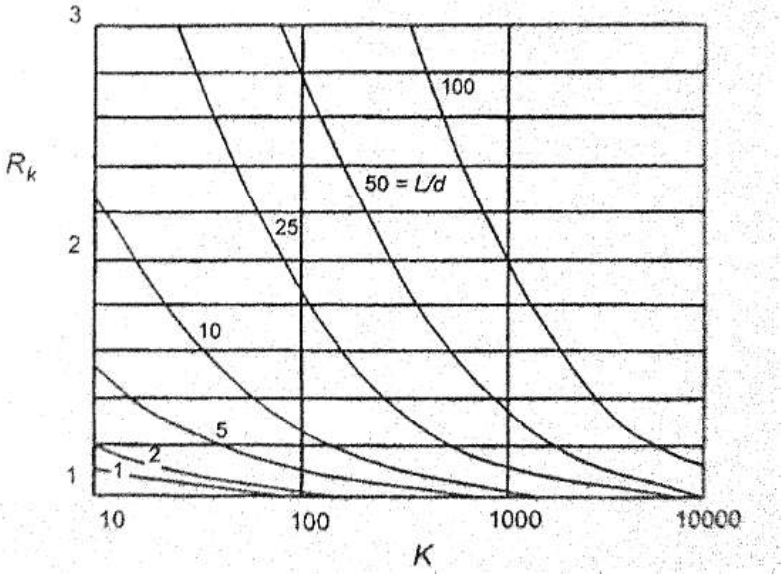
| Jenis Tanah | Nilai $\mu$ |
|---|---|
| Lempung Jenuh | 0,4 – 0,5 |
| Lempung tak jenuh | 0,1 – 0,3 |
| Lempung berpasir | 0,2 – 0,3 |
| Lanau | 0,3 – 0,35 |
| Pasir Padat | 0,2 – 0,4 |
| Pasir kasar (e = 0,4 – 0,7) | 0,15 |
| Pasir halus (e = 0,4 – 0,7) | 0,25 |
| Batu | 0,1-0,4 |
| Loess | 0,1-0,3 |

Menurut metode Poulus dan Davis (1980) dalam mengetahui beberapa faktor pada persamaan 3.37 diperlukan suatu grafik yang dapat dilihat pada Gambar 3.8 hingga Gambar 3.11 berikut.



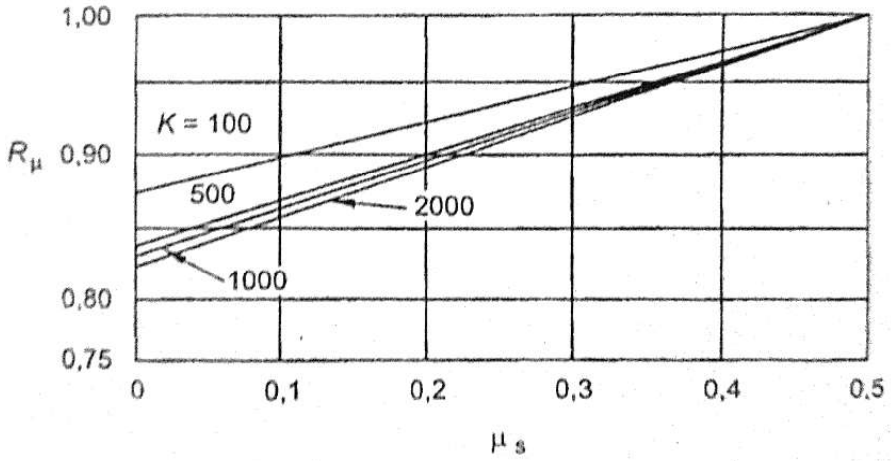

**Gambar 3. 8 Faktor Penurunan $I_o$**

(Sumber: Poulus dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo, 2015)



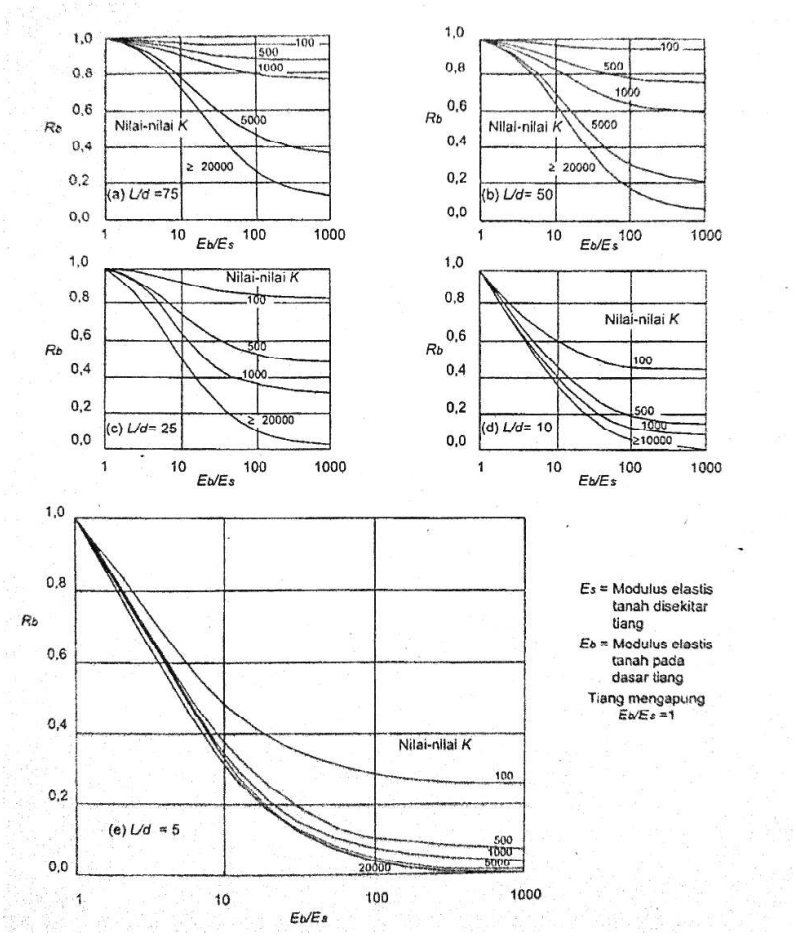

**Gambar 3. 9 Koreksi Kompresi, $R_k$**

(Sumber: Poulus dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo, 2015)




**Gambar 3. 10 Koreksi Angka Poisson, $R_\mu$**

(Sumber: Poulus dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo, 2015)




**Gambar 3. 11 Koreksi Kekakuan Lapisan Pendukung, $R_b$**

(Sumber: Poulus dan Davis, 1980 dalam Hardiyatmo, 2015)

Pada grafik Poulus dan Davis untuk suatu ukuran kompresibilitas relatif antara tiang dan tanah (K) dapat dinyatakan dalam persamaan 3.38 dan 3.39 berikut.

$$K = \frac{E_p \times R_A}{E_s} \tag{3.38}$$

$$R_A = \frac{A_p}{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2} \tag{3.39}$$

Dengan:

K = Ukuran kompresibilitas relatif antara tiang dan tanah

$E_p$ = Modulus elastisitas bahan tiang (Mpa)

$E_s$ = Modulus elastisitas tanah (Mpa)

$R_A$ = Rasio area tiang

$A_p$ = Luas tampang tiang ($m^2$)

d = diameter tiang (m)

### 3.8.2 Penurunan Fondasi Tiang Kelompok

Penurunan pada umumnya memeliki sifat yang mana penurunan kelompok cenderung lebih besar daripada penurunan tiang tunggal. hal ini disebabkan oleh area cakupan tiang kelompok yang lebih besar dan saling berhubungan satu sama lain antar tiang. Vesic (1977) menyatakan bahwa penurunan kelompok tiang dapat menggunakan persamaan 3.40 berikut.

$$S_g = S \times \sqrt{\frac{B_g}{d}} \quad (3.40)$$

Dengan:

$S_g$ = Penurunan kelompok tiang (m)

S = Penurunan tiang tunggal (m)

$B_g$ = Lebar kelompok tiang (m)

d = Diameter tiang (m)

Penurunan Izin menurut SNI 8460:2017 dapat menggunakan persamaan 3.41 berikut.

$$S\ izin = 15 \times \frac{B}{600} \quad (3.41)$$

Dengan:

B = Lebar Bangunan (cm)

Nilai penurunan izin (S izin) harus lebih besar dari penurunan tiang kelompok (Sg).

### 3.9 Perangkat Lunak GROUP

GROUP adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis perilaku kelompok tiang pancang yang dikenai beban aksial, lateral, dan torsi gabungan. Program ini dikembangkan untuk menghitung distribusi beban (vertikal, lateral, dan momen guling hingga tiga sumbu ortogonal) ketika diterapkan dari beberapa lokasi pada kepala tiang pancang kaku atau fleksibel ke tiang pancang yang disusun dalam satu kelompok.

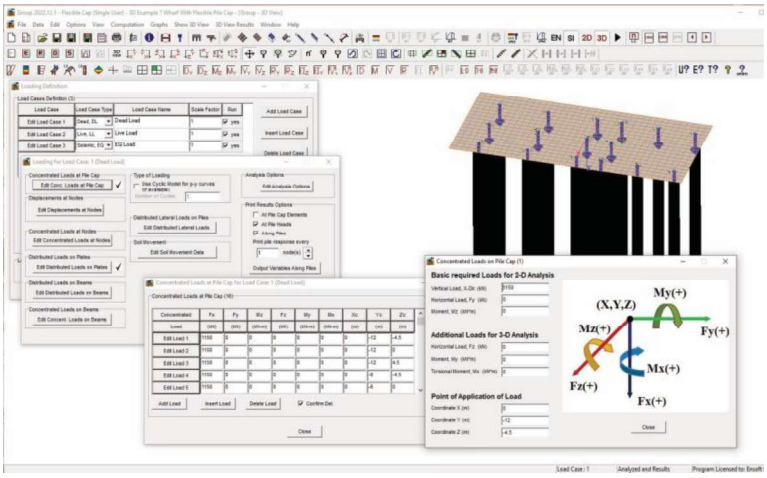
Perangkat lunak ini dapat menghasilkan respons nonlinear tanah, dalam bentuk *t-z* dan *Q-w* untuk pembebanan aksial, dalam bentuk kurva *p-y* untuk pembebanan lateral, dan dalam bentuk kurva *T-q* untuk pembebanan torsi. Program GROUP menyelesaikan respons nonlinear setiap tiang di bawah pembebanan gabungan dan memastikan kompatibilitas deformasi dan keseimbangan gaya antara beban eksternal yang diterapkan dan reaksi setiap kepala tiang pancang.

P-y curve adalah kurva yang menggambarkan hubungan non-linear antara tahanan lateral tanah (p, gaya per satuan panjang tiang) dan defleksi lateral tiang (y) pada suatu kedalaman tertentu, yang menjadi dasar analisis interaksi tanah-struktur pada tiang yang menerima beban lateral. Konsep ini berkembang dari model Winkler, di mana tanah di sekitar tiang direpresentasikan sebagai rangkaian pegas independen di sepanjang kedalaman tiang, dengan kekakuan awal pegas dinyatakan dalam bentuk $Es = k \cdot x$, dengan k merupakan konstanta modulus tanah yang nilainya bergantung pada jenis dan kepadatan tanah, serta x adalah kedalaman yang ditinjau. Berbeda dengan pendekatan elastis-linear, kurva p-y bersifat non-linear, di mana tahanan tanah melandai (*soil softening*) seiring bertambahnya defleksi hingga mendekati nilai ultimitnya, sehingga lebih merepresentasikan perilaku tanah yang sebenarnya. Perangkat lunak GROUP menggunakan model p-y yang berbeda sesuai jenis tanah, di antaranya model Matlock (1970) untuk lempung lunak, model Reese et al. (1975) untuk lempung kaku, dan model Reese, Cox & Koop (1974) untuk tanah pasir, yang relevan dengan kondisi tanah pada penelitian ini. Perhitungan defleksi lateral tiang dilakukan melalui proses iteratif, di mana program menghitung kompatibilitas antara defleksi tiang dan reaksi tanah pada tiap kedalaman hingga tercapai kondisi kesetimbangan (equilibrium), dengan turut memperhitungkan

pengaruh orde kedua (P-delta) akibat beban aksial pada tiang yang telah mengalami lendutan. Hasil akhir dari analisis ini berupa profil defleksi lateral tiang di sepanjang kedalamannya, dengan nilai defleksi maksimum yang umumnya terjadi pada kepala tiang sebagai keluaran lateral displacement (Reese & Wang, 2022).

Dalam penelitian ini akan dianalisis dan digambarkan pada kurva t-z dan q-w untuk beban aksial yang akan berpengaruh pada penurunannya dan juga kurva p-y untuk beban lateral. Contoh tampilan Perangkat lunak dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut.

.




**Gambar 3. 12 Contoh Tampilan Perangkat lunak GROUP**

(Sumber: Ensoft, 2025)

# BAB IV
# METODE PENELITIAN

## 4.1. Tinjauan Umum

Penelitian dilakukan di pembangunan Gedung pendidikan di Kota Malang dengan membandingkan menganalisis kapasitas daya dukung dan penurunan pada fondasi tiang pancang dari fondasi tiang bor (*existing*). Data penelitian yang digunakan untuk penelitian ini adalah data sekunder dari hasil penyelidikan tanah yaitu pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) dan juga *output* data beban bangunan dari perangkat lunak ETABS. Adapun variasi yang digunakan adalah diameter fondasi tiang bor. Dalam pembahasan metode penelitian, disajikan tahapan penelitian mulai dari persiapan, pengumpulan data, analisis data, hingga pembahasan dari analisis data.

## 4.2. Persiapan Penelitian

Tahap persiapan yang dilakukan adalah mengumpulkan literatur yang relevan dalam penelitian ini. Literatur yang digunakan berupa jurnal, buku ilmiah, tugas akhir, skripsi, tesis, serta standar peraturan yang berlaku untuk dijadikan sebagai landasan teori. Persiapan penelitian ini dilakukan untuk memahami teori, metode, dan hasil penelitian sebelumnya yang akan digunakan pada penelitian ini.

## 4.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan tahap untuk memperoleh keterangan yang faktual dan dapat dijadikan dasar kajian pada penelitian ini. Data penelitian ini didapatkan dari proyek pembangunan Gedung pendidikan di Kota Malang. Data penelitian yang dikumpulkan sebagai berikut.

1. Data penyelidikan tanah.

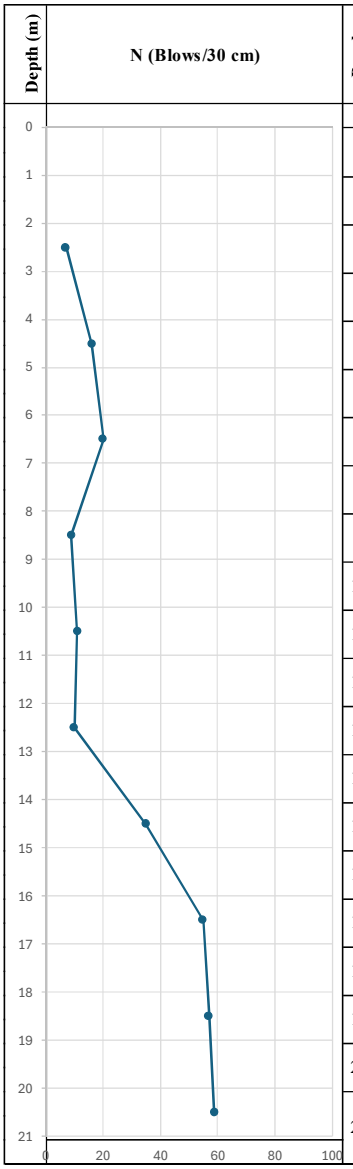
   Data tanah pada proyek gedung pendidikan di Kota Malang adalah data hasil dari pengujian lapangan. Penyelidikan tanah dilakukan di 2 titik yaitu B1 dan B2 dengan kedalaman pengujian 20 meter. Pengujian SPT dilakukan dengan interval 2 m, jumlah pukulan dibaca setiap kedalaman 30 cm terakhir. Data penyelidikan tanah uji SPT titik B1 dan B2 dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 secara berurutan sebagai berikut.

**Tabel 4. 1 Data Uji SPT Titik B1**

| Depth (m) | N (Blows/30 cm) | Depth | TYPE OF SOIL | COLOUR | PLASTICITY | DRY DENSITY (γd) (gr/cm3) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | | | | |
| | | 1 | Pasir dengan Lanau & kerikil | Coklat | 75.59 28.39 47.2 | |
| | | 2 | | | NON PLASTIS | 0.885 |
| | | 3 | | | NON PLASTIS | |
| | | 4 | Lanau dan Pasir dengan Kerikil | | NON PLASTIS | 1.119 |
| | | 5 | | | NON PLASTIS | |
| | | 6 | Pasir dengan Lanau & kerikil | | NON PLASTIS | 1.264 |
| | | 7 | | | NON PLASTIS | |
| | | 8 | Pasir dengan kerikil & Lanau | Hitam coklat | NON PLASTIS | 0.938 |
| | | 9 | | | NON PLASTIS | |
| | | 10 | Pasir dengan kerikil & Lanau | Coklat | NON PLASTIS | 0.982 |
| | | 11 | | | NON PLASTIS | |
| | | 12 | Pasir dengan Lanau & kerikil | Hitam | NON PLASTIS | 1.327 |
| | | 13 | | | NON PLASTIS | |
| | | 14 | | | NON PLASTIS | 1.43 |
| | | 15 | | | NON PLASTIS | |
| | | 16 | | | NON PLASTIS | 1.408 |
| | | 17 | | | NON PLASTIS | |
| | | 18 | | | NON PLASTIS | 1.622 |
| | | 19 | | | NON PLASTIS | |
| | | 20 | Pasir dengan kerikil & Lanau | | NON PLASTIS | 1.527 |
| | | 21 | | | | |

(Sumber: PT. Pola Data Consultant)

**Tabel 4. 2 Data Uji SPT Titik B2**

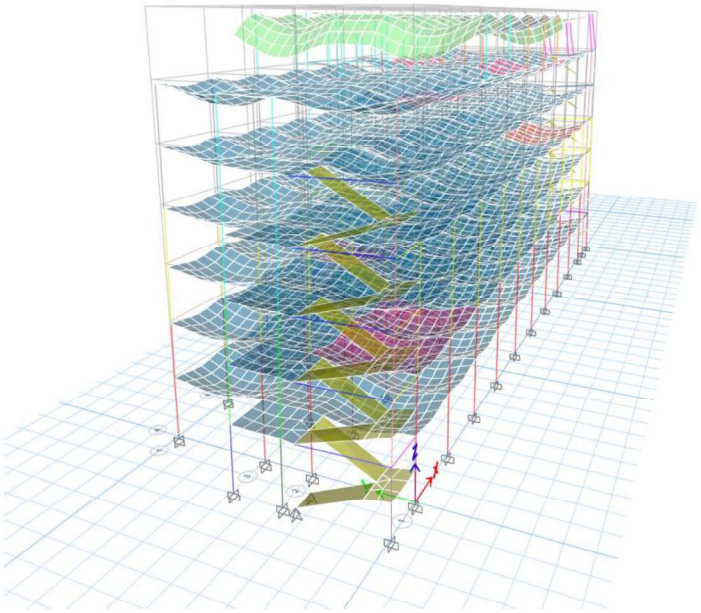



| Depth | TYPE OF SOIL | COLOUR | PLASTICITY | | | DRY DENSITY (γd) (gr/cm3) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | | | | | | |
| 1 | Lanau dengan Lempung & Pasir | Coklat | 75.59 | 28.39 | 47.2 | |
| 2 | | | NON PLASTIS | | | 0.885 |
| 3 | | | NON PLASTIS | | | |
| 4 | Pasir dan Lanau dengan Kerikil | | NON PLASTIS | | | 1.119 |
| 5 | | | NON PLASTIS | | | |
| 6 | | | NON PLASTIS | | | 1.264 |
| 7 | | | NON PLASTIS | | | |
| 8 | Lanau dan Pasir dengan Kerikil | | NON PLASTIS | | | 0.938 |
| 9 | | | NON PLASTIS | | | |
| 10 | Kerikil, Pasir, Lanau | | NON PLASTIS | | | 0.982 |
| 11 | | | NON PLASTIS | | | |
| 12 | Lanau dan Pasir Sedikit Kerikil | | NON PLASTIS | | | 1.327 |
| 13 | | | NON PLASTIS | | | |
| 14 | | | NON PLASTIS | | | 1.43 |
| 15 | Pasir dengan Kerikil dan Lanau | Hitam | NON PLASTIS | | | |
| 16 | | | NON PLASTIS | | | 1.408 |
| 17 | | | 84.62 | 35.24 | 49.38 | |
| 18 | Pasir dengan Lanau & Krikil | | NON PLASTIS | | | 1.622 |
| 19 | | | NON PLASTIS | | | |
| 20 | | | NON PLASTIS | | | 1.527 |
| 21 | | | | | | |

(Sumber: PT. Pola Data Consultant)

2. Data beban bangunan.

   Desain peracanaan gedung mempertimbangkan reaksi yang timbul dari beban pada struktur diatasnya. Bentuk pemodelan gedung pada perangkat lunak ETABS dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



**Gambar 4. 1 Pemodelan Gedung Pendidikan Di Kota Malang Pada Perangkat Lunak ETABS**

(Sumber: PT. Pola Data Consultant)

Dari hasil gaya yang menghasilkan reaksi, dipilih beban gempa kuat yang memiliki nilai terbesar pada jenis fondasi P2 untuk dijadikan titik acuan yang ditinjau. Data reaksi beban gempa kuat dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

**Tabel 4. 3 Tabel Reaksi Beban Gempa Kuat Pada Jenis *Pilecap* P2**

| Grid | P (kN) |
|---|---|
| A1 | 3334.5466 |
| A4 | 2191.1079 |
| B1 | 3055.5009 |
| B4 | 2976.0746 |
| C1 | 3305.8196 |
| C4 | 3268.8876 |
| D1 | 3278.1777 |
| D4 | 3249.4482 |
| E1 | 3415.7874 |

**Lanjutan Tabel 4. 3 Tabel Reaksi Beban Gempa Kuat Pada Jenis *Pilecap* P2**

| *Grid* | P (kN) |
|---|---|
| F1 | 3503.9703 |
| G1 | 3380.3785 |
| H1 | 3035.0393 |
| H4 | 2951.4528 |
| I1 | 3093.2248 |
| I4 | 2877.1416 |
| J4 | 2821.9816 |
| K4 | 207.4208 |

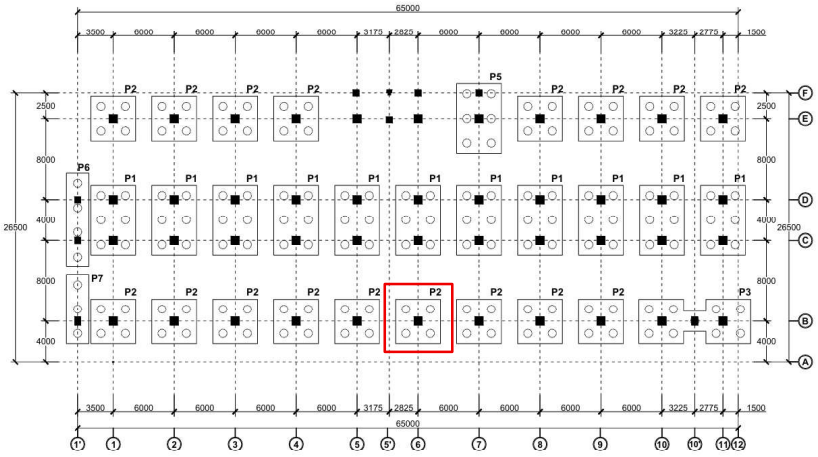
Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa pada grid F1 memiliki reaksi beban gempa kuat terbesar. Maka tinjauan yang akan digunakan adalah pada *grid* F1. Data beban pada titik *grid* F1 dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

**Tabel 4. 4 Data Beban Pada Titik *Grid* F1**

| Jenis Beban | Gaya (kN) | | | Momen (kN/m) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fx | Fy | Fz | Mx | My | Mz |
| Pondasi Beban Layan | 0.991 | 50.385 | 3012.79 | 130.845 | 4.939 | -0.105 |
| Pondasi Beban Gemp Rencana | 122.112 | 152.795 | 3152.59 | 591.965 | 681.590 | 8.271 |
| Pondasi Beban Gempa Kuat | 282.056 | 305.717 | 3503.97 | 1406.45 | 1572.96 | 19.785 |

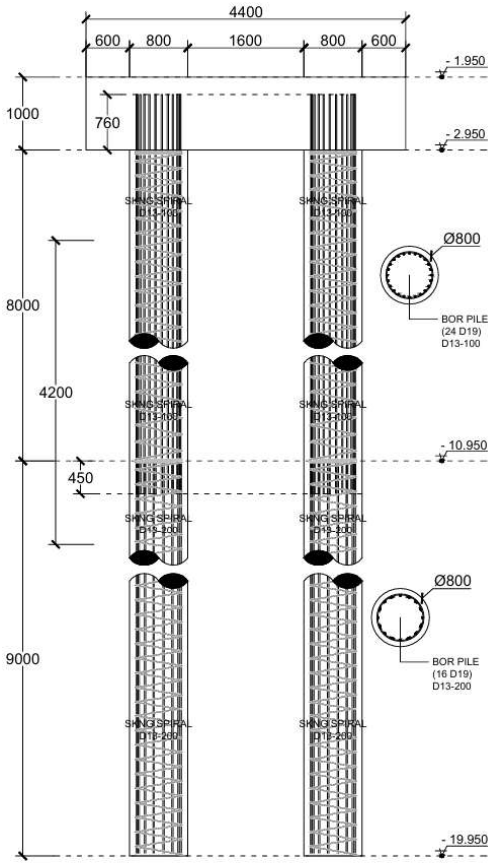
3. Data *Detail Engineering Design* (DED) fondasi *existing*.

Grid F1 pada denah jenis *pilecap*, dapat dilihat pada Gambar 4.1, dan detail fondasi *existing* P2 dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 berikut.



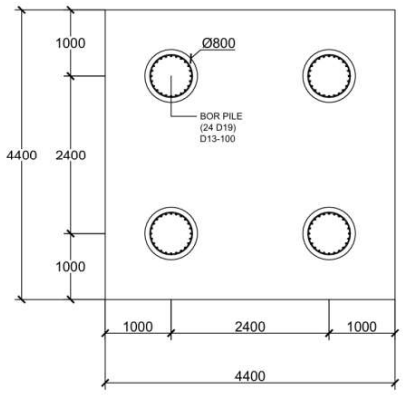

**Gambar 4. 2 Grid F1 Tinjauan**

(Sumber: PT. Pola Data Consultant)




**Gambar 4. 3 Potongan P2**

(Sumber: PT. Pola Data Consultant)




**Gambar 4. 4 Tampak Atas P2**

(Sumber: PT. Pola Data Consultant)

### 4.4. Analisis Data

Analisis yang digunakan untuk perhitungan daya dukung menggunakan metode empirik yaitu meyerhoff dan metode reese & wright dan menggunakan metode numerik berupa perangkat lunak. Tahapan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut.

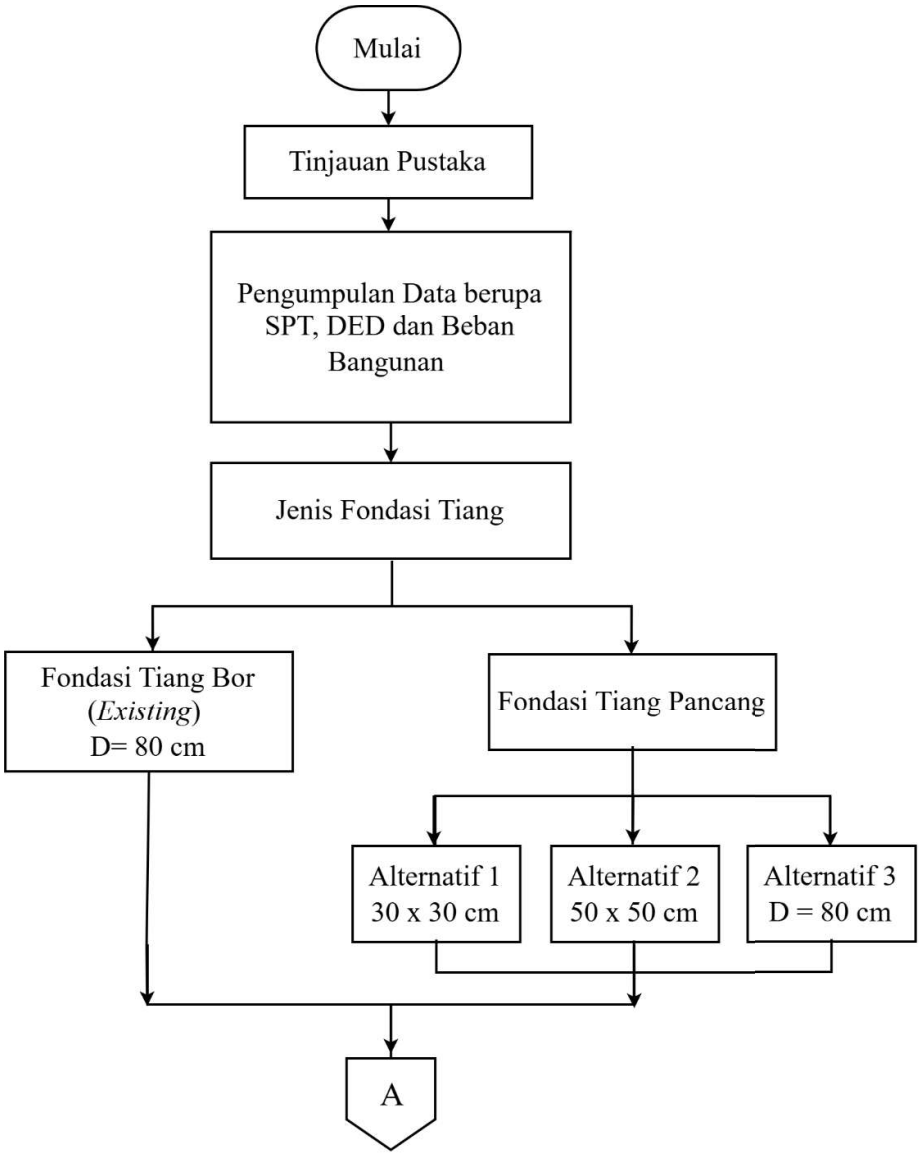
1. Analisis daya dukung aksial tiang tunggal dan tiang kelompok bor.
2. Analisis daya dukung lateral tiang bor.
3. Analisis penurunan tiang bor.
4. Analisis kapasitas dukung aksial tiang tunggal dan tiang kelompok pancang.
5. Analisis daya dukung lateral tiang pancang.
6. Analisis penurunan tiang pancang kelompok.
7. Pemodelan perangkat lunak GROUP untuk daya dukung aksial dan lateral.

### 4.5 Tahap Pembahasan

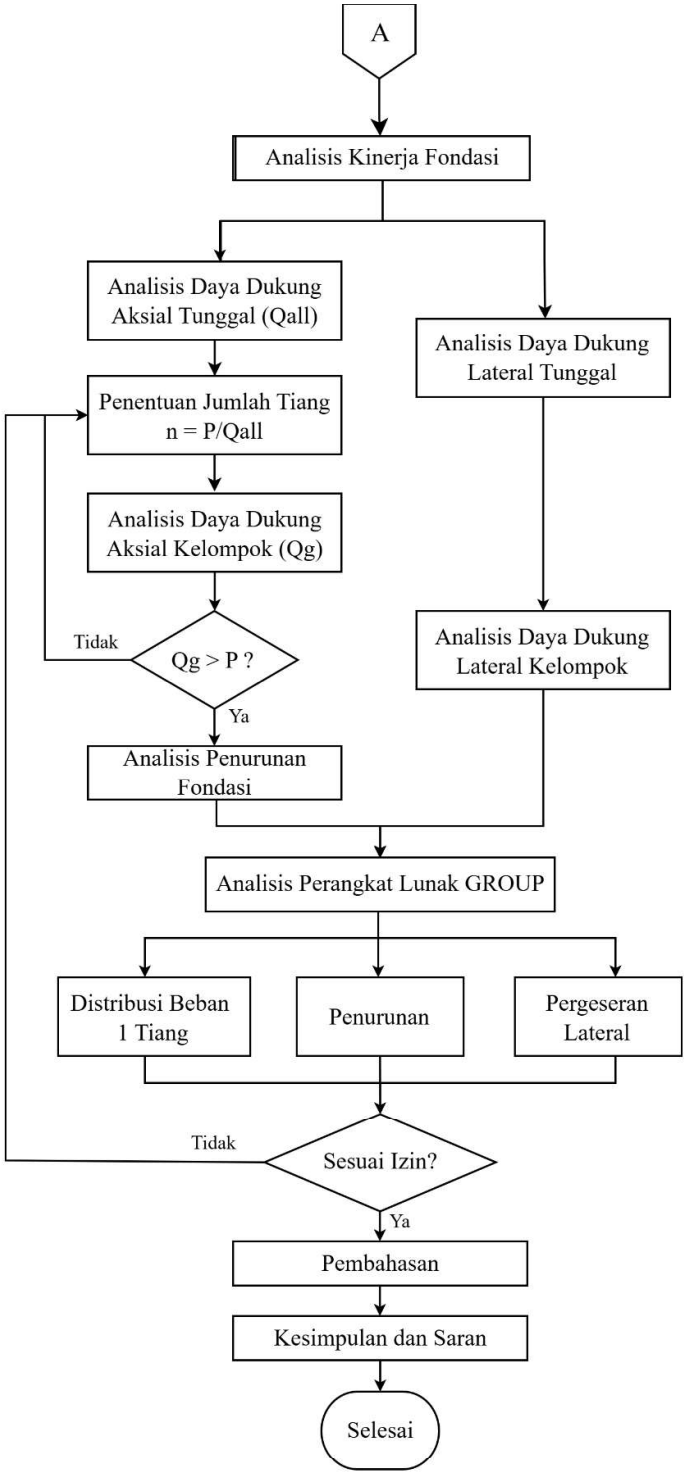
Pada tahap ini dilakukan pembahasan untuk setiap analisis yang telah dilakukan secara detail. Setiap analisis yang dilakukan akan dibandingkan untuk melihat kinerja fondasi tiang bor dan *existing*. Pembahasan akan dijadikan kesimpulan untuk dijadika jawaban dari rumusan masalah yang sudah dibuat sebelumnya.

## 4.6 Tahapan Penelitian

Penelitian ini berlangsung melalui beberapa tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut.




**Gambar 4. 5 Bagan Alir Penelitian**




**Lanjutan Gambar 4. 5 Bagan Alir Penelitian**

# BAB V
# PEMBAHASAN

## 5.1 Parameter Data Tanah

Pada fondasi tiang bor *existing* yang digunakan dengan diameter 0,6 m. Kedalaman fondasi pada tiang bor P2 berada pada kedalaman 17 m. Adapun data tanah yang sudah disesuaikan oleh kerapatan relatif, modulus elastisitas tanah (menurut Schmertmann, 1970) dan *poisson ratio* yang dibutuhkan untuk perhitungan daya dukung fondasi tiang pada titik B1 dan B2, dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 secara berurutan berikut.

**Tabel 5. 1 Parameter Tanah Titik B1**

| Kedalaman | N-SPT | $\mu$ | Es (kN/m$^2$) | Konsistensi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 8 | 0,3 | 6128 | *Loose dense sand* |
| 4 | 13 | 0,3 | 9958 | *Medium dense sand* |
| 6 | 21 | 0,3 | 16086 | *Medium dense sand* |
| 8 | 10 | 0,3 | 7660 | *Loose dense sand* |
| 10 | 33 | 0,3 | 25278 | *Dense sand* |
| 12 | 47 | 0,3 | 36002 | *Dense sand* |
| 14 | 52 | 0,3 | 39832 | *Very dense sand* |
| 16 | 56 | 0,3 | 42896 | *Very dense sand* |
| 18 | 58 | 0,3 | 44428 | *Very dense sand* |
| 20 | 60 | 0,3 | 45960 | *Very dense sand* |

**Tabel 5. 2 Parameter Tanah Titik B2**

| Kedalaman | N-SPT | $\mu$ | Es (kN/m$^2$) | Konsistensi |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 7 | 0,3 | 5362 | *Loose dense sand* |
| 4 | 16 | 0,3 | 12256 | *Medium dense sand* |
| 6 | 20 | 0,3 | 15320 | *Medium dense sand* |
| 8 | 9 | 0,3 | 6894 | *Loose dense sand* |

**Lanjutan Tabel 5. 2 Parameter Tanah Titik B2**

| Kedalaman | N-SPT | $\mu$ | Es ($kN/m^2$) | Konsistensi |
|---|---|---|---|---|
| 10 | 11 | 0,3 | 8426 | *Medium dense sand* |
| 12 | 10 | 0,3 | 7660 | *Medium dense sand* |
| 14 | 35 | 0,3 | 26810 | *Dense sand* |
| 16 | 55 | 0,3 | 42130 | *Very dense sand* |
| 18 | 57 | 0,3 | 45194 | *Very dense sand* |
| 20 | 59 | 0,3 | 43662 | *Very dense sand* |

Pada data tanah yang diberikan didaptkan beberapa lapisan yang merupakan kerikil, hal ini dapat mempengaruhi metode pelaksanaan tiang pancang oleh karena itu tiang pancang dapat menggunakan jenis pancang dengan metode HSPD.

## 5.2 Perhitungan Daya Dukung Aksial Fondasi Tiang Tunggal

Pada perhitungan daya dukung aksial fondasi tiang tunggal akan dihitung berdasarkan metode perhitungan fondasi tiang pancang dan bor dan dibagi menjadi titik tanah B1 dan B2. Perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

### 5.2.1. Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Bor Tunggal

Perhitungan fondasi tiang bor tunggal *existing* dengan diameter 0.8 m akan dianalisis pada titik B1 yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. Berat Fondasi ($W_p$)

$W_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times L \times \gamma_{beton}$ (2400kg/m2)

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}8^2 \times 17 \times 2400$

$= 20508{,}31$ kg

$= 200{,}982$ kN

2. Daya dukung Ujung (Qb)

$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}8^2$

$= 0{,}503\ m^2$

2D $= 2 \times 0{,}8$

$=1{,}6\ m$

N60 berada pada di kedalaman 20 m

$N_{60} = 50$

$f_b = 0{,}6 \times \sigma_r \times N_{60} \leq 4500\ kN/m^2$

$= 0{,}6 \times 100 \times 50 \leq 4500\ kN/m^2$

$= 3000 \leq 4500\ kN/m^2$

Karena nilai $f_b$ memenuhi syarat yaitu kurang dari 4500 kN/m$^2$ maka nilai $f_b$ yang digunakan adalah 2887,5 kN/m$^2$.

$Q_b = A_b \times f_b$

$= 0{,}503 \times 3000$

$= 1507{,}964\ kN$

3. Daya dukung gesek tiang ($Q_s$)

Pada lapisan 2-6 terdapat 2 nilai SPT yang didefisiensikan menjadi $N_{60}$ dan dirata-ratakan dibuat menjadi $N_{60}$ merata. Analisis dapat dilihat sebagai berikut.

$N_{60\,1} = 60\% \times E_f \times C_b \times C_s \times C_r \times$ N-SPT (Lapisan 2-4)

$= 60\% \times 0{,}5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 13$

$= 10{,}833$

$N_{60\,2} = 60\% \times E_f \times C_b \times C_s \times C_r \times$ N-SPT (Lapisan 4-6)

$= 60\% \times 0{,}5 \times 1 \times 1 \times 1 \times 21$

$= 17{,}5$

$N_{60\ merata} = \frac{N_{60\,1} + N_{60\,2}}{2}$

$= \frac{10{,}833 + 17{,}5}{2}$

$= 14{,}167$

$A_s = \pi \times d \times Li$

$= \pi \times 0{,}8 \times 4$

$=10{,}053\ m^2$

$\gamma_d = \frac{\gamma_{d\,1} + \gamma_{d\,2}}{2}$

$= \frac{10,966 + 12,387}{2}$

$= 11,677$ kN/m$^3$

$w$ $= \frac{w_1 + w_2}{2}$

$= \frac{0,351 + 0,428}{2}$

$= 0,390$

$\gamma_b$ $= \gamma_d \times (1 + w)$

$= 11,677 \times (1 + 0.390)$

$= 16,227$ kN/m$^3$

$p_o'$ $= \gamma_b \times z$

$= 16,227 \times 4$

$= 25,557$ kN/m$^2$

$\beta$ $= \frac{14,167}{15} \times \left(1,5 - 0,245\sqrt{z}\right)$

$= \frac{14,167}{15} \times \left(1,5 - 0,245\sqrt{4}\right)$

$= 1,126$ m

$fs$ $= \beta \times p_o'$

$= 1,126 \times 25,557$

$= 28,784$ kN/m$^2$

$Qs$ $= fs \times A_s$

$= 28,784 \times 10,053$

$= 227,877$ kN

Rekap perhitungan daya dukung gesek tiang ($Q_s$) pada titik B1 dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

**Tabel 5. 3 Rekapitulasi Nilai Daya Dukung Gesek Tiang bor ($Q_s$) Titik B1**

| **Kedalaman** | **N-SPT** | **$N_{60}$ merata** | **Fs** | **Qs** | **Qs Kumulatif** |
|---|---|---|---|---|---|
| **(m)** | | | **kN/m²** | **kN** | **kN** |
| 2-4 | 13 | 14,167 | 28.784 | 227,877 | 227.877 |
| 4-6 | 21 | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 6-8 | 10 | 8,333 | 32,351 | 162,616 | 390.493 |
| 8-10 | 11 | 33,333 | 102,065 | 1026,072 | 1416.565 |

**Lanjutan Tabel 5. 3 Rekapitulasi Nilai Daya Dukung Gesek Tiang bor ($Q_s$) Titik B1**

| **Kedalaman** | **N-SPT** | **$N_{60\ merata}$** | **Fs** | **Qs** | **Qs Kumulatif** |
|---|---|---|---|---|---|
| **(m)** | | | **kN/m²** | **kN** | **kN** |
| 10-12 | 47 | 33,333 | 102,065 | 1026,072 | 1416.565 |
| 12-14 | 52 | 47.083 | 226.723 | 4473.056 | 5889.620 |
| 14-16 | 56 | | | | |
| 16-18 | 58 | | | | |
| 18-20 | 60 | | | | |

4. Daya dukung aksial tekan ($Q_u$)

$Q_u = Q_b + Q_s - W_p$

$= 1507,964 + 5889,62 - 200,982$

$= 7196,603$ kN

5. Daya dukung aksial tarik ($T_u$)

$T_u = 0,75 \times Q_s + W_p$

$= 0,75 \times 5889,62 + 200,982$

$= 4618,197$ kN

6. Daya dukung izin aksial tekan ($Q_{all}$)

$Q_{all} = \frac{Q_u}{2,5}$

$= \frac{7196,603}{2,5}$

$= 2878,641$ kN

7. Daya dukung izin aksial tarik ($T_{all}$)

$T_{all} = \frac{T_u}{2,5}$

$= \frac{4618,197}{2,5}$

$= 1847,279$ kN

### 5.2.2. Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Pancang Tunggal

Perhitungan fondasi tiang pancang tunggal alternatif dengan diameter 0.8 m akan dianalisis pada titik B1 yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. Daya dukung ujung ($Q_b$)

$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}8^2$

$= 0{,}503\ m^2$

N1 (10D) didapatkan dari nilai SPT di kedalaman 10 kali diameter keatas pada titik tinjauan.

10D = 10 x 0,8

= 8 m (ke atas)

$N1 = \frac{(43{,}33 \times 0{,}85)+(39{,}17 \times 2)+(27{,}5 \times 2)+ (8{,}33 \times 2)+ (17{,}5 \times 1{,}15)}{8}$

= 25,87

4D = 4 x 0,8

= 3,2 m (ke bawah)

$N2 = \frac{(43{,}33 \times 1{,}15)+(46{,}67 \times 2)+(48{,}33 \times 0{,}05)}{3{,}2}$

= 46,69

$N_{60}' = \frac{25{,}87 + 46{,}69}{2}$

= 27,85

$f_b = (40\ N_{60}') \times (L_b/d) \leq (400\ N_{60}')$

$=(40 \times 46{,}69) \times (14/0{,}8) \leq (400 \times 46{,}6)$

$= 13924{,}15 \leq 11139{,}32\ kN/m^2$

Nilai $f_b$ yang digunakan adalah 11139,32 $kN/m^2$.

$Q_b = A_b \times f_b$

$= 0{,}503 \times 11139{,}32$

$= 5599{,}234\ kN$

2. Daya dukung gesek tiang ($Q_s$)

Berikut perhitungan pada titik B1 kedalaman 2-6 m dengan kondisi lapisan tanah *medium dense sand*.

$A_s = \pi \times d \times li$

$= \pi \times 0{,}8 \times 4$

$= 10{,}053\ m^2$

$N_{60}$ (Lapisan 2-4 m)

$= E_f \times C_b \times C_s \times C_r \times \text{N-SPT}$

$= 0{,}8 \times 0{,}5 \times 1 \times 1 \times 13$

$= 10{,}83$

$N_{60}$ (Lapisan 4-6 m)

$= E_f \times C_b \times C_s \times C_r \times \text{N-SPT}$

$= 0{,}8 \times 0{,}5 \times 1 \times 1 \times 21$

$= 17{,}5$

$N_{60}$ (rata-rata) $= \frac{17{,}5+10{,}83}{2}$

$= 14{,}167$

$f_s = 2 \times N_{60}$

$= 2 \times 14{,}167$

$= 28{,}333\ kN/m^2$

$Q_s = As \times fs$

$= 10{,}053 \times 28{,}333$

$= 224{,}309\ kN$

Rekap perhitungan daya dukung gesek tiang ($Q_s$) dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

**Tabel 5. 4 Hasil Perhitungan Daya dukung Gesek Tiang Pancang ($Q_s$) Titik B1**

| Kedalaman (m) | N-SPT | N60 | Fs kN/m2 | Qs kumulatif kN |
|---|---|---|---|---|
| 2-4 | 13 | 14.167 | 28.333 | 224.310 |
| 4-6 | 21 | | | |
| 6-8 | 10 | 8.333 | 16.667 | 308.086 |
| 8-10 | 33 | 33.333 | 66.667 | 978.292 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 10-12 | 47 | | | |
| 12-14 | 52 | 43.33 | 86.667 | 1163.436 |

3. Berat Fondasi ($W_p$)

$W_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times L \times \gamma_{beton}$ (2400kg/m2)

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}8^2 \times 10 \times 2400$

= 12063,716 kg

= 118,224 kN

4. Daya dukung aksial tekan ($Q_u$)

$Q_u = Q_b + Q_s - W_p$

= 5599,234 + 1163,436 – 118,224

= 6644,446 kN

5. Daya dukung aksial tarik ($T_u$)

$T_u = 0{,}75 \times Q_s + W_p$

= 0,75 × 1163,436 + 118,224

= 990,802 kN

6. Daya dukung izin aksial tekan ($Q_{all}$)

$Q_{all} = \frac{Q_u}{2{,}5}$

$= \frac{6644{,}446}{2{,}5}$

= 2657,778 kN

7. Daya dukung izin aksial tarik ($T_{all}$)

$T_{all} = \frac{T_u}{2{,}5}$

$= \frac{990{,}802}{2{,}5}$

= 396,321 kN

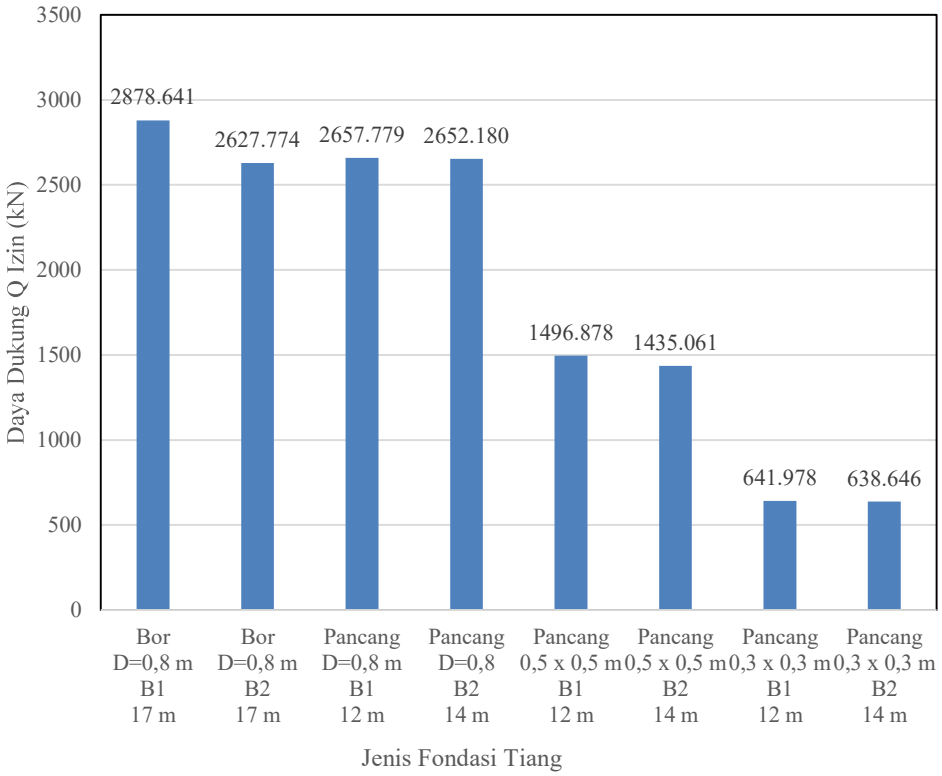
Rekap perhitungan daya dukung aksial tiang tunggal dapat dilihat pada tabel 5.5 berikut.

**Tabel 5. 5 Rekapitulasi Kapasitas Dukung Ultimit Dan Kapasitas Dukung Izin Aksial Tiang Tunggal**

| Jenis Fondasi Tiang | Titik *Borehole* | Kedalaman (m) | Qu kN | Tu kN | Q izin kN | T izin kN |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tiang Bor D= 0,8 m | B1 | 17 | 7196.603 | 4618.197 | 2878.641 | 1847.279 |
| | B2 | 17 | 6569.435 | 4166.67 | 2627.774 | 1666.668 |
| Tiang Pancang D= 0,8 m | B1 | 10 | 6644.446 | 990.8018 | 2657.779 | 396.3207 |
| | B2 | 11 | 6630.451 | 700.0888 | 2652.180 | 280.0355 |
| Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m | B1 | 10 | 3742.194 | 760.2583 | 1496.878 | 304.1033 |
| | B2 | 11 | 3587.653 | 523.305 | 1435.061 | 209.322 |
| Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m | B1 | 10 | 1604.944 | 442.043 | 641.978 | 176.8172 |
| | B2 | 11 | 1596.615 | 295.4598 | 638.646 | 118.1839 |

## 5.3 Perbandingan Daya Dukung Fondasi Tiang Existing dan Alternatif

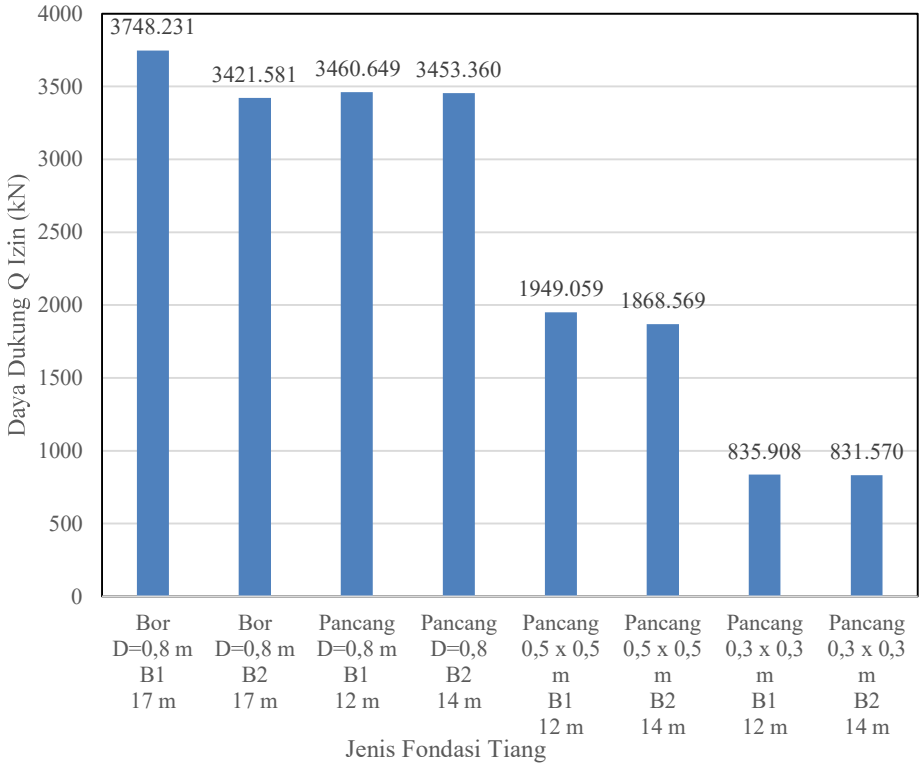
Hasil analisis perhitungan untuk fondasi tiang *existing* dan Alternatif kemudian dibandingkan menurut beban yang diberikan. Perbandingan fondasi tiang existing dan alternatif pada beban layan dapat dilihat pada Gambar 5.1 sebagai berikut.




**Gambar 5. 1 Perbandingan Fondasi Tiang Existing dan Alternatif pada Beban Layan**

Dari Gambar 5.1 dapat dilihat untuk daya dukung tiang tunggal tertinggi terdapat pada jenis tiang bor dengan diameter 0,8 m pada titik B1 sebesar 2878,641 kN, dan daya dukung terendah terdapat pada jenis tiang pancang dimensi 0,3 x 0,3 m pada titik B2 sebesar 638,646 kN.

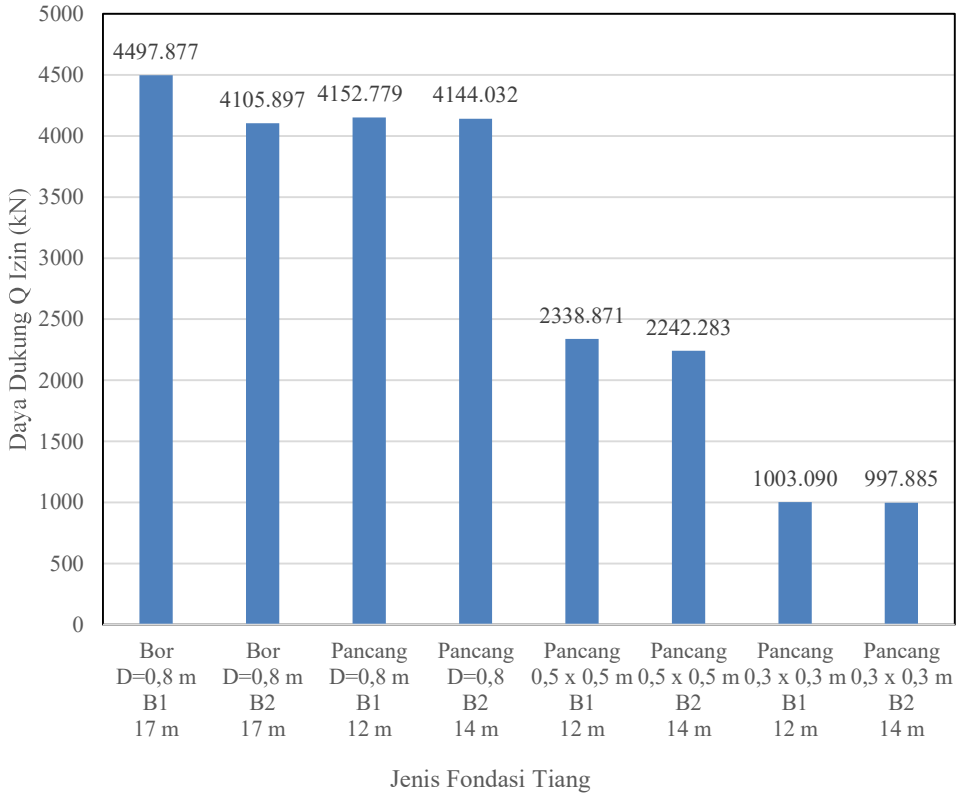
Perbandingan fondasi tiang existing dan alternatif pada beban gempa rencana dapat dilihat pada Gambar 5.2 sebagai berikut.




**Gambar 5. 2 Perbandingan Fondasi Tiang Existing dan Alternatif pada Beban Gempa Rencana**

Dari Gambar 5.2 dapat dilihat untuk daya dukung tiang tunggal tertinggi terdapat pada jenis tiang bor dengan diameter 0,8 m pada titik B1 sebesar 3748,231 kN, dan daya dukung terendah terdapat pada jenis tiang pancang dimensi 0,3 x 0,3 m pada titik B2 sebesar 831,57 kN.

Perbandingan fondasi tiang existing dan alternatif pada beban gempa kuat dapat dilihat pada Gambar 5.3 sebagai berikut.




**Gambar 5. 3 Perbandingan Fondasi Tiang Existing dan Alternatif pada Beban Gempa Kuat**

Dari Gambar 5.3 dapat dilihat untuk daya dukung tiang tunggal tertinggi terdapat pada jenis tiang bor dengan diameter 0,8 m pada titik B1 sebesar 4497,877 kN, dan daya dukung terendah terdapat pada jenis tiang pancang dimensi 0,3 x 0,3 m pada titik B2 sebesar 997,885 kN.

## 5.4 Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang Kelompok

Analisis daya dukung fondasi tiang kelompok dilakukan untuk melihat kemampuan fondasi ketika diberikan pembebanan dalam bentuk tiang kelompok. Analisis dapat dilihat sebagai berikut.

### 5.3.1. Perhitungan Jumlah Tiang

Analisis untuk menghitung jumlah tiang untuk fondasi tiang bor dengan diameter 0,8 m dapat dilihat sebagai berikut.

1. beban layan

   n $= \frac{P}{Q_{all}}$

   $= \frac{3012,794}{2878,641}$

   = 1,046

2. Beban gempa rencana

   n $= \frac{P}{Q_{all}}$

   $= \frac{3152,599}{3748,231}$

   = 0,841

3. Beban gempa kuat

   n $= \frac{P}{Q_{all}}$

   $= \frac{3503,970}{4497,877}$

   = 0,779

Jumlah tiang (n) yang dipakai berdasarkan perhitungan adalah 2, namun untuk menyesuaikan data *existing* kebutuhan tiang yang ditetapkan adalah 4 tiang.

### 5.3.2 Efisiensi Kelompok Tiang (Eg)

Analisis daya dukung fondasi tiang kelompok pada kondisi *existing* yaitu tiang bor dengan diameter 0,8 m dapat dilihat sebagai berikut.

1. Beban layan

   n (jumlah tiang) = 4

   m (jumlah baris tiang) = 2

   n' (jumlah tiang dalam satu baris) = 2

   S (jarak antar tiang) = 2,4 m

   Penyelesaiaan:

   $\theta$ = arc tan $\left(\frac{d}{s}\right)$

$= \text{arc tan } \left(\frac{0,8}{2,4}\right)$

$= 18,345$

$E_g = 1 - \theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90 \times m \times n'}$

$= 1 - 18,435 \frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 \times 2 \times 2}$

$= 0,795$

2. Beban gampa rencana

n (jumlah tiang) = 4

m (jumlah baris tiang) = 2

n' (jumlah tiang dalam satu baris) = 2

S (jarak antar tiang) = 1,8 m

Penyelesaiaan:

$\theta = \text{arc tan } \left(\frac{d}{s}\right)$

$= \text{arc tan } \left(\frac{0,8}{2,4}\right)$

$= 18,345$

$E_g = 1 - \theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90 \times m \times n'}$

$= 1 - 18,345 \frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 \times 2 \times 2}$

$= 0,795$

3. Beban gempa kuat

n (jumlah tiang) = 4

m (jumlah baris tiang) = 2

n' (jumlah tiang dalam satu baris) = 2

S (jarak antar tiang) = 2,4 m

Penyelesaiaan:

$\theta = \text{arc tan } \left(\frac{d}{s}\right)$

$= \text{arc tan } \left(\frac{0,8}{2,4}\right)$

$= 18,345$

$E_g = 1 - \theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90 \times m \times n'}$

$$=1 - 0{,}322 \frac{(2-1)2+(2-1)2}{90 \times 2 \times 2}$$

$$= 0{,}795$$

### 5.3.3 Daya Dukung Tiang Kelompok

Setelah mendapatkan nilai efisiensi tiang, jumlah tiang dan beban izin tiang tunggal maka dapat dihitung daya dukung izin tiang kelompok yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. Beban Layan

   Qall = 2878,641 kN

   n = 4

   Eg = 0,795

   Penyelesaiaan:

   $Q_g = E_g \times n \times Q_{all}$

   $= 0{,}795 \times 4 \times 2878{,}641$

   $= 9156{,}005$ kN

   Syarat izin berdasarkan nilai daya dukung grup harus lebih besar dari setiap beban yang diberikan pada tiang.

   Qg > P (beban layan)

   9156,005 > 3012,795

2. Beban gempa rencana

   Qall = 3748,231 kN

   n = 4

   Eg = 0,795

   Penyelesaiaan:

   $Q_g = E_g \times n \times Q_{all}$

   $= 0{,}795 \times 4 \times 3748{,}231$

   $= 11921{,}882$ kN

   Syarat izin berdasarkan nilai daya dukung grup harus lebih besar dari setiap beban yang diberikan pada tiang.

   Qg > P (beban gempa rencana)

   11921,882 > 3152,599

3. Beban gempa kuat

Qall = 4497,877 kN

n = 4

Eg = 0,795

Penyelesaiaan:

$Q_g = E_g \times n \times Q_{all}$

$= 0{,}795 \times 4 \times 4497{,}877$

$= 14306{,}258$ kN

Syarat izin berdasarkan nilai daya dukung grup harus lebih besar dari setiap beban yang diberikan pada tiang.

Qg > P (beban gempa kuat)

14306,258 > 3503,970

Dari sampel perhitungan pada tiang bor 0,8 m maka didapati rekapitulasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

**Tabel 5. 6 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok**

| Jenis Fondasi Tiang | Titik *Bore hole* | Panjang Tiang | Beban Layan | | | | Beban Gempa Rencana | | | | Beban Gempa Kuat | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | m | n | P (kN) | Qg (kN) | Qg>P (Aman) | n | P (kN) | Qg (kN) | Qg>P (Aman) | n | P (kN) | Qg (kN) | Qg>P (Aman) |
| Tiang Bor D= 0,8 m | B1 | 17 | 4 | 3012.795 | 9156.005 | Aman | 4 | 3152.599 | 11921.882 | Aman | 4 | 3503.97 | 14306.2581 | Aman |
| | B2 | 17 | 4 | 3012.795 | 8358.079 | Aman | 4 | 3152.599 | 10882.915 | Aman | 4 | 3503.97 | 13059.4983 | Aman |
| Tiang Pancang D= 0,8 m | B1 | 10 | 4 | 3012.795 | 8637.780 | Aman | 5 | 3152.599 | 15572.921 | Aman | 6 | 3503.97 | 18962.2978 | Aman |
| | B2 | 11 | 2 | 3012.795 | 4761.107 | Aman | 3 | 3152.599 | 8417.565 | Aman | 3 | 3503.97 | 10101.0778 | Aman |
| Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m | B1 | 10 | 4 | 3012.795 | 4761.072 | Aman | 4 | 3152.599 | 6199.312 | Aman | 7 | 3503.97 | 12459.6325 | Aman |
| | B2 | 11 | 4 | 3012.795 | 4564.455 | Aman | 4 | 3152.599 | 5943.301 | Aman | 6 | 3503.97 | 10238.6483 | Aman |
| Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m | B1 | 10 | 8 | 3012.795 | 3801.012 | Aman | 6 | 3152.599 | 3816.900 | Aman | 8 | 3503.97 | 5970.06294 | Aman |
| | B2 | 11 | 7 | 3012.795 | 3512.553 | Aman | 6 | 3152.599 | 3797.092 | Aman | 7 | 3503.97 | 5488.36475 | Aman |

## 5.5 Perhitungan Daya Dukung Lateral

Berikut analisis daya dukung beban lateral pada fondasi tiang tipe spun pile.

Diameter = 0,8 m

Panjang fondasi = 17 m

f'c = 30 Mpa

Modulus Elastisitas ($E_p$) = $4700 \times \sqrt{f,c}$

= $4700 \times \sqrt{30}$

= 2572,96 MPa

= 25742960,2 kN/$m^2$

Momen Inersia ($I_p$) = $\frac{1}{64} \times \pi \times d^4$

= $\frac{1}{64} \times \pi \times 0{,}8^4$

= 0,0201 $m^4$

Koef. Variasi modulus (nh)

= 1500

1. Kriteria jenis tiang

   Perhitungan untuk menentukan kriteria tiang panjang atau tiang pendek pada jenis tanah pasir yang diakibatkan beban lateral, dapat dilihat sebagai berikut.

   T = $\sqrt[5]{\frac{E_p \times I_p}{nh}}$

   = $\sqrt[5]{\frac{25742960{,}2 \times 0{,}0201}{1500}}$

   = 3,218 m

   Berdasarkan nilai T maka pada tipe tiang tipe *spun pile* pada diameter 0,8 m maka dikategorikan sebagai tiang panjang dan kaku karena memenuhi syarat yaitu L (17 m) > 4T (12,872 m).

2. Beban lateral maksimum

   $K_p$ = $\tan^2 \times \left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)$

$= \tan^2 \times \left(45 + \frac{20}{2}\right)$

$= 2{,}039$

3. Keruntuhan akibat beban lateral

$M_{max} = \gamma_{sat} \times d \times L^3 \times K_p$

$= 17{,}978 \times 0{,}8 \times 17^3 \times 2{,}039$

$= 144122{,}5$ kNm

Momen maksimum yang dapat ditahan tiang dilihat sebagai berikut.

$M_y = \frac{1}{8} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \gamma_{beton}\right) \times L^2$

$= \frac{1}{8} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}8^2 \times 24\right) \times 17^2$

$= 435{,}801$ kNm

Dari nilai $M_{max}$ dan $M_y$ maka tidak akan terjadi keruntuhan tanah karena $M_{max}$ (144122,5 kNm) > $M_y$ (435,801 kNm).

4. Nilai Hu berdasarkan hasil distribusi persamaan $f$

$f = 0{,}82 \times \sqrt{\frac{Hu}{d \times Kp \times \gamma_{sat}}}$

$= 0{,}82 \times \sqrt{\frac{Hu}{0{,}8 \times 2{,}039 \times 17{,}978}}$

$= 0{,}151 \times \sqrt{Hu}$

Persamaan f didistribusikan pada persamaan untuk mengetahui nilai $H_u$ sebagai berikut.

$Hu = \frac{2 \times My}{e + \frac{2f}{3}}$

$= \frac{2 \times My}{e + \frac{2 \times (0{,}151 \times \sqrt{Hu})}{3}}$

$= \frac{2 \times 435{,}802}{0 + \frac{2 \times (0{,}151 \times \sqrt{Hu})}{3}}$

$Hu^{\frac{3}{2}} = 8635{,}53$

$Hu = 8635{,}53^{\frac{2}{3}}$

$= 420{,}913$ kN

Nilai Hu di distribusikan ke nilai f

$f$ $= 0{,}151 \times \sqrt{Hu}$

$= 0{,}151 \times \sqrt{420{,}913}$

$= 3{,}106$ m

5. Beban lateral izin hasil distribusi

$H_{izin} = \frac{Hu}{SF}$

$= \frac{420{,}913}{2{,}5}$

$= 36{,}196$ kN

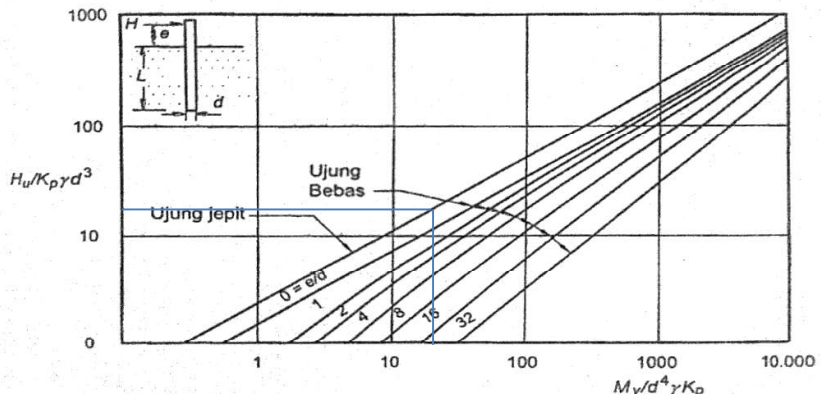
6. Nilai Hu berdasarkan grafik

Perhitungan untuk $M_y/d^4\,\gamma\,K_p$ dapat dilihat sebagai berikut.

$\frac{My}{d^4\,\gamma\,Kp} = \frac{435{,}8}{0.8^4 \times 17{,}978 \times 2{,}039}$

$= 29{,}016$ kN

Dengan rasio e/d yaitu 0/0.8 sebesar 0. Kemudian untuk mencari Hu dapat menggunakan grafik yang disajikan pada Gambar 3.8 pada hubungan antara $M_y/d^4\,\gamma\,K_p$ dengan $Hu/K_p\,\gamma\,d^3$.




**Gambar 5. 4 Nilai $Hu/K_p\,\gamma\,d^3$**

$\frac{Hu}{K_p \times \gamma \times d^3} = 22$

Hu $= 22 \times K_p \times \gamma \times d^3$

$= 22 \times 2{,}039 \times 17{,}978 \times 0{,}8^3$

$= 413{,}036$ kN

7. Beban lateral izin hasil grafik

$H_{izin} = \frac{Hu}{SF}$

$= \frac{413,036}{2,5}$

= 168,365 kN

## 5.6 Penurunan Fondasi Tiang

Perhitungan untuk mengetahui penurunan fondasi tiang diambil sampel seperti sebelumnya menggunakan tiang bor *existing* di titik B1. Berikut parameter tanah B1 dalam analisis penurunan fondasi tiang yang dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

**Tabel 5. 7 Parameter Tanah titik B1 Analisis Penurunan Tanah**

| Kedalaman | N-SPT | Konsistensi | E (kN/m$^2$) |
|---|---|---|---|
| 2 | 8 | *Loose dense sand* | 6128 |
| 4 | 13 | *Medium dense sand* | 9958 |
| 6 | 21 | *Medium dense sand* | 16086 |
| 8 | 10 | *Loose dense sand* | 7660 |
| 10 | 33 | *Dense sand* | 25278 |
| 12 | 47 | *Dense sand* | 36002 |
| 14 | 52 | *Very dense sand* | 39832 |
| 16 | 56 | *Very dense sand* | 42896 |
| 18 | 58 | *Very dense sand* | 44428 |
| 20 | 60 | *Very dense sand* | 45960 |

### 5.6.1 Penurunan Fondasi Tiang Tunggal

Analisis penurunan fondasi dapat diuraikan dengan menggunakan sampel fondasi tiang bor diameter 0,8 m, dengan panjang tiang17 m dan menggunakan beban layan. sebagai berikut.

$Q_{1\ tiang} = \frac{P}{n}$

$= \frac{3012,795}{4}$

= 753,199 kN

Untuk mendapatkan nilai I maka diperlukan beberapa parameter untuk mengetahui nilai $I_{0,}$ Rk, Rμ dan Rb dengan menggunakan grafik yang tertera pada Gambar 3.8, 3.9, 3.10 dan 3. 11.

1. Nilai $I_0$

   Nilai ini memerlukan parameter L/d dan $d_b/d$ yang dapat dilihat sebagai berikut

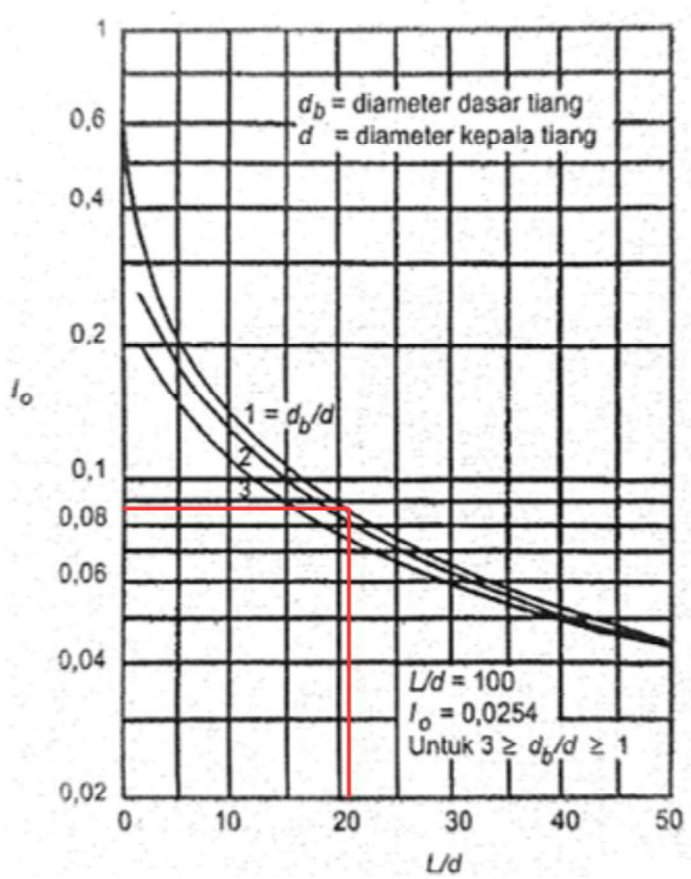
   L/d $= \frac{17}{0,8}$

   $= 21,25$

   $d_b/d$ $= \frac{0,8}{0,8}$

   $= 1$

   Untuk nilai $I_0$ dapat dicari dari grafik pada Gambar 5. 2 berikut.




**Gambar 5. 5 Hasil Hubungan L/d dan $I_0$**

Didapatkan Hasil $I_0$ sebesar 0,88.

2. Nilai Rk

Untuk mendapatkan nilai Rk maka diperlukan parameter berupa K dan L/d sebagai berikut.

L/d $= \frac{17}{0,8}$

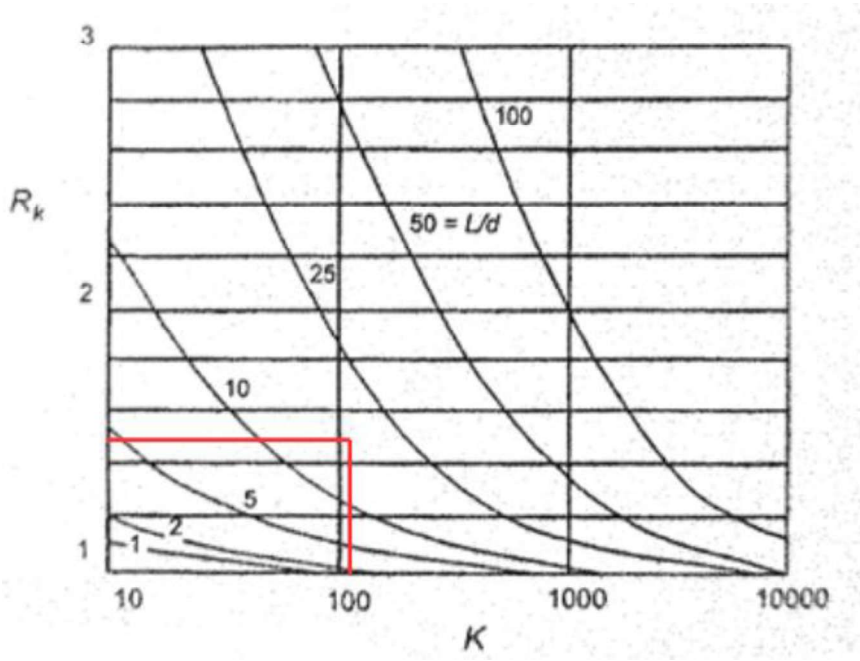
$= 21,25$

K $= \frac{Ra \times Ep}{Es}$

$= \frac{1 \times 25742960}{24241,647}$

$= 1061,931$

Untuk nilai Rk dapat dicari dari grafik pada Gambar 5. 3 berikut.




**Gambar 5. 6 Hasil Hubungan K dan Rk**

Maka didapatkan nilai Rk yaitu 1,45.

3. Nilai Rμ

Untuk mendapatakan nilai Rμ maka dibutuhkan parameter μ dan K

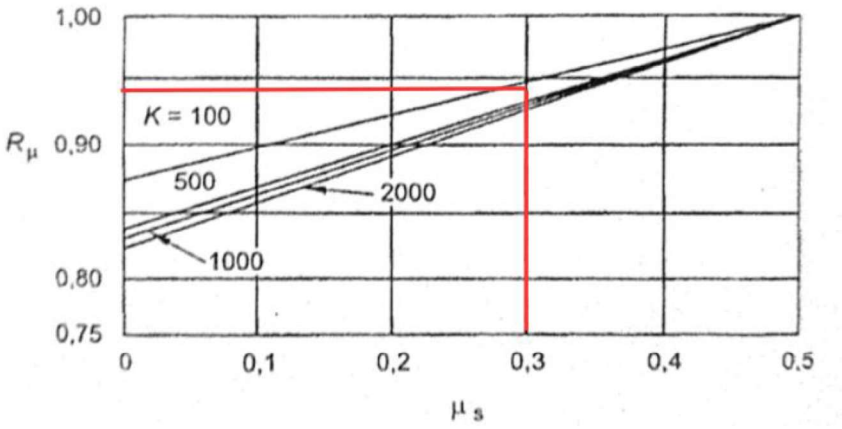
μ = 0,3

K $= \frac{Ra \times Ep}{Es}$

$= \frac{1 \times 25742960}{24241,647}$

= 1061,931

Untuk nilai μ dapat dicari dari grafik pada Gambar 5. 4 berikut.




**Gambar 5. 7 Hasil Hubungan μ dan R μ**

Maka didapatkan nilai Rμ yaitu 0,948.

4. Nilai Rb

Untuk mendapatakan nilai Rb maka dibutuhkan parameter Eb/Es, L/d dan K yang dapat dilihat berikut.

$E_s$ = $\frac{(6128 \times 2)+(9958 \times 2)+(16086 \times 2)+(7660 \times 2)+(25278 \times 2)+(36002 \times 2)+(39832 \times 2)+(4428 \times 2)+44428}{17}$

= 24241,65

Eb = 44428

Eb/Es $= \frac{44428}{24241,65}$

= 0,546

L/d $= \frac{17}{0,8}$

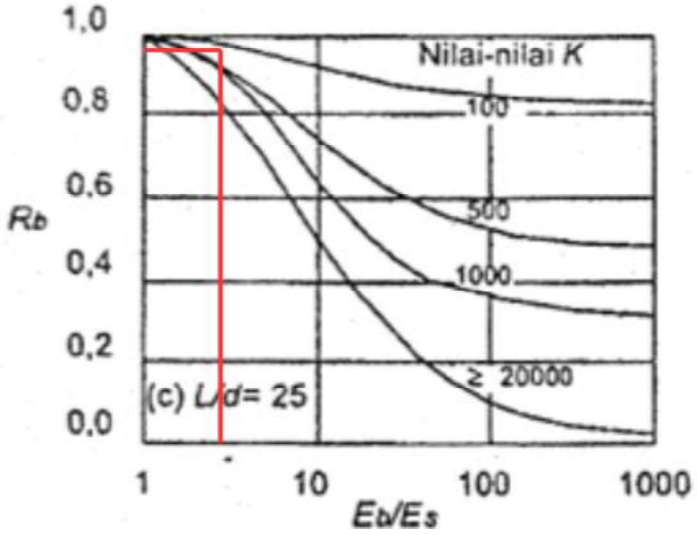
= 21,25

K $= \frac{Ra \times Ep}{Es}$

$= \frac{1 \times 25742960}{24241,647}$

= 1061,931

Untuk nilai Rb dapat dicari dari grafik pada Gambar 3.5 berikut.




**Gambar 5. 8 Hasil Hubungan Eb/Es dan Rb**

Maka didapatkan nilai Rb yaitu 0,98.

I = $I_0$ x Rk x Rb x Rμ

= 0,88 x 1,45 x 0,98 x 0,948

= 0,119

S 1 tiang $= \frac{Q \times I}{E_s \times d}$

$= \frac{753,199 \times 0,119}{24241.647 \times 0,8}$

= 0,00251 m

= 0,251 cm

### 5.6.2 Penurunan Fondasi Tiang Kelompok

Pada analisis penurunan fondasi tiang kelompok menggunakan fondasi tiang bor diameter 0,8 m dengan 4 buah tiang dengan dimensi pilecap 4,4 x 4,4 m. Analisis dapat dilihat sebagai berikut.

Bg = (jumlah tiang arah pendek – 1) × s + D

= (2 – 1) × 2,4 + 0,8

= 3,2 m

S tiang kelompok = S 1 tiang $\times \sqrt{\frac{Bg}{D}}$

= 0,00251 $\times \sqrt{\frac{3,2}{0,8}}$

= 0,0029 m

= 0,29 cm

S Izin = $15 + \frac{B}{600}$

= $15 + \frac{2650}{600}$

= 19,417 cm

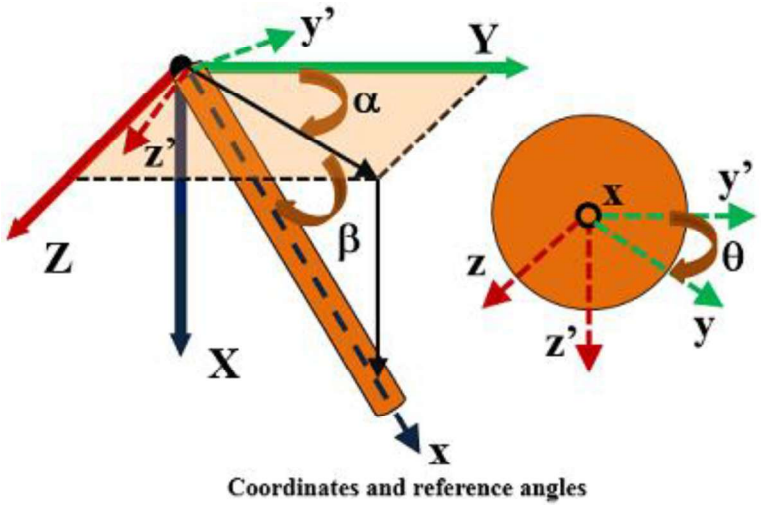
Untuk mengecek keamanan penurunan maka Sizin > S tiang kelompok, yaitu didapat 19,417 cm > 0,29 cm. Rekapitulasi analisis penurunan fondasi tiang dapat dilihat pada Tabel 5. 8 berikut.

**Tabel 5. 8 Rekapitulasi Perhitungan Manual Penurunan Fondasi Tiang**

| Jenis Fondasi Tiang | Titik *Bore hole* | Panjang Tiang (m) | Beban Layan (kN) | | | Beban Gempa Rencana (kN) | | | Beban Gempa Kuat (kN) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | S Kelompok | S izin | S Kelompok < S izin | S Kelompok | S izin | S Kelompok < S izin | S Kelompok | S izin | S Kelompok < S izin |
| Tiang Bor D= 0,8 m | B1 | 17 | 0.290 | 15.533 | ✓ | 0.304 | 15.533 | ✓ | 0.337 | 15.533 | ✓ |
| | B2 | 17 | 0.282 | 15.533 | ✓ | 0.295 | 15.533 | ✓ | 0.327 | 15.533 | ✓ |
| Tiang Pancang D= 0,8 m | B1 | 12 | 0.643 | 15.533 | ✓ | 0.656 | 15.533 | ✓ | 0.729 | 15.533 | ✓ |
| | B2 | 14 | 0.516 | 15.533 | ✓ | 0.540 | 15.533 | ✓ | 0.600 | 15.533 | ✓ |
| Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m | B1 | 12 | 0.840 | 15.333 | ✓ | 0.879 | 15.333 | ✓ | 0.977 | 15.333 | ✓ |
| | B2 | 14 | 0.929 | 15.333 | ✓ | 0.972 | 15.333 | ✓ | 1.080 | 15.333 | ✓ |
| Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m | B1 | 12 | 0.576 | 15.200 | ✓ | 0.753 | 15.200 | ✓ | 0.837 | 15.200 | ✓ |
| | B2 | 14 | 0.512 | 15.200 | ✓ | 0.536 | 15.200 | ✓ | 0.596 | 15.200 | ✓ |

## 5.7 Analisis Menggunakan Perangkat Lunak Group

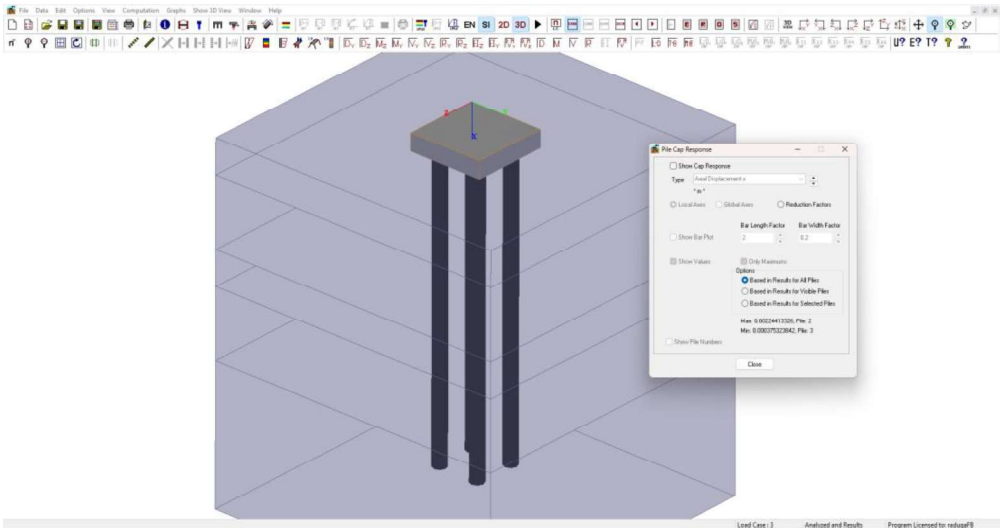
Pada pemodelan perangkat lunak Group digunakan beban layan karena analisis yang dilakukan terdapat pengaruh *lateral displacement.* Data pada Tabel 4.4 disesuaikan arahnya yang sudah ditentukan oleh GROUP. Arah yang menjadi acuan pada GROUP dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.




**Gambar 5. 9 Acuan Arah Pada Perangkat Lunak GROUP**

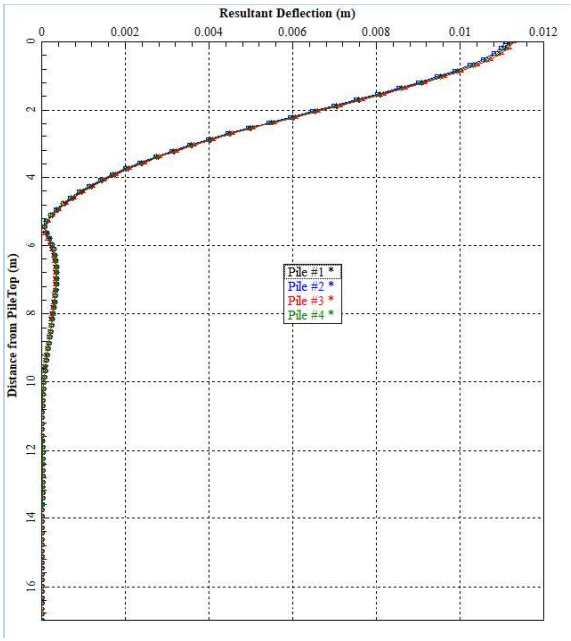
### 5.7.1 Pemodelan Tiang Bor Diameter 0,8 m Titik B1

Pada pemodelan perangkat lunak GROUP diambil sampel dimodelkan fondasi tiang bor dengan diameter 0,8 m dengan panjang tiang 17 m dapat dilihat pada Gambar 5.10 sebagai berikut.



**Gambar 5. 10 Pemodelan Fondasi Tiang Bor Diameter 0,8 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP**

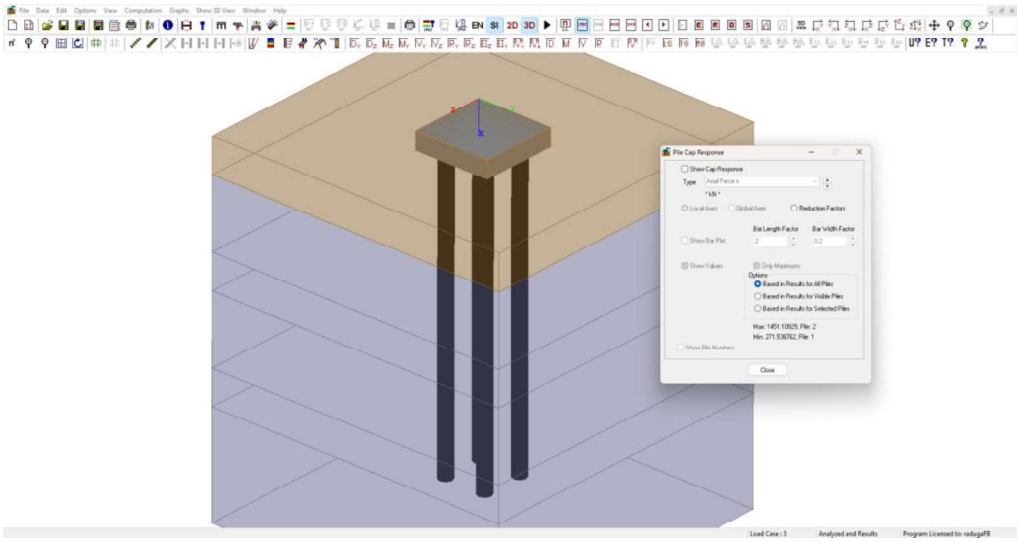
*Output* juga dapat dilihat dengan kurva hubungan antara defleksi dan kedalaman. Yang dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.




**Gambar 5. 11 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi Tiang Bor Diameter 0,8 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP**

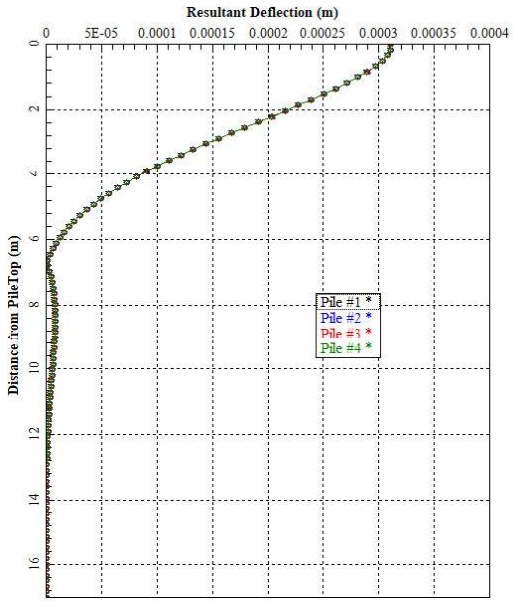
### 5.7.2 Pemodelan Tiang Bor Diameter 0,8 m Titik B2

Pada pemodelan perangkat lunak GROUP diambil sampel dimodelkan fondasi tiang bor dengan diameter 0,8 m dengan panjang tiang 17 m dapat dilihat pada Gambar 5.12 sebagai berikut.



**Gambar 5. 12 Pemodelan Fondasi Tiang Bor Diameter 0,8 m Titik B2 Pada Perangkat Lunak GROUP**

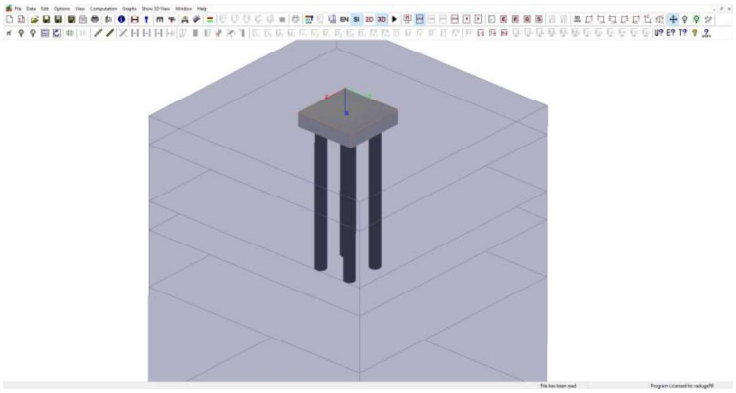
*Output* juga dapat dilihat dengan kurva hubungan antara defleksi dan kedalaman. Yang dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.



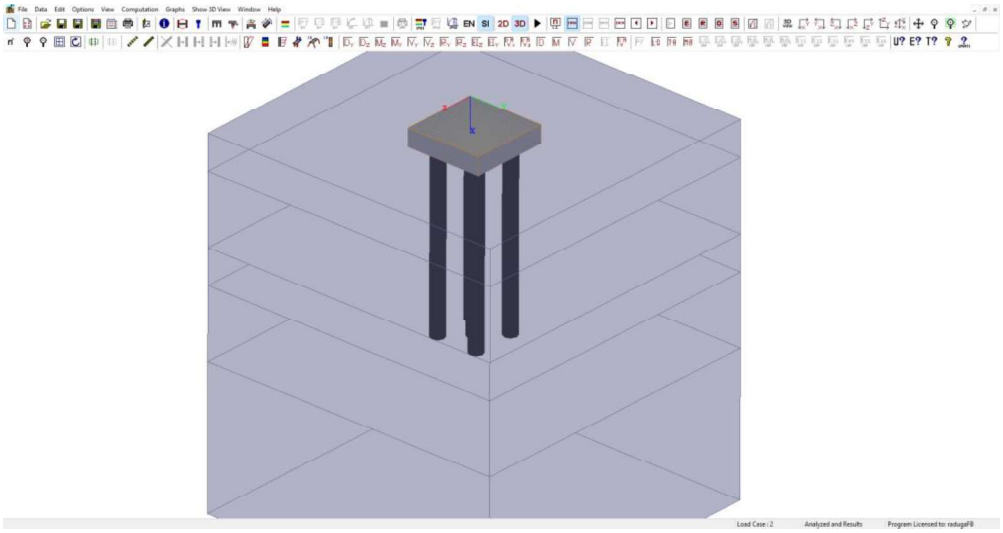

**Gambar 5. 13 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi Tiang Bor Diameter 0,8 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP**

### 5.7.3 Pemodelan Tiang Pancang Diameter 0,8 m Titik B1

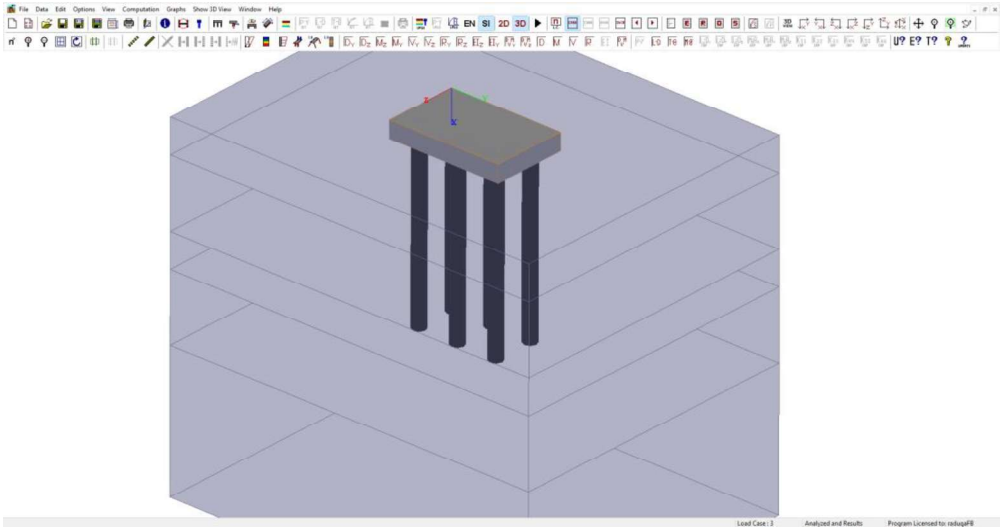
Pada pemodelan perangkat lunak GROUP diambil sampel dimodelkan fondasi tiang pancang dengan diameter 0,8 m dengan panjang tiang 10 m pada Gambar 5.14 untuk 4 Tiang, Gambar 5.15 untuk 5 tiang dan 5.16 untuk 6 tiang yang dapat dilihat sebagai berikut.



**Gambar 5. 14 *Output* Pemodelan Fondasi Tiang Pancang 4 Tiang Diameter 0,8 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP**

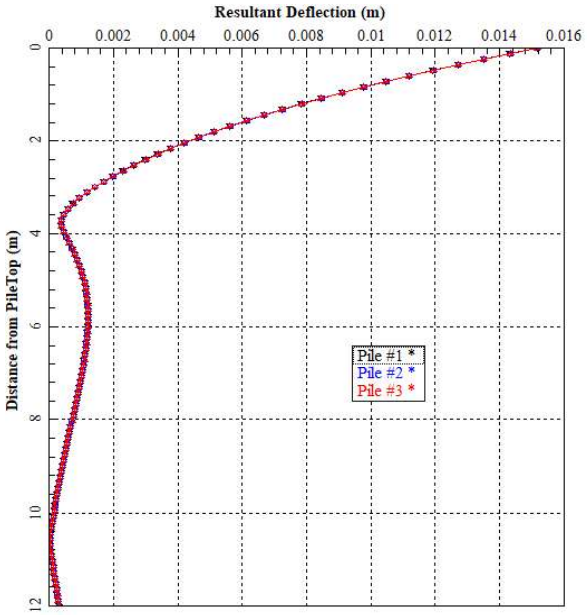


**Gambar 5. 15 Pemodelan Fondasi Tiang Pancang 5 Tiang Diameter 0,8 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP**

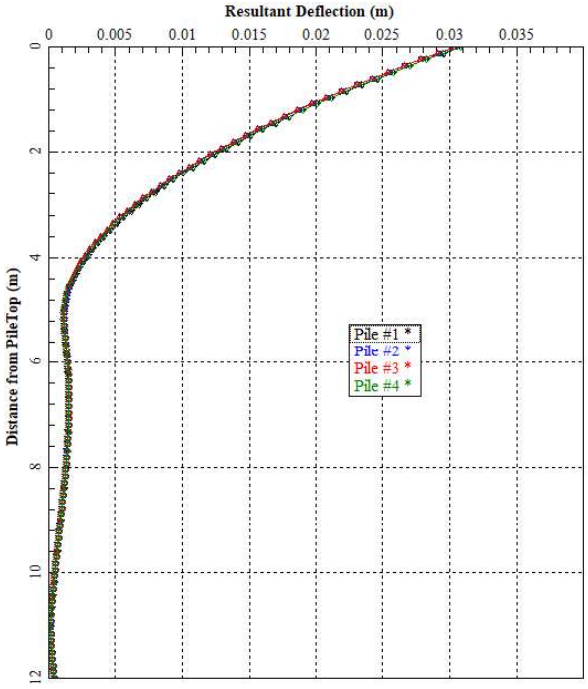


**Gambar 5. 16 Pemodelan Fondasi Tiang Pancang 6 Tiang Diameter 0,8 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP**

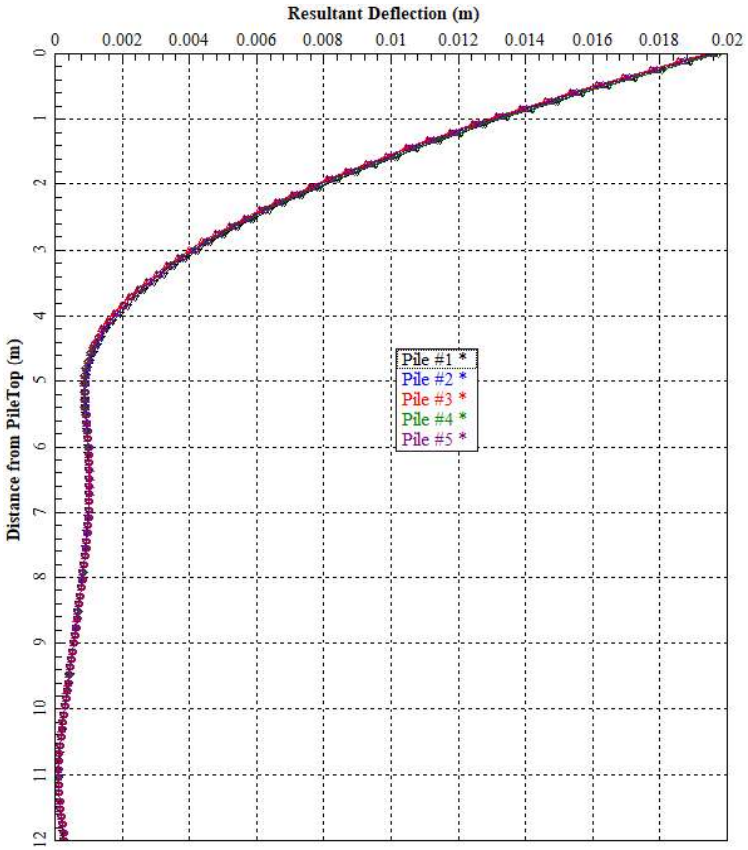
*Output* juga dapat dilihat dengan kurva hubungan antara defleksi dan kedalaman. Yang dapat dilihat pada Gambar 5.17 untuk 4 Tiang, Gambar 5.18 untuk 5 tiang dan 5.19 untuk 6 tiang yang dapat dilihat sebagai berikut.




**Gambar 5. 17 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi Pancang 4 Tiang Diameter 0,8 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP**



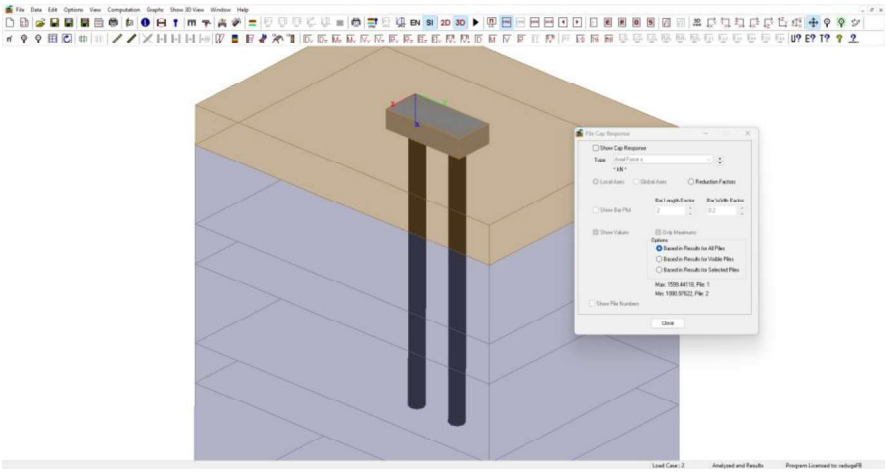

**Gambar 5. 18 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi Tiang Pancang 5 Tiang Diameter 0,8 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP**



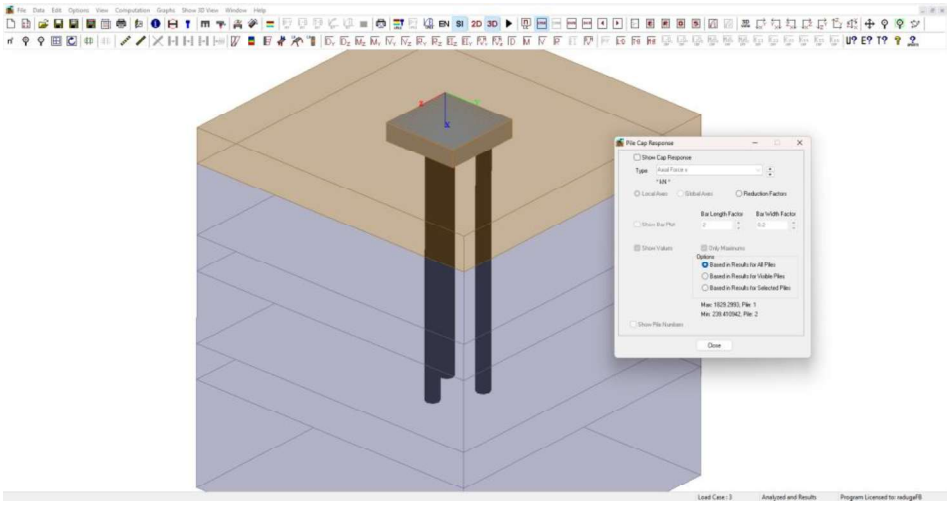

**Gambar 5. 19 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi Tiang Pancang 6 Tiang Diameter 0,8 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP**

### 5.7.4 Pemodelan Tiang Pancang Diameter 0,8 m Titik B2

Pada pemodelan perangkat lunak GROUP diambil sampel dimodelkan fondasi tiang Pancang dengan diameter 0,8 m dengan panjang tiang 11 m dapat dilihat pada Gambar 5.20 dan 5.21 sebagai berikut.

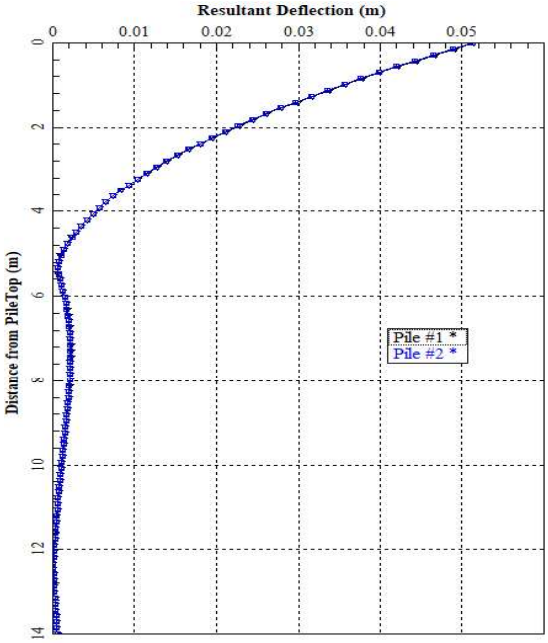


**Gambar 5. 20 Pemodelan Fondasi Tiang Pancang 2 Tiang Diameter 0,8 m Titik B2 Pada Perangkat Lunak GROUP**

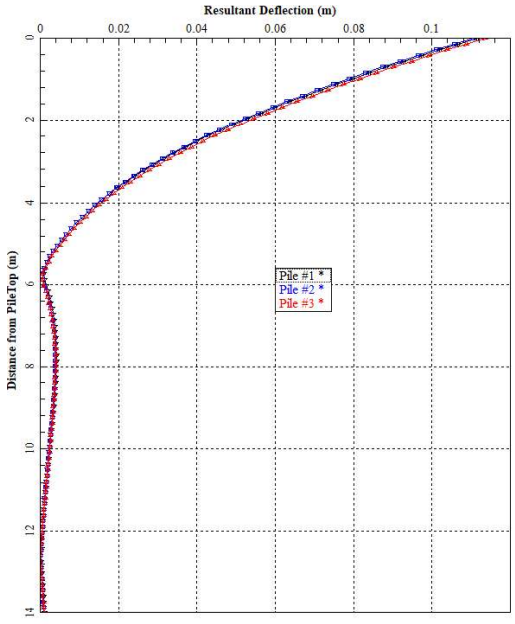


**Gambar 5. 21 Pemodelan Fondasi Tiang Pancang 3 Tiang Diameter 0,8 m Titik B2 Pada Perangkat Lunak GROUP**

*Output* juga dapat dilihat dengan kurva hubungan antara defleksi dan kedalaman. Yang dapat dilihat pada Gambar 5.22 dan 5.23 berikut.



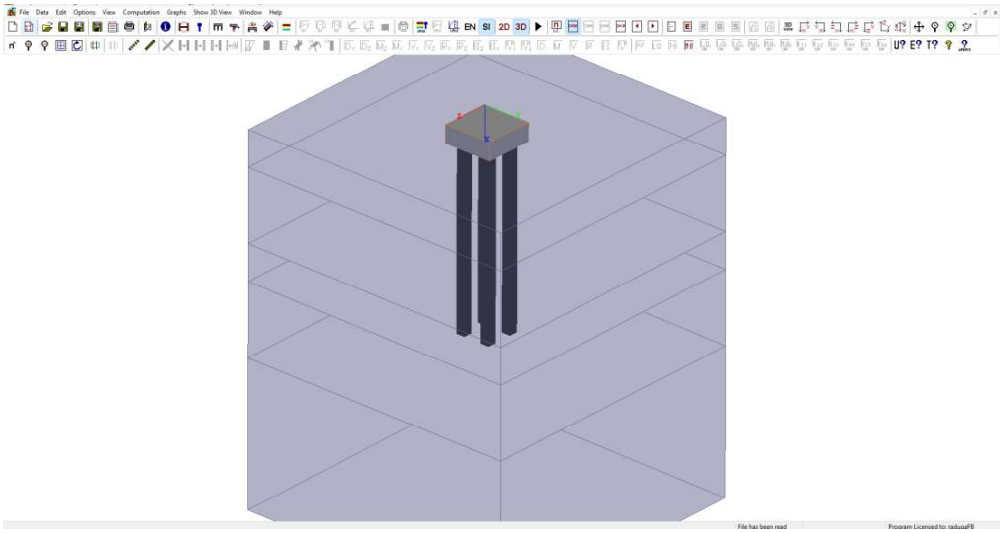

**Gambar 5. 22 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi Tiang Pancang 2 Tiang Diameter 0,8 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP**



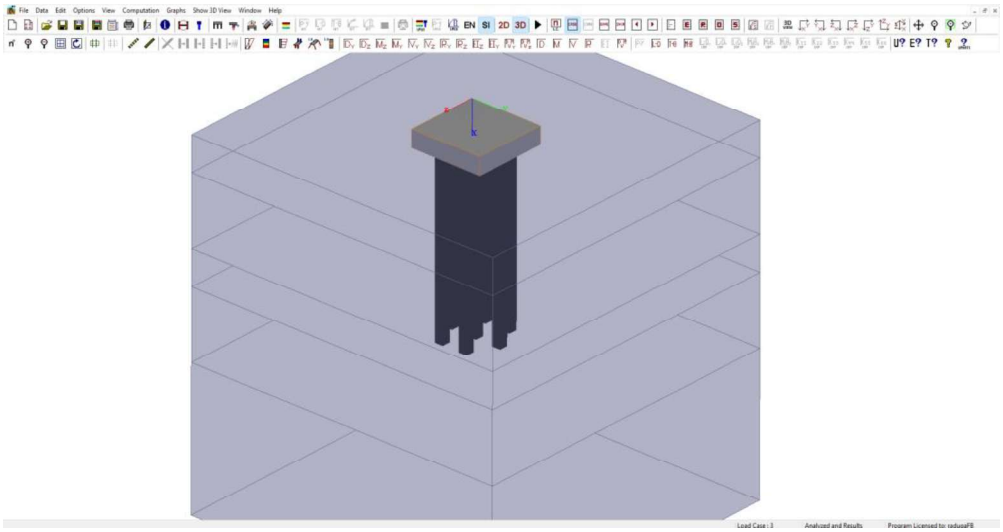

**Gambar 5. 23 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi Tiang Pancang 3 Tiang Diameter 0,8 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP**

### 5.7.5 Pemodelan Tiang Pancang Dimensi 0,5 x 0,5 m Titik B1

Pada pemodelan perangkat lunak GROUP diambil sampel dimodelkan fondasi tiang pancang dengan dimensi 0,5 x 0,5 m dengan panjang tiang 10 m dapat dilihat pada Gambar 5.24 untuk 4 tiang dan Gambar 5.25 untuk 7 tiang sebagai berikut.

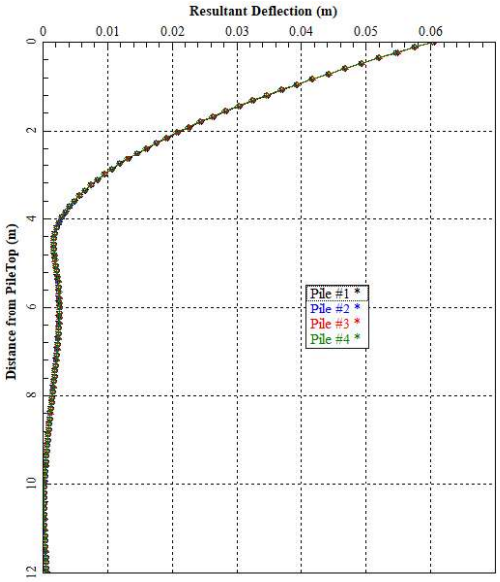


**Gambar 5. 24 Pemodelan Fondasi 4 Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m Titik B1 Pada Perangkat Lunak GROUP**

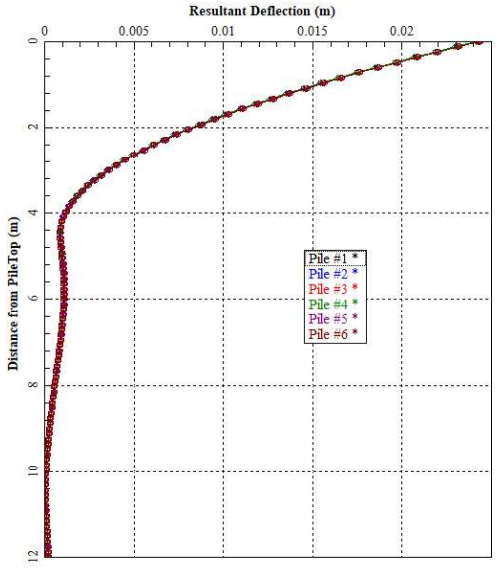


**Gambar 5. 25 Pemodelan Fondasi 7 Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m Titik B1 Pada Perangkat Lunak GROUP**

*Output* juga dapat dilihat dengan kurva hubungan antara defleksi dan kedalaman. Yang dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut.



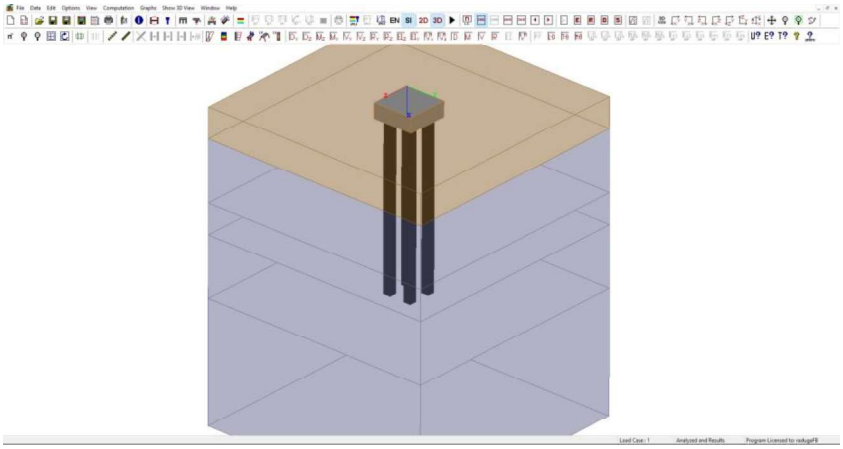

**Gambar 5. 26 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi 4 Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP**



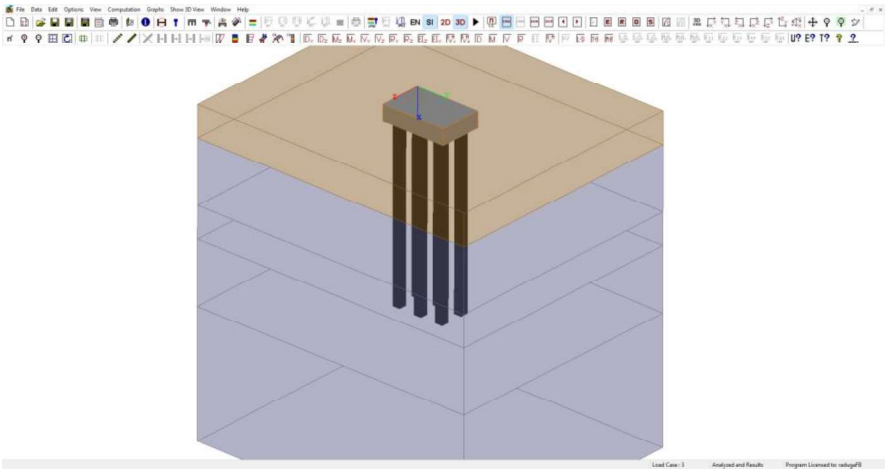

**Gambar 5. 27 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi 7 Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP**

### 5.7.6 Pemodelan Tiang Pancang Dimensi 0,5 x 0,5 m Titik B2

Pada pemodelan perangkat lunak GROUP diambil sampel dimodelkan fondasi tiang bor dengan dimensi 0,5 x 0,5 m dengan panjang tiang 11 m dapat dilihat pada Gambar 5.28 untuk 4 tiang dan Gambar 5.29 untuk 5 tiang sebagai berikut.

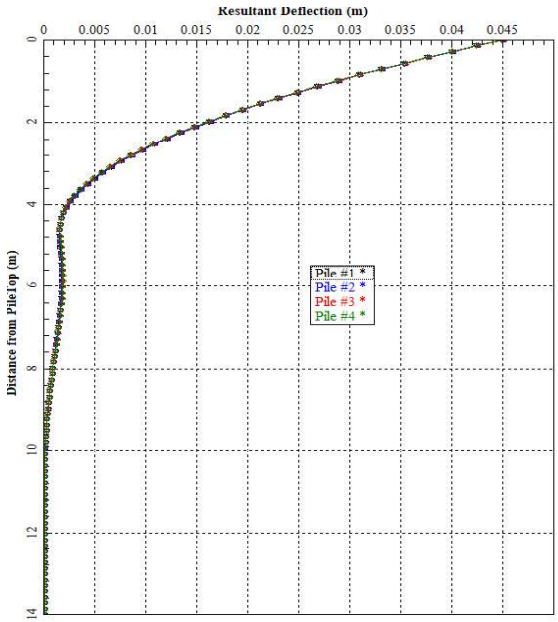


**Gambar 5. 28 Pemodelan Fondasi 4 Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m Titik B2 Pada Perangkat Lunak GROUP**

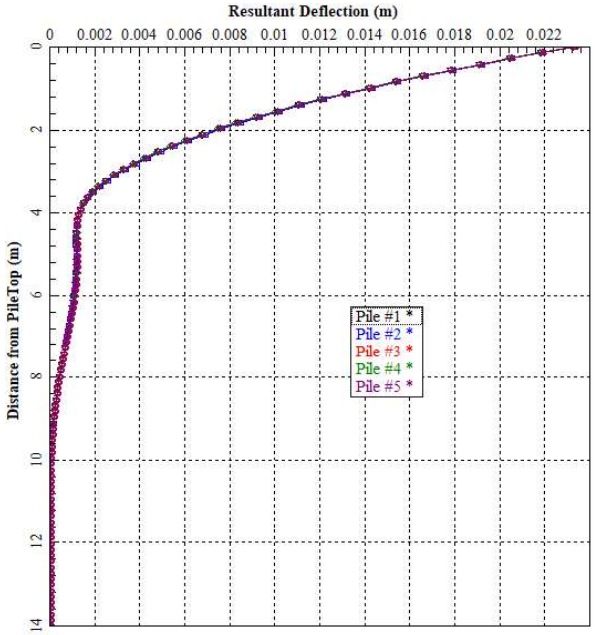


**Gambar 5. 29 Pemodelan Fondasi 6 Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m Titik B2 Pada Perangkat Lunak GROUP**

*Output* juga dapat dilihat dengan kurva hubungan antara defleksi dan kedalaman. Yang dapat dilihat pada Gambar 5.30 dan 5.31 berikut.



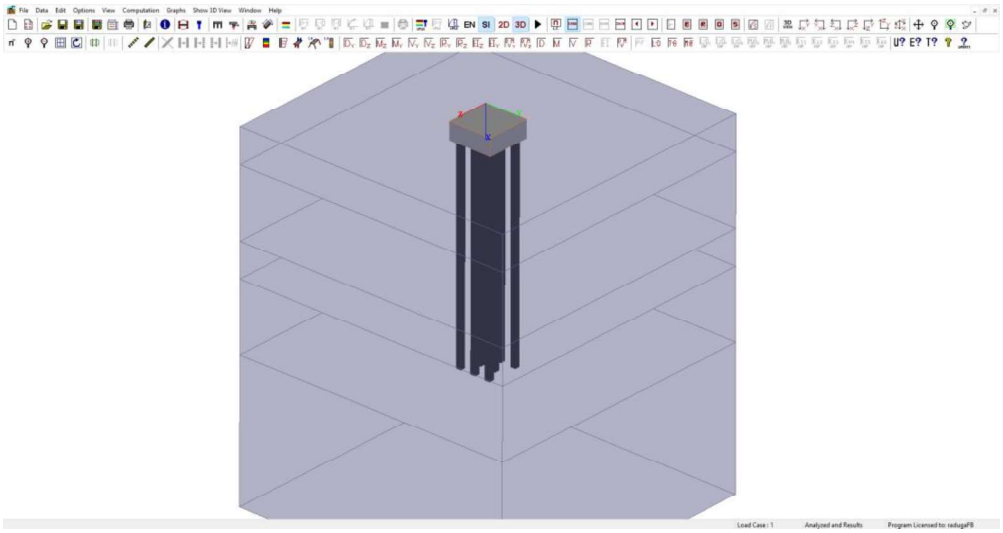

**Gambar 5. 30 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi 4 Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP**



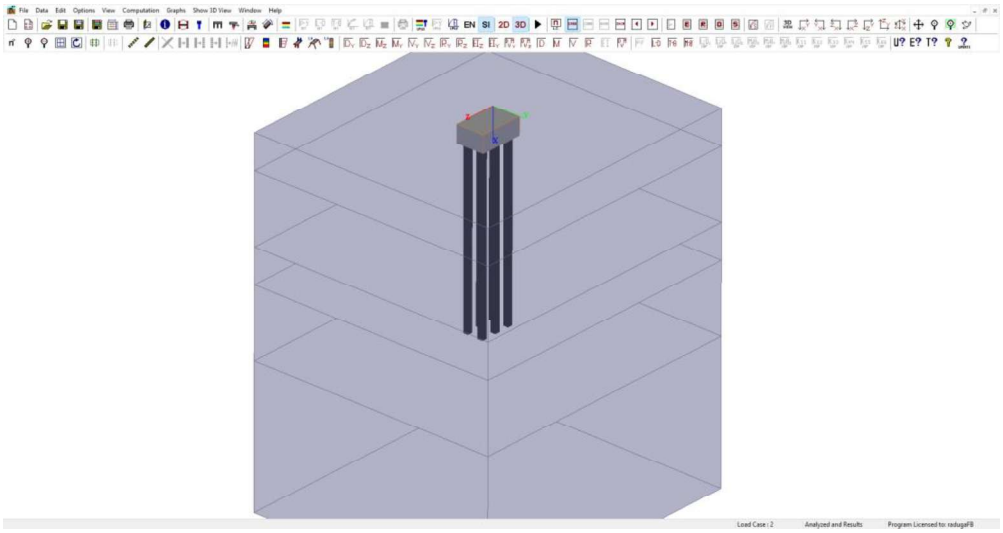

**Gambar 5. 31 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi 6 Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP**

### 5.7.7 Pemodelan Tiang Pancang Dimensi 0,3 x 0,3 m Titik B1

Pada pemodelan perangkat lunak GROUP diambil sampel dimodelkan fondasi tiang bor dengan dimensi 0,3 x 0,3 m dengan panjang tiang 10 m dapat dilihat pada Gambar 5.32, Gambar 5.33 dan Gambar 5.34 sebagai berikut.

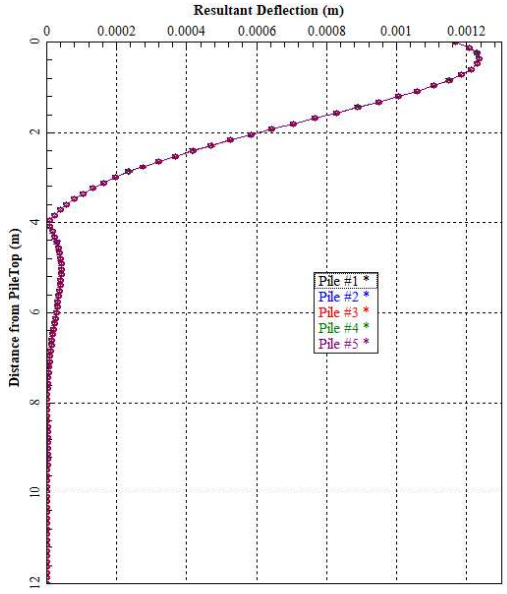


**Gambar 5. 32 Pemodelan Fondasi 8 Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m Titik B1 Pada Perangkat Lunak GROUP**

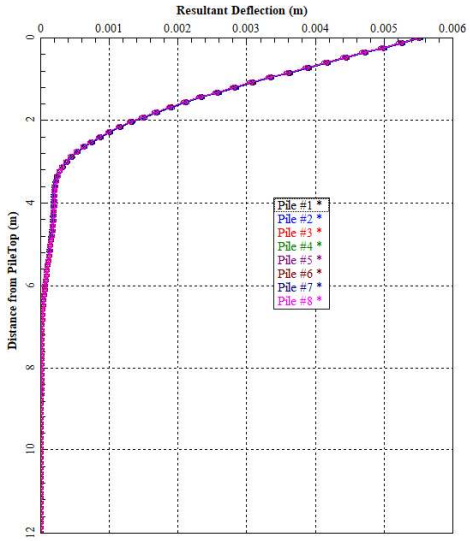


**Gambar 5. 33 Pemodelan Fondasi 6 Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m Titik B1 Pada Perangkat Lunak GROUP**

*Output* juga dapat dilihat dengan kurva hubungan antara defleksi dan kedalaman. Yang dapat dilihat pada Gambar 5.35 dan Gambar 5.36 berikut.



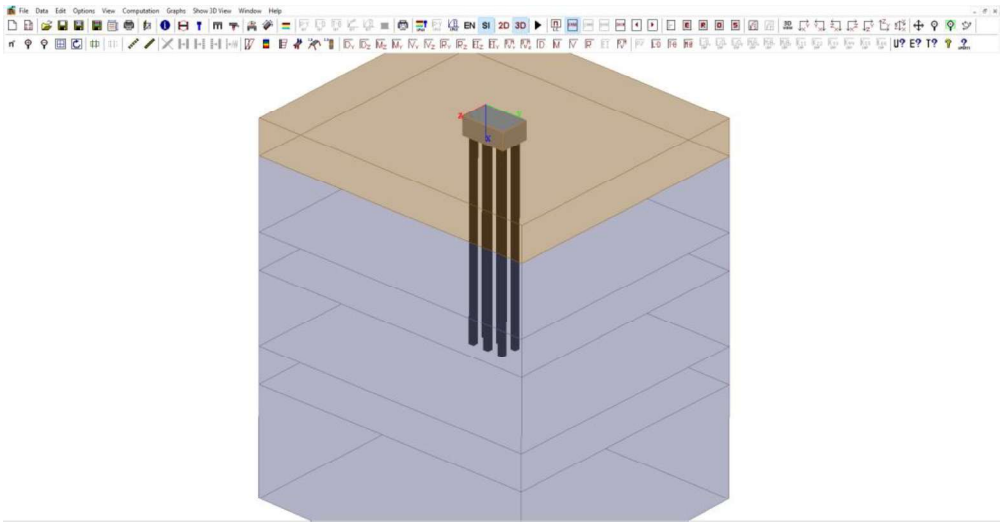

**Gambar 5. 34 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi 8 Tiang Pancang Dimensi 0,3 x 0,3 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP**



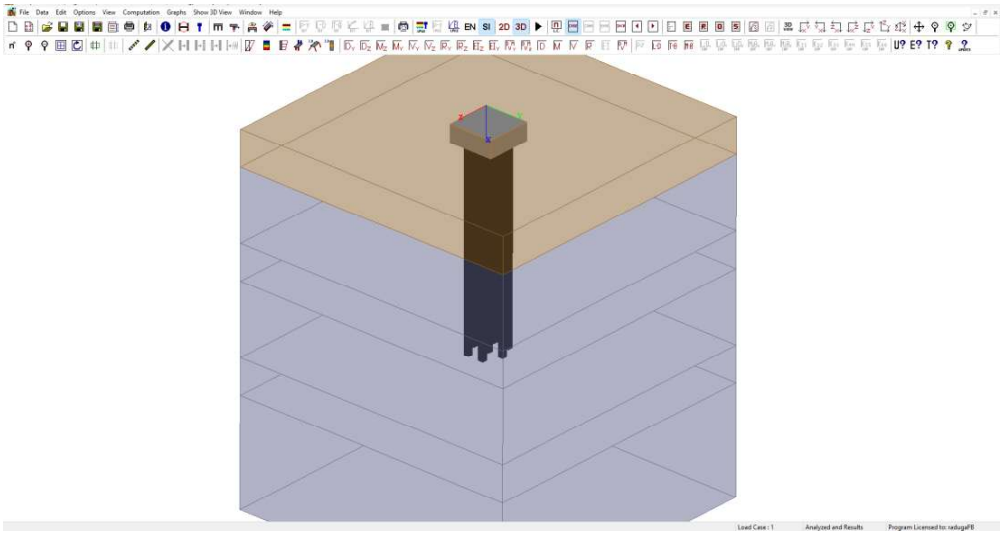

**Gambar 5. 35 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi 6 Tiang Pancang Dimensi 0,3 x 0,3 m Titik B1 Pada perangkat Lunak GROUP**

### 5.7.8 Pemodelan Tiang Pancang Dimensi 0,3 x 0,3 m Titik B2

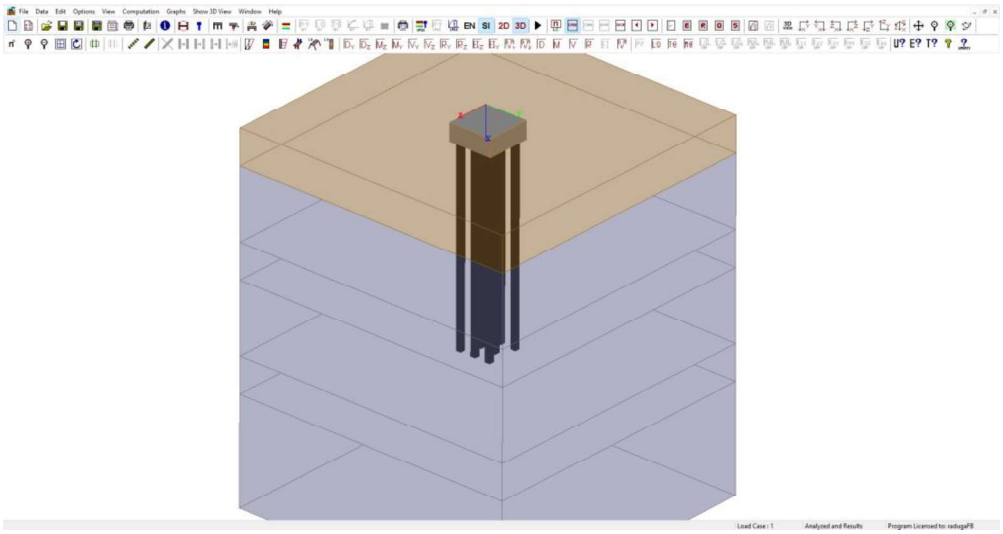
Pada pemodelan perangkat lunak GROUP diambil sampel dimodelkan fondasi tiang bor dengan dimensi 0,3 x 0,3 m dengan panjang tiang 11 m dapat dilihat pada Gambar 5.36, Gambar 5.37 dan Gambar 5.38 sebagai berikut.



**Gambar 5. 36 Pemodelan Fondasi 6 Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m Titik B2 Pada Perangkat Lunak GROUP**

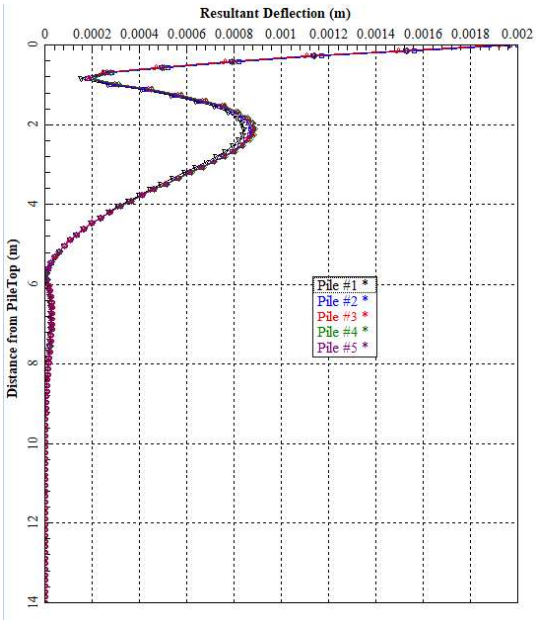


**Gambar 5. 37 Pemodelan Fondasi 7 Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m Titik B2 Pada Perangkat Lunak GROUP**



**Gambar 5. 38 Pemodelan Fondasi 8 Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m Titik B2 Pada Perangkat Lunak GROUP**

*Output* juga dapat dilihat dengan kurva hubungan antara defleksi dan kedalaman. Yang dapat dilihat pada Gambar 5.38 berikut.




**Gambar 5. 39 Kurva Defleksi – Kedalaman Pada Fondasi Tiang Bor Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m Titik B2 Pada perangkat Lunak GROUP**

Dari uraian pemodelan diatas maka didapati rekapitulasi hasil analisis dari perangkat lunak GROUP untuk distribusi beban maksimal dalam 1 tiang, penurunan aksial dan pergeseran lateral yang dapat dilihat pada Tabel 5.9, Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 secara berurutan sebagai berikut.

**Tabel 5. 9 Rekapitulasi Distribusi Beban Dengan Perangkat Lunak GROUP**

| Jenis Fondasi Tiang | Titik *Bore hole* | Panjang Tiang (m) | Beban Layan | | | Beban Gempa Rencana (kN) | | | Beban Gempa Kuat (kN) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Dsitribusi Beban 1 Tiang (kN) | Qall (kN) | Qall > Distribusi Beban 1 Tiang | Dsitribusi Beban 1 Tiang (kN) | Qall (kN) | Qall > Distribusi Beban 1 tiang | Dsitribusi Beban 1 tiang (kN) | Qall (kN) | Qall > Distribusi Beban 1 tiang |
| Tiang Bor D= 0,8 m | B1 | 17 | 763.659 | 2878.64 | Aman | 1034.258 | 3748.23 | Aman | 1464.096 | 4497.87 | Aman |
| | B2 | 17 | 762.515 | 2627.77 | Aman | 1026.898 | 3421.58 | Aman | 1451.109 | 4105.89 | Aman |
| Tiang Pancang D= 0,8 m | B1 | 10 | 753.866 | 2657.77 | Aman | 662.728 | 3460.64 | Aman | 675.93 | 4152.77 | Aman |
| | B2 | 11 | 1091.232 | 2652.18 | Aman | 1077.491 | 3453.36 | Aman | 1239.858 | 4144.03 | Aman |
| Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m | B1 | 10 | 602.963 | 1496.87 | Aman | 672.349 | 1949.05 | Aman | 653.701 | 2338.87 | Aman |
| | B2 | 11 | 755.35 | 1435.06 | Aman | 837.331 | 1868.56 | Aman | 782.308 | 2242.28 | Aman |
| Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m | B1 | 10 | 578.627 | 641.978 | Aman | 575.109 | 835.908 | Aman | 792.593 | 1003.09 | Aman |
| | B2 | 11 | 574,338 | 638.646 | Aman | 756.651 | 831.570 | Aman | 581.741 | 997.885 | Aman |

**Tabel 5. 10 Rekapitulasi Penurunan Dengan Perangkat Lunak GROUP**

| Jenis Fondasi Tiang | Titik *Bore hole* | Panjang Tiang (m) | Beban Layan | | | Beban Gempa Rencana | | | Beban Gempa Kuat | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | S (cm) | S izin (cm) | S < S izin (Aman) | S (cm) | S izin (cm) | S < S izin (Aman) | S (cm) | S izin (cm) | S < S izin (Aman) |
| Tiang Bor D= 0,8 m | B1 | 17 | 0.112 | 15.533 | Aman | 0.155 | 0.155 | Aman | 0.224 | 15.533 | Aman |
| | B2 | 17 | 0.088 | 15.533 | Aman | 0.123 | 0.123 | Aman | 0.181 | 15.533 | Aman |
| Tiang Pancang D= 0,8 m | B1 | 10 | 4.740 | 15.467 | Aman | 2.14 | 2.960 | Aman | 3.230 | 15.533 | Aman |
| | B2 | 11 | 2.722 | 15.533 | Aman | 1.09 | 2.587 | Aman | 4.391 | 15.533 | Aman |
| Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m | B1 | 10 | 2.093 | 15.333 | Aman | 1.95 | 3.164 | Aman | 2.801 | 15.333 | Aman |
| | B2 | 11 | 2.136 | 15.333 | Aman | 1.203 | 3.203 | Aman | 2.415 | 15.333 | Aman |
| Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m | B1 | 10 | 0.733 | 15.200 | Aman | 0.807 | 1.740 | Aman | 1.581 | 15.200 | Aman |
| | B2 | 11 | 0.439 | 15.200 | Aman | 0.501 | 0.933 | Aman | 0.459 | 15.200 | Aman |

**Tabel 5. 11 Rekapitulasi Pergeseran Lateral Dengan Perangkat Lunak GROUP**

| Jenis Fondasi Tiang | Titik *Bore hole* | Panjang Tiang (m) | Beban Gempa Rencana | | | Beban Gempa Kuat | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Δ (cm) | Δ izin (cm) | Δ < Δ izin (Aman) | Δ (cm) | Δ izin (cm) | Δ < Δ izin (Aman) |
| Tiang Bor D= 0,8 m | B1 | 17 | 0.145 | 1,25 | Aman | 0.462 | 2,5 | Aman |
| | B2 | 17 | 0.152 | 1,25 | Aman | 0.496 | 2,5 | Aman |
| Tiang Pancang D= 0,8 m | B1 | 10 | 0.877 | 1,25 | Aman | 2.19 | 2,5 | Aman |
| | B2 | 11 | 0.497 | 1,25 | Aman | 1.8005 | 2,5 | Aman |
| Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m | B1 | 10 | 1.575 | 1,25 | Aman | 1.828 | 2,5 | Aman |
| | B2 | 11 | 0.813 | 1,25 | Aman | 2.41 | 2,5 | Aman |
| Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m | B1 | 10 | 1.370 | 1,25 | Aman | 1.717 | 2,5 | Aman |
| | B2 | 11 | 0.558 | 1,25 | Aman | 0.247 | 2,5 | Aman |

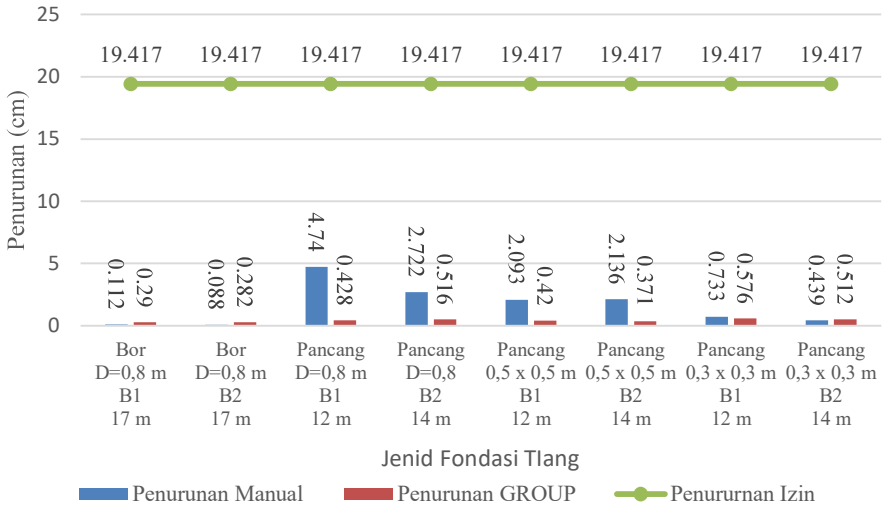
## 5.8 Perbandingan Perhitungan Manual dan Perangkat Lunak GROUP

Perhitungan manual dan analisis perangkat lunak GROUP mendapatkan hasil berupa penurunan aksial. Kedua analisis ini kemudian dibandingkan untuk dicari validasi dari hasilnya. Hasil perbandingan dapat dilihat pada Tabel 5.12 sebagai berikut.

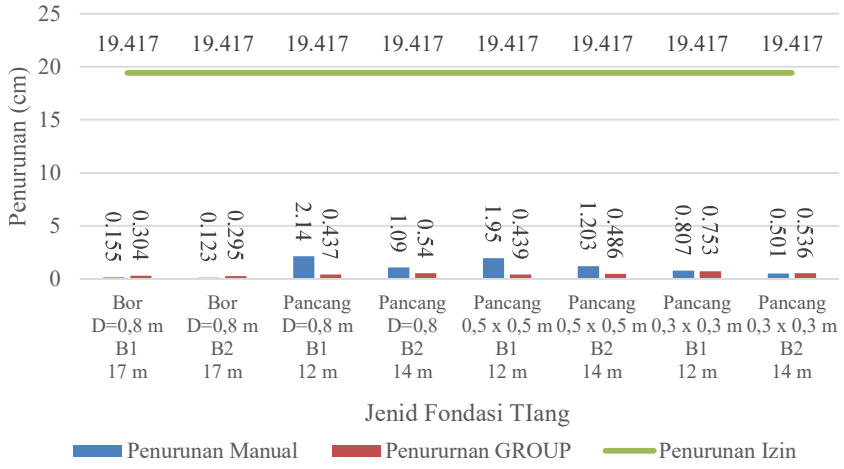
**Tabel 5. 12 Perbandingan Penurunan Perhitungan Manual dan Analisis Perangkat Lunak GROUP**

| Jenis Fondasi Tiang | Titik *Bore hole* | Panjang Tiang (m) | Beban Layan | | | Beban Gempa Rencana | | | Beban Gempa Kuat | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | S GROUP (cm) | S Manual (cm) | S izin (cm) | S GROUP (cm) | S Manual (cm) | S izin (cm) | S GROUP (cm) | S Manual (cm) | S izin (cm) |
| Tiang Bor D= 0,8 m | B1 | 17 | 0.112 | 0.290 | 19.417 | 0.155 | 0.304 | 19.417 | 0.224 | 0.337 | 19.417 |
| | B2 | 17 | 0.088 | 0.282 | 19.417 | 0.123 | 0.295 | 19.417 | 0.181 | 0.327 | 19.417 |
| Tiang Pancang D= 0,8 m | B1 | 10 | 4.740 | 0.428 | 19.417 | 2.14 | 0.437 | 19.417 | 3.230 | 0.365 | 19.417 |
| | B2 | 11 | 2.722 | 0.516 | 19.417 | 1.09 | 0.540 | 19.417 | 4.391 | 0.400 | 19.417 |
| Tiang Pancang 0,5 x 0,5 m | B1 | 10 | 2.093 | 0.420 | 19.417 | 1.95 | 0.439 | 19.417 | 2.801 | 0.488 | 19.417 |
| | B2 | 11 | 2.136 | 0.371 | 19.417 | 1.203 | 0.486 | 19.417 | 2.415 | 0.540 | 19.417 |
| Tiang Pancang 0,3 x 0,3 m | B1 | 10 | 0.733 | 0.576 | 19.417 | 0.807 | 0.753 | 19.417 | 1.581 | 0.837 | 19.417 |
| | B2 | 11 | 0.439 | 0.512 | 19.417 | 0.501 | 0.536 | 19.417 | 0.459 | 0.596 | 19.417 |

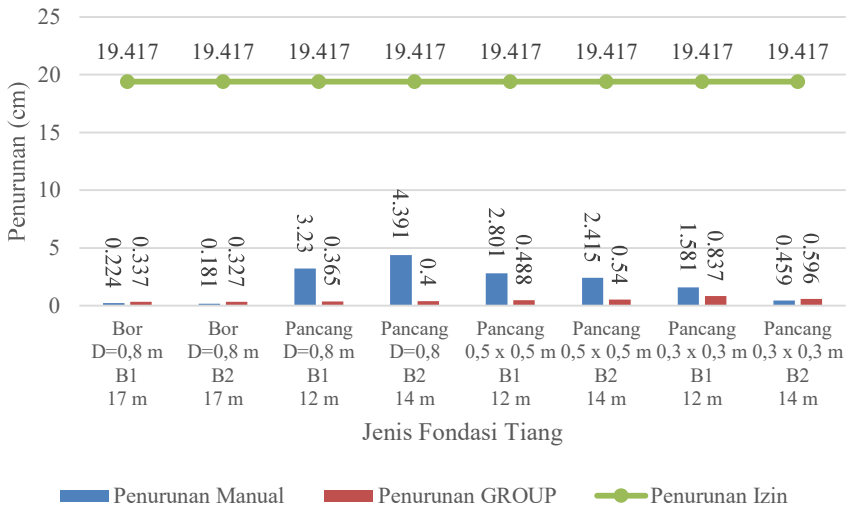
Selanjutnya dapat dibuat grafik perbandingan penurunan menurut Tabel 5.12, yang dapat dilihat menurut beban layan, beban gempa rencana dan beban gempa kuat pada Gambar 5.39, 5.40 dan 5.41 sebagai berikut.




**Gambar 5. 40 Grafik Perbandingan Penurunan Perhitungan Manual dan Analisis Perangkat Lunak GROUP Pada Beban Layan**




**Gambar 5. 41 Grafik Perbandingan Penurunan Perhitungan Manual dan Analisis Perangkat Lunak GROUP Pada Beban Gempa Rencana**




**Gambar 5. 42 Grafik Perbandingan Penurunan Perhitungan Manual dan Analisis Perangkat Lunak GROUP Pada Beban Gempa Kuat**

Dari hasil analisis didapatkan penurunan pada perhitungan manual dan penurunan menggunakan perangkat lunak GROUP masih memenuhi syarat dari penurunan izin tiang sebesar 19,417.

.

# BAB VI
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan yang sudah dijebarkan pada bab sebelumnya maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada B1 didapatkan daya dukung aksial tekan izin fondasi bor *existing* didapatkan 2878,641 kN dan daya dukung aksial tarik izin fondasi bor *existing* didapatkan 1847,279 kN. Pada B2 didapatkan daya dukung aksial tekan izin fondasi bor *existing* didapatkan 2627,774 kN dan daya dukung aksial tarik izin fondasi bor *existing* didapatkan 1666,668 kN.
2. Di antara seluruh alternatif tiang pancang, dimensi diameter 0,8 m memberikan daya dukung tunggal terbesar, diikuti 0,5×0,5 m, dan terkecil pada 0,3×0,3 m konsisten menunjukkan semakin besar penampang tiang, semakin besar pula daya dukungnya, dengan kenaikan yang sama terhadap kondisi gempa rencana dan gempa kuat.
3. Fondasi *existing* tiang bor menggunakan jumlah tiang jauh melebihi kebutuhan minimum, sehingga kelompok tiang menjadi lebih aman namun terjadi *overestimate*.
4. Untuk fondasi alternatif tiang pancang, dimensi diameter 0,8 m sudah cukup dengan jumlah tiang 2-5 tiang, dimensi 0,5×0,5 m membutuhkan 4-6 tiang, sedangkan dimensi 0,3×0,3 m membutuhkan lebih banyak tiang 5-8 tiang pada beberapa kondisi beban.
5. Seluruh alternatif fondasi, baik existing maupun pancang, dinyatakan aman terhadap seluruh kombinasi beban yang ditinjau, dengan fondasi alternatif menghasilkan desain yang lebih optimum (mendekati kebutuhan aktual) dibanding fondasi existing yang overestimate.
6. Hasil analisis GROUP menunjukkan beban aksial, penurunan, dan lateral displacement terbesar cenderung terjadi pada tiang pancang dimensi terkecil, sedangkan nilai terkecil pada tiang berdiameter lebih besar mengindikasikan

tiang berpenampang besar lebih stabil terhadap deformasi aksial maupun lateral.

7. Penurunan hasil GROUP secara konsisten lebih besar dibanding perhitungan manual, karena GROUP memperhitungkan reaksi tiap lapisan tanah secara spesifik serta pengaruh momen, sementara perhitungan manual hanya meninjau arah vertikal. Meski demikian, seluruh hasil penurunan masih berada dalam batas izin sehingga fondasi dinyatakan aman.

## 6.2 Saran

1. Pada penelirian selanjutnya disarankan untuk menhitung dengan menambah metode pada daya dukung tunggalsehingga perbandingan dapat lebih bervariasi, dan metode daya dukung lateral yang sesuai dengan kondisi parameter tanah. Sehingga dapat dibandingkan dengan analisis denganperangkat lunak

2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk dilakukan perbandingan dengan uji beban aktual di lapangan seperti PDA *test,* sehingga dapat mengetahui metode atau analisis mana yang mendekati kondisi lapangan.

3. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan studi parametrikterhadap variasi jumlah tiang, jarak antar tiang, dan konfigurasi tiang kelompok untuk mengetahui pengaruhnya terhadap efisiensi tiang kelompok.

4. Perlu dilakukan analisis sensitivitas untuk membandingkan pengaruh berbagai modulus elastisitas terhadap N-SPT terhadap hasil penurunan tiang.

# DAFTAR PUSTAKA


Badan Standardisasi Nasional (2008) *Standar Nasional Indonesia Cara uji penetrasi lapangan dengan SPT*. SNI 4153:2008. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Ensoft, Inc. (2025) *GROUP: A Program for the Analysis of Piles in a Group - General Description*. Tersedia pada: *www.ensoftinc.com*.

Hardiyatmo H. (2014) *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. Edisi Ketiga. Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H.C. (2015) *Analisis dan Perencangan Fondasi II*. Edisi Ketiga. Gadjah Mada University Press.

Nindy Mutiarasella (2022) *Tugas Akhir Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Bor Pada Gedung Masjid Hajjah Yuliana Bearing Capacity And Settlement Analysis Of Borepile Foundation On The Hajjah Yuliana Mosque*. Tugas Akhir Sarjana. Universitas Islam Indonesia.

Sapriyadi, W., Priadi, E. dan Faisal, A. (2018) "Kajian Daya Dukung Tiang Pancang Di Tanah Lunak Dengan Menggunakan Ensoft," *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*, 5(1), hlm. 1–14.

Sari, U.C. *dkk.* (2023) "The Bearing Capacity Analysis of Deep Foundation based on In-situ Dynamic Penetration Test Compared to Pile Driving Analyzer (PDA)," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Institute of Physics, hlm. 1–8. Tersedia pada: https://doi.org/10.1088/1755-1315/1203/1/012017.

Silva Nuraini Sa'da (2023) *Perencanaan Ulang Dengan Pondasi Tiang Bor Pada Bangunan Gedung Fakultas Ilmu Komputer Dengan Variasi Dimensi Menggunakan Metode Reese&Wright (1977)*. Tugas Akhir Sarjana. Universitas Islam Indonesia.

Ziaul Haq Alviani (2024) *Analisis Kapasitas Dukung Dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang Dengan Variasi Diameter Pada Bangunan Rumah Susun*. Tugas Akhir Program Studi Sarjana. Universitas Islam Indonesia.

# LAMPIRAN

# Lampiran 1 Data *Bore Log* Titik B1

**BORE LOG**

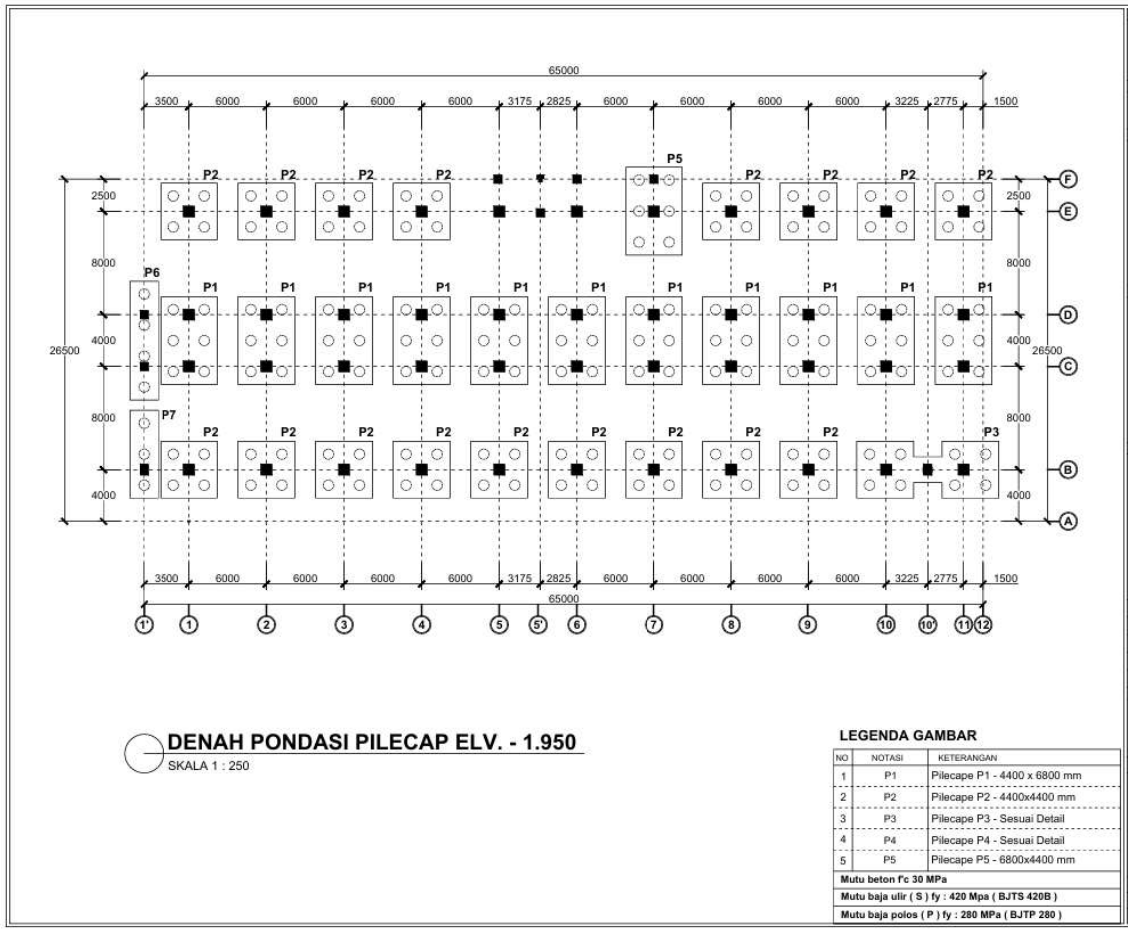
| DEPTH (m) | BORE LOG | Standard Penetration Test (SPT) N / 30 cm | DESCRIPTION | COLOUR | S P T Value Depth sample ( Blow / 30 cm ) | Grain Size Analysis (%) | | | | Physical Properties | | | | | Mechanical Properties | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Gravel (%) | Sand (%) | Silt (%) | Clay (%) | Water Content (%) | Dry Density ( $\gamma d$ ) ($gr/cm^3$) | Specific Gravity GS | Porosity n | Void Ratio e | Unconfined Test qu $kg/cm^2$ | Direct Shear Test c $kg/cm^2$ | Direct Shear Test $\phi$ (°) | Atterberg Test LL % | Atterberg Test PL % | Atterberg Test IP % |
| 0 | | 0 20 40 60 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | 8 | Pasir dengan Lanau & Kerikil | Coklat | 2 + 3 (2,00 - 2,50) + 5 = 8 m | 11.49 | 67.88 | 20.63 | 0.00 | 74.64 | 0.855 | 2.691 | 0.668 | 2.008 | | 0.17 | 20 | 75.59 | 28.39 | 47.20 |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | 13 | Lanau dan Pasir dengan Kerikil | | 4 + 6 (4,00 - 4,50) + 7 = 13 m | 18.99 | 33.90 | 47.12 | 0.00 | 52.12 | 1.119 | 2.679 | 0.583 | 1.396 | | 0.25 | 18 | NON PLASTIS | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | 21 | Pasir dengan Lanau & Kerikil | | 6 + 8 (6,00 - 6,50) + 13 = 21 m | 24.13 | 46.39 | 29.48 | 0.00 | 40.98 | 1.264 | 2.694 | 0.525 | 1.104 | | 0.19 | 23 | NON PLASTIS | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | 10 | Pasir dan Lanau sedikit Kerikil | Hitam Coklat | 3 + 4 (8,00 - 8,50) + 6 = 10 m | 4.83 | 53.28 | 41.89 | 0.00 | 63.60 | 0.938 | 2.676 | 0.630 | 1.702 | | 0.23 | 18 | NON PLASTIS | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | 33 | Pasir dengan Kerikil & Lanau | Coklat | 13 + 15 (10,00 - 10,50) + 18 = 33 m | 23.04 | 60.85 | 16.11 | 0.00 | 60.41 | 0.982 | 2.686 | 0.619 | 1.623 | | 0.16 | 20 | NON PLASTIS | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | 47 | Pasir dengan Lanau & Kerikil | Hitam | 13 + 27 (12,00 - 12,50) + 20 = 47 m | 36,53 | 43,53 | 19,94 | 0,00 | 39,84 | 1,327 | 2,690 | 0,517 | 1,072 | | 0,17 | 21 | NON PLASTIS | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | 52 | | | 14 + 20 (14,00 - 14,50) + 32 = 52 m | 18.85 | 55.11 | 26.05 | 0.00 | 29.74 | 1.430 | 2.696 | 0.445 | 0.802 | | 0.18 | 22 | NON PLASTIS | | |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | 56 | | | 14 + 22 (16,00 - 16,50) + 34 = 56 m | 16.66 | 56.23 | 27.11 | 0.00 | 31.64 | 1.408 | 2.697 | 0.460 | 0.853 | | 0.19 | 22 | NON PLASTIS | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | 58 | | | 16 + 23 (18,00 - 18,50) + 35 = 58 m | 14.07 | 52.67 | 33.26 | 0.00 | 19.65 | 1.622 | 2.672 | 0.344 | 0.525 | | 0.21 | 17 | NON PLASTIS | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | 60 | Pasir dengan Kerikil & Lanau | | 17 + 24 (20,00 - 20,50) + 36 = 60 m | 24,40 | 55,69 | 19,91 | 0,00 | 34,73 | 1,527 | 2,690 | 0,483 | 0,934 | | 0,17 | 19 | NON PLASTIS | | |

## Lampiran 2 Data *Bore Log* Titik B2

**BORE LOG**

| DEPTH (m) | BORE LOG | Standard Penetration Test (SPT) N / 30 cm | DESCRIPTION | COLOUR | S P T Value Depth sample ( Blow / 30 cm ) | Grain Size Analysis (%) | | | | Physical Properties | | | | | Mechanical Properties | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Gravel (%) | Sand (%) | Silt (%) | Clay (%) | Water Content (%) | Dry Density ( $\gamma$d ) ($gr/cm^3$) | Specific Gravity GS | Porosity n | Void Ratio e | Unconfined Test qu $kg/cm^2$ | Direct Shear Test c $kg/cm^2$ | Direct Shear Test $\phi$ (°) | Atterberg Test LL % | Atterberg Test PL % | Atterberg Test IP % |
| 0–20 | | 0 20 40 60 80 | Lanau dengan Lempung & Pasir | Coklat | 3 + 3 (2,00) + 4 (2,50) = 7 m | 0.86 | 21.63 | 54.31 | 23.20 | 37.75 | 1.263 | 2.615 | 0.497 | 0.987 | 0.32 | 0.31 | 11 | 82.07 | 35.11 | 46.96 |
| | | | Pasir dan Lanau dengan Kerikil | | 4 + 6 (4,00) + 10 (4,50) = 16 m | 23.30 | 45.37 | 31.33 | 0.00 | 35.13 | 1.284 | 2.672 | 0.484 | 0.939 | | 0.21 | 18 | NON PLASTIS | | |
| | | | | | 5 + 9 (6,00) + 11 (6,50) = 20 m | 14.57 | 46.91 | 38.52 | 0.00 | 42.80 | 1.199 | 2.678 | 0.534 | 1.146 | | 0.23 | 17 | NON PLASTIS | | |
| | | | Lanau dan Pasir dengan Kerikil | | 3 + 4 (8,00) + 5 (8,50) = 9 m | 24.83 | 37.29 | 37.88 | 0.00 | 52.51 | 1.113 | 2.676 | 0.584 | 1.405 | | 0.23 | 18 | NON PLASTIS | | |
| | | | Kerikil, Pasir, Lanau | | 3 + 5 (10,00) + 6 (10,50) = 11 m | 47.88 | 31.99 | 20.13 | 0.00 | 20.44 | 1.818 | 2.690 | 0.355 | 0.550 | | 0.17 | 20 | NON PLASTIS | | |
| | | | Lanau dan Pasir sedikit Kerikil | | 4 + 4 (12,00) + 6 (12,50) = 10 m | 7.11 | 44.30 | 48.59 | 0.00 | 22.95 | 1.670 | 2.680 | 0.381 | 0.615 | | 0.25 | 19 | NON PLASTIS | | |
| | | | Pasir dengan Kerikil dan Lanau | Hitam | 9 + 15 (14,00) + 20 (14,50) = 35 m | 0.96 | 40.03 | 47.09 | 11.91 | 50.62 | 1.129 | 2.655 | 0.573 | 1.344 | 0.32 | 0.27 | 15 | 84.62 | 35.24 | 49.38 |
| | | | | | 15 + 20 (16,00) + 35 (16,50) = 55 m | 21.95 | 56.22 | 21.82 | 0.00 | 30.94 | 1.493 | 2.688 | 0.454 | 0.832 | | 0.17 | 21 | NON PLASTIS | | |
| | | | Pasir dengan Lanau & Kerikil | | 18 + 21 (18,00) + 36 (18,50) = 57 m | 16.14 | 53.25 | 30.62 | 0.00 | 27.17 | 1.497 | 2.671 | 0.420 | 0.726 | | 0.20 | 18 | NON PLASTIS | | |
| | | | | | 17 + 22 (20,00) + 37 (20,50) = 59 m | 21.17 | 52.58 | 26.25 | 0.00 | 33.52 | 1.410 | 2.694 | 0.475 | 0.903 | | 0.18 | 21 | NON PLASTIS | | |

**Lampiran 3 *Detail Engineering Design* Fondasi Titik P2 Gedung Pendidikan Di Kota Malang**

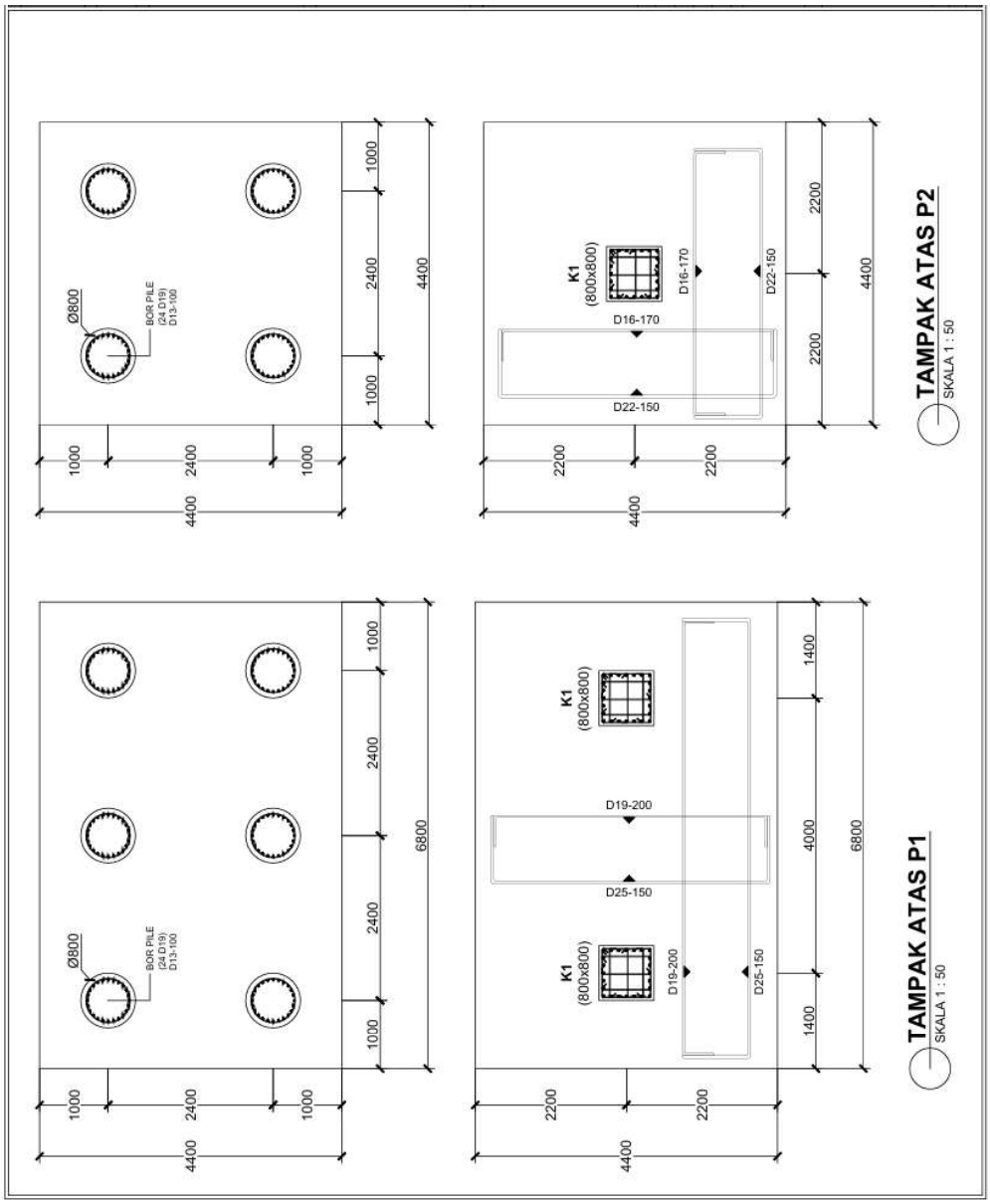


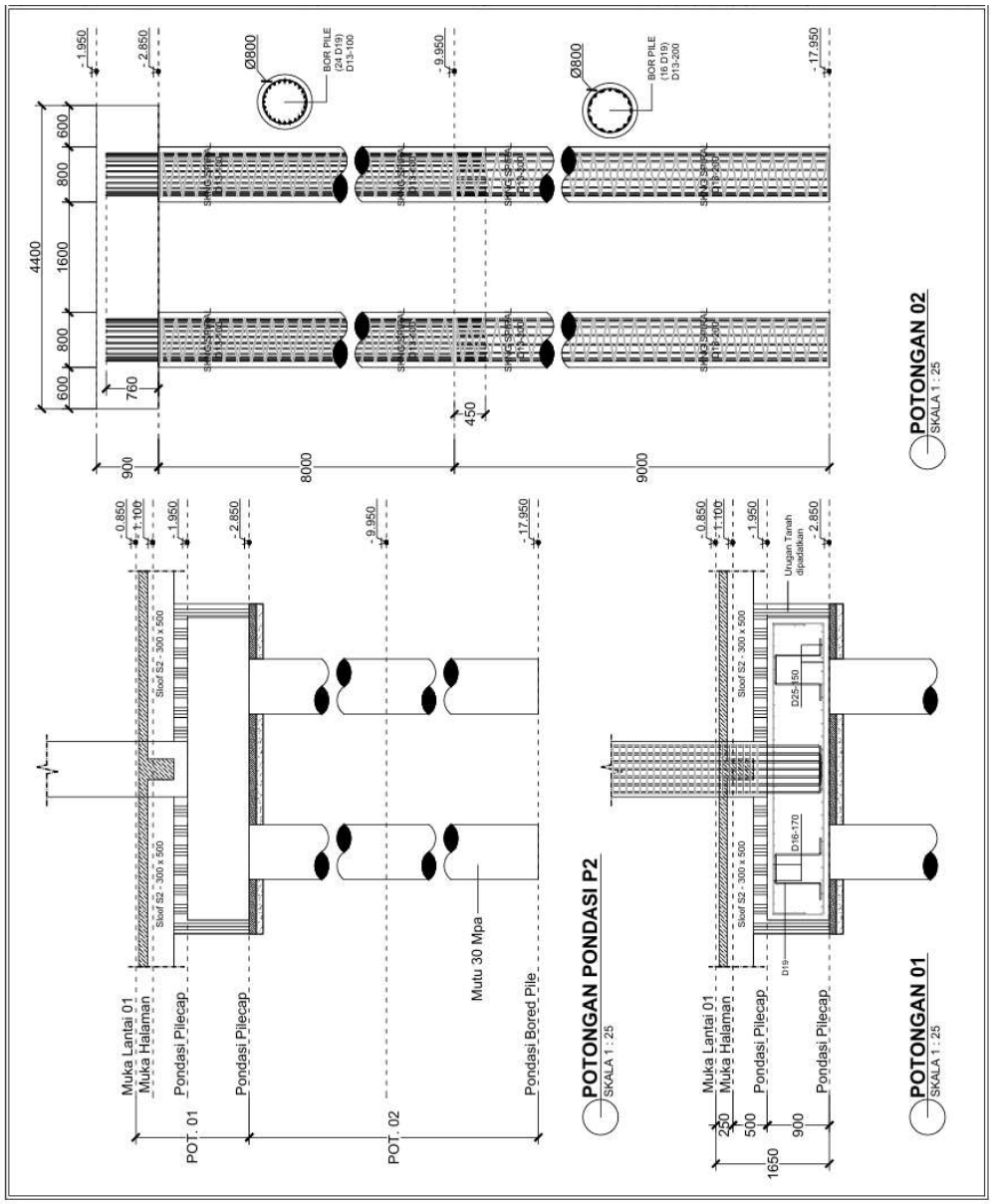

**DENAH PONDASI PILECAP ELV. - 1.950**

SKALA 1 : 250

**LEGENDA GAMBAR**

| NO | NOTASI | KETERANGAN |
|---|---|---|
| 1 | P1 | Pilecape P1 - 4400 x 6800 mm |
| 2 | P2 | Pilecape P2 - 4400x4400 mm |
| 3 | P3 | Pilecape P3 - Sesuai Detail |
| 4 | P4 | Pilecape P4 - Sesuai Detail |
| 5 | P5 | Pilecape P5 - 6800x4400 mm |
| Mutu beton f'c 30 MPa | | |
| Mutu baja ulir ( S ) fy : 420 Mpa ( BJTS 420B ) | | |
| Mutu baja polos ( P ) fy : 280 MPa ( BJTP 280 ) | | |


Ø800
BOR PILE
(K-400)
D13-100
1000
2400
1000
4400
6800
K1
(800x800)
D19-200
D25-150
1400
2200
TAMPAK ATAS P1
SKALA 1 : 50
D16-170
D22-150
TAMPAK ATAS P2
SKALA 1 : 50


4400
600
800
1600
800
600
760
900
8000
450
9000
-1.950
-2.850
-9.950
-17.950
Ø800
BOR PILE
(24 D19)
D13-100
BOR PILE
(16 D19)
D13-200
SPIRAL
D13-100
SPIRAL
D13-200
Muka Lantai 01
Muka Halaman
Pondasi Pilecap
Sloof S2 - 300 x 500
Mutu 30 Mpa
Pondasi Bored Pile
POT. 01
POT. 02
POTONGAN PONDASI P2
SKALA 1 : 25
-0.850
±.100
250
500
1650
900
D16-170
D25-150
D19
Urugan Tanah
dipadatkan
POTONGAN 01
SKALA 1 : 25
POTONGAN 02
SKALA 1 : 25

## Lampiran 4 Waktu Penelitian Tugas Akhir

| Uraian Kegiatan | Jam Kerja (jam) | Mei | | Juni | | | | Juli | | | | Agustus | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Minggu ke- | | Minggu ke- | | | | Minggu ke- | | | | Minggu ke- | | | |
| | | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| **Persiapan** | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tinjauan Pustaka | 16 | 8 | 8 | | | | | | | | | | | | |
| **Pengumpulan data** | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pengambilan data proyek | 12 | | | 4 | 4 | 4 | | | | | | | | | |
| **Analisis dan pembahasan** | | | | | | | | | | | | | | | |
| Analisis Kinerja Fondasi tiang bor | 20 | | | | | | 10 | 10 | | | | | | | |
| Analisis Kinerja Fondasi tiang pancang | 20 | | | | | | | 10 | 10 | | | | | | |
| Analisis dan Pemodelan dengan GROUP | 13 | | | | | | | | 6.5 | 6.5 | | | | | |
| Perbandingan kinerja fondasi tiang | 10 | | | | | | | | | 5 | 5 | | | | |
| Analisis perbandingan | 15 | | | | | | | | | | 7.5 | 7.5 | | | |
| **Penyusunan laporan** | | | | | | | | | | | | | | | |
| Laporan akhir | 30 | | | | | | | | | | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| **Jumlah Total** | 136 | | | | | | | | | | | | | | |
| **Rencana Mingguan (Jam)** | | 8 | 8 | 4 | 4 | 4 | 10 | 20 | 16.5 | 11.5 | 18.5 | 13.5 | 6 | 6 | 6 |
| **Jam kerja Kumulatif (Jam)** | | 8 | 16 | 20 | 24 | 28 | 38 | 58 | 74.5 | 86 | 104.5 | 118 | 124 | 130 | 136 |